



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: DO SENSO COMUM  
AO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.**

Di Angelo Matos Pinheiro

Manaus - AM  
Agosto de 2016

**DI ANGELO MATOS PINHEIRO**

**ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: DO SENSO COMUM  
AO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação polo 4 UFAM/IFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:  
Dr. José Ricardo de Sousa

Manaus - AM  
Agosto de 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

P654e Pinheiro, Di Angelo Matos, 1984 -  
Ensino de Física das Radiações Ionizantes: do senso comum ao conhecimento científico/ Di Angelo Matos Pinheiro; Orientador: José Ricardo de Sousa – Manaus: UFAM / IFAM, 2016.  
146p.

Dissertação (Mestrado – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Amazonas / Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Amazonas, 2016.

1. Ensino de Física. 2. Física da Radiação. 3. Radiações Ionizantes. I. Sousa, José Ricardo de. II. Universidade Federal do Amazonas / Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Amazonas. III. Radiações Ionizantes.

CDD: 539

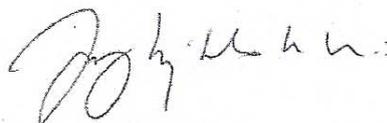
ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: DO SENSO COMUM  
AO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Di Angelo Matos Pinheiro

Orientador:  
Dr. José Ricardo de Sousa

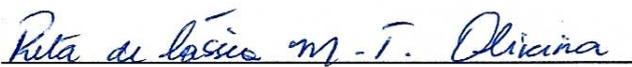
Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação  
pelo 4 UFAM/IFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de  
Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do  
título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:



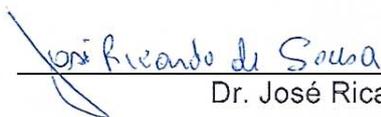
---

Dr. Jorge Luiz Brito de Faria



---

Dra. Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira



---

Dr. José Ricardo de Sousa

Manaus - AM  
Agosto de 2016

*Dedico este trabalho aos ribeirinhos amazonenses que,  
lutam para estudar, buscando uma perspectiva de vida melhor.*

*Tudo é impossível, até que se prove o contrário. (Albert Einstein)*

## **Agradecimentos**

À **Deus**, por sua infinita bondade, e pelo dom da vida que nos é concedido a cada amanhecer.

Aos **meus pais**, que com muito esforço me educaram da melhor forma possível, e não mediram sacrifícios para prosseguir em meus estudos.

À minha filha, **Dhafne**, que ilumina ainda mais a minha existência terrena.

Aos meus professores do curso de mestrado, em especial ao prof. Dr. **José Ricardo de Sousa**, por todas as horas que passamos juntos buscando uma educação de qualidade para este estado de dimensões continentais.

Aos **colegas de turma**, por dois anos de lutas, empenhados em obter uma aprendizagem, para melhorar nossas atitudes como professores em sala de aula.

## RESUMO

Convive-se com a radiação proveniente de várias fontes, tanto natural quanto artificial, e de fato a vida na Terra só existe por causa dela, sendo um aspecto primordial do nosso cotidiano. Embora a maioria dos estudantes já tenha ouvido falar sobre radiação, um número significativo desconhece o assunto, itens fundamentais tais como: seus benefícios, e a diferença entre a radiação ionizante e não-ionizante. A visão do aluno é aquela gerada pela mídia, informando que a radiação é prejudicial. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo abordar o tema em sala de aula, através de uma sequência didática, para alunos do ensino profissionalizante, na perspectiva da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, de modo que leve o aluno a sair da ideia midiática, senso comum, e formule os conceitos científicos. O trabalho começa com um estudo breve sobre a aprendizagem significativa e seus principais colaboradores, posteriormente abordar-se o ensino de física das radiações – radiação ionizante, logo em seguida relaciona-se a física das radiações com a aprendizagem significativa de Ausubel. Finalmente apresenta-se a sequência didática desenvolvida para os alunos do Instituto Federal do Amazonas – IFAM/ Campus Manaus Centro, e os resultados.

Palavras-chave: aprendizagem significativa, radiações, sequência didática.

## **ABSTRACT**

We lived with the radiation from various sources, both natural and artificial, and indeed life on Earth exists only because of it being a key aspect of our daily lives. Although most students have heard about radiation, a significant number do not know the subject, basic items such as their benefits, and the difference between ionizing and non-ionizing radiation. The vision of the student is the one generated by the media, stating that the radiation is harmful. Thus, this study aims to address the topic in the classroom, through a didactic sequence for students of vocational education in meaningful learning theory perspective of David Ausubel, so that takes the student out of the mediatic idea, common sense, and formulate scientific concepts. The work begins with a brief study of the meaningful learning and its key employees subsequently approach the teaching of physics of radiation - ionizing radiation immediately will relate the physics of radiation with the meaningful learning of Ausubel. Finally we present the teaching sequence presented to students of the Federal Institute of Amazonas - IFAM / Manaus Campus Center, and present the results.

Keywords: meaningful learning, radiation, didactic sequence.

## Sumário

|  |     |
|--|-----|
| INTRODUÇÃO .....   | 01  |
| CAPÍTULO 1 - Aprendizagem significativa e a construção do conhecimento               | 03  |
| CAPÍTULO 2 – Breve estudo da física das radiações .....                              | 08  |
| 2.1 Processo de construção do tema: radiações .....                                  | 08  |
| 2.1.1. Wilhelm Conrad Röntgen até Rolf Maximilian Sievert.....                       | 09  |
| 2.2. Conceito de radiação e radiação ionizante .....                                 | 14  |
| 2.3. Grandezas e unidade de medidas de radiação.....                                 | 16  |
| 2.4. Medidas de proteção radiológica .....   | 18  |
| 2.5. Benefícios da radiação ionizante .....  | 19  |
| 2.5.1. Radiação na medicina .....  | 19  |
| 2.5.2. Radiação na indústria.....  | 21  |
| 2.5.3. Radiação na agropecuária.....   | 22  |
| CAPÍTULO 3 - Física das radiações apoiada na aprendizagem significativa.             | 24  |
| CAPÍTULO 4 - Metodologia e itinerário da pesquisa.....                               | 26  |
| 4.1 A pesquisa qualitativa.....  | 27  |
| 4.2 Procedimentos da pesquisa .....  | 27  |
| 4.3 Técnica de pesquisa.....   | 29  |
| 4.3.1. Observação livre/participante.....  | 29  |
| 4.3.2. Observação direta extensiva.....  | 29  |
| 4.3.3. Entrevista livre.....   | 30  |
| 4.3.4. Análise de dados.....   | 30  |
| 4.4. Problema.....   | 31  |
| 4.5. Questão da pesquisa .....   | 31  |
| 4.6. Objetivos: geral e específicos .....  | 32  |
| CAPÍTULO 5 - Sobre o produto educacional.....  | 33  |
| 5.1 Descrição do produto.....  | 33  |
| 5.2 Roteiro de aplicação .....   | 45  |
| CAPÍTULO 6 - Implementação e análise da pesquisa .....                               | 46  |
| 6.1 Aulas 01, 02 e 03 – Primeira etapa.....  | 46  |
| 6.2 Aulas 04, 05 e 06 – Segunda etapa.....   | 56  |
| 6.3 Aulas 07, 08 e 09 – Etapa final.....   | 62  |
| CAPÍTULO 7 - Considerações finais .....  | 72  |
| Referências .....  | 74  |
| Apêndice A - Questionário 1.....   | 78  |
| Apêndice B - Questionário 2.....   | 79  |
| Apêndice C - Exercícios - aula 06 .....  | 80  |
| Apêndice D - Avaliação final - aula 09.....  | 81  |
| Apêndice E - Apresentação dos slides da aula 02 .....                                | 84  |
| Apêndice F - Apresentação dos slides da aula 04 e 05 .....                           | 91  |
| Apêndice G - Apresentação dos slides da aula 07 e 08.....                            | 105 |
| Anexo A - Artigo “O que é irradiação? O que é contaminação? Vamos esclarecer?” ..... | 128 |
| Anexo B - Alimentos irradiados na Europa.....  | 132 |

## LISTA 01 – Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 01:</b> A aprendizagem significativa na visão cognitiva clássica de Ausubel (1963, 1968, 2000,2003) <i>apud</i> Moreira (2006)..... | 04 |
| <b>Figura 02:</b> A aprendizagem significativa na visão humanista de Joseph Novak. ....   | 06 |
| <b>Figura 03</b> – Wilhelm Conrad Röntgen e uma de suas chapas fotográficas reveladas.....  | 10 |
| <b>Figura 04</b> – Pierre e Marie Curie .....   | 11 |
| <b>Figura 05</b> – Poder de penetração de partículas e radiações .....  | 12 |
| <b>Figura 06</b> – Espectro eletromagnético.....  | 15 |
| <b>Figura 07</b> – Radiologia - diagnóstico por imagens.....  | 20 |
| <b>Figura 08</b> – Materiais esterilizados por radiação .....   | 22 |
| <b>Figura 09</b> – Alimentos irradiados para eliminar cargas bacterianas sensíveis a radiação.....  | 23 |
| <b>Figura 10</b> – Slide de apresentação para a aula 01.....  | 47 |
| <b>Figura 11</b> – Alunos que participaram da aula 01. ....   | 48 |
| <b>Figura 12</b> – Aluno 01 foi ao quadro para escrever a equação do decaimento da radiação com a distância.....                              | 58 |
| <b>Figura 13</b> – Aplicação do exercício de fixação da aula 06.....  | 60 |
| <b>Figura 14</b> – Aplicação da avaliação final da sequência didática.....  | 66 |

## LISTA 02 – Quadros

|   |    |
|---|----|
| <b>Quadro 01</b> – Princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica ..... | 07 |
| <b>Quadro 02</b> – Grandezas e unidades de medidas de física da radiação .....              | 17 |
| <b>Quadro 03</b> – Roteiro de atividades da sequência didática.....                         | 45 |

## LISTA 03 – Gráficos

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico 01</b> – Resultado quantitativo da questão 01 da avaliação final ..... | 67 |
| <b>Gráfico 02</b> – Resultado quantitativo da questão 02 da avaliação final ..... | 68 |
| <b>Gráfico 03</b> – Resultado quantitativo da questão 03 da avaliação final ..... | 68 |
| <b>Gráfico 04</b> – Resultado quantitativo da questão 04 da avaliação final ..... | 69 |
| <b>Gráfico 05</b> – Resultado quantitativo da questão 05 da avaliação final ..... | 70 |

## LISTA 04 – Abreviações

**ENEM** – Exame Nacional de Ensino Médio

**ICRP** - *Internacional Commission on Radiological Protection*

**ICRU** - *Internacional Commission on Radiological Units and Measurements*

**IFAM** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

**IRPA** - *International Radiation Protection Association*

**PCN** - Parâmetros Curriculares Nacionais

**RX** – Raio-X

**S.I.** – Sistema Internacional de Unidades

**UEL-PR** – Universidade Estadual de Londrina – Paraná

**UFPEL-RS** – Universidade Federal de Pelotas – Rio Grande do Sul

**UNIFESP-SP** – Universidade Federal de São Paulo – São Paulo

## INTRODUÇÃO

O tema escolhido para esse trabalho é importante para o entendimento de um dos principais fenômenos naturais, que, no entanto é mal interpretado pelos alunos. A escola<sup>1</sup> por sua vez negligencia o tratamento desse tema em sala de aula, de forma que o aluno não se aproxima, ou mesmo não tem contato com o tema, conforme afirma [Rego 2004]:

Apesar de não ser fácil dar uma definição universal do termo "radiação" [...] a informação e formação qualificada estão ausentes da escola. Contrariando a sua importância e impacto na vida moderna (basta, por exemplo, pensar na recente revolução das comunicações, que se serve de potentes transmissores de ondas electromagnéticas), o conhecimento geral que a população tem sobre o assunto é muitas vezes limitado à visão transmitida pelos *media*. (grifo do autor)

Mas essa falta de contato dos alunos com tema pode ser explicada pela sua “ausência nos currículos escolares, ou a sua diminuição perante outros temas abordados”, como afirma [Rego 2004]. Esse empecilho não deveria existir, pois o tema está presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN (2002), segundo [Brasil 2002]:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria [...] o estudo da **matéria e radiação** indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico. (grifo do autor)

O ensino de física das radiações, e como um todo, está de certa forma engessado, carente de novas abordagens, necessitando um despertar dos alunos nessa área, sendo assim, o professor deve se reinventar para atrair seu público, como afirma [Campos 2009]:

O mundo está em constante mudança e a educação também merece algo inovador diante das inúmeras dificuldades encontradas no processo ensino-aprendizagem nas escolas. As novas tecnologias, a prática educativa, o perfil do aluno, o

---

<sup>1</sup> A referência escola é para todos que atuam diretamente no ensino como professores, pedagogos e gestores.

contexto atual em que ele vive, tudo isso são fatores a serem observados e questionados para que haja dispositivos de novas possibilidades de trabalho. Para que isso aconteça é fundamental que os professores estejam abertos às mudanças contínuas e em busca de novas atitudes.

Dessa forma, o objetivo desta dissertação é mudar esse paradigma, onde busca-se relacionar a aprendizagem significativa, de David Ausubel, com o ensino da física das radiações, configurando assim uma tentativa de modificar essa realidade ora apresentada. O trabalho mostra como levar o aluno a sair da ideia midiaticizada, senso comum, e encontrar o conhecimento científico, embasado na perspectiva de teoria da aprendizagem significativa.

Este trabalho está organizado como segue: no capítulo 1 apresentam-se os fundamentos da aprendizagem significativa e seus principais colaboradores. No capítulo 2 aborda-se um breve estudo de física das radiações, discutindo os benefícios e perigo sobre radiação ionizante. No capítulo 3 relaciona-se à física das radiações com a aprendizagem significativa de Ausubel. No capítulo 4 discute-se a sequência didática aplicada aos alunos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM/ Campus Manaus Centro. No capítulo 5 apresenta-se o produto educacional, e finalmente no capítulo 6 as considerações e perspectivas futuras serão discutidas.

## Capítulo 1

### Aprendizagem significativa e a construção do conhecimento

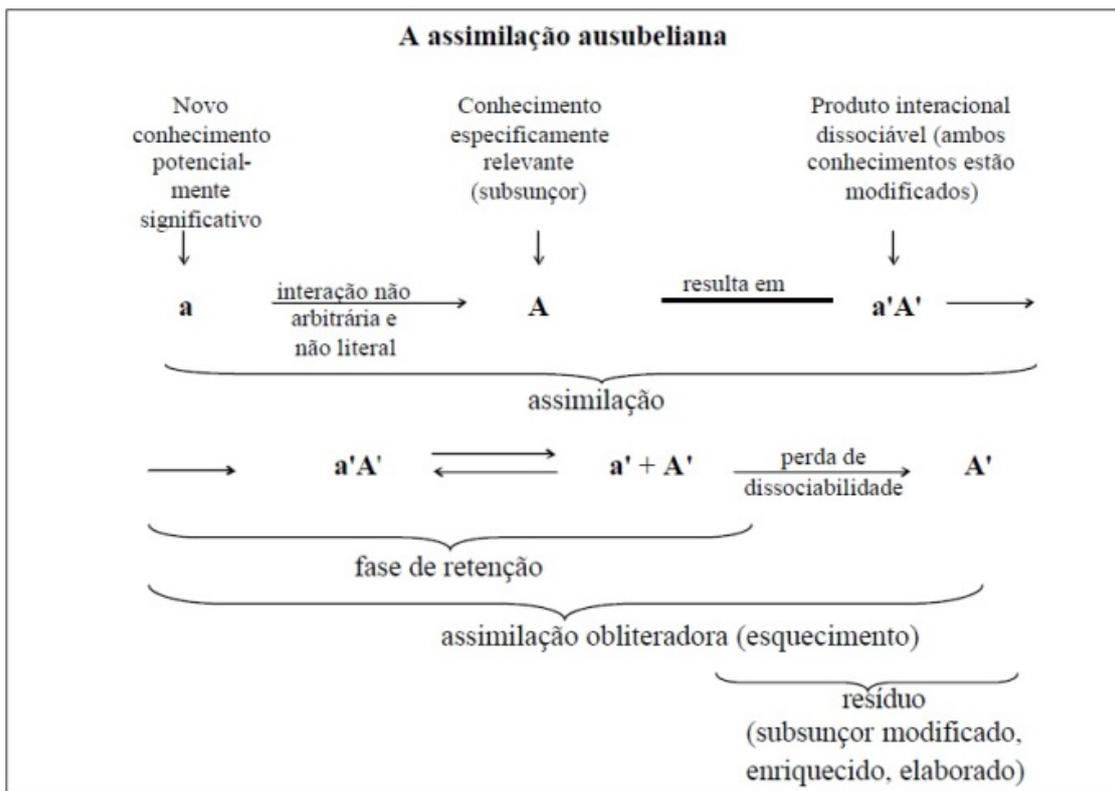
Neste capítulo buscam-se elencar as principais contribuições de vários autores para aprendizagem significativa, construção que ocorreu durante essas quatro décadas de sua existência, e que foi proposta inicialmente por David Ausubel. Há outros autores que contribuíram para essa teoria, porém aqui serão trabalhados apenas David Ausubel, Joseph Novak e Marcos Antonio Moreira.

A teoria da aprendizagem significativa tem como criador David Ausubel em 1963, e reiterada em 2003, conforme [Moreira 2006]. [Ausubel 2003] assim a define:

É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimento. (grifos do autor)

[Moreira 2011] afirma que “a visão cognitiva clássica de Ausubel tem como núcleo firme a interação cognitiva não-arbitrária e não-literal, entre o novo conhecimento e algum conhecimento prévio (subsunçores)”. De forma que [Ausubel 2003] define interação não-arbitrária como “plausível, sensível e não aleatória”, enquanto que sua definição para não-literal é “que possui significado lógico”. Dessa forma, pode-se então determinar que a aprendizagem significativa proposta por [Ausubel 2003] “é dado por uma interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz, processando assim significados verdadeiros ou psicológicos”.

Um quadro esquemático da aprendizagem significativa é mostrado por Ausubel *apud* [Moreira 2006]:



**Figura 01:** A aprendizagem significativa na visão cognitiva clássica de Ausubel (1963, 1968, 2000,2003) *apud* [Moreira 2006].<sup>2</sup>

No esquema da figura 01 corresponde a aprendizagem significativa subordinada, [Moreira 2011], subordinante ou combinatória, [Ausubel 2003]. Onde [Ausubel 2003] mostra do que se trata esse tipo de aprendizagem:

A aprendizagem proposicional subordinante ocorre quando uma nova proposição se pode relacionar ou com ideias subordinadas específicas da estrutura cognitiva existente, ou um vasto conjunto de ideias antecedentes geralmente relevantes da estrutura cognitiva, que se podem subsumir de igual modo.

Esses elementos acima analisados tinham como plano, apenas o papel do professor e aluno, de forma que o contexto escolar, assim como os sentimentos do aluno não integravam na teoria, faltando um carácter mais humano. De acordo com [Moreira 2006] Joseph Novak foi o colaborador de Ausubel que dá uma conotação humanista a aprendizagem significativa:

<sup>2</sup> Quadro reproduzido de MOREIRA, M.A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. V Encontro Internacional sobre Aprendizagem significativa. Madrid, Espanha: 2006.

Joseph Novak, colaborador e coautor da segunda edição da obra básica sobre aprendizagem significativa, dá à aprendizagem significativa uma conotação humanista, propondo que ela subjaz à integração construtiva, positiva, entre pensamentos, sentimentos e ações que conduz ao engrandecimento humano.

Para [Novak 1984] essa inclusão se faz necessária para o aluno não se sentir coagido, nem “incapaz de aprender” perante seus fracassos, onde ele demonstra quatro itens importantes, a ser considerado, para uma aprendizagem significativa:

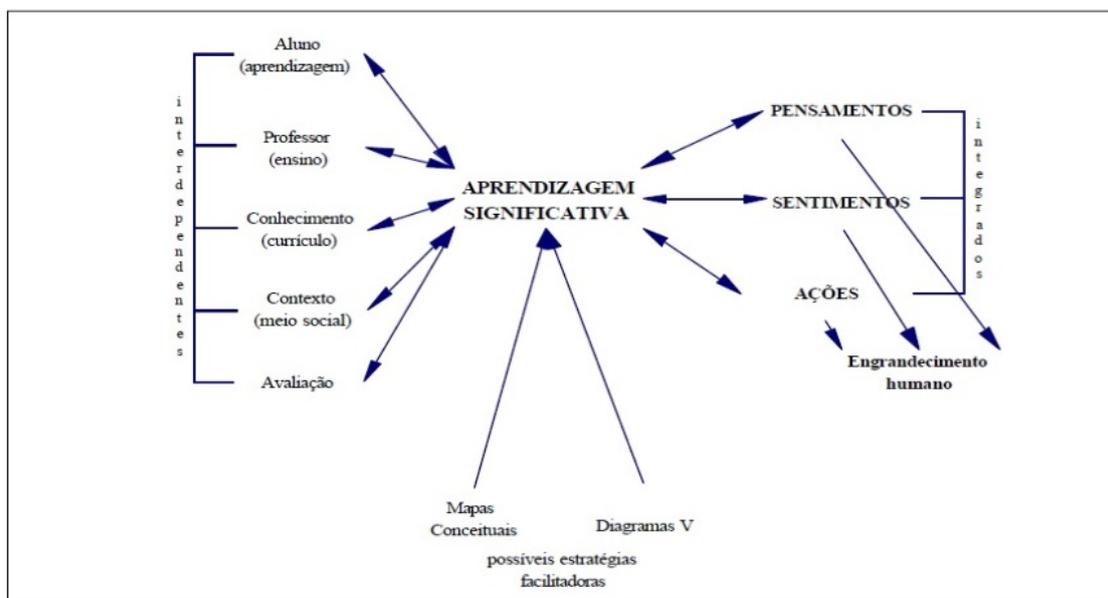
Fomos levados a reconhecer que não podemos abordar de uma maneira compreensiva as questões sobre a aprendizagem a menos que tenhamos em conta, simultaneamente, os outros três lugares-comuns envolvidos na educação: os professores e a sua maneira de ensinar, a estrutura dos conhecimentos que dão forma ao currículo e o modo como este se produz, e o contexto social ou governança do sistema educativo.

Então na óptica de Novak aparecem os chamados lugares comuns da educação: “aprendizagem, ensino, currículo, meio social e avaliação, que também estariam integrados na aprendizagem significativa”, segundo [Moreira 2006].

Ainda segundo [Moreira 2011], a representação de mapas conceituais teve início com Novak. [Novak 1984] define mapa conceitual como: “[...] um recurso esquemático para representar um conjunto de significados conceituais incluídos numa estrutura de proposições”. Na figura 02, [Moreira 2006] resume as contribuições de Novak.

Segundo [Moreira 2011], a primeira vez que ouviu falar de aprendizagem significativa foi em 1972, em um seminário ministrado pelo professor Joseph Novak no departamento de física de Cornell. Onde alguns anos mais tarde na mesma universidade, sob a orientação de Novak, defendeu sua tese de doutorado sobre aprendizagem significativa de conteúdos de física.

[Moreira 2000] define aprendizagem significativa crítica como: “aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e ao mesmo tempo, estar fora dela”. Ou seja, não basta o aluno adquirir conhecimentos de forma significativa, mas também ser crítico quando a validade desse conhecimento. Seguindo em seu texto, [Moreira 2000] esclarece:



**Figura 02:** A aprendizagem significativa na visão humanista de Joseph Novak.<sup>3</sup>

Trata-se de uma perspectiva antropológica em relação às atividades de seu grupo social que permite ao indivíduo participar de tais atividades mas, ao mesmo tempo, reconhecer quando a realidade está se afastando tanto que não está mais sendo captada pelo grupo. [...] É através da aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não serem subjugados por ela, por seus ritos, mitos e ideologias.

De acordo com [Moreira 2006] “o mais importante é aprender a perguntar do que aprender as repostas certas”. Dessa forma, [Moreira 2011] define assim alguns princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica, como mostra o quadro 01.

Esse quadro resume as contribuições de Moreira e suas preocupações com a aprendizagem significativa. Fica claro então, não basta ter uma aprendizagem significativa, mas que o aluno deve ser crítico ao conhecimento adquirido, verificando sua validade para seu cotidiano. É nessa perspectiva que irá trabalhar-se a sequência didática proposta por este trabalho.

<sup>3</sup> Figura reproduzida de MOREIRA, M.A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. V Encontro Internacional sobre Aprendizagem significativa. Madrid, Espanha: 2006.

- **Conhecimento prévio:** (aprendemos a partir do que já sabemos)
- **Perguntas ao invés de repostas** (estimular o questionamento ao invés de dar repostas prontas)
- **Diversidade de materiais** (abandono do manual único)
- **Aprendizagem pelo erro** (é normal errar; aprende-se corrigindo erros)
- **Aluno como preceptor representador** (o aluno representa tudo o que percebe)
- **Consciência semântica** (o significado está nas pessoas, não nas palavras)
- **Incerteza do conhecimento** (o conhecimento humano é incerto, evolutivo)
- **Desaprendizagem** (às vezes, o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico)
- **Conhecimento como linguagem** (tudo o que chamamos conhecimento é linguagem)
- **Diversidade de estratégias** (abandono do quadro de giz)
- **Abandono da narrativa** (simplesmente narrar não estimula a compreensão).

**Quadro 01** – Princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Quadro reproduzido de MOREIRA, M.A. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

## Capítulo 2

### Breve estudo da física das radiações

Neste capítulo, trata-se sobre um resumo do tema radiação, do qual os alunos terão ciência, partindo da história, e chegando às aplicações atuais.

Convive-se com a radiação, de origem eletromagnética proveniente de várias fontes, ou de origem corpuscular. E de fato a vida na Terra só existe por causa dela, sendo um aspecto primordial do nosso cotidiano. Assim é a radiação ionizante, que faz parte dessas variedades de outras radiações.

Historicamente faz pouco tempo que a conhecemos, como relata [Moreira, J. 2011]:

A radiação ionizante está presente desde que a terra foi criada. Antes da década de 1890, existiam apenas fontes naturais de radiação, tais como a radiação de origem cósmica, e material radioativo proveniente do corpo, rochas, solo e ar. Grande parte da exposição à radiação deu-se sob a forma de radiação cósmica ou terrestre de baixo nível. Como a radiação não pode ser observada através de qualquer um dos cinco sentidos, os humanos não tinham conhecimento da sua existência.

Sendo assim, este capítulo é um conciso estudo sobre a radiação, em específico a ionizante, para dar suporte ao conteúdo que será abordado na sequência didática. Este capítulo é exatamente as partes que se utiliza na abordagem em sala de aula com mais ênfase no tema.

Neste primeiro item trabalha-se o contexto histórico, desde a descoberta do raio-X até a construção de dosagem máxima que o ser humano pode absorver, onde uma nova área na ciência foi criada, a radiobiologia. Nos itens seguintes conceitua-se radiação, e entre elas a ionizante. Dá-se então prosseguimento à construção do tema, apresentando o entendimento que se tem como científico.

#### 2.1. Processo de construção do tema: radiações

Faz-se importante entender o processo histórico de formação do tema, para demonstrar aos alunos e interessados que pessoas comuns, porém estudiosas, formaram os conceitos que tem-se como verdadeiros

cientificamente falando, onde cada cientista contribuiu de forma parcelada, e ao final um conjunto de informações é aglomerado para entendimento do fenômeno físico, buscando quantificá-lo e construindo as suas aplicações tecnológicas, ou no cotidiano.

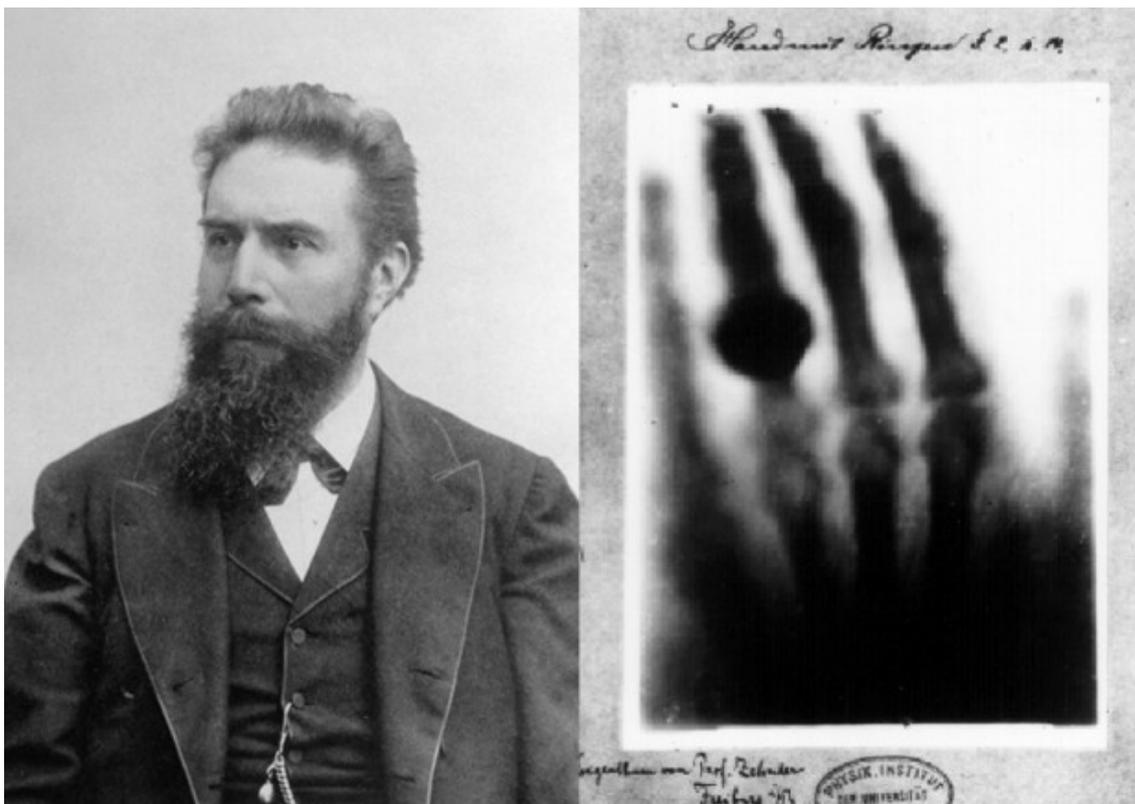
No subitem abaixo discorre-se um pouco sobre os principais cientistas que contribuíram para esse tema, doando muita vezes sua vida em nome da ciência.

### *2.1.1. Wilhelm Conrad Röntgen até Rolf Maximilian Sievert*

A história do entendimento científico da radiação na humanidade começa em 1895, com a descoberta de algo novo por Wilhelm Conrad Röntgen (figura 03), com 50 anos, professor de física na Alemanha. [Xavier 2007, pg. 83] relata o ocorrido no começo do inverno desse ano:

Na noite de 8 de novembro de 1895, o físico alemão Wilhelm C. Röntgen trabalhava em uma sala totalmente escura, utilizando uma válvula com a qual estudava a condutividade dos gases. A certa distância da válvula, havia uma folha de papel tratada com platinocianeto de bário usada como tela. Röntgen viu com espanto a tela brilhar, emitindo luz. Achou que esta luz não poderia ser proveniente da válvula, pois a mesma estava coberta por uma cartolina negra e nada (luz ou raio catódico) poderia ter vindo dela. Surpreso, fez várias investigações. Virou a tela, expondo o lado sem o revestimento de platinocianeto de bário, e esta continuava a brilhar. Colocou diversos objetos entre a válvula e a tela e viu que todos pareciam transparentes, mas não demorou a ter uma surpresa maior, quando sua mão escorregou em frente à válvula e a tela e viu seus ossos na tela [...] um relatório preliminar de sua descoberta [...]: objetos tornavam-se transparentes diante de novos raios que, por serem desconhecidos, chamou de raio-X.

Essa descoberta do raio-X, produzida em tubo de raios catódicos, não demoram pra ser mais estudada e novos cientistas começaram a contribuir significativamente para a evolução deste “novo fenômeno”. A segunda contribuição importante nessa área ocorreu quando Antoine Henri Becquerel, com 44 anos, entrou em comunicação com a Academia de Ciências de Paris para apresentar suas descobertas. [Okuno 2007] relata:



**Figura 03** – Wilhelm Conrad Röntgen e uma de suas chapas fotográficas reveladas<sup>5</sup>.

O segundo evento importante nessa área foi a comunicação feita à Academia de Ciências de Paris, em fevereiro de 1896, por Antoine Henri Becquerel, professor de Física da Escola Politécnica de Paris, então com 44 anos. Nessa época, ele havia retomado as pesquisas realizadas por seu pai com substâncias fosforescentes que absorviam luz para depois reemitirem. Becquerel colocou uma certa quantidade de sulfato de urânio e potássio, um sal de urânio, sobre uma placa fotográfica, embrulhada em papel preto, expondo o conjunto à luz solar durante vários dias. Quando o filme foi revelado, a posição do mineral ficou claramente marcada com manchas escuras.[...] Ele continuou suas pesquisas, até que um dia o céu ficou nublado e não conseguiu repetir a experiência. Becquerel então guardou o sal de urânio sobre o filme fotográfico em uma gaveta, na ausência da luz. Mais tarde ao revelar a chapa, ele teve uma grande surpresa. Esperava, no máximo, umas manchas pouco escuras devido à luz difusa e ao pouco tempo de iluminação. No entanto, as manchas estavam muito mais escuras do que o conjunto quando exposto ao sol.

Dessa forma, Becquerel inventou o processo de registro da radiação, que hoje é bastante utilizado, e conhecemos como radiografia. Ele continuou seus estudos e encontrou similaridade entre as emanações do sal de urânio com o raio-X.

<sup>5</sup> Figura retirada da internet disponível no link: <http://papodehomem.com.br/quando-o-erro-vira-acerto/>.



**Figura 04** – Pierre e Marie Currie.<sup>6</sup>

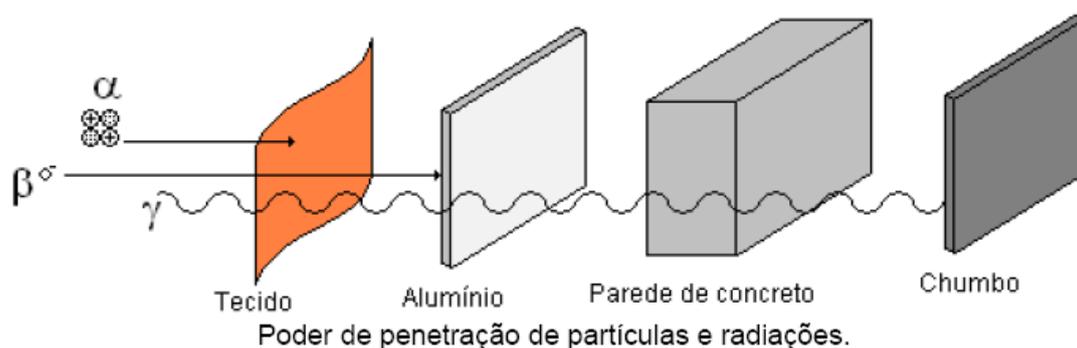
Os avanços nessa área eram notáveis, no entanto como era um conhecimento novo, ainda não se tinha um total entendimento do fenômeno. Novos nomes foram surgindo com suas contribuições, como é o caso do casal Pierre Curie e Marie Curie que tinham como tese de estudo, em 1897, os então “raios de Becquerel”. Marie suspeitava que pudessem ter outros elementos com a mesma propriedade do urânio, como afirma [Okuno 2007]:

[...] ela passou a procurar outros materiais que emitissem os “raios de Becquerel”. De fato logo a seguir, ela descobriu que o tório também emitia espontaneamente raios semelhantes aos do urânio e com intensidade análoga, comprovando sua teoria. Propôs o uso do termo radioatividade, significando ativado por uma radiação penetrante que preenche todo o espaço, para emissão da “radiância” pelos corpos como urânio e o tório, que foram chamados de “radioelementos”.

---

<sup>6</sup> Figura retirada da internet disponível no link: [https://en.wikipedia.org/wiki/Marie\\_Curie](https://en.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie).

Em seguida, seu marido Pierre entrou na pesquisa e os dois encontraram ainda no mesmo ano outros elementos com as mesmas características do urânio, como o polônio, 400 vezes mais radioativo, que recebeu esse nome em virtude do país de origem do Marie, a Polônia, e mais tarde, no mesmo ano anunciaram a existência de outro elemento radioativo que puseram o nome de rádio, como afirma [Okuno 2007].



**Figura 05** – Poder de penetração de partículas e radiações.<sup>7</sup>

Ainda em 1898, outros cientistas começaram a identificar algumas características que diferenciavam as emanções da radiação, o primeiro a perceber isso foi Ernest Rutheford, como relata [Okuno 2007]:

[...] a emanção proveniente de substâncias radioativas era complexa, sendo constituída por pelo menos dois tipos de radiação: um deles facilmente absorvido, e o outro um pouco mais penetrante, sendo ambos desviados por campos magnéticos, só que em direções opostas. Por conveniência, tais radiações foram chamadas, respectivamente, radiação alfa e radiação beta.

Já não se usa a terminologia radiação alfa e beta, agora são chamadas de partículas alfa e beta. Assim como a terminologia, os estudos nessa área prosseguiram e, um ano mais tarde, 1899, “Paul Villard identificou um terceiro tipo de radiação, que recebeu o nome de radiação gama. Essa radiação ao contrário dos dois primeiros tipos, não sofria deflexão em campos magnéticos”, como descreve [Okuno 2007].

Nos anos seguintes várias outras contribuições foram surgindo, como a de Victor Francis Hess, 1912, que descobriu os raios cósmicos (radiação

<sup>7</sup> Figura retirada da internet disponível no link: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe3dgAG/resenha-sobre-nucleo-atomico>.

ionizante) e o que influencia em sua intensidade, como a densidade da atmosfera, afirma [Moreira, J. 2011].

Durante esse período começou então o uso desenfreado de radiação ionizante em radiografias, ou mesmo para tratamento de pele, como afirma [Okuno 2010], sem a preocupação com as consequências que até então eram desconhecidas. Tubos de raio-X eram fabricados em garagens, sem nenhum controle. No entanto, decorreram 30 anos desde a descoberta do raio-X, até a tomada da decisão de se criar uma comissão que regulasse o uso de radiação ionizante, pois foram quando se tornaram evidentes os efeitos biológicos desses instrumentos.

Sendo assim, novos nomes foram surgindo, agora com a preocupação de estudar os efeitos da radiação na humanidade, nascendo uma nova área.

Vários cientistas contribuíram, e ainda contribuem para esse estudo, mas aqui vamos pautar apenas dois. [Okuno 2010] fala que Louis Harold Gray, era físico e radiologista inglês, cujo sobrenome foi dado a unidade de dose absorvida, Gray (Gy), em sua homenagem. Trabalhou principalmente com investigações dos efeitos da radiação em sistemas biológicos, originando o campo da radiobiologia. Foi membro efetivo do ICRU (*Internacional Commission on Radiological Units and Measurements*), que aborda-se mais profundamente no item medidas de radiação.

Outro nome importante nesta área foi Rolf Maximilian Sievert, onde [Okuno 2010] comenta:

Físico-médico sueco, cujo sobrenome foi dado à unidade de dose equivalente, equivalente de dose e dose efetiva, sievert (Sv), em sua homenagem. Trabalhou em dosimetria da radiação, principalmente na radiologia diagnóstica e radioterapia. Fez contribuições importantes em pesquisa na área de efeitos biológicos das radiações. Foi um dos fundadores da International Radiation Protection Association (IRPA).

Dessa forma, pode-se observar que o tema foi construído paulatinamente, e muito do que se conhece hoje, foram contribuições desses cientistas, que por não compreenderem as consequências da radiação ionizante, acabaram sendo vítimas de seus efeitos, vindo a ter comprometimento de sua saúde, e até levando-os a morte. No entanto, hoje

pode-se considerar que o uso desse fenômeno é algo bastante seguro como será visto nos próximos itens.

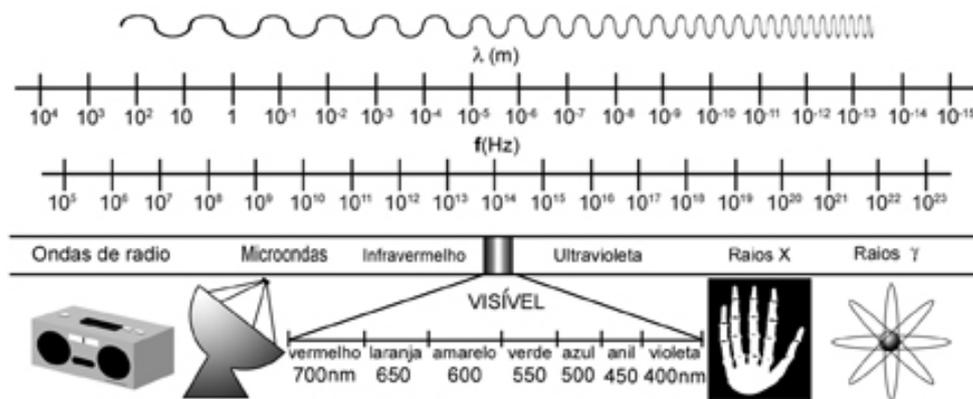
## 2.2 Conceito de radiação e radiação ionizante

“A radiação é a propagação de energia sob várias formas”, assim é definida radiação segundo [Okuno 1982]. Divide-se basicamente em dois tipos: corpuscular, ou seja, quando tem massa, carga elétrica, e podem sofrer desvios por campos magnéticos, [Okuno 2007], ou ainda sob forma de ondas eletromagnéticas, que são constituídas com campo elétrico e campo magnético oscilante, e que propagam a velocidade da luz  $c$  no vácuo.

A radiação corpuscular pode ser qualquer feixe de partículas elementares, porém aqui pontua-se apenas duas: radiação alfa e radiação beta, que [Okuno 1982] chama de partículas alfa e beta. Segundo ela, a partícula alfa é formada por um conjunto de dois prótons e dois nêutrons, comparado ao núcleo de hélio que tem a mesma composição. Logo a partícula tem carga positiva e um alto poder de ionização, visto sua carga elétrica. Por isso seu poder de penetração é curto, como afirma [Halliday 2009]. Já a radiação beta trata-se de um elétron livre, que alcança uma velocidade maior no decaimento também chamado beta. Sendo assim, tem mais energia cinética que a partícula alfa, fazendo com que penetre mais em superfícies, ou no corpo humano.

Já a radiação eletromagnética não tem massa, nem carga elétrica, não sofrem desvios por campos magnéticos, e possuem um alto poder de penetração. Micro-ondas, ondas de rádio, ondas luminosas (luz), raios infravermelhos, raios ultravioletas, raio-X, e raios gamas são exemplos de radiação eletromagnética. No entanto desse amplo espectro eletromagnético as radiações consideradas ionizantes são os raio-X e radiação gama, pois possuem energia suficiente para ionizar a matéria, ou seja, tem energia maior que a energia de ligação do elétron em um átomo, de forma que os removem, resultando em elétrons livres e íons positivos, como afirma [Heneine 2006].

Sob o ponto de vista dos sentidos humanos, a radiação ionizante é: invisível, inodora, inaudível, insípida e indolor, como afirma [Moreira, J. 2011].



**Figura 06** – Espectro eletromagnético<sup>8</sup>.

Para fechar este item esclarece-se uma diferença sutil de radiação ionizante, a questão da diferença entre contaminação e irradiação. Todos que são expostos à radiação ionizante, quando de origem eletromagnética, não se tornam contaminados (quando se faz a referência contaminados, quer se dizer radioativos), pois a radiação o atravessa não sendo armazenado no corpo, no entanto, dependendo de sua intensidade ocorrerá outros efeitos, como mutação celular. [Okuno 2007] relata:

Tanto o raio-X quanto os raios gama a que mais comumente podemos está expostos, não tornam radioativos os materiais ou seres humanos irradiados. Entretanto, se uma pessoa ingerir, inalar ou sofre contaminação com radionuclídeos, ai sim essa pessoa fica radioativa, ou melhor, ela própria se torna uma fonte radioativa. Todas as pessoas contaminadas são também irradiadas, uma vez que estão com átomos radioativos dentro ou fora do corpo. Porém nem todas as pessoas irradiadas são contaminadas, ou seja, elas podem não esta contaminadas mas podem esta sujeita à radiação emitida por átomos radioativos de uma pessoa ou de um local contaminado, dependendo da proximidade.

[Rodrigues Júnior 2007, pg. 41] confirma a ideia afirmando que “a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos, ou portadores de radiação”. Sendo assim, com esses conceitos em mente, pode-se dar prosseguimento ao conteúdo, de forma que eles irão dar base para o entendimento dos próximos itens deste trabalho.

<sup>8</sup> Figura retirada da internet disponível no link: [http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=060104](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=060104).

## 2.3 Grandezas e unidades de medidas de radiação

A partir do momento em que se descobriu que a radiação ionizante causava efeitos biológicos nos seres humanos, houve então necessidade de criar grandezas e unidades de medidas para mensurar a radiação e encontrar valores seguros que se pode estar exposto.

O primeiro passo foi a criação da ICRU (*Internacional Commission on Radiological Units and Measurements*). O objetivo dessa comissão era criar formas de medir a radiação, como descreve [Okuno 2010]:

Como o próprio nome diz ela tinha por finalidade estabelecer grandezas e unidades de medidas de física das radiações, critério de medidas e divulgação. Isso possibilitaria a comparação entre medidas feitas em diferentes laboratórios, clínicas médicas e institutos de pesquisa, usando os mais variados equipamentos etc.

Há uma variedade de grandezas físicas das radiações, e dentre elas há outras subdivisões, no entanto para este trabalho foi abordado apenas quatro grandezas e suas respectivas unidades, pois foram as que considerou-se mais importantes para o estudo e que será apresentado a partir de agora.

[Okuno 2007] relata que a primeira grandeza a ser criada, em 1928, foi a de exposição, que consiste em medir a produção de ionização no ar por unidade de massa. A unidade de medida usual chamava-se Röntgen(R), entretanto com a criação do sistema internacional de unidades passou a ser adotado o Coulumb por quilograma(C/kg), onde a equivalência entre essas duas medidas encontramos no quadro 02.

Ainda de acordo com [Okuno 2007], essa unidade nada correspondia com a tentativa de medir quantidade de radiação absorvida por quantidade massa, seja ela em um objeto, ou um ser vivo. Assim, em 1950, criou-se a grandeza dose absorvida, que é a energia média cedida pela radiação ionizante à matéria por unidade de massa. A primeira unidade de medida a ser utilizada foi a *radiation absorbed dose* (rad), entretanto em recomendação do sistema internacional passou a ser usado o Joule por quilograma (J/kg), e em homenagem a Louis Harold Gray, 1 J/kg passou a ser adotado como 1 Gy. A equivalência entre o Gy e rad está no quadro 02.

Outra grandeza física de radiação é a dose equivalente, pois de acordo com [Okuno 2007] “para uma mesma dose absorvida, o efeito biológico pode ser diferente, podendo ser maior ou menor, dependendo do tipo de radiação”. De fato a dose equivalente é obtida a partir da dose absorvida multiplicada por um fator de ponderação (adimensional), que é obtido através do tipo de radiação como afirma [Okuno 2010]. Ainda segundo ela, os valores para os fatores de ponderação são específicos para cada tipo de partícula, assim como níveis de energia. Esses valores foram criados pela ICRP (*Internacional Commission on Radiological Protection*) em 1990, e ajustados em 2007. A unidade de medida original de dose equivalente era o Rem (*Röntgen equivalent man*), no entanto para todos os efeitos a unidade de dose absorvida e dose equivalente é Joule por quilograma (J/kg). Porém, em homenagem a Rolf Maximilian Sievert a unidade de dose equivalente passou a ser chamada de Sievert (Sv). A conversão entre Rem e Sv está no quadro 02.

| Grandezas        | Unidade no SI        | Unidade Original | Conversão                           |
|------------------|----------------------|------------------|-------------------------------------|
| Atividade        | Bq = s <sup>-1</sup> | Ci               | 1 Ci = 3,7x10 <sup>10</sup><br>Bq   |
| Exposição        | Gy(J/kg)             | rad              | 1 Gy = 100 rad                      |
| Dose Absorvida   | C/kg                 | R(RÖENTGEN)      | 1 R = 2,58x10 <sup>-4</sup><br>C/kg |
| Dose Equivalente | Sv                   | Rem              | 1 Sv = 100 Rem                      |

**Quadro 02** – Grandezas e unidades de medidas de física da radiação

E por fim, em se tratando de grandezas físicas de radiação, tem-se a atividade. Essa grandeza está relacionada com a fonte radioativa, medindo o número de emissões por unidade de tempo, como afirma [Heneine 2006]. Para ele a palavra “desintegração” é usada por razões históricas, porém o correto seria emissões, visto que nem toda emissão é acompanhada de desintegração do átomo. A unidade mais antiga de atividade é o Curie (Ci). Ela é

aproximadamente a quantidade de desintegrações de 1 grama de Rádio 226. Porém, para o sistema internacional de unidade, a unidade utilizada é Bequerel (Bq), onde a conversão entre essas unidades também está no quadro 02.

## **2.4. Medidas de proteção radiológica**

Tendo em vista os danos biológicos causados pela radiação ionizante em seres vivos, tornou-se necessário criar meios de proteção contra a radiação, como afirma [Okuno 1986]. Dessa forma é indispensável e obrigatória à população em geral, e aos que trabalham com a radiação, usem-na em condições padronizadas e eficiente proteção para usuários, como determina [Heneine 2006].

Ainda de acordo com [Heneine 2006], os efeitos da radiação estão relacionados à dose única ou cumulativa, sendo assim, a proteção visa que o usuário não ultrapasse os limites máximos permissíveis, de forma a restringir os efeitos somáticos nos indivíduos expostos. [Okuno 2007] determina que o tal limite de dose equivalente para uma aplicação uniforme no corpo não deve passar de 50 mSv para trabalhadores na área de radiologia, e 5 mSv para a população em geral. No entanto, para tratamentos de radioterapia, as doses podem ser maiores, pois são em áreas localizadas e cada órgão do corpo humano tem sensibilidades diferentes para a radiação.

Sendo assim, [Heneine 2006] afirma que as medidas de proteção, com objetivo de evitar os limites permissíveis, podem ser agrupadas em três itens: distância da fonte, tempo de exposição e blindagem.

[Rodrigues Júnior 2007, pg 40] afirma que a radiação respeita a lei do inverso do quadrado da distância, ou seja, ao se distanciar da fonte radioativa a irradiação diminui com o quadrado da distância. É lógico que se for o caso de contaminação, não adiantará se afastar da fonte, pois o indivíduo contaminado carrega material radioativo. Nesse caso [Heneine 2006] afirma que existem alguns quimioterápicos que reduzem a quantidade de radiação, no entanto, eles são mais efetivos quando administrado antes da exposição à radiação. Mesmo assim não há garantia total de proteção contra radiações.

[Heneine 2006] afirma que o melhor a se fazer é estar blindado contra a radiação, onde a blindagem consiste:

[...] no uso de barreiras absorventes, geralmente de chumbo, entre as fontes de radiação e os sistemas biológicos. As barreiras são altamente eficientes para partículas  $\alpha$  e  $\beta$ . Mas para a radiação  $\gamma$  e os Rx, depende da espessura da barreira. Elas devem ser muito espessas, se as radiações forem altamente energéticas. São poucas eficientes para radiações cósmicas. Substâncias radioativas devem ser guardadas em depósitos especiais, de chumbo, chamado “castelos”.

No caso de falha na blindagem, como já ocorreram em usinas nucleares pelo mundo como em Chernobyl (1986), na Ucrânia, [Merçon 2004, pg 29], e o acidente de Fukushima, em 2011, como relata [Moreira, J. 2011], já se sabe que deve-se manter uma distância da fonte de radiação. No entanto, [Heneine 2006] alerta para outra importante medida a ser tomada, o tempo de exposição. A exposição à radiação deve ter um mínimo de tempo de duração, visto que as doses podem ser acumulativas com o tempo, assim minimizando os riscos.

Mesmo com todas essas medidas tomadas, os indivíduos ainda correm sérios riscos de sofrer os efeitos da radiação, visto a grande quantidade de energia que pode ser liberada por esse fenômeno, de forma que não há garantias de 100% de eficiência, por isso os controles de qualidade dessas medidas devem ser levados ao máximo.

## **2.5. Benefícios da radiação ionizante**

Apesar de toda preocupação com o poder da radiação ionizante, em virtude de seu alto poder energético, ainda é possível ter certo controle sobre a sua produção, assim como sua intensidade. Sendo assim, algo considerado por muitos como vilão, pode sim ajudar a humanidade contra batalhas em tratamentos de enfermidades, diagnósticos, detecção de vazamentos em equipamentos industriais ou aeronaves, e aplicações na agricultura evitando o uso de agrotóxicos, melhorando assim a qualidade dos produtos agrícolas.

Segue algumas aplicações:

### *2.5.1. Radiação na medicina*

O uso comumente conhecido de radiação ionizante é na área da saúde, principalmente a radiologia com diagnóstico de imagens, que consiste em emitir um feixe de raio-X, para obtenção de imagens do interior de um corpo em uma chapa fotográfica, como afirma [Okuno 2007]. Dessa forma, o médico examina a chapa e verifica se há descontinuidade das manchas cinza, indicando assim qualquer anomalia nos ossos, ou ainda, a análise de manchas mais escuras e mais claras nos tecidos, indicando tumores ou corpos estranhos.



**Figura 07** – Radiologia - diagnóstico por imagens<sup>9</sup>.

Outra forma de utilização da radiação é para tratamento de tumores, como afirma [Okuno 2007]:

A radioterapia utiliza a radiação para tratamento de tumores principalmente os malignos, e baseia-se na destruição de tumor pela absorção de energia da radiação. O princípio básico utilizado maximiza o dano no tumor e minimiza o dano em tecidos vizinhos normais, o que se consegue irradiando o tumor de várias direções. Quanto mais profundo o tumor, mais energética deve ser a radiação a ser utilizada.

---

<sup>9</sup> Figura retirada da internet disponível no link: <http://guiadoestudante.abril.com.br/blogs/pordentodasprofissoes/saiba-mais-sobre-a-carreira-de-radiologia/>.

Há outras formas de utilização da radiação no tratamento de doenças e diagnósticos, como, por exemplo, a ingestão de radioisótopos que podem ser marcadores, no caso de diagnóstico, ou para a medição de alguns órgãos que fixam esses elementos. No entanto, há nesse processo uma preocupação com o tratamento dado ao material radioativo ingerido, que deve ser confeccionado com elementos radioativos com meia-vida curta, ou seja, perdem seu poder energético em um tempo curto.

### *2.5.2. Radiação na indústria*

A radiação ionizante na indústria se dá basicamente de forma similar ao diagnóstico de tecidos e ossos, com o objetivo, porém, de verificar falhas em peças, desgastes de soldas, etc. No entanto, por se tratar muitas vezes de uma material mais denso, é necessário usar uma radiação com mais energia, [Shinohara 2002] afirma:

O uso das radiações ionizantes nas indústrias constitui-se num fator fundamental para o desenvolvimento do controle de qualidade em diversos processos industriais. Dentre as técnicas utilizadas, destaca-se o método de inspeção da integridade estrutural dos componentes, dispositivos e equipamentos através de ensaios não destrutivos utilizando fontes radioativas. Este método chama-se radiografia industrial com raios-gama, conhecido por gamagrafia, e é amplamente empregado nas siderúrgicas, na indústria do petróleo, nas indústrias aeronáuticas e companhias aéreas. As aplicações da gamagrafia são vitais no caso de inspeção de conjuntos/sistemas complexos, soldas e materiais de fundição, análise de desgaste de peças em decorrência do atrito, redução de espessura das paredes em função da corrosão e erosão, que normalmente não é possível de realizado com raios-X.

Dessa forma, percebemos que na indústria é possível o uso da radiação gama, em virtude de seu poder de penetração ser maior do que outras radiações. No entanto, há outras formas de utilizar a radiação na indústria, como, por exemplo, na indústria farmacêutica, com a esterilização de materiais cirúrgicos, geralmente descartáveis e sensíveis ao calor. [Moriya 2008, pg. 272] afirma:

A radiação é uma alternativa na esterilização de artigos termossensíveis (seringa de plástico, agulha hipodérmicas, luvas,



caso de cebolas e batatas), mas também pode ser utilizadas na eliminação de insetos dos grãos antes do armazenamento, ou ainda para preservar alimentos em geral (carnes, frango, leite, derivados de leite), inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos, como afirma [Santos 2003, pg 200]. Além desses benefícios apresentados também é possível retardar a maturação de frutas, fazendo com que durem mais tempo armazenados.

[Santos 2003, pg 201] ainda afirma que não são somente alimentos frescos ou crus que podem ser irradiados, alimentos congelados e já beneficiados podem receber o mesmo tratamento, para inibir a criação de microrganismos patogênicos, como o caso de *Salmonella*.

Sendo assim, observa-se a radiação ionizante presente de várias formas no dia a dia, e até em lugares inimagináveis com seus benefícios como na agropecuária. É neste ponto que se dará ênfase o trabalho.



**Figura 09** – Alimentos irradiados para eliminar cargas bacterianas sensíveis a radiação<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Figura retirada da internet disponível no link: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/radiacao3.htm>.

## Capítulo 3

### Física das radiações apoiada na aprendizagem significativa

A intenção neste trabalho em utilizar a aprendizagem significativa, não é por a prova cada viés de sua grandiosa contribuição para educação, mas apenas dar um direcionamento nesta pesquisa, pautado em alguns itens como as primícias da teoria, ou seja, esta pesquisa não é baseada na teoria da aprendizagem significativa, mas usou elementos que foram considerados importantes na aprendizagem efetiva dos discentes.

Sendo assim, pode-se considerar que o conteúdo elencado acima, não é de comum conhecimento dos alunos. O aluno traz nas suas experiências com o meio social algum conhecimento de tudo, e deve-se extrair esse conhecimento para uma abordagem diferenciada. Geralmente eles têm contato com a radiação, em específico a ionizante, porém não conseguem distingui-las. No entanto, é fato que algum valor sobre o tema eles detêm. É possível cogitar que algum momento de sua escalada estudantil ou mesmo em sua vida fora da escola, este já tenha ouvido falar sobre radiação. É este ponto que será usado como base desta pesquisa, pois a partir dele irá estabelecer a relação entre esse conhecimento, geralmente senso comum, com a teoria científica, para assim efetivar uma aprendizagem significativa. Pautando-se nisso, pode-se alcançar a aprendizagem significativa, ou dita significativa, como [Moreira 1988] explica:

Quando uma nova informação (conceito, ideia, proposição) adquire significados para o aprendiz através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente do indivíduo, em conceitos, ideias, proposições já existentes em sua estrutura de conhecimento (ou significados) com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação.

Sobre tudo, o mesmo autor revela que o “conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem” [Moreira 2000]. Ou seja, pode-se analisar que a disposição em aprender, com mais facilidade, parte daquilo que já se sabe, ou conhece. Dessa forma, surge então o conceito de “desaprendizagem”. Quando um subsunçor se mantém fixo na mente do

aluno, muitas vezes acaba se tornando um obstáculo. Nesse caso, segundo [Moreira 2011], “é preciso não usar tal conhecimento”, é nesse sentido que se fala em desaprender. Para o ensino das radiações, o caso clássico de “ganhar super-poderes” não pode ser usado como ancoragem, pois o aluno pode fixar essa ideia como verdadeira.

O processo é dinâmico e pode sofrer várias alterações durante sua abordagem. Nesta investida há uma interação “entre o novo conhecimento e o já existente, no qual ambos se modificam. À medida que o conhecimento prévio serve de base para atribuição de significados a nova informação, ele também se modifica, adquirindo novos significados, se tornando mais diferenciados, mais estáveis”, como afirma [Moreira 1988, pg 5]. Assim, pode-se basear que a estrutura cognitiva está em constante reestruturação durante a aprendizagem.

Outro fator que se busca, quando monta-se a sequência, e que se ajusta a teoria de aprendizagem significativa, é o envolvimento do aluno com o tema a ser estudado, ou seja, sua predisposição em aprender, está motivado. É necessário incentivar o aluno a ter interesse no conteúdo, o professor deve estar disposto a essa tarefa, inovando, como aulas diferenciadas do tradicional. Dessa forma, nada melhor que um tema que é da física moderna contemporânea, presente na vida dos alunos, atual, de relevância, e aplicabilidade no dia-a-dia do aprendiz. Afinal, a escola deveria se constituir de um espaço para problematizar questões da realidade da sociedade, contribuindo para a formação de cidadãos mais críticos, e que sejam capazes de responder às demandas do mundo contemporâneo, como afirma [Prestes 2008, pg 182].

Assim sendo, novamente ressalta-se a importância de conhecer as ideias do tema inicialmente dos discentes, e com elas em mente ir trabalhando para confrontar suas nuances, aperfeiçoando a aula para motivar o aluno, que ficará na expectativa de novo conhecimento pra confrontar suas ideias, quebrando assim paradigmas.

## Capítulo 4

### Metodologia e itinerário da pesquisa

O ensino de física no ensino médio está cada vez mais estagnado, de forma que muitas de suas aplicações se resumem na sua grande maioria na simples utilizações de equações matemáticas, ficando em segundo plano as teorias e aplicações no cotidiano, desmotivando consideravelmente os discentes que sequer estão interessados a seguir na carreira universitária na área de exatas. Ensinar por ensinar tem sido o lema, e se faz necessário reestruturar esta metodologia, seja do cunho pedagógico dos temas a serem abordados, seja no que se refere à forma de ensinar.

Temas diversos que atendam a necessidade do dia a dia dos discentes de forma a serem compreendidos, não têm sido discutidos em sala de aula pelos professores, primeiro pela falta de tempo disponível para a disciplina de física no ensino médio, e segundo, que talvez seja o mais drástico, é o despreparo que muitos professores se encontram, como exemplo, pode-se citar o nosso tema radiação, em particular, radiação ionizante, que deveriam ser abordando no ensino básico (ensino fundamental e médio). Esse conhecimento é de fundamental importância, pois leva o aluno a refletir o domínio do homem sobre a natureza, onde algo que pode ser nocivo, se controlado, pode trazer benefícios.

A fim de preencher essa lacuna, esse trabalho propõe uma abordagem diferenciada, num relato de experiência, sobre o tema de radiação ionizante. Para isso foi estabelecido um corte temporal e espacial: O primeiro corte corresponde ao ano letivo de 2015, e o segundo corte delimita ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFAM/ Campus Manaus Centro, curso de técnico em edificações – nível subsequente, onde buscou-se aplicar uma sequência didática sobre radiação ionizante, baseada nos preceitos da aprendizagem significativa de David Ausubel.

A sequência delimita-se basicamente em três partes: i) identificar o conhecimento prévio dos alunos, ii) revelar o desenvolvimento do processo de construção do conhecimento sobre o tema, formas de medir e evitar o excesso de radiação, e iii) mostrar os benefícios de radiação ionizante, que estão presentes no dia a dia do aluno, mesmo sem seu conhecimento.

Quando se fala de educação, não há consenso em qual metodologia deve ser utilizada, ou talvez se devam utilizar várias metodologias, pois afinal são muitas variáveis a serem analisadas ao mesmo tempo, principalmente em se tratando de fenômenos educacionais, como ressalta Gonçalves *apud* [Souza 2009]:

Já que não existe uma única metodologia de pesquisa adequada ao estudo da gama de fenômenos educacionais, é natural que cada investigador realiza seu esforço pessoal na busca de uma forma de pesquisar que seja adequada ao seu objeto de estudo e às suas próprias convicções, à sua visão de ciência e até mesmo à sua formação acadêmica.

Sendo assim, optou-se por fazer uma pesquisa qualitativa, não por ela ser melhor, mas por ela trazer mais significados, que em outras metodologias podem ser perdidos.

#### **4.1. A pesquisa qualitativa**

A fim de conhecer e analisar o problema existente de física das radiações, neste trabalho utilizou-se a metodologia qualitativa, porque de uma forma sistemática e rigorosa permite o acompanhamento das atividades dos alunos, caracterizando a busca de dados e incorporam informações dos participantes, suas experiências, atitudes e reflexões, de acordo com [Serrano 1994].

Através da pesquisa qualitativa pode-se compreender as dificuldades encontradas pelos alunos no processo de aprendizagem dos conteúdos de física, especificamente sobre radiação ionizante, para depois estabelecer uma proposta de construção dos recursos didáticos eficientes. Segundo Taylor e Bogdam *apud* [Gómez 1996], os métodos qualitativos são humanistas. Quando se reduz as palavras e atos para equações estatísticas, perder-se de vista o aspecto humano da vida social. Estuda-se qualitativamente, chega-se a conhecer as pessoas, e experimenta-se o que elas sentem nas suas vidas cotidianas na sociedade.

#### **4.2. Procedimentos da pesquisa**

A pesquisa foi iniciada por um levantamento bibliográfico, revisão da literatura, sobre o tema para a contextualização teórica do problema a ser apresentado, como afirma [Gil 2002]:

A revisão da literatura é dedicada à contextualização teórica do problema e a seu relacionamento com o que tem sido investigado a seu respeito. Deve esclarecer, portanto, os pressupostos teóricos que dão fundamentação à pesquisa e as contribuições proporcionadas por investigações anteriores.

A revisão bibliográfica em questão buscou conceitos no que tange a fundamentação teórica do trabalho, assim como do conteúdo de física das radiações, em particular, radiação ionizante, e também as etapas para construção metodológica de uma sequência didática de ensino.

Logo após essa revisão, foi confeccionada uma sequência didática sobre radiação ionizante. Para [Zabala 1998] sequências didáticas são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecido tanto pelos professores como pelos alunos”. Dessa forma a sequência delimita-se em:

i) Identificar o conhecimento prévio dos alunos através de um teste diagnóstico, pois segundo [Ausbel 2003] a aprendizagem “é dado por uma interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz”, (conhecimento prévio);

ii) Revelar o desenvolvimento do processo de construção do conhecimento sobre o tema, passando pela descoberta do raio-X por Wilhelm Conrad Röntgen, suas primeiras aplicações sem o conhecimento de suas consequências, até chegar-se a dose máxima absorvida, fruto do trabalho de Rolf Sievert;

iii) Apresentar formas de medir a radiação (atividades radioativas, ionização do ar, dose absorvida e dose equivalente), ou seja, a operacionalização matemática do conteúdo, e também como evitar o excesso de radiação através de tempo de exposição, blindagem e distância;

iv) Mostrar os benefícios de radiação ionizante, que estão presentes no dia-a-dia do aluno, mesmo sem seu conhecimento como, por exemplo, esterilização bacteriana de alimentos para maior durabilidade para consumo.

Depois do desenvolvimento da sequência didática foi aplicado um teste com questões de vestibulares e ENEM, onde apresentam o tema. Após este item foi então tabulado os dados recolhidos para a discussão dos resultados.

### **4.3. Técnica de pesquisa**

#### *4.3.1. Observação livre/participante*

Observar livremente é procurar perceber os detalhes do processo da aprendizagem a partir do que está sendo ensinado. É detectar o fenômeno e procurar entender o porquê da dificuldade de aprender física, caminhando assim para a solução. Quanto à observação participante, está no processo de convivência, e aplicação da sequência didática em sala de aula com os discentes, para sentir, conjuntamente, as dificuldades encontradas por estes na compreensão do conteúdo, como Mann *apud* [Marconi 2013] afirma:

A observação participante é uma tentativa de colocar o observador e o observado do mesmo lado, tornando-se o observador um membro do grupo de molde a vivenciar o que eles vivenciam e trabalhar dentro do sistema de referência deles.

O objetivo dessa técnica foi ganhar a confiança dos alunos para que eles possam de forma mais acomodada falar abertamente sobre seus anseios, receios e dificuldades.

#### *4.3.2. Observação direta extensiva*

Esta técnica trata-se de aplicação de questionários onde foram mensuradas as opiniões e atitudes dos alunos, porém de forma livre, ou seja, perguntas abertas. As perguntas selecionadas foram com respostas subjetivas

para proporcionar investigação mais profunda e precisa, segundo [Marconi 2013].

#### *4.3.3. Entrevista livre*

Esse item pode até parecer desprezioso, constatar o trivial, porém desacelerar e examinar o que existe em nosso entorno com maior atenção, pode se tornar uma técnica bastante útil, como afirma [Silverman 2010]. Nesta técnica permite o sujeito da pesquisa se expressar livremente, onde mostra-se os anseios, medos e dificuldades na aprendizagem da física. Não se tratou de uma conversa despreziosa, mas um diálogo pautado na ideia que o informante é um ser humano, que poderia dar significado e sentido à pesquisa.

Através da liberdade dada ao sujeito da pesquisa, o propósito é encontrar a compreensão do problema ao qual está perseguindo neste trabalho.

#### *4.3.4. Análise de dados*

Adotou-se os seguintes procedimentos de análise de dados:

i) Ordenação dos dados, neste momento foi feito um mapeamento de todos os dados obtidos na observação livre e entrevista. Assim, vão estar presentes as transcrições de gravações, releitura de material, e os resultados da avaliação diagnóstica, questionários apresentados, assim como o teste com questões de vestibulares e ENEM;

ii) Classificação de dados, nesta fase, a partir dos questionamentos que foi levantado e do que foi construído na fundamentação teórica, elaborou as categorias específicas de análise;

iii) Análise final, onde procurou-se estabelecer articulações entre os dados e os referenciais teóricos da pesquisa, respondendo assim às questões da pesquisa com base no objetivo geral, e respectivos problemas levantados a partir dele.

#### **4.4. Problema**

Neste trabalho será abordado:

i) Quais são as concepções que os alunos têm sobre o tema radiações ionizantes, e suas peculiaridades como formas de prevenção, medição e aplicações no cotidiano?

ii) Será possível modificar essas concepções, em caso de errôneas, através de uma intervenção de ensino, como uma sequência didática, para levar os alunos do senso comum ao conhecimento científico, baseando-se nos preceitos da aprendizagem significativa?

#### **4.5. Questão de pesquisa**

Quando se trata do tema radiação, os alunos logo são levados a pensar no que a mídia (TV, jornais, rádio, internet, etc) oferece como informação, tais como desastres em usinas nucleares, ou mesmo com máquinas que produzem raios-X, como no caso do acidente em Goiânia, em 1987. Suas concepções são formadas com a ideia de que a radiação, em geral, resulta em malefícios para humanidade, e que se deve afastar ao máximo do uso e produção dela. Sendo assim, os alunos são incapazes de definir o que é radiação, e apontar onde a radiação está presente no seu dia a dia. Haverá uma confusão por parte dos alunos quanto a distinguir irradiação de contaminação radioativa.

Após o desenvolvimento da sequência didática, os alunos deverão compreender a radiação e suas formas na natureza, o processo de construção histórico do tema, formas de medir e proteção, operacionalizando matematicamente o tema, assim como descobrirão os benefícios da radiação ionizante em áreas como, por exemplo, na esterilização de material hospitalar, diagnóstico e tratamento de doenças, diagnóstico de vazamentos em ductos industriais, e esterilização de carga bacteriana para maior durabilidade de alimentos.

#### **4.6. Objetivos: geral e específicos**

*- Geral:*

Desenvolver uma sequência didática sobre radiação ionizante para alunos do ensino técnico subsequente, mostrando suas formas, processo de construção histórica, medições, formas de evitá-las e seus benefícios.

*- Específicos:*

i) Questionar os alunos sobre suas concepções prévias do tema em questão para constar possíveis concepções errôneas.

ii) Mostrar através de vídeos o processo construtivo do tema radiações ionizantes e suas primeiras aplicações, ainda sem ter uma total compreensão de suas consequências.

iii) Reconhecer a física como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico; definidos historicamente.

iv) Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais.

v) Mostrar as formas de proteção contra radiação em excesso.

vi) Utilizar instrumentos de cálculos matemáticos na solução de problemas envolvendo energia de ionização de um átomo.

vii) Auxiliar na elaboração de juízo de valor dos alunos em relação ao uso da ciência e tecnologia e as suas consequências.

## Capítulo 5

### Sobre o produto educacional

O produto educacional aqui proposto é uma forma de por em prática os conhecimentos adquiridos no mestrado, acima de tudo, sair da teorização e fazer algo realmente utilizável, prático, posto à prova, diferentemente dos mestrados acadêmicos, que por muitas vezes a publicação do conhecimento encerra-se na própria teoria. O objetivo de se ter um produto é a valorização da experiência profissional, como afirma [Leodoro 2010].

O que é apresentado aqui não é uma solução definitiva, é apenas uma ferramenta que pode ser usada para melhorar a forma de ensinar, e, por conseguinte, ter uma melhor aprendizagem. O produto não é imutável, é passível de mudanças, adaptações, e novas interpretações.

A sequência didática aqui proposta contempla nove tempos de aulas de quarenta e cinco minutos cada, onde cada atividade dever ser desenvolvida no tempo da aula estipulada. Ela se divide em: aquisição das concepções dos alunos sobre o tema radiação, assim como em específico a ionizante, de forma que a cada aula, ou assim que possível, retorna-se e confrontam-se essas concepções (Aula 01); trabalhar de forma dialogada a construção do tema, exemplificando cada personalidade que contribuiu para esse contexto histórico (Aulas 02 e 03); operacionalização matemática do tema, de acordo com o nível dos alunos em questão, em se tratando de medidas de radiação (Aulas 04, 05 e 06); mostrar a face benéfica da radiação ionizante e sua aplicabilidade presente na medicina, indústria e agropecuária (Aulas 07 e 08); e por fim, avaliar a aprendizagem adquirida com questões de vestibulares do Brasil e ENEM nos últimos anos (Aula 09).

#### 5.1. Descrição do produto

***- AULA 01 - AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA SOBRE RADIAÇÃO IONIZANTE.***

**APRESENTAÇÃO:**

Esta aula visa sondar o conhecimento prévio do aluno através de um questionário, para obter as concepções, que chama-se de “alternativas”, pois, podem não condizer com o conhecimento científico aceito. Essas concepções vão ser usadas durante as aulas, e sempre que possível confrontá-la, causando assim uma mudança nos subsunçores (conhecimento prévio).

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Avaliar as concepções alternativas dos alunos sobre radiação ionizante.

**ATIVIDADE:**

**Aplicação de um questionário com perguntas subjetivas para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos.**

Para a veracidade dos dados que serão coletados deve-se avisar aos alunos que, não devem trocar informações, nem tão pouco buscar informações em outros meios como livros ou internet. As respostas são individuais e sem consultas. O objetivo aqui é verificar o nível de entendimento que cada aluno tem sobre o tema, e buscando nas respostas que virão, pontos em que possam ser trabalhados na sequência didática.

**AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula, assim como as respostas no questionário.

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Quadro branco, pincel, apagador e papel (questionário).

## **MATERIAL DE APOIO:**

Questionário 1 (Apêndice A)

### **- AULA 02 – RADIAÇÃO IONIZANTE: CONTEXTO HISTÓRICO**

#### **APRESENTAÇÃO:**

Esta aula busca mostrar ao aluno que o conhecimento científico é construído paulatinamente, e que esse processo é confeccionado por seres humanos envolvidos em contexto histórico – político – social – econômico - cultural. Assim, o tema radiação ionizante foi construído por pessoas comuns, no entanto empenhados em descobrir os segredos desse fenômeno físico.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Reconhecer a física como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico; definidos historicamente.

#### **ATIVIDADE:**

##### **01 - Aula expositiva dialogada**

A aula tem como princípio definir o que é radiação e suas divisões, já mencionando alguns itens que foram adquiridos com a avaliação diagnóstica. No entanto, o foco é dialogar com os alunos a construção do conhecimento acerca do tema radiação, como: Quem foi o primeiro a descobri-la?; Quais os cientistas que mais contribuíram?; Quais eram suas reais intenções?

## **02 – Vídeos sobre as primeiras descobertas e tentativa de uso da radiação ionizante.**

São dois vídeos aqui em questão, são trechos de uma série chamada “Mistérios”, disponível na internet<sup>12</sup>, um falando sobre o Projeto Manhattan e os perigos de trabalhar com materiais radioativos, e o outro sobre as primeiras tentativas de utilizar radiação ionizante com interesses econômicos, o chamado tratamento *Tricho*. Esses vídeos são ainda para firmar a ideia nos alunos de radiação como algo perigoso, corroborando com as informações que a mídia passa para a população. Os vídeos são acompanhados de questionários para que o aluno busque informações no vídeo, e não assistir apenas para entreter. Deve-se dar um tempo para as leituras das perguntas antes de iniciar os vídeos. É necessário também deixar claro aos alunos que sempre possível pode-se pausar ou voltar pequenos trechos para entendimento dos detalhes em dúvida.

### **AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula, assim como as respostas no questionário.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projektor multimídia, caixas de som, quadro branco, pincel, apagador e papel (questionário).

### **MATERIAL DE APOIO:**

- 1- Questionário 2 (**Apêndice B**)
- 2- Apresentação dos slides (**Apêndice E**)

---

<sup>12</sup> Link para os vídeos disponível para download: 1) Projeto Manhattan: [http://www.4shared.com/video/10k-6mO1ba/Proj\\_Manh.html](http://www.4shared.com/video/10k-6mO1ba/Proj_Manh.html); 2) Tratamento *Trico*: [http://www.4shared.com/video/EhJUuePba/Trat\\_Tric.html](http://www.4shared.com/video/EhJUuePba/Trat_Tric.html).

## **- AULA 03 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DE TEXTO SOBRE RADIAÇÃO.**

### **APRESENTAÇÃO:**

Essa aula muda o foco que estava-se contribuindo a afirmar, de que a radiação ionizante é algo extremamente perigoso, conforme a mídia seja impressa, televisiva ou internet. A aula 03 mostra novas informações conceituais sobre radiação, que até então não foi abordado, efetivamente será o primeiro contato com o conteúdo de radiação ionizante.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Reconhecer a física como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico; definidos historicamente.

### **ATIVIDADE:**

**Análise e discussão do texto “o que é irradiação?” de Ary de Araujo Rodrigues Junior**

O texto, que deve ser analisado e discutido, revela informações que o aluno ainda não teve contato, nesse caso, novamente busca-se nas respostas da avaliação diagnóstica, pontos em que pode-se discutir e relacionar com o texto que será lido. Nesse ponto, cabe particionar o tempo, para que eles consigam ler e ainda discutir na mesma aula. O ideal é trinta minutos para a leitura, e quinze minutos para a discussão. É importante o professor saber mediar as falas, pois o texto traz informações que são totalmente desconhecidas dos alunos, e pode haver tumulto, empolgação nos discursos dos alunos. Pode-se fazer inscrição de ordem na fala para que todos sejam ouvidos com atenção.

## **AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula

## **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projektor multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

## **MATERIAL DE APOIO:**

Disponível em: [www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a11.pdf](http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a11.pdf)  
(Anexo A),

**- AULA 04 – MEDIDAS DE RADIAÇÃO: GRANDEZAS E UNIDADE DE MEDIDAS.**

## **APRESENTAÇÃO:**

Nesta aula, operacionaliza-se matematicamente o fenômeno radiação, relacionando esse instrumento com o contexto histórico de descoberta e ampliação do estudo sobre nosso tema, assim como a criação da subárea chamada radiobiologia.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Utilizar instrumentos de cálculos matemáticos na solução de problemas envolvendo grandezas físicas de radiação.

**ATIVIDADE:**

## **Aula expositiva dialogada**

A aula será pautada na ideia que a radiação apesar de ser onda eletromagnética, ou corpuscular, é possível mensurá-la de várias formas, dependendo do objetivo da medida. O diálogo se dará a partir de questionamentos que nesta aula os alunos já terão base para responder, ou relacionar com o tema. É sempre bom instigar o aluno a perceber, por exemplo, que as ondas eletromagnéticas têm velocidades iguais.

### **AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projeter multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

### **MATERIAL DE APOIO:**

Apresentação dos slides (**Apêndice F**)

## **- AULA 05 – MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÃO**

### **APRESENTAÇÃO:**

Todas as vezes que é mencionado o tema radiação, logo vêm à mente dos alunos acidentes em usinas nucleares, desastres ambientais causados por esses acidentes, assim como o efeito da radiação em explosões de bombas atômicas. Dessa forma essa aula visa mostrar as formas de combater o excesso de radiação que fica-se sujeito durante um evento como os citados.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais de desastres nucleares.

**ATIVIDADE:**

**Aula expositiva dialogada**

Essa aula é na verdade uma implicação que foi considerada na formação desses técnicos, visto que em algum momento eles podem se deparar com obras em ambientes como usina nucleares, ou mesmo em ambiente hospitalares que usam radiação ionizante. O diálogo se dará a partir de questionamentos que nessa aula os alunos já terão base para responder ou relacionar com o tema.

**AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projektor multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

**MATERIAL DE APOIO:**

Apresentação dos slides (**Apêndice F**)

**- AULA 06 – EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO**

**APRESENTAÇÃO:**

Essa aula é para avaliar se o conteúdo está sendo organizado e subjugando o conhecimento prévio do aluno, em caso de errôneo. O conteúdo a ser avaliado é o mesmo das aulas 04 e 05.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Avaliar a aprendizagem sobre medidas de radiação, assim como medidas de proteção contra radiação.

**ATIVIDADE:**

**Exercício Avaliativo**

Aplicação do exercício avaliativo pode ocorrer com consulta às notas de aulas, porém deve se evitar a comunicação entre alunos, pois no exercício contem questões dissertativas e pessoais.

**AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme as respostas dos alunos

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Quadro branco, pincel, apagador e papel(exercício).

**MATERIAL DE APOIO:**

Exercício avaliativo– radiação ionizante (**Apêndice C**)

**- AULA 07 E 08 – BENEFÍCIOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE**

**APRESENTAÇÃO:**

Essa será a aula em que se mostrará aos alunos conceitos que a maioria da população desconhece. A utilização da radiação ionizante para benefício, gerando assim no aluno um conforto maior ao falar sobre o tema.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:**

- Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais.
- Auxiliar na elaboração de juízo de valor dos alunos em relação ao uso da ciência e tecnologia e as suas consequências.

**ATIVIDADE:**

**Aula expositiva dialogada**

Será utilizada apresentação de slides para mostrar as áreas onde está presente o uso da radiação ionizante. Esse é o ápice desta sequência didática, pois quer-se desconstruir nessa aula a ideia de radiação como algo que deve-se evitar, ou mesmo não usá-la. Será iniciado com as aplicações mais comuns como na área de medicina, depois passa-se para uma área menos comum, que se trata da utilização na indústria, e por fim, aplicação em alimentos, que irá gerar quebra de parâmetros na concepção dos alunos.

**AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme a participação dos alunos.

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projektor multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

### **MATERIAL DE APOIO:**

Apresentação dos slides (**Apêndice G**)

### **- AULA 09 – AVALIAÇÃO FINAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

#### **APRESENTAÇÃO:**

Essa aula é para avaliar a aprendizagem do conteúdo apresentado na sequência através de questões presentes no ENEM, e vestibulares do Brasil. Essa avaliação é uma forma que se tem de mensurar a capacidade do aluno de sintetizar as ideias abstraídas e aplicar em contextos que foram mencionados nas aulas. Acredita-se ainda que apesar de aulas com metodologias diferentes, o que importa é a aprendizagem, e com ela por à prova em exames comuns para este nível de ensino.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 min.

**OBJETIVO:** Verificar a capacidade do aluno em síntese teórica e abstração matemática sobre radiação ionizante.

#### **ATIVIDADE:**

##### **01 – Avaliação final**

Essa avaliação deve ser feita no modo tradicional de exames de vestibulares e ENEM, sem consulta, sem comunicação, apenas com o material essencial para a realização da prova.

#### **AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme as respostas dos alunos.

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Quadro branco, pincel, apagador e papel(avaliação).

**MATERIAL DE APOIO:**

Avaliação - radiação ionizante (**Apêndice D**)

## 5.2. Roteiro de aplicação

| Roteiro – Sequência didática sobre radiação ionizante |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
| Aulas   | Conteúdo  | Atividade desenvolvida  | Objetivos   | Avaliação  |
| Aula 1  |   | Questionário para sondar o conhecimento prévio do aluno a respeito do tema: radiação ionizante <b>(Apêndice A)</b>  | Avaliar as concepções alternativas dos alunos sobre o tema.   | Participação e respostas dos alunos  |
| Aula 2 e 3  | 1) Contexto histórico do processo de construção do tema: de Wilhelm Conrad Röntgen (1895) até Rolf Maximilian Sievert (1937).<br>2) Conceito de radiação e radiação ionizante | 1) Aula expositiva dialogada, com abordagem dos fatos históricos de radiação ionizantes, vídeos sobre os efeitos biológicos e definição dos conceitos de radiação e radiação ionizante.<br>2) Análise e discussão do texto “o que é irradiação?” de Ary de Araujo Rodrigues Junior <b>(Anexo A)</b> | Reconhecer a física como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.   | Aplicação de questionário, a respeito dos conceitos abordados nos vídeos. <b>(Apêndice B)</b><br>Participação dos alunos |
| Aula 4, 5 e 6.  | 1) Como é medida a radiação?<br>2) Medidas de proteção radiológica.   | Operacionalização matemática do conteúdo, quais os níveis toleráveis de exposição à radiação. Contexto histórico: desastre de Fukushima, medidas paliativas tomadas pelo governo japonês.   | 1) Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais de desastres nucleares.<br>2) Utilizar instrumentos de cálculos matemáticos na solução de problemas envolvendo energia de ionização de um átomo. | Resolução de Situação - problema.<br>Participação dos alunos   |
| Aulas 7 e 8   | 1) Benefícios da radiação ionizante;  | 1) Aula expositiva dialogada sobre os benefícios da radiação. Diagnóstico de Imagem, tratamento de câncer, esterilização de materiais médicos e aumento de durabilidade das frutas.   | 1) Discutir os efeitos biológicos da radiação seus benefícios sociais e ambientais.<br>2) Auxiliar na elaboração de juízo de valor dos alunos em relação ao uso da ciência e tecnologia e as suas consequências.                  | Produção textual dos alunos  |
| Aula 9  |   | Resolução de Situações – problemas presentes em exames vestibulares e ENEM. <b>(Apêndice D)</b>   | Verificar a capacidade do aluno de síntese teórica e abstração matemática sobre radiação ionizante  | Resolução de Situação - problema.  |

**Quadro 03** – Roteiro de atividades da sequência didática

## Capítulo 6

### Implementação e análise da pesquisa

Uma experiência pedagógica é sempre envolta de muitos fenômenos e fatos difíceis de controlar, ou mesmo prevê-los. É uma situação extremamente complexa, de “n” variáveis a serem consideradas para construção da relação professor – aluno. Nesta linha, é fato que o planejamento da sequência didática aqui proposta, não alcançou todos os itens necessários para uma abordagem bem específica sobre radiação, e mesmo com os objetivos alcançados, também percebeu-se mudanças comportamentais que foram influenciados diretamente pela abordagem diferenciada. No entanto, serão relatadas apenas as experiências que foram relevantes à pesquisa.

#### 6.1. Aulas 01, 02 e 03 – Primeira etapa

O estudo iniciou-se no dia 23 de abril de 2015, com a autorização dos alunos da turma do subsequente – técnico em edificações do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, IFAM/*Campus* Manaus Centro, turma 2015, para participação das atividades, assim como a autorização do próprio *Campus*.

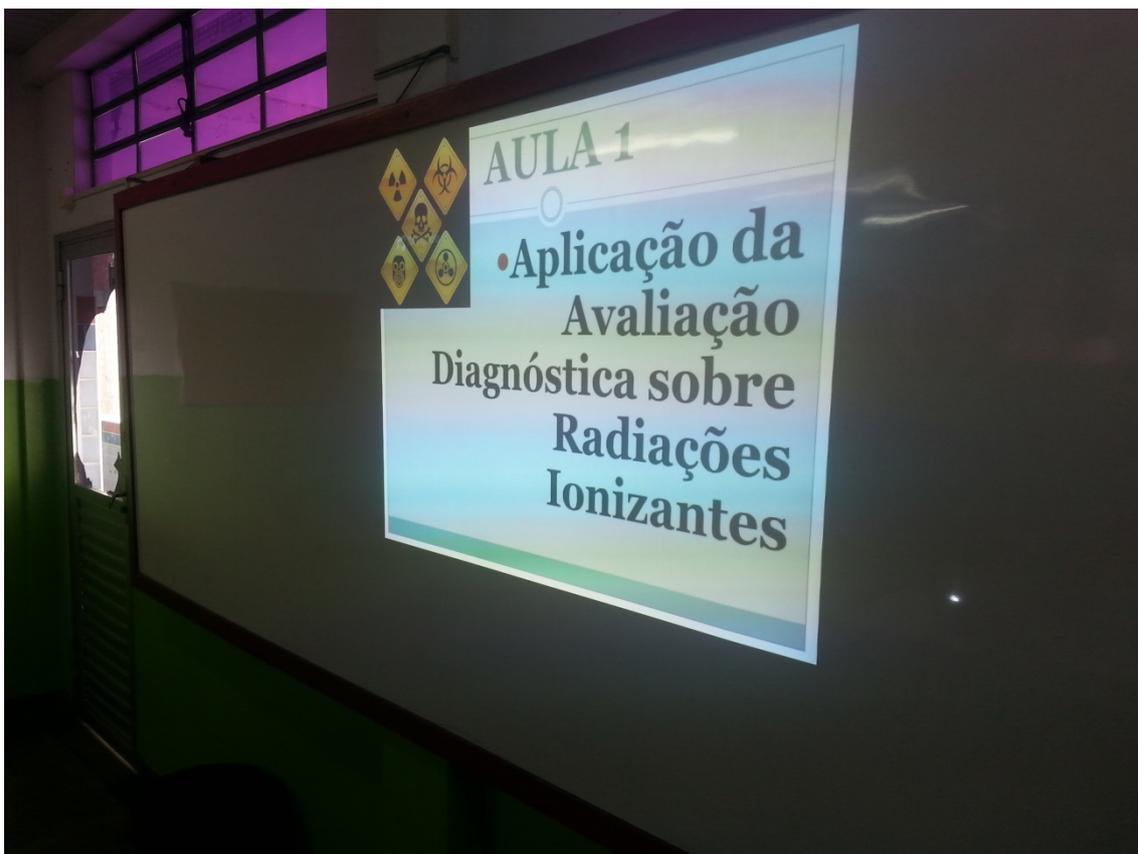
Do universo de trinta alunos, apenas dezesseis autorizaram a divulgação dos dados da pesquisa, sendo que os outros alunos não entregaram o formulário de autorização, definindo assim o universo a ser trabalhado.

As três primeiras partes da sequência proposta foram realizadas no mesmo dia, ou seja, as aulas 01, 02 e 03 foram realizadas no dia 23 de abril de 2015.

A primeira aula proposta foi apenas para avaliação diagnóstica dos conceitos pré-estabelecidos (subsunçores) dos alunos sobre o tema radiação, e radiação ionizante como subitem. O questionário (**Apêndice A**) com questões abertas foram entregue aos alunos, e tiveram trinta minutos para responder as perguntas. Neste momento iniciou-se a observação dos alunos quanto ao dilema de responder as perguntas propostas. Apesar de fazerem parte de seu cotidiano, não sabiam como se expressar. Em alguns momentos,

os alunos até comentaram nada saber do tema, porém ao perceber certa desistência foi necessário intervir. Chamou-se a atenção para o que se buscava nesse primeiro momento, era óbvio que alguns deles não teriam um conhecimento profundo, porém era importante que eles se expressarem da melhor maneira possível. Nesse ponto, percebeu-se então a concentração e a tentativa dos mesmos. Houve comentários como: “só ouvi falar de radiação no filme do *Hulk* e *Homem-Aranha*” (super-heróis de quadrinhos e filmes). Porém nenhuns desses dados foram encontrados nos formulários, talvez com receio de serem mal interpretados.

Era previsto de acordo com as questões norteadoras a intencionalidade do discente expressar seu contato com o tema através da mídia, em específico, os filmes.



**Figura 10** – Slide de apresentação para a aula 01

De fato, na primeira pergunta do formulário: “Você já ouviu falar em radiação? Cite dois exemplos”, nenhum aluno exemplificou situações não condizentes com o tema. Foi lembrado o acidente radioativo em Chernobyl,

bombas atômicas, qualificação como radiação eletromagnética, radiação solar, aplicações como radioterapia, porém o grande e expressivo exemplo foi o raio-X como mais lembrado. A questão não era específica, esperava-se uma quantidade expressiva de informações, mostrando que os discentes em algum momento tiveram contato com o tema, apesar de aparentemente nunca terem se questionado sobre isso. Neste item, porém, um aluno, aqui identificado como aluno 01, exemplificou a radiação como ionizante e não-ionizante, no entanto não revelou de onde abstraiu a informação.



**Figura 11** – Alunos que participaram da aula 01

Assim, a segunda pergunta foi uma tentativa de buscar informações mais precisas sobre o tema: “Fale o que você imagina sobre radiação”. O aluno 01 respondeu que era uma alteração do metabolismo celular, mostrando ver o fenômeno como consequência, e de certa forma não compreendeu o que se tratava de radiação ionizante e não-ionizante, a qual se referia no primeiro momento. O aluno 02 foi o único que identificou radiação como onda eletromagnética, porém não expressou devidamente o significado. As outras

manifestações dos alunos foram errôneas como: mistura de elementos químicos, liberação de gases químicos, metais pesados, geração de calor, luz que provoca alteração de energia, raios que podem matar, raios que são emitidos de alguma forma, substância que pode causar câncer, e por fim, algo ruim.

A questão seguinte era uma tentativa de indução para verificar o contato consciente com radiação no qual os alunos passaram, “Fale algum processo na natureza ou tecnológico em que você acha que a radiação está presente”. Só o fato de estar exposto à luz solar, os alunos estariam em contato com a radiação, porém, apenas o aluno 01 e outros dois alunos identificaram-na como radiação. Além desse processo natural, somente a fotossíntese foi identificada como tal, no entanto, quatro alunos identificaram radiação em processo natural nas células, mas não foi especificado de que forma. Com relação ao processo tecnológico, doze alunos citaram o raio-X. Nenhum outro processo tecnológico foi tão citado, sendo assim outros apareceram como: usinas nucleares, radioterapia, bronzamento artificial, micro-ondas e TV. Além desses, de forma equivocada foi citado: ressonância magnética, tratamentos médicos sem especificar do que se tratava e eletricidade.

A quarta e a quinta pergunta, requeriam um maior conhecimento sobre radiação, e era justamente pra identificar quais alunos já conheciam o tema. A quarta pergunta “O que você acha que é contaminação por radiação?”, somente o aluno 01 respondeu satisfatoriamente, identificando como: “contato com objeto ou ambiente contaminado por radiação”. O aluno 02 também se aproximou da resposta tida como correta respondendo: “contato direto a produto químico radioativo”. Além deles, nenhum outro aluno respondeu satisfatoriamente, de modo que obteve-se as seguintes repostas: absorção de radiação, átomo de material radioativo que nos afeta, contato com algum elemento químico, exposição a raios, ingerir metais pesados e elementos químicos, quando a radiação não é tratada de maneira adequada, e, transmissão de câncer pelo sistema de ressonância.

A quinta e última pergunta era mostrar uma aplicabilidade de radiação ionizante, e verificar se os alunos tinham conhecimento, com o seguinte questionamento: “Você comeria uma fruta irradiada?”. Frutas irradiadas são

difíceis de encontrar no Brasil, são comuns na Europa, porém alguns produtos industrializados, como macarrão instantâneo e batatas fritas passam pelo processo, e são amplamente comercializados. Neste questionamento, quatro alunos disseram que comeriam, desses, dois justificaram que só comeriam se não soubesse, e dois utilizaram o discurso da autoridade, dizendo que comeria se alguém dissesse que não faz mal, ou seja, nenhum conhece realmente o assunto, nem que estão comendo alimentos irradiados. Todos os outros alunos disseram que não comeriam como justificativa teve-se: faria mal, poderia causar doenças, iria gerar problemas de saúde, estava contaminada, e poderia causar a morte. Sendo assim, com a entrega dos formulários deu-se por encerrada a primeira aula e começamos a segunda.

Nesta segunda aula o objetivo era reconhecer a física da radiação como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico; definidos historicamente. A aula se tratava apenas de uma perspectiva expositiva, mas buscando a interação dos alunos em cada momento com perguntas. Primeiramente definiu-se o que era radiação e quais os tipos podem ser consideradas como ionizante e não-ionizante. Foi então explicado o termo ionizante, e as características da radiação ionizante como: invisível, inodora, inaudível, insípida e indolor.

Buscou-se então o contexto histórico, mas ainda só na perspectiva de relatar fatos, começando por Wilhelm Conrad Röntgen que descobriu raios providos de catodos, do qual atribuiu o nome de raio-X, em 1895. Em seguida falamos de Antoine Henri Becquerel, descobridor do efeito de manchas em chapas fotográficas causada por sal de urânio, também em 1895. Relatou-se as descobertas do casal Marie Curie e Pierre Curie do elemento rádio e polônio, assim como a invenção do termo radioatividade. Comentou-se as descobertas de Ernest Rutherford das radiações alfa e beta. Em seguida mencionamos Paul Ulrich Villard, descobridor da radiação gama. Descreveu-se então por fim para o primeiro momento, a descoberta de raios dos cosmos por Victor Francis Hess, e sua contribuição com relação ao que influencia na intensidade da radiação. Até esse ponto da aula, os alunos já podiam definir radiação, classificá-las entre ionizante e não-ionizante, e qual foi o processo histórico da construção inicial do tema.

Para finalizar a aula 02, passou-se dois vídeos da internet, e com dois questionários. O primeiro com seis perguntas, sobre o tratamento *Tricho*, e o segundo quatro perguntas, sobre o Projeto Manhattan, onde os alunos deveriam buscar responder as perguntas. Esse procedimento foi pautado na ideia de que só assistir aos vídeos iria gerar uma descontração, e as informações importantes iriam se perder. A principal motivação para exibição dos vídeos era firmar a ideia, já concebida pela avaliação diagnóstica, de que a radiação, em específico a ionizante, é um fenômeno que requer certos cuidados, mostrando eventos que contribuíram para a taxação de radiação como algo perigoso.

O primeiro vídeo era de um trecho de um episódio da série “Mistérios”, encontrado na internet, onde tratava o início do uso de raios-X em várias áreas, no caso do vídeo, em tratamento de beleza que ficou conhecido nos Estados Unidos da América como tratamento *Tricho*. O vídeo conta a história do Doutor Albert Geysler e de seu filho Fran Geysler, no empreendimento de isolar o catodo produtor do raio-X, não ficando exposto à faíscas, e dessa forma pensavam ser seguro a utilização de raio-X para: remoção de pelos, manchas na pele e verrugas. Como se tratava apenas de exposição a algo que não produzia dor, o tratamento *Tricho* virou um sucesso. No entanto, a exposição excessiva ao raio-X (radiação ionizante), começou a produzir efeitos colaterais nas clientes, deformando-as e causando câncer, fazendo com que a dupla sofresse com processos judiciais e desistindo do tratamento de beleza.

A primeira pergunta do questionário do vídeo “tratamento *Tricho*” era: “Quem descobriu os raios-X?”. Na trama revela quem foi o inventor do raio-X, e como já tinha sido tratado do contexto histórico da radiação, era de se esperar que todos obtivessem êxito. No entanto, doze alunos responderam corretamente, três responderam ser o Doutor Albert Geysler, e um respondeu que foi o Doutor Albert Geysler e seu filho Fran Geysler, demonstrando assim um nível de entendimento razoável sobre o que se perguntava.

Na segunda pergunta “Por que a exposição exagerada ao raio-X é perigosa?”, apenas quatro alunos responderam de forma satisfatória, dizendo que eram ondas eletromagnéticas com muita energia que podiam ionizar os átomos, ou mesmo destruí-lo. Onze alunos apenas relataram as consequências, como: é perigoso, pode causar câncer, pode causar

deformações, pode causar manchas na pele, causa destruição do átomo e células do corpo humano. E um aluno respondeu de forma equivocada que raio-X transmite muitos elétrons e íons, causando câncer.

Na terceira pergunta do questionário “Qual era o objetivo do Doutor Geysler ao inventar o tubo de Cornell?”, o objetivo era apenas de identificação no vídeo do motivo o qual levou o Doutor Geysler a isolar a produção do raio-X com um tubo de metal e vidro. Nesta pergunta também estava implícito a motivação financeira do Doutor, em encontrar algo rentável da aplicação do seu conhecimento. Como já comentado anteriormente, este tubo era apenas para isolar as faíscas produzidas pelo catodo, e dessa forma ele considerava o uso seguro para remoção de pelos, manchas e verrugas, sendo assim amplamente usado para esse fim. Nas respostas dos alunos, nenhuma foi satisfatória, no entanto, o aluno 01 respondeu da seguinte forma: “criar um aparelho seguro onde era possível aplicar diretamente nos salões de beleza”. A resposta foi um tanto confusa, mas passa a ideia que o objetivo era criar algo seguro para utilização comercial. O aluno 03 disse erroneamente que o objetivo era inovar, tudo pela ciência. Três discentes responderam de forma similar, que o objetivo era neutralizar as forças perigosas da radiação. Um aluno respondeu que tratava de ganhar dinheiro com tratamento de beleza, e todos os outros relataram que o objetivo era: ajudar as mulheres a se cuidarem; tirar manchas e pelos; e melhorar a aparências das mulheres. Nesta pergunta, percebe-se um pequeno déficit de atenção durante a exibição do vídeo mostrado, pois a resposta era bem clara na trama, no entanto observando os alunos, era possível ver que mesmo com o questionário em mãos e dado tempo para leitura das perguntas, ao iniciar o vídeo, os mesmos tinham a preocupação de ver e responder as perguntas, mas nesse ponto da aula, se concentraram apenas em assistir e esqueceu-se de responder as perguntas, deixando para responderem apenas no final.

Na quarta pergunta deste questionário “Por qual motivo o tratamento *Tricho* fez tanto sucesso entre as mulheres da época?”, o aluno 01 transcreveu uma fala da trama: “por que era o auge do cinema, e as mulheres queriam parecer tão bonitas como as atrizes. Queriam ficar belas, de maneira rápida”. O aluno 03 respondeu de forma similar: “por que as deixavam bonitas de forma rápida”. O aluno 05 atribuiu o sucesso por causa do marketing, onde a dupla

divulgava e publicava a existência de uma máquina que removia pelos sem dor. Três alunos indicaram a inovação do tratamento visto que os da época eram doloridos. Todos os outros atribuíram o sucesso apenas à remoção de pelos indesejáveis sem dor.

A quinta pergunta “Quais os primeiros efeitos biológicos adversos que surgiram do tratamento *Tricho*?”, era para de certa forma compactuar com a ideia prévia do aluno que o uso de radiação ionizante oferece riscos. Dessa forma teve-se os seguintes sintomas mencionados: pigmentação da pele, úlceras, deformação, lesões, mutações em nível celular, envelhecimento precoce da pele e câncer de pele. Neste item, o aluno 16 ainda insistia erroneamente em afirmar que: “a radiação era um gás que causava mutações”, demonstrando assim um nível de atenção baixo ao que foi mostrado na aula anterior, e no vídeo.

A sexta e última pergunta deste questionário era para inserir a ideia que apesar de todos os erros cometidos no passado, e com o uso de algo extremamente perigoso, quando controlado, começa-se a ter os reais benefícios, mostrando assim o processo de construção do conhecimento almejado. A pergunta “Atualmente é possível usar raios-X em tratamento dermatológico de forma segura?”, era respondida no final do vídeo em forma de texto. Dessa forma, dez alunos identificaram corretamente a resposta dizendo que sim, em dosagens muito baixas é possível fazer tratamentos de peles bem específicos. Um aluno ficou na dúvida, afirmando que “acreditava que sim, pois já não encontramos tantos relatos de fracasso no tratamento com raio-X”. E cinco alunos responderam que não é seguro o uso de raio-X para tratamento dermatológico.

O procedimento para o vídeo seguinte foi o mesmo, agora entregue o segundo questionário, com quatro perguntas, os alunos leram as perguntas e iniciou-se o vídeo. O segundo vídeo tratava do “Projeto Manhattan”, construção da bomba atômica em meados da segunda guerra mundial. O vídeo relata não fatos históricos cronológicos, mas simplificando a trama dando a entender que tudo ocorreu em um curto espaço de tempo, e em um ambiente bem menor. A história é centrada em um acidente na produção do ponto crítico, que gera a reação em cadeia do núcleo atômico envolta de uma esfera oca de berílio.

A primeira pergunta do questionário era “Por que classificamos o urânio como radioativo?”. A resposta era uma das primeiras falas do vídeo. A ideia dessa pergunta era mostrar aos discentes que existem elementos que naturalmente são radioativos. Doze alunos responderam corretamente dizendo que é por causa da emissão de nêutrons naturalmente. Um aluno respondeu ser radioativo por emitir ondas eletromagnéticas. Dois alunos responderam de forma similar que a classificação se dava pela emissão de raios nêutrons. E um aluno respondeu que o urânio se torna radioativo devido à aproximação dos hemisférios de plutônio. Nesse ponto há certa confusão em definir partículas e ondas, e mais ainda desse último aluno, pois mostra claramente o não entendimento do tema, no entanto, perceber-se que a maioria dos alunos compreendeu a pergunta respondendo satisfatoriamente.

A segunda pergunta era para mostrar o significado que mesmo um elemento sendo radioativo, ele pode ser inofensivo, já desconstruindo a ideia de radiação sempre irá causar algo ruim. A pergunta era “Em condições naturais o urânio é capaz de causar algum efeito biológico?”. A resposta de quinze alunos foi similar, “não, ele é inofensivo” como relatou o aluno 01. E apenas o aluno 15 respondeu erroneamente “causa infecções afetando o sistema imunológico”.

A terceira pergunta, “Explique o funcionamento do núcleo de uma bomba atômica descrevendo o ponto crítico”, era respondida em um relato na trama do vídeo. Todos os alunos responderam satisfatoriamente os componentes existentes como o aluno 02 relata “é um núcleo formado por urânio ou plutônio envolto por uma esfera oca metálica”. No entanto não mencionou o funcionamento do ponto crítico. O aluno 03 disse que: “os nêutrons eram comprimidos ocorrendo uma reação em cadeia”, aproximando-se da resposta correta. O aluno 06 disse que: “refletia os próprios elétrons causando a reação em cadeia”.

A última questão “Durante a reação do ponto crítico, os cientistas foram expostos a que tipo de radiação”, era para identificar que eles estavam expostos a vários tipos radiação, no entanto, apenas radiação do tipo ionizante foi a causadora de efeitos indesejáveis. O aluno 02 respondeu que os cientistas ficaram expostos a “todas as radiações”, no entanto, não especificou exatamente quais eram prejudiciais. Dessa forma apareceram as seguintes

respostas: alfa, beta, gama, raio-X, bombardeamento de nêutrons. Dois alunos identificaram erroneamente o próprio urânio como radiação.

Até esse ponto a ideia da sequência didática era conduzir o aluno a reafirmar a radiação ionizante como algo realmente perigoso, mas com pontos sutis que já demonstravam o outro lado desse fenômeno. Dessa forma foram recolhidos os questionários dos alunos, e entregou-se um texto cujo conteúdo desmitifica a radiação ionizante como algo incontrolável, e apenas com malefícios.

Começou-se então a aula 03 - Análise e Discussão do Texto “O que é irradiação? E contaminação radioativa? Vamos esclarecer?” de Ary de Araújo Rodrigues Júnior (**Anexo A**). O texto é bem completo com relação ao tema radiação. Ele define primeiramente o que é radiação, e o equívoco em deduzir coisas ruins dela, de forma que ele explica que a luz é radiação, micro-ondas também, tópico este que já tinha sido abordado em sala de aula. No entanto o texto vai além. Ele menciona que a radiação decai com o quadrado da distância, de forma que em ambientes de contaminação radioativa e irradiação a primeira medida a ser tomada é se afastar do lugar para um lugar seguro, longe o suficiente. O texto também apresenta a confusão que a mídia faz ao relatar um fato de acidente em usinas nucleares, com temas vazios e errôneos. O texto então explica como funciona a radiação ionizante em objetos e seres vivos, incrementado que a irradiação é exposição a energia e não ao material radioativo, de forma que a irradiação não acumula nos objetos. Ele ressalta que sempre estamos expostos à radiação considerada nociva e comenta os níveis aceitáveis de absorção, assim como alimentos que naturalmente possuem potássio, e por isso tem índices de material radioativo, como banana, batata e leite. Ele retoma então a ideia de proteção contra irradiação, e termina o texto com uma confusão em uma empresa aérea que tinha como política não transportar materiais radioativos.

Foi dado então aos alunos trinta minutos para leitura do texto ora apresentado, e em modo de observação percebeu-se a surpresa de alguns em certos trechos do texto. Encerrado o tempo, iniciou-se a discussão do texto, fez-se um breve resumo e foi pedido a eles comentarem o que encontraram de mais interessante. A primeira manifestação foi: “eu não sabia que comia banana radioativa”. Foi até um momento de descontração. Todos se mostraram

surpresos ao saberem que algo que os alimenta poderia ter uma carga de material radioativo, no qual acreditavam ser totalmente prejudicial à saúde. De forma que todos queriam falar ao mesmo tempo, foi necessário intervir e fazer inscrição para fala. Cada um foi apresentando suas ideias do texto afirmando que tudo isso era informação nova, que jamais pensariam que algo tido como ruim, e reafirmado nos vídeos que assistiram poderia ter um lado bom, útil, ou mesmo tolerável. A confusão com a empresa aérea também foi um tópico bem comentado, pois apesar dos materiais cirúrgicos serem irradiados, ficando estéril, sem qualquer indício de radiação posterior, e esse processo era justamente para manter o controle bactericida desses materiais. O aluno 01 então fez a seguinte relação: “lendo o texto percebi que a radiação gama passa qualquer material do corpo humano, assim o ‘Hulk’ não poderia ter no sangue raios gamas, pois nada iria segurá-lo”. Então foi comentado: “muita boa sua colocação, o incrível ‘Hulk’ poderia tomar uma solução com material radioativo, no entanto a radiação gama não se armazenaria no seu corpo para gerar o tal homem grande verde, a própria atribuição da cor verde é fictícia, pois radiação gama não tem cor”.

Percebeu-se que nessas três primeiras aulas, os alunos presenciaram a construção do processo histórico do tema, relatou-se os acidentes e usos sem a total compreensão de radiação ionizante, e por fim deu-se início sobre as qualidades que ela pode apresentar, dando assim por encerrada a primeira etapa da sequência didática.

## **6.2. Aulas 04, 05 e 06 – Segunda etapa**

No dia 30 de abril de 2015, foi retomado as aulas da sequência didática sobre radiações ionizantes.

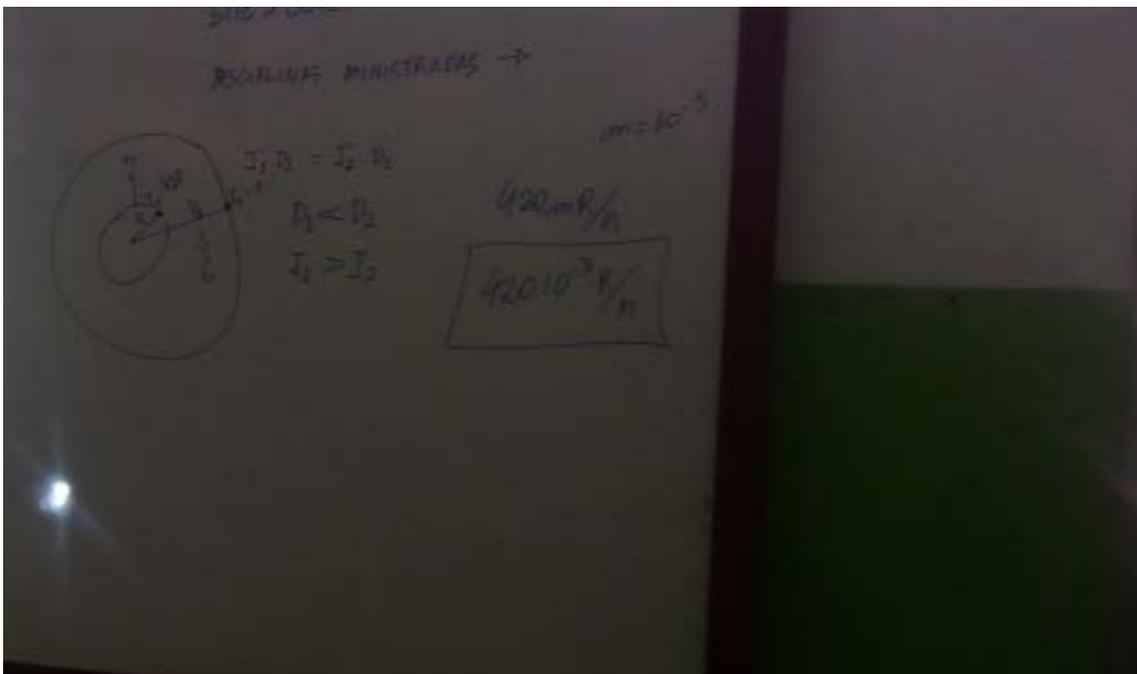
Na aula 04 o objetivo era identificar as formas de medir a radiação, assim como a operacionalização matemática do conteúdo, de forma a efetuar uma análise quantitativa da radiação ionizante. Começou-se então expor a primeira forma de medir a radiação na fonte radioativa, chamada atividade, que na verdade define o número de transformações nucleares que ocorrem no elemento radioativo por unidade de tempo. Esse tipo de grandeza tem uma forma usual de medir chamada Curie (Ci), mas no padrão S.I. utiliza-se o

Bequerel (Bq). Nesse momento da aula foi feito um “*link*” com as aulas anteriores mostrando quem eram essas personalidades homenageadas nestas unidades, acentuando o valor do estudo para o tema. Em seguida falou-se sobre a segunda grandeza física de radiação, exposição, que refere-se a ionização do ar próximo a fonte radioativa, usualmente mede-se em Röentgen (R), mas atualmente no padrão S.I. usa-se Coulomb/quilograma (C/kg), seguindo a mesma abordagem de contextualização dos cientistas homenageados, principalmente Röentgen descobridor do raio – X em 1895. A grandeza seguinte abordada foi dose absorvida, que trata-se da quantidade de energia absorvida por unidade de massa em objetos, usualmente medida em rad (radiation absorbed dose) e a atual no S.I. Gray (Gy). Neste item tem-se então um cientista que ainda não tinha sido falado, assim foi feita uma abordagem sobre o mesmo, explorando o seu trabalho principalmente com investigações dos efeitos da radiação em sistemas biológicos, originando o campo da radiobiologia, por isso sendo homenageado nessa unidade de medida. E por último falou sobre a grandeza chamada dose equivalente que considera o efeito biológico da radiação absorvida pelo organismo vivo a partir do tipo de radiação, medida em rem (*Röntgen equivalent man*) e a atualmente chama-se Sievert (Sv). Novamente abordou-se de forma similar ao item anterior, relacionando o trabalho de Rolf Maximilian Sievert que trabalhou na dosimetria da radiação, principalmente na radiologia diagnóstica e radioterapia, além de ajudar a fundar a *International Radiation Protection Association* (IRPA).

Ainda nessa aula foi falado sobre a dose máxima permitida durante um ano, pelos órgãos reguladores de emissão de radiação, onde apresentou-se a equação que a define, explicando a relação com idade da pessoa.

E por fim nesta aula, mostrou-se um quadro que resumia todas as relações entre as unidades apresentadas, com os devidos fatores de conversão das medidas usuais para as medidas utilizadas no S.I.(quadro 02) Sendo assim foi apresentado essas grandezas de radiação para os alunos terem o entendimento de como são usadas nas pesquisas, e a importância que terão nos próximos itens abordados, finalizando a aula 04. Essa aula foi expositiva, pois buscou-se na sequência didática mesclar todo tipo de metodologia para verificar o comportamento dos alunos. Poder-se-ia ter tratado essa aula de forma similar como a aula 03, porém como o texto se tornou muito

grande para conter todas as informações prestadas, optou-se em aula expositiva. Mas como mencionado anteriormente essa sequência não deve ser encarada como uma receita, logo nesta sequência poderia ser feita uma abordagem diferenciada.



**Figura 12** – Aluno 01 foi ao quadro para escrever a equação do decaimento da radiação com a distância.

Na aula seguinte, aula 05, voltou-se a discutir alguns pontos presente no texto da aula 03, agora com maior profundidade. O primeiro ponto era mostrar aos alunos as formas de proteção contra a radiação, pois apesar de ser uma fonte de energia poderosa, existem alguns meios de impedi-la. A primeira forma é manter distância da radiação, no caso ionizante, pois a intensidade da radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Os alunos relembrou a equação que estava presente no texto da aula 03 e demonstraram o entendimento do funcionamento do cálculo. O Aluno 03 disse que quanto mais longe melhor. O aluno 01 relatou sobre a similaridade dessas equações com outras equações presente na física, como exemplo ele usou erroneamente a conservação do torque, o que foi surpresa, pois geralmente este tema toque não é trabalhado no ensino médio, mas como o curso é de edificações talvez tenha relacionado com outra disciplina. Foi pedido então ao aluno 01 para ir ao quadro e escrever a equação e falar sobre seu

entendimento. Na figura 12 vê-se o que ele pensou no lado esquerdo com uma figura que representa o decaimento da radiação com a distância. Porém ele se equivocou na equação, pois se esqueceu de mencionar o quadrado da distância em ambos os lados.

Em seguida continuou-se a discussão com outra forma de proteção, tempo de exposição. Neste item foi lembrada a aula anterior no ponto em que se tem tolerância à radiação, desde que não ultrapasse a dose máxima, considerada como uma carga de radiação inofensiva, dessa forma, considerando um acidente onde está presente uma fonte de radiação ionizante e possível sair do local e manter distância sem que haja danos colaterais, no entanto essa medida é paliativa, e depende de outros fatores, como a intensidade da fonte de radiação.

Foi lembrado então o acidente na usina nuclear de Fukushima, em 2011, onde apesar de ainda não termos falado sobre o terceiro item de proteção, a blindagem, já foi mencionado. O aluno 04 falou que a blindagem falhou no terremoto, e a radiação ficou sendo “jogada” na atmosfera. O governo japonês imediatamente pediu que todos saíssem para uma zona segura. A intenção aqui era falar somente do acidente no final das três formas de se prevenir, porém o aluno antecipou o final desta aula. Falou-se então que as duas primeiras formas de proteção são para remediar acidentes como esse, e a última sim, era uma medida efetiva de proteção, a blindagem.

Comentou-se então um pouco sobre poder de penetração das radiações ionizantes, além de lembrarem o texto da aula 03 que fazia menção a este item também. Então foi levantado o ponto de salas específicas de raios-X nos hospitais, onde deveriam ser feitas de materiais mais densos como concreto, ou placas de chumbo para não permitir que outras pessoas no prédio do hospital estejam sujeitos à exposição desnecessária de radiação ionizante. Outro ponto levantado pelo aluno 03 foi à redução de tempo de serviço de técnicos de raios-X, justamente para tentar diminuir exposição à radiação. No entanto outros alunos levantaram o ponto que os técnicos se aproveitam disso para trabalhar em mais de um lugar para aumentar sua renda. Interveio-se então que apesar de os técnicos saberem os riscos que correm, realmente agem dessa forma, no entanto foi pedido que eles fizessem uma pesquisa, apenas informativa, para averiguar quais das profissões da saúde tem uma

expectativa menor de vida. Já adiantando o resultado, foi explanado a displicência dos técnicos e médicos radiologistas. Assim, deu-se por encerrada esta aula.

Na última aula desse dia, aula 06, foi feito então uma lista de exercícios com conteúdo da aula 04 e 05. Essa aula tinha como objetivo operacionalizar matematicamente o conteúdo. Basicamente os exercícios envolviam mudança de unidades de medidas, decaimento de radiação com a distância, dose máxima e última pergunta sobre formas de proteção contra radiação. Apesar desta pesquisa ser qualitativa, neste item ficou inviável tal análise nesse sentido nos resultados destes exercícios, pois eram na sua grande maioria de resolução matemática. Sendo assim, serão mencionados os resultados e a conclusão que foi tirada pela observação dos alunos.



**Figura 13** – Aplicação do exercício de fixação da aula 06.

O exercício tinha oito questões. A primeira questão nenhum aluno acertou, pois apesar de ser apenas de conversão de unidade, tinha número com prefixos do S.I., de forma que foi totalmente ignorado pelos alunos,

causando assim o erro. Na segunda questão apesar de ser uma pergunta que exigia raciocínio, mas implicitamente conversão de unidade, relacionava a dose máxima que o corpo humano pode absorver, com o tratamento isolado de uma área com câncer, onde as doses geralmente são muito maiores. A pergunta pedia para justificar se tal quantidade de radiação ionizante era prejudicial se aplicada no corpo todo. Foram obtidas respostas 100% corretas.

A questão 3, 4, 5 e 6 eram de decaimento da radiação com o quadrado da distância. Nestas questões todos os alunos obtiveram 100% de êxito.

A questão 7 envolvia absorção de dose máxima, uma aplicação da equação onde a idade da pessoa interfere. Nesta questão também obteve-se 100% de êxito.

A última questão era subjetiva, e buscava informações sobre as formas de proteção contra radiação. A questão, “No acidente de Fukushima, no Japão, um terremoto causou um maremoto e destruiu a blindagem superior de duas usinas nucleares. Sabendo que a blindagem é uma das maneiras para se proteger contra a radiação, comente sobre outras formas de proteção que o governo japonês poderia ter tomado”, tentava levar o aluno a pensar em uma situação real de acidente com usina nuclear e buscar um solução baseando em nossas aulas. Todos foram unânimes em mencionar o tempo de exposição e manter distância efetivamente segura, como respondeu o aluno 03, ou como respondeu o aluno 09: “manter distância em menor tempo possível, assim ficará menos exposto a radiação, ou ficar em um abrigo blindado com capacidade de interoper o acesso da radiação”. O Aluno 13 foi mais enfático em dizer que “restaria apenas evacuar toda a população para uma distância em que a radiação(ionizante) estivesse a níveis normais ou aceitáveis, logo em seguida isolar a área, e passar o menor tempo exposto.

Sendo assim, deu-se por encerrada a segunda etapa da sequência didática em sala de aula. Já fora da sala de aula, alguns alunos pediram mais informações sobre a questão de radiação em bombas atômicas e acidente de Chernobyl, mostrando um grande interesse pelo tema por parte dos alunos. Conversou-se alguns minutos enquanto o próximo professor ainda não tinha entrado. O aluno 04 perguntou se tinha conhecimento de quanto tempo a radiação fica no ar depois de uma explosão da bomba atômica na segunda guerra mundial. Foi respondido que na segunda guerra a quantidade de

material radioativo era bem pequena e que apesar de na hora da explosão gerar uma grande irradiação, depois apenas uma nuvem radioativa pairou sobre as cidades, mas em poucos dias já apresentava níveis de radiação aceitáveis, conforme pesquisas. Desse ponto o aluno 05 relatou o caso do acidente em Chernobyl, onde os níveis de radiação ionizante demoraram muito tempo para voltar a normalidade. Contrapros-se lembrando o texto da aula 03, a diferença entre contaminação e irradiação. No caso de Chernobyl houve vazamento do material radioativo de forma que a região ficou contaminada, e o decaimento do material depende da meia-vida do elemento químico, item que foi pedido para pesquisarem, por isso demorou muito mais tempo para voltar a normalidade. Assim percebeu-se que os alunos ficaram satisfeitos e retornaram para sala.

Analisando a situação desta etapa pode-se constatar a empolgação que o tema gerou na turma ora empática as aulas de física, com algo novo, porém presente no seu dia a dia. Verificou-se esta mudança de atitude, beneficiando eles mesmos, demonstrando que o trabalho executado é importante e funcional.

### **6.3. Aulas 07, 08 e 09 - Etapa final**

No dia 07 de maio de 2015, iniciou-se os trabalhos da última etapa da sequência didática sobre radiação ionizante. A aula 07 e 08 são contínuas abordando os benefícios e aplicações da radiação ionizante, tendo como objetivo discutir os efeitos biológicos da radiação, seus benefícios socioambientais, e auxiliar na elaboração de juízo de valor dos alunos em relação ao uso da ciência e tecnologia e as suas consequências.

Começou-se mencionando que nem todo tipo de radiação é prejudicial para as pessoas, e em conjunto com as medidas de proteção pode-se de certa forma controlar a produção de radiação ionizante e usar de forma benéfica. Era evidente na expressão de alguns alunos a estranheza de usar radiação ionizante para algo útil.

O desafio dessa aula era mostrar aos alunos que a radiação ionizante quando controlada, pode ser usada em várias áreas e tem uma larga aplicação. Com os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos, o uso da radiação não

só se tornou seguro quanto justificável e extremamente necessário em muitos casos.

Relatou-se então a aplicação mais comum da radiação ionizante, na área da saúde. Foi lançada então a pergunta se já tinham feito uma radiografia alguma vez na vida, todos responderam que sim. Então foi lembrado as descobertas do raio-X por Röntgen, onde umas de suas aplicações foi a primeira radiografia da história. Mostrou-se então um vídeo retirado da internet, onde apresentava um aparelho chamado radiografo. O aparelho consiste em emitir raio-X, e uma câmera captar as imagens gerando então um filme (vídeo). No vídeo explicam como funciona a questão do diagnóstico por densidade, onde as partes claras indicam tecidos mais densos como o osso, e as partes mais escuras indicam ausência de tecidos, de forma que as outras tonalidades de cinza são formadas no intervalo destes extremos. O vídeo também alerta para a durabilidade do diagnóstico, pois após certo tempo, o paciente começa a receber doses acima do limite considerado aceitável e segura. A mamografia também é um teste diagnóstico onde é possível encontrar miomas, devido sua densidade ser diferente dos demais tecidos, detectando assim possível câncer. Mencionou-se sobre uso de radioisótopos, que também são empregados com o propósito de diagnóstico, fornecendo informações sobre o tipo ou extensão da doença. O isótopo iodo, por exemplo, é usado para determinar o tamanho, forma e atividade da glândula tireoide. O paciente bebe uma solução de KI (iodeto de potássio), incorporando iodo, então o corpo concentra o iodo na tireoide, e após algum tempo, um detector de radiação varre a região da glândula e a informação é exibida no computador, sob a forma visual.

Em seguida comentou-se sobre a utilização de radiação ionizante no processo de tratamentos de doenças, chamada de radioterapia. A radioterapia é uma especialidade médica focada no tratamento oncológico que utiliza radiação ionizante para atingir determinadas células, impedindo sua proliferação ou causando sua destruição. Esse tratamento não causa danos às células saudáveis, pois elas podem se regenerar, diferentemente de células cancerígenas que são extremamente sensíveis a radiação ionizante.

Neste ponto, o aluno 07 disse que tem pessoas que preferem não fazer o tratamento, pois acreditam que vão morrer de qualquer forma. Foi contraposto que apesar do tratamento causar desconforto nos pacientes, a

tecnologia evoluiu, e cada vez as chances de sucesso são maiores, diferentemente quem não opta pelo tratamento, em que as chances de cura é nula.

Relatou-se então outra técnica chamada de braquiterapia, é uma forma de radioterapia em que materiais radioativos são implantados nas proximidades do tumor. Essa proximidade permite que altas doses de radiação sejam liberadas para atacar o tumor. A radiação fica restrita à região, não afetando órgãos mais distantes.

Essas formas de aplicação da radiação ionizante já eram de conhecimento de alguns alunos como visto na avaliação diagnóstica. Ressaltou-se que ressonância magnética utiliza outro fenômeno físico, e que radiação ionizante não está presente.

Continuou-se falando agora sobre a aplicação de radiação ionizante na indústria. Como o primeiro item abordou-se radiografia de peças metálicas, mostrando a eles a imagem da radiografia do rifle de caça de Röntgen, demonstrando estar com um furo no cano. Nesse caso a radiação mais utilizada na indústria é a gama por ter um maior poder de penetração como já fora discutido anteriormente. As empresas aéreas realizam a gamagrafia das partes metálicas e das soldas essenciais dos aviões, que são sujeitas a mais esforços, como asas e turbinas. Com isso, é possível inspecionar os aviões e verificar se há fadiga em alguma de suas partes. Abordou-se também a aplicação de radiação para esterilização em materiais de saúde e alimentos. Esse processo é utilizado principalmente pela indústria farmacêutica, pois alguns materiais descartáveis (como seringas, gazes e luvas cirúrgicas) não suportam altas temperaturas. Assim, esses produtos são esterilizados “a frio” com fontes radioativas. Esses foram apenas alguns dos exemplos na indústria utilizados para falar do uso da radiação ionizante.

E para o fim desta aula, relatou-se a aplicação de radiação ionizante na agropecuária. E como ponto chave da pesquisa retornou-se a última pergunta da avaliação diagnóstica “Você comeria uma fruta que foi irradiada?”: A resposta foi a mesma que obtivemos como resultado na avaliação diagnóstica. A grande maioria não comeria, ou comeria se não fosse avisado. Apesar dos esforços em mostrar a utilidade da radiação ionizante no mundo moderno, ainda não tinha se obtido o êxito em demonstrar que em certas situações de

controle sob a radiação é possível utilizá-la com segurança. Contrapôs-se então aos alunos: “se dissermos que todos aqui nessa sala já comeram pelo menos uma vez na vida um alimento irradiado”. Todos ficaram abismados com a informação da possível utilização de um produto que passou por irradiação. O aluno 01 se manifestou dizendo “se pra ele foi surpresa que batata, leite e banana tinham carga radioativa, não seria impossível já ter consumido algum alimento tratado com irradiação sem seu conhecimento”. Dando prosseguimento a aula, foi dito que antes de mostrar os produtos irradiados deve-se conhecer qual o motivo para serem tratados dessa forma. Basicamente são três os motivos: evitar que raízes ou tubérculos brotem durante o armazenamento (como é o caso de cebolas e batatas); eliminar insetos dos grãos antes do armazenamento, ou ainda para preservar alimentos, inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos; e por fim retardar a maturação, tudo de forma segura. Apresentaram-se então as imagens de alimentos que possuem tratamento de irradiação e que estão disponíveis no mercado brasileiro como: batatas fritas, macarrão instantâneo e algumas frutas como morango. As frutas irradiadas são mais comuns na Europa e foi mostrado um arquivo em formato *pdf* (**Anexo B**) onde constam os níveis de radiação ionizante que cada alimento deve receber para se obter êxito no armazenamento. Nesta lista constam carnes, derivados de carnes, ovos, frutos do mar, hortaliças e principalmente frutas e verduras.

Este item foi uma quebra de paradigma nos modelos que os alunos tinham sobre radiação ionizante. O aluno 07 disse que só comia “macarrão instantâneo” no jantar, pois era mais fácil de preparar, ele estava enfático em dizer que não comeria. O aluno 10 disse que esperava um símbolo radioativo nas embalagens para identificar a passagem do alimento por irradiação. Foi dito então que não tem como colocar um símbolo de radiação, haja vista que o produto não é radioativo, mas em alguns os produtos apresentam a descrição “Alimento tratado por processo de irradiação”, como é o caso do macarrão instantâneo.

Todos ainda surpresos com a nova informação perguntou-se se tinham gostado das aulas. O aluno 01 disse que “todas as aulas de física deveriam ser dessa forma, com surpresas no final”. O aluno 02 disse que “o conteúdo de física devia ser revisto e ensinar aquilo que está presente no dia a dia dos

alunos” como era o caso do tema. O aluno 04 relatou que “se as aulas fossem sempre nesse nível o comprometimento seria maior em se dedicar e aprender mais”.

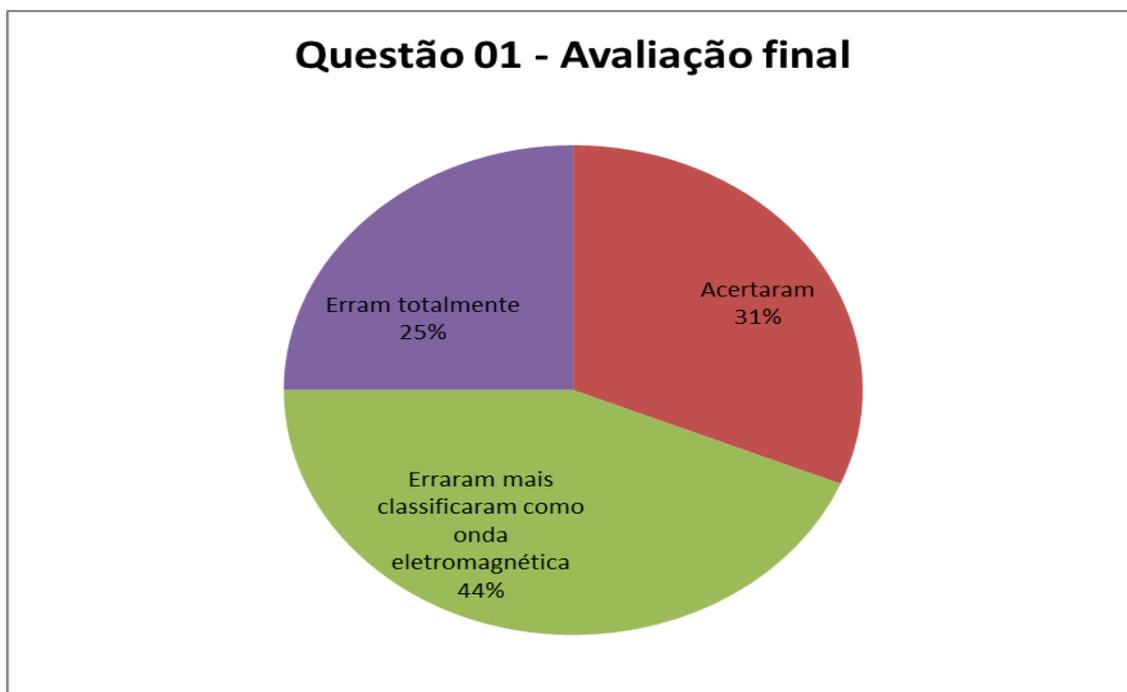
Dessa forma foi dada por encerrada a aula 07 e 08 e iniciou-se a última atividade da sequência. A aula 09 era uma atividade avaliativa baseada em questões de vestibulares e ENEM, onde o tema estava presente. As questões são de múltipla escolha com apenas uma alternativa correta.



**Figura 14** – Aplicação da Avaliação Final da sequência didática.

A primeira questão retirada do vestibular da UNIFESP-SP comparava micro-ondas com luz ou som, relacionado à frequência. Porém percebeu-se neste item que a sequência precisou de um suporte no que tange as características de ondas, pois apesar de ter sido classificado micro-ondas como ondas eletromagnéticas de baixa frequência onze alunos erraram a questão, de forma que os alunos 6, 7, 8, 9, 11, 12, e 13 identificaram corretamente a comparação de micro-ondas com a luz, porém erram a questão

por escolherem a alternativa que a luz era de menor frequência. Essa questão foi a que teve o maior índice de erro.

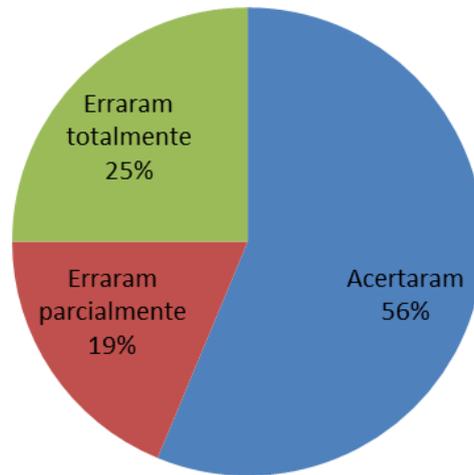


**Gráfico 01** – Resultado quantitativo da questão 01 da avaliação final

Na segunda questão, do vestibular da UFPEL-RS comparava uma reação química com velocidades diferentes de acordo com a reação de ionização conforme a frequência da cor emitida sobre a reação química. A questão mostrava que quanto maior a frequência da cor, mais rápida seria a ionização devido a energia associada ao comprimento de onda. Os alunos de 01 a 09 acertaram corretamente, os alunos 10, 11, 13 acertaram parcialmente, e os alunos 12, 14, 15 e 16 erraram totalmente. Novamente atribuiu-se esse insucesso admitindo que devia-se ter inserido na sequência didática um item sobre ondas e características de ondas.

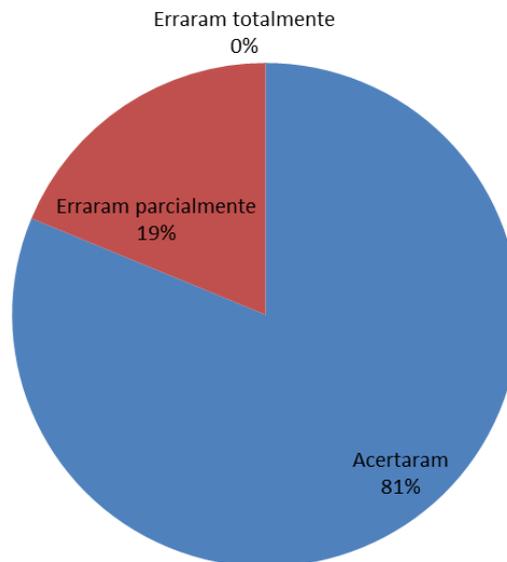
Na questão 03 retirada do vestibular da UEL-PR, tratava-se de uma questão de irradiação de produtos agrícolas, e trazia quatro afirmações das quais apenas duas estavam corretas. Este item foi o que mais obteve sucesso, os alunos 01 a 08, 10 a 14 acertaram a resposta correta, porém os alunos 09, 15 e 16 erram a alternativa que era totalmente correta, porém marcaram uma opção e que tinha pelo menos uma afirmação correta. Dessa forma foi possível verificar que houve um entendimento elevado do ponto chave dos alunos.

## Questão 02 - Avaliação final



**Gráfico 02** – Resultado quantitativo da questão 02 da avaliação final

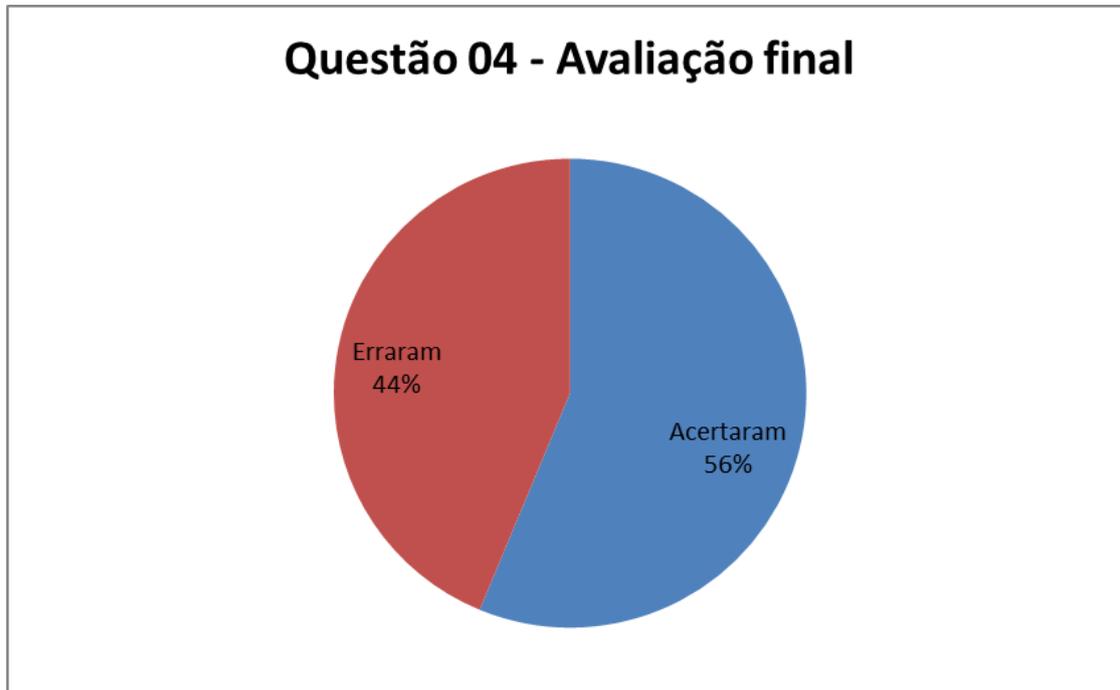
## Questão 03 - Avaliação Final



**Gráfico 03** – Resultado quantitativo da questão 03 da avaliação final

Na questão 04, retirada do ENEM (2009), discutia a questão de formação imagens em uma chapa fotográfica com o uso de radiação ionizante, não especificando a onda eletromagnética. A questão versava sobre a situação

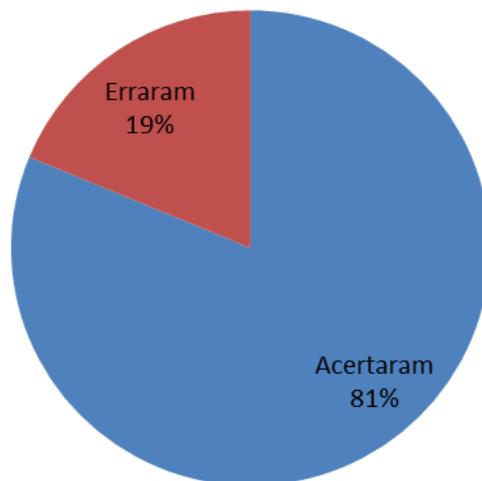
de um pescoço entre a fonte da radiação e o filme, para gerar a imagem. O texto ainda falava que o filme quando diretamente exposto a radiação escurece, e que áreas claras indicam algum material na frente do filme que absorve a radiação, não permitindo chegar à placa.



**Gráfico 04** – Resultado quantitativo da questão 04 da avaliação final

Essa questão de forma explícita tinha sido discutida durante nossas aulas, no entanto não entrou-se em detalhes em absorção de tecidos e variação de cinzas no filme fotográfico, apenas fizemos uma menção. Sendo assim, os alunos 01 a 06, 08, 11, 12 acertaram a resposta corretamente afirmando que há maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de cálcio do que por outros tipos de átomos, formando assim as manchas claras no filme. Os alunos 07, 09, 10, 13 a 16 marcaram alternativas erradas, visto que nesta questão não tínhamos alternativas parcialmente corretas.

## Questão 05 - Avaliação final



**Gráfico 05** – Resultado quantitativo da questão 05 da avaliação final

Na quinta e última questão, abstraída do ENEM (2005), relatava a situação de produção de eletricidade através de usinas nucleares, onde o grande ponto negativo são os rejeitos radioativos, chamados de lixo atômico, do qual se deve ter um tratamento aquedado para não poluir o ambiente. A questão explica em poucas palavras as partes do condicionamento desse material, onde primeiramente os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de serem, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou enterrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. Então a pergunta indagava o porquê de tamanha preocupação?

Os alunos 01 a 05, 07, 08, 10 a 15 acertaram a alternativa correta afirmando que o lixo atômico emite radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente. Os discentes 06, 09 e 16 afirmaram erradamente que o lixo atômico emite radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

Dessa forma encerrou-se as atividades da sequência didática sobre radiação ionizante, com a certeza que obteve-se êxito, porém alguns pontos

precisam ser incluídos para um melhor entendimento por parte dos discentes do conteúdo.

## Capítulo 7

### Considerações finais

Todo trabalho pedagógico com o intuito de beneficiar a qualidade da educação é válida, pois assim pode-se considerar um reinventar de tais práticas, saindo da zona de conforto, e buscando desafios para melhorar a prática docente. O trabalho aqui presente almejou essa ideia. Não é algo novo, nem original, no entanto a forma em que ele foi proposto sim.

Trabalhar física nas escolas públicas é sempre um desafio, ainda mais temas da física moderna contemporânea, como é o caso. Por se tratar de uma “física nova”, em relação à física clássica, torna-se um desafio ainda maior, pois o nível de dificuldade é idêntico, ou em alguns casos maior. Porém imagina-se que essa física está mais próxima das aplicações do dia a dia do aluno, e por causa disso acaba se tornando mais próxima de seus interesses. O tema deste trabalho é quase desprezado na base curricular nacional, e ainda mais nas escolas. No entanto deve-se resgatá-lo, para mostrar aos alunos que física não é coisa estagnada, e de séculos passados.

A teoria de aprendizagem significativa deu o suporte necessário para ir-se a campo buscar melhorias a educação, o ensino, a aprendizagem, e o processo de ensino-aprendizagem. Como norte, o subsunçor é parte fundamental para fazer-se a ancoragem de um novo conceito, uma nova ideia no pensar do aluno, e de fato, pode-se considerar que se foi longe, alcançando os objetivos propostos, por apoia-se nessa ideia. A premissa do aluno querer aprender, para que haja uma aprendizagem significativa também foi contemplada, visto que nosso tema é atual, com aplicações práticas, e próximo da realidade do aluno. Fez com que eles mudassem a postura de apáticos a aulas de física, a fervorosos defensores de seus pontos de vista do fenômeno aqui estudado.

Para ensinar em qualquer área, mais especialmente em ciências, deve-se construir a ideia nos alunos que tudo é parte de um processo demorado, e que a verdade ora apresentada, pode amanhã ser complementada, ou mesmo descartada. Assim se constrói o conhecimento, onde os responsáveis por esse trabalho são pessoas comuns, porém empenhados em seus trabalhos e estudos, como são os cientistas aqui apresentados. Esse processo histórico da

construção do tema deve está presente em todas as aulas de física, pois assim o aluno poderá perceber que a física está presente na humanidade com o objetivo de desvendar segredos da natureza, ajudando a dominá-la, e usá-la a seu favor.

Nesse processo, pode-se verificar que os alunos não só se empenharam nas aulas, como também mostraram interesse pelo tema. As aplicações da radiação em alimentos gerou um impacto muito grande na concepção dos alunos, que até esse momento era considerado impossível, pois algo tão poderoso, capaz de mutações genéticas e uma variedade de outros males, pudesse ser utilizado para beneficiamento de alimentos, e mais ainda, que faziam uso desses alimentos sem o seu entendimento do processo.

A sequência didática aqui proposta teve algumas falhas que foram detectadas nas avaliações, porém em aplicações futuras podem ser melhoradas. A introdução de uma revisão de conceitos de ondas e suas características se fazem necessários para um entendimento completo do fenômeno. No entanto, ao todo o resto da sequência, imagina-se que obteve-se êxito com a ordem em que foi construída, ficando bem claro o início, o meio e fim, tudo planejado e articulado.

Outra situação que ocorreu somente depois das aulas, foi a de apresentar aos alunos os alimentos industrializados em sala de aula que passaram por irradiação. Mostrando as indicações nas embalagens que comprovam o tratamento com essa tecnologia.

Sendo assim, apesar dos casos já citados, percebeu-se exitosa as atividades da sequência didática. Obteve-se resultados satisfatórios, e que professores interessados neste trabalho podem melhorá-los ainda mais, pois como já citou-se anteriormente, esse trabalho é passível de adaptações.

## REFERÊNCIAS

[Ausubel 2003] AUSUBEL, D.P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução de Lígia Teopisto. Revisão técnica de Vítor Duarte Teodoro. Lisboa: Plátano Edições Técnica, 2003.

[Brasil 2002] BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA. **Parâmetros Curriculares Nacionais Mais– Ensino Médio- Física**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF), 2002

[Campos 2009] CAMPOS, E.S. MENEZES, A.P.S. **Práticas Avaliativas no Ensino de Física na Amazônia**. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 3, No. 3, Sept. 2009

[Gil 2002] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

[Gómez 1996] GOMEZ, R. G. **Metodología de investigación Cualitativa**. 2. ed. Málaga: Aliibe, 1996.

[Halliday 2009] HALLIDAY, D.; **Fundamentos de física**, volume 4: óptica e física moderna. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[Heneine 2006] HENEINE, I.F. **Biofísica Básica**. Colaboradores: José Pereira Daniel, Maria Conceição Santos Nascimento, Luiz Guilherme Dias Heneine. São Paulo: Atheneu, 2006.

[Leodoro 2010]. LEODORO, M.P.; BALKINS, M.A.A.S. **Problematizar e participar: elaboração do produto educacional no mestrado profissional de ensino**. II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Art. 84, sp. UTFPR: outubro de 2010.

[Marconi 2013] MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados.** 7. ed. 7 reimpr. São Paulo: Atlas, 2013.

[Merçon 2004] MERÇON, F.; QUADRAT, F.V. **A radioatividade e a história do tempo presente.** Revista Química na escola nova. n 19, pg. 27 a 30, maio de 2004.

[Moreira 2011] MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

[Moreira, J. 2011] MOREIRA, J.V.A. **Radiobiologia – efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de protecção das radiações ionizantes.** Dissertação (Mestrado). Universidade da Beira do Interior. Covilhã: Junho de 2011.

[Moreira 2006]. MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica.** V Encontro Internacional sobre Aprendizagem significativa. Madrid, Espanha: 2006

[Moreira 2000] MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica.** III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa: 2000.

[Moreira 1988] MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e Aprendizagem significativa.** Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sociolinguística. n 23 a 28, pg. 87 a 95. 1988.

[Moriya 2008] MORIYA, T.; MÓDENA, J.L.P. **Assepsia e Antissepsia: técnicas de esterilização.** pg. 265 a 273, Medicina (Ribeirão Preto): 2008.

[Novak 1984] NOVAK, J.D. **Aprender a Aprender.** Tradução de Carla Valadares. Revisão Técnica de Jorge Valadares. Lisboa: Plátano Edições Técnica, 1984.

[Okuno 2010] OKUNO, E.; YOSHIMURA, E.M. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

[Okuno 2007] OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Harbra, 2007.

[Okuno 1982] OKUNO, E; CALDAS, I.L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

[Prestes 2008] PRESTES, M; CAPPELLETTO, E. **Aprendizagem significativa no ensino de física das radiações: contribuições da educação ambiental**. Rev. Eletrônica. Educ. Ambiental, v 20, pg. 180 a 194. FURG: janeiro a julho de 2008.

[Rego 2004] REGO, F. **A Física das Radiações no Ensino**. Universidade de Lisboa, 2004. Disponível em: <[http://www.lip.pt/~luis/teses/florbela\\_rego\\_tese.pdf](http://www.lip.pt/~luis/teses/florbela_rego_tese.pdf)>. Acessado em: 20/01/2014.

[Rodrigues Júnior 2007] RODRIGUES JÚNIOR, A.A. **O que é irradiação? E contaminação radioativa? Vamos esclarecer?**. Física na escola, v. 8, n 2, pg. 40 a 43, 2007.

[Santos 2003] SANTOS, A.F. *et al.* **Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp em carne de frango**. Ciên. Technol. Aliment., pg 200 a 205. Campinas: maio a agosto de 2003.

[Serrano 1994] SERRANO, G. P. **Investigación Cualitativa**. Retos e Interrogantes. Madrid: La Muralla S.A., 1994.

[Silverman 2010] SILVERMAN, D. **Um livro bom, pequeno e acessível sobre pesquisa qualitativa**. Tradução Raul Rubenich. Porto Alegre: Bookman, 2010.

[Shinohara 2002] SHINOHARA, A. H.; ACIOLI, E.; KOURY, H.J. **Avaliação da técnica de radiografia digital em gamagrafia**. 6ª COTEQ, Conferência sobre Tecnologia e Alimentos. sp. Salvador, agosto de 2002.

[Souza 2009] SOUSA, W. B. **Física das radiações: uma proposta para o Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Física e Faculdade de Educação. São Paulo, 2009.

[Xavier 2007] XAVIER, A.M. *et al.* **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Revista Química Nova. Vol 30. No 1, pg 83 a 91, 2007.

[Zabala 1998] ZABALA, A. **A prática educativa**. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

# Apêndice A

## Questionário 1

1) Você já ouviu fala de radiação? Cite 2 exemplos.

---

---

---

---

---

2) Fale o que você imagina que seja radiação?

---

---

---

---

---

3) Fale algum processo na natureza ou tecnológico em que você acha que a radiação está presente? Cite 3 exemplos

---

---

---

---

---

4) O que você acha que é contaminação por radiação?

---

---

---

---

---

5) Você comeria uma fruta irradiada? Justifique.

---

---

---

---

---

## Apêndice B

### Questionário 2

FILME 1 (tratamento *Tricho*)

- 1) Quem descobriu os raios-X?

---

---

---

- 2) Por que a exposição exagerada ao raio-X é perigosa?

---

---

---

- 3) Qual era o objetivo do Doutor Geysler ao inventar o tubo de Cornell?

---

---

---

- 4) Por qual motivo o tratamento *Tricho* fez tanto sucesso entre as mulheres daquela época?

---

---

---

- 5) Quais os primeiros efeitos biológicos adversos que surgiram do tratamento *Tricho*?

---

---

---

- 6) Atualmente é possível usar raios-X em tratamentos dermatológicos de forma segura?

---

---

---

FILME 2( Acidente no Projeto Manhattan)

- 1) Por que classificamos o urânio como radioativo?

---

---

---

- 2) Em condições naturais o urânio é capaz de causar algum efeito biológico?

---

---

---

- 3) Explique o funcionamento do núcleo de uma bomba atômica, descrevendo o ponto crítico.

---

---

---

- 4) Durante a reação do ponto crítico, os cientistas foram expostos a que tipo de radiação?

---

---

---

## Apêndice C

### Exercícios - aula 06

1. Um técnico entrou em uma sala de irradiação e não percebeu que uma fonte de Cs – 137 estava exposta. Essa fonte estava com atividade de 300mCi. Converta essa unidade de atividade de radiação para o padrão no SI.
2. Durante todo tratamento contra o câncer, o tumor do paciente é exposto a 5000 rad. Sabendo que o limite máximo de exposição para o corpo todo é 4 Gy num intervalo de 30 dias, o paciente estaria seguro se a exposição do tratamento fosse para o corpo todo. Justifique
3. Considere uma fonte que produz um nível de radiação de 50mR/h a uma distancia de 25 cm da fonte. Calcule a distância da fonte no qual o nível de radiação é de 2 mR/h ?
4. Se a 12 metros de uma determinada fonte, a intensidade de radiação for de 45 mR/h. Calcule a distância quando a intensidade de radiação for de 5 mR/h ?
5. Observa-se que a intensidade de radiação de uma fonte é 0,025 mR/h quando a distância é de 3 metros. Qual será a intensidade quando a distância for de 5 metros?
6. 32 mR/h é a intensidade de radiação observada a 12 metros de distância de uma fonte. Calcule a radiação quando a distância for de 2 metros.
7. Determine a dose máxima para pessoas das seguintes idade:
  - a) 19 anos
  - b) 22 anos
  - c) 36 anos
  - d) 50 anos
8. No acidente de Fukushima, no Japão, um terremoto causou um maremoto e destruiu a blindagem superior de duas Usinas Nucleares. Sabendo que a blindagem é uma das maneiras para se proteger contra a radiação, comente sobre outras formas de proteção que o governo japonês poderia ter tomado.

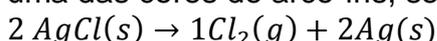
## Apêndice D

### Avaliação final - Aula 09

- 1) (UNIFESP-SP) Cientistas descobriram que a exposição das células humanas endoteliais à radiação dos telefones celulares pode afetar a rede de proteção do cérebro. As micro-ondas emitidas pelos celulares deflagram mudanças na estrutura da proteína dessas células, permitindo a entrada de toxinas no cérebro. (*Folha de S. Paulo*, 25jul. 2002).

As micro-ondas geradas pelos telefones celulares são ondas de mesma natureza que:

- O som, mas de menor frequência.
  - A luz, mas de menor frequência.
  - O som, e de mesma frequência.
  - A luz, mas de maior frequência.
  - O som, mas de maior frequência.
- 2) (UFPEL-RS) Em 1777, Sheele observou que amostras de cloreto de prata se decompunham com velocidades diferentes ao serem expostas isoladamente a cada uma das cores do arco-íris, segundo a reação:



Essa decomposição ocorria tanto mais rapidamente quanto maior a frequência da cor, estando associada ao espectro da radiação luminosa, visível ou invisível.

| Espectro parcial das radiações eletromagnéticas |               |  |
|---|---------------|--|
| Visibilidade                                    | Onda          | Frequência                                     |
| Invisível                                       | Infravermelho | $10^{12}$ a $10^{14}$ Hz                       |
| Visível   | Vermelho      | $4,00 \cdot 10^{14}$ a $4,84 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Visível   | Laranja       | $4,84 \cdot 10^{14}$ a $5,08 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Visível   | Amarelo       | $5,08 \cdot 10^{14}$ a $5,26 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Visível   | Verde         | $5,26 \cdot 10^{14}$ a $5,66 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Visível   | Azul          | $5,66 \cdot 10^{14}$ a $6,00 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Visível   | Anil          | $6,00 \cdot 10^{14}$ a $6,67 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Visível   | Violeta       | $6,67 \cdot 10^{14}$ a $7,50 \cdot 10^{14}$ Hz |
| Invisível                                       | Ultravioleta  | $7,50 \cdot 10^{14}$ a $1 \cdot 10^{16}$ Hz    |

Com base no enunciado e seus conhecimentos, é correto afirmar que a velocidade de redução da prata, na faixa do infravermelho:

- É maior do que na faixa do vermelho, decorrente da energia associada ao menor período de radiação daquela onda.
  - É menor do que na faixa do ultravioleta, devido à energia associada ao menor comprimento desta onda.
  - É menor do que na faixa do azul, em virtude da energia associada ao menor comprimento daquela onda.
  - É maior do que na faixa do verde, uma vez que apresenta menor energia associada ao comprimento desta onda.
  - É maior do que na faixa do violeta, por o maior período associado à radiação.
- 3) (UEL-PR) A irradiação para conserva dos produtos agrícolas, tais como batata, cebola e maçã, consiste em submeter esses alimentos a doses minuciosamente controladas de radiação ionizante.

- I- A energia da radiação incidente sobre um alimento pode atravessá-lo, retirando elétrons do átomo e das moléculas que a constituem.
- II- As micro-ondas e os raios infravermelhos e ultravioletas são exemplos de radiação ionizantes.
- III- As fontes radioativas utilizadas na conservação de alimentos são de mesma natureza das utilizadas na radioterapia.
- IV- Por impregnar os alimentos, o uso de radiação ionizante causa sérios danos à saúde do consumidor.

Indique a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
  - b) Somente as afirmativas I e III são corretas.
  - c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
  - d) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.
  - e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.
- 4) <sup>13</sup>(ENEM - 2009) Considere um equipamento capaz de emitir radiação eletromagnética com comprimento de onda bem menor que a da radiação ultravioleta. Suponha que a radiação emitida por esse equipamento foi apontada para um tipo específico de filme fotográfico e entre o equipamento e o filme foi posicionado o pescoço de um indivíduo. Quanto mais exposto à radiação, mais escuro se torna o filme após a revelação. Após acionar o equipamento e revelar o filme, evidenciou-se a imagem mostrada na figura abaixo.



Dentre os fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e os átomos do indivíduo que permitem a obtenção desta imagem inclui-se a:

- a) absorção da radiação eletromagnética e a conseqüente ionização dos átomos de cálcio, que se transformam em átomos de fósforo.
- b) maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de cálcio que por outros tipos de átomos.
- c) maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de carbono que por átomos de cálcio.
- d) maior refração ao atravessar os átomos de carbono que os átomos de cálcio.
- e) maior ionização de moléculas de água que de átomos de carbono.

- 5) (ENEM-2005) Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de

---

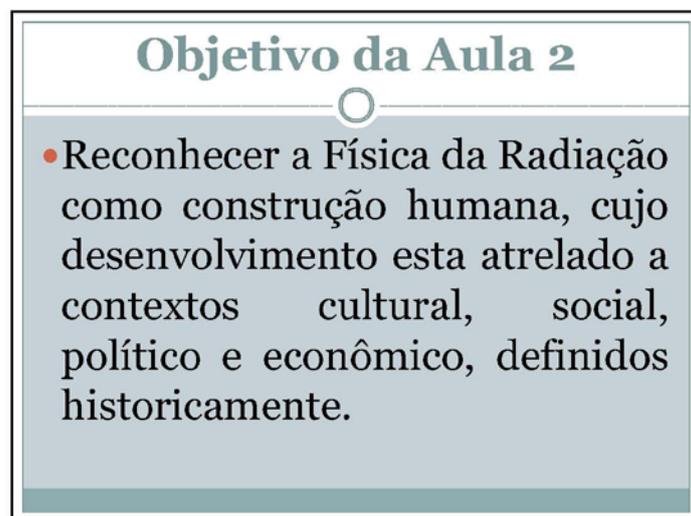
<sup>13</sup> Figura extraída do caderno de prova disponível no site do ENEM.

eletricidade é a destinação dos rejeitos radiativos, o chamado —lixo atômico. Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de ser, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de:

- a) emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.
- b) acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.
- c) ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.
- d) exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.
- e) emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

## Apêndice E

### Apresentação dos slides da aula 02<sup>14</sup>



---

<sup>14</sup> Todas as figuras aqui apresentadas estão disponíveis na internet

**Radiação:**

- Ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com alta velocidade.

O diagrama ilustra o espectro de energia, dividido em radiação ionizante e não ionizante. A radiação ionizante inclui Raios Cômicos, Raios Gama, Raios X e Raios Ultravioleta. A radiação não ionizante inclui Luz Visível, Raios Infravermelhos, Micro ondas e Rádio. O eixo horizontal indica a frequência, variando de Alta Frequência à esquerda para Baixa Frequência à direita.

**Radiações Ionizantes**

- As radiações são denominadas de ionizantes quando produzem íons, radicais e elétrons livres na matéria que sofreu a interação.
- A ionização se deve ao fato das radiações possuírem energia alta, o suficiente para quebrar as ligações químicas ou expulsar elétrons dos átomos após colisões.

## Radiações Ionizantes

**Sob o ponto de vista dos sentidos humanos, as radiações ionizantes são:**

- **invisíveis,**
- **inodoras,**
- **inaudíveis,**
- **insípidas e,**
- **indolores.**

## Histórico das Radiações Ionizantes

- **1895**
- **Wilhelm Conrad Röntgen**
- **Descobriu os Raios X com raios catódicos**



## Histórico das Radiações Ionizantes



- 1895
- Antoine Henri Becquerel
- Constatou que um sal de urânio produzia manchas numa chapa fotográfica, mesmo no escuro e embrulhado em papel negro.



## Histórico das Radiações Ionizantes



- 1898
- Marie Curie e Pierre Curie



- Descoberta do Rádio e Polônio
- Termo radioatividade

## Histórico das Radiações Ionizantes

- 1898
- Ernest Rutherford
- Descoberta das partículas  $\alpha$  e  $\beta$



## Histórico das Radiações Ionizantes

- 1898
- Paul Ulrich Villard
- Descoberta dos raios  $\gamma$ , partícula que não era desviada.

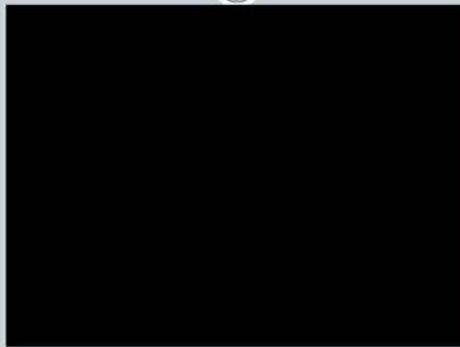


## Histórico das Radiações Ionizantes

- **1912**
- **Victor Francis Hess**
- **Descobriu os raios cósmicos e o que influencia em sua intensidade.**



## Tratamento Tricho



## Projeto Manhattan



## Apêndice F

### Apresentação dos slides da aula 04 e 05<sup>15</sup>



<sup>15</sup> Todas as figuras aqui apresentadas estão disponíveis na internet

#### UNIDADES DE MEDIDA DA RADIAÇÃO

- Com o objetivo de efetuar uma análise quantitativa das radiações ionizantes, temos que definir unidades para os parâmetros que necessitamos quantificar. As unidades principais, usadas na avaliação deste risco são as seguintes:

#### CURIE (Ci) E A ATUAL BEQUEREL (Bq):

- É a unidade de atividade de uma **fonte radioativa**. Define o número de transformações nucleares que ocorrem no elemento radioativo na unidade de tempo.

### MARIE CURIE (Ci)



Descobriu e introduziu o termo Radioatividade – 1903. (Nobel de Física)



### HENRY BEQUEREL (Bq):



Dividiu o Nobel com Marie Curie e Pierre Curie de Física em 1903.



ROENTGEN (R) E A ATUAL COULOMB / KILOGRAMA (C/KG):

○ É a unidade que define exposição. É baseada em sua capacidade de **produzir ionização no ar.**

WILHELM CONRAD RÖNTGEN (R)



Em 1895 descobriu a existência dos raios X.

RAD (RADIATION ABSORBED DOSE) E A ATUAL GRAY (GY):

- É a unidade de dose absorvida. Utilizada para **objetos** (matéria prima), define a quantidade de energia absorvida por unidade de massa.

LOUIS HAROLD GRAY(GY)



*L. H. Gray*

Trabalhou principalmente com investigações dos efeitos da radiação em sistemas biológicos, originando o campo da radiobiologia.

REM (ROENTGEN EQUIVALENT MAN) E A ATUAL SIEVERT (Sv):

- É a unidade de dose equivalente, que considera o **efeito biológico** da radiação absorvida pelo organismo vivo.

DOSE MÁXIMA PARA POPULAÇÃO

- A dose máxima permitida para o corpo inteiro é de 0,05 Sv em qualquer período de 12 meses. Em nenhum caso a dose total acumulada pode exceder a dose máxima expressa pela fórmula abaixo:

$$D = 0,05 (N - 18)$$

- Onde N é a idade da Pessoa.

#### EXEMPLO

- Qual será a exposição máxima de uma pessoa de 32 anos por ano?
  - $D = 0,05 (N - 18)$
  - $D = 0,05 (32 - 18)$
  - $D = 0,05 \times 14$
  - $D = 0,70 \text{ Sv}$

#### ROLF MAXIMILIAN SIEVERT



Trabalhou na dosimetria da radiação, principalmente na radiologia diagnóstica e radioterapia.  
Ajudou a fundar a International Radiation Protection Association (IRPA)

### CONVERSÃO DE UNIDADES EQUIVALENTES

| Grandezas        | Unidade no SI        | Unidade Original | Conversão                        |
|------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|
| Atividade        | Bq = s <sup>-1</sup> | Ci               | 1 Ci = 3,7x10 <sup>10</sup> Bq   |
| Exposição        | Gy(J/kg)             | rad              | 1 Gy = 100 rad                   |
| Dose Absorvida   | C/kg                 | R(RÖENTGEN)      | 1 R = 2,58x10 <sup>-4</sup> C/kg |
| Dose Equivalente | Sv                   | Rem              | 1 Sv = 100 Rem                   |

AULA 05

# Medidas de Proteção contra Radiação

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÃO

- Nenhuma fonte de radiação é tão poderosa a ponto de não permitir que a adoção de algumas medidas de controle não elimine seus riscos. A aplicação correta dos princípios de prevenção e controle manterá qualquer exposição abaixo dos níveis estabelecidos. As formas de controle fundamentam-se em três fatores principais:
- Distância;
- Tempo de exposição;
- Blindagem.

## Decaimento da radiação com a distância

## DISTÂNCIA

- Quanto **maior** a distância de uma fonte de radiação, menor será a exposição recebida.
- Nesse caso, podemos aplicar a “Lei do inverso do quadrado”, que é a intensidade de radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância, considerada a partir da fonte, conforme a equação abaixo:

## DISTÂNCIA

- $I_1 \cdot D_1^2 = I_2 \cdot D_2^2$ , onde:
- $I_1$  = Intensidade 1 de radiação a uma distância da fonte
- $I_2$  = Intensidade 2 de radiação a uma distância da fonte
- $D_1$  = Distância 1 da fonte a uma intensidade de radiação
- $D_2$  = Distância 2 da fonte a uma intensidade de radiação

EXEMPLO:

- Uma certa fonte radioativa produz um nível de radiação de 420 mR/h a 3 metros de distância. Calcule o nível de radiação a 6 metros desta fonte
- Solução
- $I_1 \cdot D_1^2 = I_2 \cdot D_2^2$
- Dados  $I_1 = 420 \text{ mR/h}$  ,  $D_1 = 3\text{m}$ ,  
 $D_2 = 6\text{m}$   
 $I_2 = ?$

SOLUÇÃO

- $I_1 \cdot D_1^2 = I_2 \cdot D_2^2$
- $420 \cdot (3)^2 = I_2 \cdot (6)^2$
- $\frac{420 \cdot (3)^2}{(6)^2} = I_2$
- $\frac{420 \cdot 9}{36} = I_2$
- $I_2 = \frac{3728}{36}$
- $I_2 = 105 \text{ mR/h}$
- Conclusão: Quando nos afastamos da fonte a intensidade de radiação diminui, de 420 para 105 mR/h a 6 metros.

# Tempo de Exposição

## TEMPO DE EXPOSIÇÃO

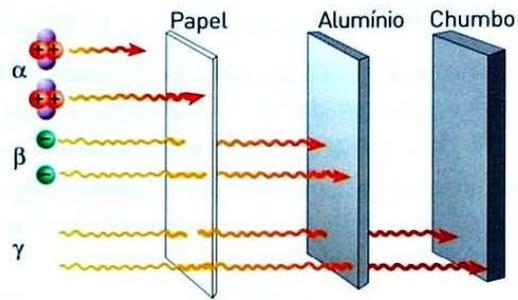
- O método de reduzir a exposição da radiação, na qual é mais simples de entender e empregar é o tempo.
- Quanto menor o tempo numa área de radiação, resultara em menor exposição recebida. Todos os recursos deverão ser empregados para reduzir o tempo gasto na área de radiação – Menor tempo. Menos exposição.

# Blindagem

## BLINDAGEM

- Está medida baseia-se no uso de barreiras adequadas constituídas de materiais que tenham a capacidade de absorver radiações ionizantes.
- A quantidade de radiação absorvida dependerá do tipo de energia da radiação e da espessura da barreira utilizada
- Na prática é muito comum o uso de chumbo ou concreto, pois constituem barreiras bastantes eficazes contra radiação ionizante.

ALGUMAS BLINDAGENS



## Apêndice G

### Apresentação dos slides da aula 07 e 08<sup>16</sup>



Radiações Ionizantes

### Radiação: uma necessidade

- Quando bem utilizada, a radiação é algo positivo
- Seu uso exige profissionais que **saibam** lidar com esse tipo de material radioativo, para evitar efeitos adversos as pessoas que **necessitam** desse mecanismo em:
- **Diagnóstico e Tratamentos de doenças, etc.**

<sup>16</sup> Todas as figuras aqui apresentadas estão disponíveis na internet

### Radiação: uma necessidade

- Com os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos, o uso da radiação não só se tornou **seguro** quanto **justificável** e extremamente **necessário** em muitos casos.



### Uso da Radiação na Área da Saúde

## Radiografia



## Radiografia

- A radiografia é uma imagem obtida, por um feixe de **raios X** ou raios gama que atravessa a região de estudo e interage com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente.
- Existe uma grande variedade de tipos, tamanhos e técnicas radiográficas.

#### Radiações Ionizantes



Em uma de suas experiências, Röntgen colocou a mão de sua mulher, Bertha, na frente do filme e obteve a primeira radiografia da história, mostrando os ossos de Dona Bertha e até seu anel de casamento.

#### Radiações Ionizantes

### Radiografia

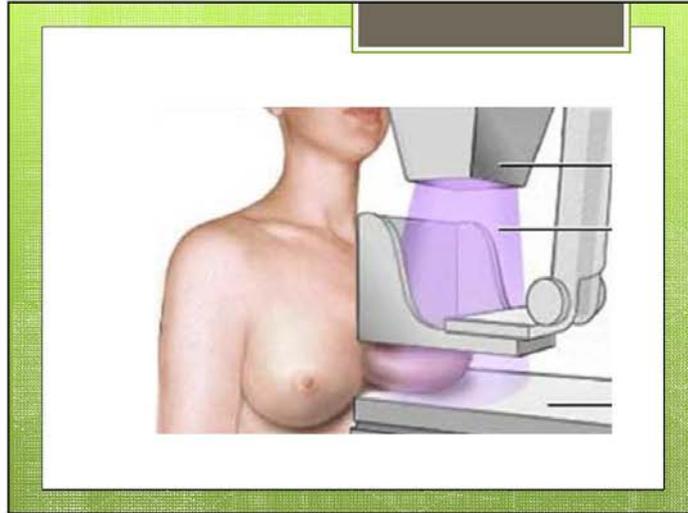
- As doses absorvidas de radiação dependem do tipo de radiografia.
- Como existe a acumulação da radiação ionizante não se devem tirar radiografias sem **necessidade** e, principalmente, com equipamentos fora dos padrões de operação

## Radiografia



## Mamografia

- A mamografia é também um exame de raio-x que serve para visualizar a região interna das mamas, que deve ser realizado em todas as mulheres com idade igual ou superior a 40 anos. Auxiliando na prevenção e na redução de mortes por câncer de mama.



### Radioterapia

- A **radioterapia** é uma especialidade médica focada no tratamento oncológico que utiliza **radiações ionizantes** para atingir determinadas células, impedindo seu aumento ou causando sua destruição
- **não causa danos às células sadias** pelo fato de sua capacidade de reconstrução.

### Radioterapia

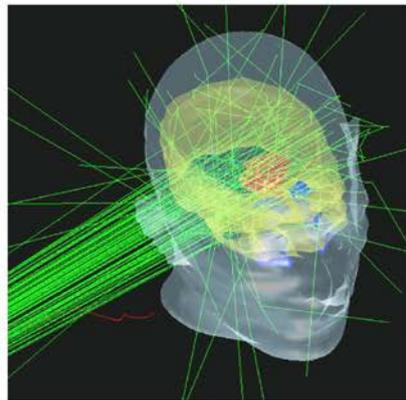
- **Efeitos colaterais** da radioterapia dependem tanto da **dose** utilizada quanto da região tratada.
- Com os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos, a **radioterapia se tornou muito menos tóxica e mais efetiva.**

Radiações Ionizantes

**Radioterapia traz tecnologia  
para dar segurança aos  
pacientes**



Radiações Ionizantes



### Braquiterapia

- o É uma forma de radioterapia em que materiais radioativos são implantados nas proximidades do tumor.
- o Essa proximidade permite que altas doses de radiação sejam liberadas para atacar o tumor. A radiação fica restrita à região, não afetando órgãos mais distantes.

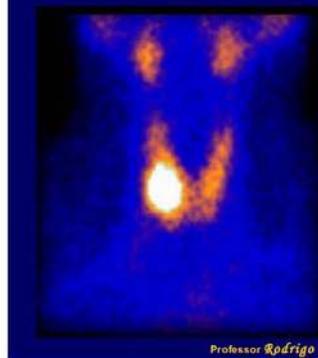
### Braquiterapia



### Radioisótopos

- Os radioisótopos também são empregados com o propósito de diagnóstico, fornecendo informações sobre o tipo ou extensão da doença
- O isótopo iodo, por exemplo, é usado para determinar o tamanho, forma e atividade da glândula tireoide. O paciente bebe uma solução de KI (iodeto de potássio), incorporando iodo.
- O corpo concentra o iodo na tireoide. Após algum tempo, um detector de radiação varre a região da glândula e a informação é exibida, no computador, sob a forma visual.

### EXEMPLOS DE IMAGENS



TIREÓIDE  
IODO-131

Professor Rodrigo Penna

34

## Radiações Ionizantes

### Aplicações dos radioisótopos

Medicina



Auxílio nas  
diagnoses



Tratamento de  
doenças



Terapêutica  
radioativa

### Outras aplicações da radiação

o uso da  
radioatividade **não se**  
**restringe** apenas ao  
campo médico.



### Uso da Radiação na indústria

### Uso da Radiação na indústria

- Radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial
- Detecção de vazamentos
- Falhas de lâminas e pneus
- Em linhas de produção
- ESTERILIZAÇÃO E REDUÇÃO DE CARGA MICROBIANA

### Uso da Radiação na indústria

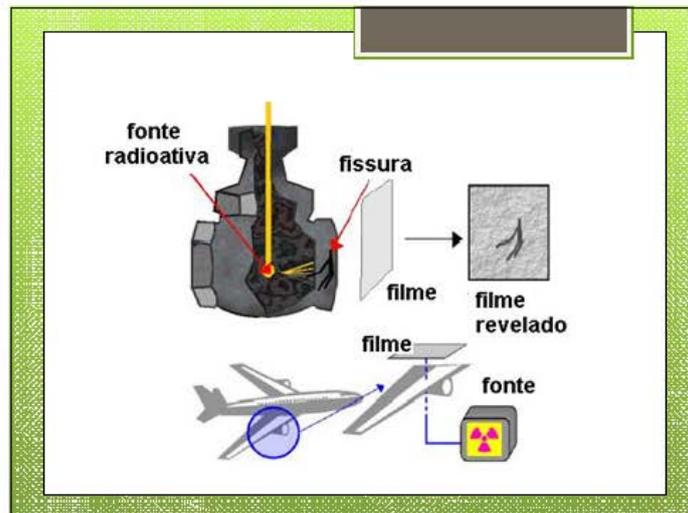
- A radiação gama, é utilizada na indústria para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo de peças de metal.



Radiografia tirada por Röntgen de seu rifle de caça. Observe que há um pequeno defeito no cano. Com essa foto, Röntgen antecipou o uso industrial dos Raios-X como controle de qualidade de peças.

### Radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial:

- o As empresas aéreas realizam a gamagrafia das partes metálicas e das soldas essenciais dos aviões, que são sujeitas a mais esforços, como asas e turbinas.
- o Com isso, é possível inspecionar os aviões e verificar se há **fadiga** em alguma de suas partes.



## Detecção de vazamentos:



## Esterilização

- Como as radiações gama **ultrapassam** os materiais menos densos, estes podem ser utilizados para esterilizar materiais **cirúrgicos e alimentos**.
- O objetivo é a **REDUÇÃO DE CARGA MICROBIANA**





A radiação gama passa pelos materiais e ***não fica neles.***

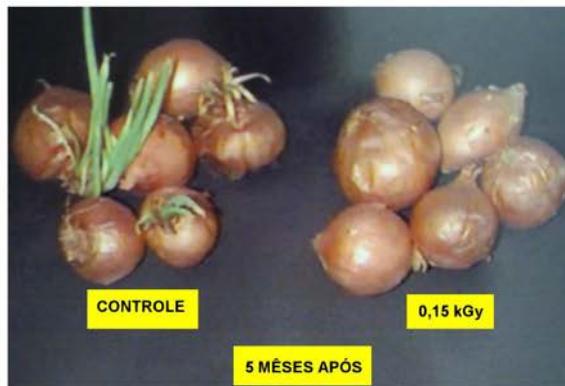
Radiações Ionizantes



**Uso da Radiação na  
agricultura**

## CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

- A radiação é utilizada para:
- Evitar que raízes ou tubérculos **brotem** durante o armazenamento (como é o caso de cebolas e batatas)
- **Eliminar insetos** dos grãos antes do armazenamento, ou ainda para preservar alimentos, inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos.
- Retarda a maturação.





### Efeitos da radiação nos alimentos

- A radiação atuando sobre as substâncias alimentícias vai ionizar alguns átomos e alterar a estrutura de moléculas vitais, provocando a **morte de bactérias** e microrganismos.

### Alguns alimentos tratados com radiação

- Alguns alimentos trazem em sua embalagem a seguinte inscrição:  
○ **\*ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO**

## Alguns alimentos tratados com radiação





## IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS



### DOSE BAIXA

(até 20 min)

Inibição de brotamento, atraso na maturação de alimentos, desinfestação de insetos e inativação de parasitas. Indicada para legumes, cereais e grãos, frutas frescas e secas, carne seca e de porco



### DOSE MÉDIA

(até 2 h)

Redução do número ou eliminação de micro-organismos que não formem esporos. Indicada para peixe fresco, frutas picadas, frutos do mar frescos e congelados, aves e carne vermelha frescas e congeladas, suco de uva e legumes desidratados



### DOSE ALTA

(até 8 horas)

Redução do número de micro-organismos até a esterilização total. Indicada para carnes, aves, frutos do mar, alimentos prontos e especiarias

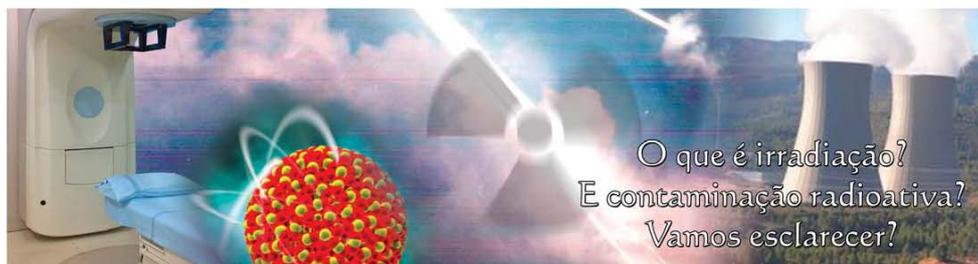
## Referências Bibliográficas

RADIOATIVIDADE E SUAS INTERFACES. Disponível em: <<http://radioatividade3e.blogspot.com.br/2013/04/uso-da-radiacao-na-area-da-saude.html>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 5 revisão. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003. 242 p.

## Anexo A

# Artigo “O que é irradiação? O que é contaminação? Vamos esclarecer?”



.....  
**Ary de Araújo Rodrigues Júnior**  
Laboratório de Física Nuclear Aplicada,  
Departamento de Física, Universidade  
Estadual de Londrina  
E-mail: aryarj@ig.com.br  
.....

Quando há um acidente com material radioativo ouvimos do apresentador do noticiário expressões do seguinte tipo: “a área está extremamente radioativa” ou “a região está com altos níveis de radiação” e outras expressões que nem o público nem o locutor e, provavelmente, nem o redator do texto têm a mínima noção do que significam, pois elas, de fato, são desprovidas de significado; são expressões totalmente vagas.

O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo? Apenas dois eventos: o material radioativo irradiará ou contaminará o meio ambiente. O que acontece para ocorrer tais eventos e o que vem a ser uma irradiação ou uma contaminação radioativa?

Em geral, o material radioativo possui duas embalagens: o recipiente interno que contém e o recipiente externo, que é uma blindagem. A função da blindagem é atenuar a radiação emitida por esse material. Portanto, se o recipiente externo romper em decorrência de um acidente, a radiação não será mais atenuada e os objetos e os seres vivos que estiverem nas proximidades estarão expostos à radiação emitida pelo material.

Então, irradiação é a energia característica emitida por uma fonte radioativa. O objeto ou ser vivo que recebe esta energia está sendo irradiado. No caso em questão, a fonte emissora de energia é um material radioativo e a energia emitida é a radiação. Mas no nosso cotidiano há vários exemplos de outras situações de emissão de radiação, como por exemplo o calor de uma fogueira, a luz de um poste ou uma fonte sonora, como a buzina de um carro. E todas elas diminuem de intensi-

dade com o quadrado da distância, ou seja, se estivermos a uma certa distância destas fontes, por exemplo a um metro, e nos afastarmos o dobro desta distância, dois metros, a intensidade da energia que chega até nós diminuirá quatro vezes, e não pela metade, como poderíamos esperar intuitivamente. Se nos afastarmos o triplo da distância, a intensidade diminuirá nove vezes; se nos afastarmos o quádruplo da distância, a intensidade diminuirá 16 vezes e assim por diante. Ou seja, a intensidade da energia diminuirá

**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**

com o quadrado da distância, obedecendo a expressão

$$I = \frac{I_{1m}}{d^2}$$

onde  $I$  é a intensidade da energia a uma distância qualquer,  $I_{1m}$  é a intensidade da energia emitida a uma distância de 1 m e  $d$  a distância entre a fonte emissora e o receptor. Visualizando esta expressão em um gráfico, obtemos a curva mostrada pela Fig. 1.

Claro que o contrário também é verdadeiro, ou seja, se caminharmos em direção a fonte, a intensidade crescerá com o

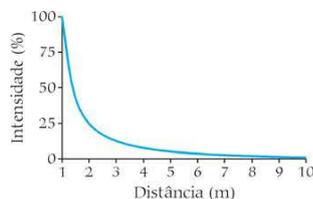


Figura 1. Intensidade da energia emitida por uma fonte em função da distância.

Em todas as áreas da atividade humana ocorrem acidentes; batidas de veículos, descarrilamentos de trens, vazamentos de produtos químicos, queda de aviões, incêndios, etc., aos quais dispensamos maior ou menor atenção dependendo da gravidade. Mas os que ocorrem com materiais radioativos, independente do grau (desde o vazamento de uma usina nuclear até o extravio de um radiofármaco de vida curta) tem o poder de provocar um alto nível de preocupação na população. Isto ocorre por causa dos mitos sobre a radiação que permeiam o imaginário popular e são amplificados pela mídia, e que neste artigo tentaremos elucidar.

quadrado da distância. Isto significa que no caso de um acidente com material radioativo, onde há apenas irradiação, a forma adotada de proteção da população local pelas autoridades competentes é isolar uma área em torno do material radioativo a uma distância cujo raio seja grande o suficiente para garantir que fora dessa área o nível de irradiação seja insignificante.

Este comportamento aplica-se a fontes que emitem radiação eletromagnética, como a radiação gama, representada pela letra grega  $\gamma$ , emitida por vários tipos de materiais radioativos. A radiação  $\gamma$  é uma onda eletromagnética como o são, por exemplo, as ondas de rádio, TV, microondas e a luz visível, a diferença está no fato de sua energia (e, conseqüentemente, a sua freqüência) ser muito maior, como pode ser visto na Fig. 2. Além da radiação eletromagnética  $\gamma$ , os materiais radioativos também emitem radiação em forma de partículas, como a radiação  $\alpha$  (alfa) e a radiação  $\beta$  (beta), mas estas radiações têm um alcance muito menor do que a radiação  $\gamma$ . A radiação  $\alpha$  não consegue penetrar na pele humana, portanto materiais que emitem somente este tipo de radiação não oferecem perigo em caso de uma exposição, mas podem oferecer se forem ingeridos ou inalados. A radiação  $\beta$  tem um poder de penetração maior do que o da radiação  $\alpha$ , entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos, mas esta radiação não consegue atravessar alguns milímetros de alumínio ou o tecido das roupas que vestimos normalmente.

Mas será que um objeto ou um ser vivo que esteve próximo ao material radioativo e foi irradiado fica com um pouco de radiação dentro dele e vai liberando essa radiação aos poucos? A resposta é não, pois não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não. Por exemplo, quando você desliga a luz da sala, quanto tempo ela leva para ficar escura? Ela vai ficando escura aos poucos ou imediatamente? A resposta é imediatamente. Você consegue guardar luz dentro de um saco de papel? Ou ondas de rádio e TV (para ouvir ou ver um programa mais tarde)? A resposta é não. Analogamente, ao se afastar da luz emitida por um poste você estará sendo cada vez menos iluminado e o fato de ter sido iluminado não fará você emitir luz.

A radiação  $\gamma$  emitida por materiais radioativos difere das outras formas de radiação eletromagnética citadas devido a esta apresentar maior energia, mas, como

os outros tipos de radiação, não é possível armazená-la. Esta alta energia (acima da freqüência da luz ultravioleta, inclusive) emitida pelos materiais radioativos é suficiente para quebrar as

ligações químicas entre os átomos que formam as moléculas. Estas ligações são estabelecidas pelo compartilhamento dos elétrons presentes nas coroas eletrosféricas dos átomos que compõem a molécula. O que a radiação com alta energia faz é expurgar os elétrons das coroas eletrosféricas e deste modo inviabilizar a ligação entre os átomos. Este fenômeno recebe o nome de ionização, e as radiações

com energia suficiente para produzi-la são chamadas de ionizantes. A luz visível, as ondas de rádio e TV e as microondas, por exemplo, também são tipos de radiação, mas não são ionizantes.

Esta quebra das ligações químicas pode acarretar a desativação da molécula afetada, ou seja, ela não consegue desempenhar mais a sua função, ou pode acarretar a formação de novas moléculas. Se estes fenômenos ocorrerem dentro de uma célula, que é a unidade básica da vida, ela tem mecanismos internos de reparo destes danos provocados pela radiação ionizante. Se os danos

**A radiação  $\alpha$  não consegue penetrar na pele humana, portanto só oferece perigo se um material contaminado for ingerido ou inalado. Já a radiação  $\beta$  tem um poder de penetração maior, entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos**

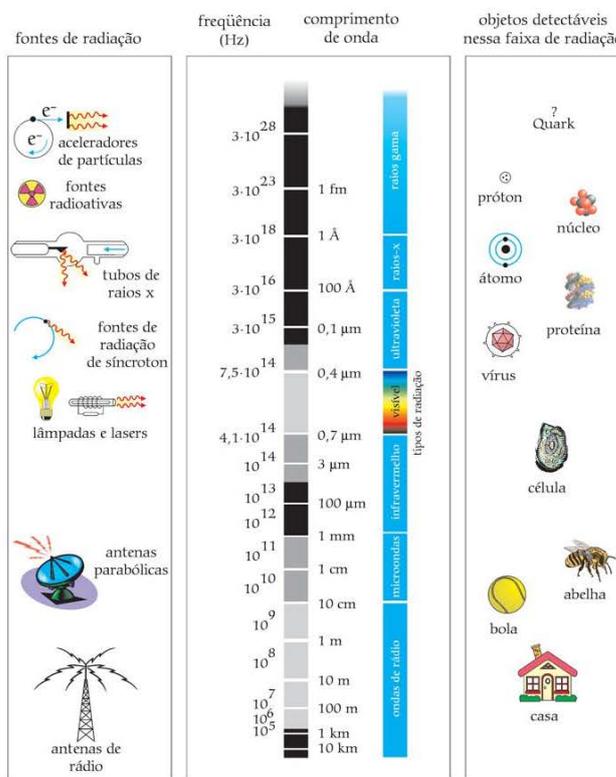


Figura 2. Espectro das radiações eletromagnéticas (FnE, v. 1, n. 1).

forem muito extensas, a célula pode não ser capaz de se reparar adequadamente, o que pode levá-la à morte ou a mudar as suas funções e ser o início de uma doença degenerativa como o câncer, caso o organismo como um todo não consiga eliminá-la.

Portanto, um corpo está sendo irradiado e sofrendo os efeitos causados pela radiação enquanto ele estiver exposto a uma fonte. Ao se afastar dessa fonte ele estará recebendo cada vez menos radiação e diminuindo os seus efeitos, até chegar a uma distância segura, onde o nível de radiação recebido pode ser considerado desprezível.

Concluindo: a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio.

Não se está considerando nesta conclusão a ativação por processos de irradiação, o que somente é possível em condições de laboratório. Neste processo, elementos químicos tornam-se significativamente radiativos após serem submetidos a altas intensidades de radiação ionizante com altas energias por longos períodos de tempo.

Se além do recipiente externo, que é a blindagem, o recipiente interno também se romper, o material radioativo poderá vazar para o meio ambiente e ocasionar uma contaminação radioativa. Então dizemos que ocorre a contaminação radioativa quando um objeto ou um ser vivo se impregna com o material radioativo que vazou para o meio ambiente devido à ocorrência de um acidente. Deste modo, ele contém material radioativo em sua estrutura e carregará este material para onde quer que vá. Ou seja, ele conterá uma fonte radioativa, que o estará irradiando assim como tudo e todos por onde quer que ele passe. Claro que esta irradiação também decresce com o quadrado da distância.

Outra dúvida muito comum: no caso da contaminação radioativa, um objeto ou ser vivo impregnado com material radioativo, não fica todo ele radioativo depois de algum tempo? A palavra 'contaminação' significa que um objeto ou um ser contém algo; assim ela é usada em medicina para indicar que uma pessoa contém algo indesejável em seu organismo (por exemplo metais pesados como o chumbo ou microorganismos que provocam

doenças, como hepatite, AIDS ou doença de Chagas). A contaminação por microorganismos é o conceito mais conhecido pela população e a partir dele ela deduz que a contaminação radioativa também poderia proliferar no organismo, passar para outros seres vivos e provocar uma epidemia. Não é isto o que acontece.

Os materiais radioativos não são seres vivos e, portanto, não têm como se reproduzir e causar uma epidemia. Pessoas que se contaminam com material radioativo ou com metais pesados (como mercúrio ou chumbo) devem procurar ajuda médica especializada para se livrarem da mesma. Se for uma contaminação externa, as roupas que estavam sendo usadas no momento da contaminação serão retiradas e separadas, e a pessoa deverá tomar um banho de água corrente para retirar o restante da contaminação.

Se houver contaminação interna, o caso é um pouco mais complicado. Dependendo do nível de contaminação, além do acompanhamento médico, a pessoa deverá ficar internada para receber tratamento adequado, que vise estimular a saída mais rápida da contaminação pelas fezes e pela urina, e assim reduzi-la a níveis desprezíveis. Deve-se então coletar e guardar os excrementos (e deste modo não contaminar o meio ambiente), administrar medicação adequada, que reduza os efeitos da radiação ionizante no organismo e não irradiar outras pessoas. O importante a notar é que a contaminação tende a diminuir, tanto que não se volte a ter contato direto com o material radioativo.

Uma pessoa contaminada externamente pode contaminar outras pessoas direta ou indiretamente. Diretamente, por exemplo, se suas mãos estiverem impregnadas; a cada aperto de mão ela passará um pouco de material radioativo para a mão da outra pessoa. Indiretamente, por exemplo, se suas roupas estiverem contaminadas; ao sentar em um banco ela deixará um pouco de material radioativo, que impregnará a roupa de uma ou mais pessoas que se sentarão naquele local. O importante a notar é que o mecanismo de transmissão da contaminação radioativa é o mesmo da que costumamos chamar, genericamente, de sujeira! E que conforme a contaminação

vai se espalhando ela também e vai se diluindo no ambiente, e não aumentando como no caso de uma epidemia causada por microorganismos.

Concluindo: a contaminação radioativa não se multiplica com o tempo, aumentando a sua quantidade em um objeto ou ser vivo contaminados.

Qual é o nível de radiação que pode ser considerado desprezível para uma irradiação ou para uma contaminação radioativa proveniente de um acidente? Primeiro, qual é a resposta a esta questão: Cristóvão Colombo descobriu ou inventou a América? Pode parecer estranho uma pergunta de história em um texto de física nuclear, mas ela tem relevância. A resposta é: ele descobriu a América, portanto ela já existia independente de Colombo ou de qualquer outro navegador a encontrar ou não (se ele tivesse inventado a América, ele teria chegado em algum ponto do Atlântico, pego uma pá, retirado a terra do fundo do oceano e construído todo o continente americano!). E a radiação? Ela foi descoberta ou foi inventada? A radiação também foi descoberta, ou seja, ela já existia (e continua existindo) na natureza.

Essa radiação natural tem várias componentes e origens; ela vem do espaço (raios cósmicos), está presente na forma de átomos radioativos (os radionuclídeos), no ar que respiramos (por exemplo o carbono-14), na nossa comida (do potássio presente nos alimentos, como o leite, o feijão, a batata e a banana; 0,0118% é de potássio-40, que é radioativo), na água (gás radônio), na crosta terrestre e nos materiais que usamos para construir nossas moradias (urânio, tório e gás radônio). Portanto, independente da profissão ou da localização onde vive, todo ser humano recebe uma certa quantidade de radiação, tanto interna quanto externamente, que é chamada "radiação de fundo" e esta varia de acordo com a localização geográfica e com a altitude. Existem lugares na crosta terrestre onde há maiores concentrações de materiais radioativos do que em outras, e quanto maior a altitude, maior a contribuição da radiação cósmica.

No caso de um acidente onde ocorra apenas irradiação, as autoridades responsáveis pela segurança radiológica devem isolar o local do acidente até um raio de distância em que a contribuição do nível de irradiação proveniente deste acidente acrescente apenas uma pequena fração à radiação de fundo já existente na região. No caso de um acidente em que também

**A irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio**

**A contaminação por microorganismos, conceito mais conhecido pela população, nos induz à falsa conclusão de que a contaminação radioativa também poderia proliferar em nosso organismo e passar para outros seres vivos, provocando uma epidemia**

haja contaminação, o mesmo raciocínio é aplicado à descontaminação da região ou das pessoas contaminadas.

Com relação aos noticiários, seria interessante que os chefes de redação adotassem a utilização de sentenças dentro do contexto de irradiação e de contaminação radioativa para informar com maior precisão o seu público. Tomemos esta notícia fictícia: "Hoje de manhã houve um acidente durante o transporte de material radioativo. As autoridades informaram que não houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros, até que os técnicos procedam ao resgate do material", ou "...houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros por tantos dias, até a completa descontaminação do local pelos técnicos e que as pessoas que tiveram

**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...**

ou possam ter tido contato direto ou indireto com o material radioativo estão passando por detectores de radiação, com o objetivo de verificar se elas se impregnaram com material radioativo e, se for o caso, encaminhá-las aos agentes de saúde, para serem descontaminadas". Se for interessante fornecer uma ordem de grandeza da intensidade da radiação, pode-se utilizar uma sentença como: "Segundo as autoridades, a tantos metros do local do acidente, o nível de radiação decresce para um nível igual ao da radiação natural". Concordo que estas expressões são um tanto longas, mas passam um retrato mais próximo da realidade do que "a área está altamente radioativa" ou a "a região está com altos níveis de radiação".

Durante muitos anos eu trabalhei em uma empresa que, entre outras linhas de trabalho, esterilizava materiais por irradiação. Estes materiais eram da linha médica e farmacêutica (luvas cirúrgicas, drenos, próteses, frascos de colírio, fios cirúrgicos, etc.). Um cliente era do Rio de Janeiro e enviava para São Paulo, por via aérea, a matéria-prima de um dos seus medicamentos para ser esterilizada por irradiação. Uma vez ele mudou de companhia aérea, que tinha (ou ainda tem) por política não transportar material radioativo. Na vinda deste material não houve

qualquer problema, mas quando foi feita a remessa de volta, esta companhia não queria embarcar o material, devido a este portar um certificado de irradiação. Por telefone explicamos a diferença entre irradiação e contaminação radioativa, mas não houve como convencê-los. Tivemos que enviar via fax uma declaração de que o material não havia se tornado radioativo por ter sido irradiado. Para ser coerente com a sua política, esta companhia aérea, que também faz o transporte de pessoas, deveria entregar um questionário a cada passageiro perguntando se alguma vez ele foi submetido a radioterapia. Em caso afirmativo, o passageiro deveria anexar uma declaração do hospital onde o tratamento foi feito, informando que ele não está radioativo por ter sido irradiado. Este é um pequeno exemplo do que pode ocorrer quando as pessoas não estão informadas da diferença e do significado entre irradiação e contaminação radioativa. O nosso cliente resolveu rápido este empe-

ciho: voltou a transportar o seu material pela companhia aérea anterior.

#### **Agradecimentos**

Agradeço aos seguintes colegas pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas: prof. Carlos R. Apolloni (DF-UDEL), profa. Linda V.E. Caldas (IPEN/CNEN-SP) e prof. Gian M.A.A. Sordi (IPEN/CNEN-SP).

#### **Para saber mais**

- E. Okuno, *Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios* (Harbra, São Paulo, 1998), 82 p.
- A.R. Biral, *Radiações Ionizantes para Médicos, Físicos e Leigos* (Insular, Florianópolis, 2002), 230 p.
- L.A.M. Scaff, *Mitos e Verdades, Perguntas e Respostas - Radiações* (Barcarola, São Paulo, 2002), 118 p.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Aplicações da Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 18 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 29 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Radioatividade* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 19 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- Y. Nouailhetas, *Apostila Educativa: Radiações Ionizantes e a Vida* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 42 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.

# Anexo B

## Alimentos irradiados na Europa.

20.7.2002

PT

Jornal Oficial das Comunidades Europeias

C 174/3

### Lista das autorizações dos Estados-Membros de alimentos e ingredientes alimentares que podem ser tratados por radiação ionizante

(Em conformidade com o n.º 6 do artigo 4.º da Directiva 1999/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes aos alimentos e ingredientes alimentares tratados por radiação ionizante)

(O presente texto anula e substitui o texto publicado no Jornal Oficial C 43 de 16 de Fevereiro de 2002, p. 18)

(2002/C 174/03)

| Produto   | Autorizado até ao valor máximo estabelecido da dose global média de radiação absorvida [kGy] |       |      |    |     |
|---|--|-------|------|----|-----|
|   | BE   | FR    | IT   | NL | UK  |
| Ervas aromáticas ultracongeladas  |  | 10    |      |    |     |
| Batata  | 0,15   |       | 0,15 |    | 0,2 |
| Batata doce   |  |       |      |    | 0,2 |
| Cebola  | 0,15   | 0,075 | 0,15 |    | 0,2 |
| Alho  | 0,15   | 0,075 | 0,15 |    | 0,2 |
| Echalota  | 0,15   | 0,075 |      |    | 0,2 |
| Produtos hortícolas, incluindo leguminosas secas                              |  |       |      |    | 1   |
| Leguminosas secas   |  |       |      | 1  |     |
| Frutos (incluindo cogumelos, tomate e ruibarbo)                               |  |       |      |    | 2   |
| Produtos hortícolas secos e frutos secos                                      |  | 1     |      | 1  |     |
| Cereais   |  |       |      |    | 1   |
| Flocos e gérmenes de cereais para produtos lácteos                            |  | 10    |      |    |     |
| Flocos de cereais   |  |       |      | 1  |     |
| Farinha de arroz  |  | 4     |      |    |     |
| Goma arábica  |  | 3     |      | 3  |     |
| Carne de galinha  |  |       |      | 7  |     |
| Aves de capoeira  |  | 5     |      |    |     |
| Aves de capoeira (galos, gansos, patos, pintadas, pombos, codornizes e perus) |  |       |      |    | 7   |
| Carne de capoeira recuperada mecanicamente                                    | 5  | 5     |      |    |     |
| Miudezas de capoeira  |  | 5     |      |    |     |
| Pernas de rã congeladas   | 5  | 5     |      | 5  |     |
| Sangue, plasma e coagulados, desidratados                                     |  | 10    |      |    |     |
| Peixe e crustáceos (incluindo enguias, crustáceos e moluscos)                 |  |       |      |    | 3   |
| Camarão congelado descascado ou decapitado                                    | 5  | 5     |      |    |     |
| Camarão   |  |       |      | 3  |     |
| Clara de ovo  | 3  | 3     |      | 3  |     |
| Caseína, caseinatos   |  | 6     |      |    |     |