

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS NATAL – CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Dissertação de Mestrado

**Experimentos clássicos e animações educacionais para o
ensino das radiações ionizantes na educação básica**

Jeovani Cleiton Anselmo

Natal/RN

2024

Experimentos clássicos e animações educacionais para o ensino das radiações ionizantes na educação básica

Jeovani Cleiton Anselmo

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

Orientador: Prof. Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto

Natal/RN

2024

Experimentos clássicos e animações educacionais para o ensino das radiações ionizantes na educação básica

Jeovani Cleiton Anselmo

Orientador: Prof. Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto

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

Aprovada por:

Documento assinado digitalmente
 **CALISTRATO SOARES DA CAMARA NETO**
Data: 30/01/2025 16:47:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto – Orientador
Instituto Federal do Rio Grande do Norte/Campus Natal Central

Documento assinado digitalmente
 **MILTON THIAGO SCHIVANI ALVES**
Data: 30/01/2025 16:36:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Milton Thiago Schivani Alves – Examinador Externo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Cavalcante da Silva Filho – Examinador Interno
Instituto Federal do Rio Grande do Norte/Campus Natal Central

Natal, RN

Março de 2024

A618e Anselmo, Jeovani Cleiton.
Experimentos clássicos e animações educacionais para o ensino das radiações ionizantes na educação básica / Jeovani Cleiton Anselmo. – 2024.
133 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.
Orientador(a): Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto.

1. Física moderna e contemporânea – Ensino. 2. Radiações ionizantes. 3. Vídeos educacionais animados. 4. Animação educacional. I. Título.

CDU 53:37(043.3)

Em memória das minhas queridas avós Sebastiana Paulo da Silva (vó Bastinha) e Luiza Ferreira Guedes (vó Nair), que muito me ensinaram e sempre me deram muito carinho.

Em memória do meu saudoso professor de física do Ensino Médio, o sr. Antônio de Carvalho Filho (professor Tony), que tanto me inspirou e continua a me inspirar, em estudar e fazer ciência.

E em memória da minha amada noiva Lais Leticia da Silva Neves, que me ensinou o que é o amor e meu deu os dias mais felizes da minha vida. Te amarei eternamente, vidinha. Quando a minha hora chegar, estarei pensando em você.

Agradecimentos

Inicialmente, quero agradecer aos meus familiares, em especial minha querida mãe, a sr^a. Maria Solange Guedes da Silva, que sempre devotou muito amor e cuidado tanto para comigo, quanto para o meu irmão e sempre fez questão que nós tivéssemos uma boa educação. Obrigado pela vida, dona Solange!

Quero agradecer à minha noiva Lais Leticia da Silva Neves (*in memoriam*), que sempre acreditou em mim (mesmo quando nem eu acreditava) e nunca permitiu que eu desistisse. Amor, você sempre foi o meu baluarte, a minha rocha, o meu porto seguro.

Deixo aqui também registrado a minha gratidão aos meus colegas de curso, em especial aos colegas do PET da graduação, por todo o apoio e carinho que me deram ao longo dessa jornada trabalhosa e muito gratificante que foi a licenciatura em física. Vocês sempre serviram de inspiração para mim.

Não poderia deixar de agradecer também à professora Ingrid Isabel Santos Pereira pelas correções ortográficas desta dissertação. Obrigado, Isabel.

Agradeço aos meus professores da graduação e do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), do IFRN Campus Natal Central, polo 10, na pessoa do coordenador Dr. Edemerson Solano Batista de Moraes, por todo conhecimento compartilhado ao longo desses anos. Com destaque para o meu orientador, o prof. Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto, por toda paciência, compreensão e importantes ensinamentos partilhados. Muito obrigado, professor.

Quero aqui agradecer também aos professores avaliadores deste trabalho; em especial ao prof. Dr. Paulo Cavalcante da Silva Filho (*in memoriam*) que, infelizmente, veio a falecer antes da entrega da versão final desta dissertação. Prof. Paulo, tenho orgulho de ter sido seu aluno durante a graduação, e me sinto honrado por ter tido o senhor como um dos examinadores do meu trabalho de mestrado. Todos que tiveram o prazer de lhe conhecer, sabem que o senhor foi um gigante não só em estatura, mas principalmente de coração.

Agradeço também a Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela criação e fomento, desse tão necessário programa de pós-graduação em ensino de física.

Programa esse que permite a simples professores de física como eu, a possibilidade de poder contribuir com o ensino desta tão importante e linda disciplina que é a física.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

A busca por um currículo de física que contemple conteúdos mais próximos da realidade do aluno de maneira que esse estudante possa encontrar significado nas discussões da disciplina é realmente importante. Alguns conteúdos, como os tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), dificilmente são abordados pelos professores nas salas de aulas do Ensino Médio das escolas brasileiras, geralmente, devido à falta de tempo ao longo do ano letivo e à carência de materiais didáticos apropriados. Contudo, há orientações a respeito da necessidade da inserção de tais conteúdos nos principais documentos legais que regem a educação nacional. É interessante frisar também que quando esses tópicos são finalmente abordados pelos docentes nas suas aulas, na maior parte das vezes, são apresentados de uma maneira simplista e superficial, quase sempre fazendo uso apenas do livro didático. Portanto, ao considerar os preceitos da divulgação científica e com objetivo de aproximar os alunos dos conhecimentos de física das radiações, de maneira leve e mais interessante, desenvolvemos este produto educacional. O nosso produto tem como proposta principal facilitar a aprendizagem das radiações ionizantes, um dos vários tópicos da FMC. Para alcançar tal feito, a partir da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, fizemos a aplicação de alguns experimentos clássicos do eletromagnetismo e a exibição de vídeos educacionais animados, produzidos com a utilização de conceitos de motion graphics e observando os princípios da aprendizagem multimídia, assim como também os princípios da animação.

Palavras-chaves: física moderna e contemporânea; radiações ionizantes; vídeos educacionais animados; animação educacional.

Abstract

The search for a physics curriculum that includes content that is closer to the student's reality so that the student can find meaning in discussions about the subject is really important. Some content, such as Modern and Contemporary Physics (FMC) topics, are rarely covered by teachers in high school classrooms in Brazilian schools, generally due to the lack of time throughout the school year and the lack of appropriate teaching materials. However, there are guidelines regarding the need to include such content in the main legal documents that govern national education. It is also interesting to note that when these topics are finally addressed by teachers in their classes, most of the time, they are presented in a simplistic and superficial way, almost always using only the textbook. Therefore, when considering the precepts of scientific dissemination and with the aim of bringing students closer to knowledge of radiation physics, in a light and more interesting way, we developed this educational product. Our product's main purpose is to facilitate learning about ionizing radiation, one of the several FMC topics. To achieve this feat, based on the Three Pedagogical Moments methodology, we applied some classic electromagnetism experiments and showed animated educational videos, produced using motion graphics concepts and observing the principles of multimedia learning, as well as also the principles of animation.

Keywords: modern and contemporary physics; ionizing radiation; animated educational videos; educational animation.

Lista de figuras

Figura 1 – Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia	32
Figura 2 – Faraday e linhas de força	40
Figura 3 – James Maxwell	42
Figura 4 – Interação das radiações UV-A e UV-B com as camadas da pele humana	49
Figura 5 – Um dos personagens dos nossos vídeos educacionais usando protetor solar	50
Figura 6 – Ilustração de um tubo de raios X utilizado na radiologia convencional	52
Figura 7 – Tubo de Crookes	54
Figura 8 – Primeira radiografia da história	55
Figura 9 – Wilhelm Röntgen: o primeiro Prêmio Nobel de Física da história	56
Figura 10 – Representação do processo de fissão nuclear de um radionuclídeo de urânio	58
Figura 11 – Experiência de Oersted	67
Figura 12 – Aparato experimental utilizado por Hertz	69
Figura 13 – Experiência de Hertz	70
Figura 14 – Experiência de Hertz em funcionamento	71
Figura 15 – Ícone do Photoshop	74
Figura 16 – Breve storyboard do vídeo 2	75
Figura 17 – Ícone do Illustrator	76
Figura 18 – Vetor x bitmap	77
Figura 19 – Área de trabalho do Illustrator utilizada pelo autor e alguns	

dos principais painéis do programa	78
Figura 20 – Ícone do After Effects	79
Figura 21 – Área de trabalho do After Effects utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa	79
Figura 22 – Áudio do vídeo 4 sendo editado no Adobe Audition	80
Figura 23 – Vídeo 4 sendo renderizado no Adobe Media Encoder	81
Figura 24 – Exibição de um quadro do vídeo 1 na plataforma do YouTube.	85
Figura 25 – Exibição de um quadro do vídeo 2 na plataforma do YouTube	86
Figura 26 – Exibição de um quadro do vídeo 3 na plataforma do YouTube	87
Figura 27 – Exibição de um quadro do vídeo 4 na plataforma do YouTube	88
Figura 28 – Aplicação do questionário inicial – Registro do 1º encontro	91
Figura 29 – Professor realizando o experimento de Oersted na turma	92
Figura 30 – Professor realizando o experimento de Hertz na turma	93
Figura 31 – Espectro eletromagnético	95
Figura 32 – Avaliação da aprendizagem sendo editada na plataforma Plickers	98
Figura 33 – Exemplo de um cartão Plickers	98
Figura 34 – Leitura das respostas dos alunos através do aplicativo móvel Plickers instalado no celular	100
Figura 35 – Professor fazendo a leitura das respostas dos alunos – Registro do 6º encontro	100

Lista de abreviaturas e siglas

3MPs – Teoria dos Três Momentos Pedagógicos.

BNCC – Base Nacional Comum Curricular.

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade.

ddp – Diferença de potencial elétrico.

EM – Ensino Médio.

ENEM – Exame nacional do ensino médio.

EPIs – Equipamentos de proteção individual.

FMC – Física Moderna e Contemporânea.

IFs – Institutos Federais.

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais.

PCN+ – Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

TCAM – Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia.

TMM – Teoria dos Modelos Mentais.

UVs – Radiações ultravioleta.

UV-A – Radiações ultravioleta tipo A.

UV-B – Radiações ultravioleta tipo B.

UV-C – Radiações ultravioleta tipo C.

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Exemplo de espectro dos fótons gerados por frenamento de elétrons com energia cinética de 120 keV, sem considerar a auto-atenuação do alvo ou filtros adicionais	53
Gráfico 2 – Resultados da questão 1 da avaliação final da aprendizagem ...	109
Gráfico 3 – Resultados da questão 2 da avaliação final da aprendizagem ...	109
Gráfico 4 – Resultados da questão 3 da avaliação final da aprendizagem ...	110
Gráfico 5 – Resultados da questão 4 da avaliação final da aprendizagem ...	111
Gráfico 6 – Resultados da questão 5 da avaliação final da aprendizagem ...	112
Gráfico 7 – Resultados da questão 6 da avaliação final da aprendizagem ...	113
Gráfico 8 – Resultados da questão 7 da avaliação final da aprendizagem ...	113
Gráfico 9 – Resultados da questão 8 – Teste de satisfação	114
Gráfico 10 – Resultados da questão 9 – Teste de satisfação	115
Gráfico 11 – Resultados da questão 10 – Teste de satisfação	116
Gráfico 12 – Resultados da questão 2 – Questionário inicial	127
Gráfico 13 – Resultados da questão 3 – Questionário inicial	128
Gráfico 14 – Resultados da questão 5 – Questionário inicial	129
Gráfico 15 – Resultados da questão 6 – Questionário inicial	130
Gráfico 16 – Resultados da questão 7 – Questionário inicial	130
Gráfico 17 – Resultados da questão 8 – Questionário inicial	131

Lista de quadros

Quadro 1 – Espectro das radiações eletromagnéticas e alguns dos principais parâmetros relacionados	48
Quadro 2 – Requisitos de sistema mínimos e recomendados para utilização do software After Effects	73
Quadro 3 – Sequência didática	82

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivo geral	17
1.2	Objetivos específicos.....	17
1.3	Justificativa	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	A importância da experimentação no ensino de ciências.....	19
2.2	Algumas das dificuldades encontradas pelos professores no ensino de Eletromagnetismo e FMC no Brasil	23
2.3	O que dizem os principais documentos legais da educação nacional, acerca da inserção de tópicos de FMC no EM	27
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
3.1	A Teoria dos Modelos Mentais	30
3.2	A Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia.....	31
3.3	Os Três Momentos Pedagógicos (3MPs).....	34
4	FÍSICA DAS RADIAÇÕES	36
4.1	Introdução	36
4.2	Qual a natureza da luz?	36
4.3	Quantização da energia	38
4.4	A descoberta da estreita relação entre a Eletricidade e o Magnetismo.....	38
4.5	Algumas das principais contribuições de Faraday e Maxwell à Teoria Eletromagnética.....	39
4.5.1	Michael Faraday	39
4.5.2	James Clerk Maxwell.....	41
4.6	Radiação corpuscular	44
4.6.1	Radiação alfa (partículas alfa).....	44
4.6.2	Radiação beta (partículas beta)	46
4.6.3	Nêutrons.....	47
4.7	Radiações eletromagnéticas	47
4.7.1	Radiações ultravioleta (UVs)	49
4.7.2	Os raios X.....	51
4.7.3	Radiação gama (γ)	57

5	OS PRINCÍPIOS DA ANIMAÇÃO E O MOTION GRAPHICS	61
5.1	Os 12 princípios da animação	61
5.2	Sobre o que é o motion graphics e o porquê de sua escolha no processo de produção dos nossos vídeos educacionais	64
6	O PRODUTO EDUCACIONAL	66
6.1	Introdução	66
6.2	Experimentos clássicos do Eletromagnetismo	67
6.2.1	Experiência de Oersted	67
6.2.2	Experiência de Hertz	68
6.3	Os softwares	72
6.3.1	O Photoshop	74
6.3.2	O Illustrator	76
6.3.3	O After Effects	78
6.4	A sequência didática	82
6.5	Vídeos educacionais produzidos	85
7	METODOLOGIA	89
7.1	Problematização Inicial.....	90
7.2	Organização do conhecimento.....	94
7.3	Aplicação do conhecimento.....	97
8	RESULTADOS	101
8.1	Análise das respostas dos alunos aos questionamentos iniciais levantados pelo professor após a realização dos experimentos.....	101
8.1.1	Resultados após a aplicação da experiência de Oersted.....	101
8.1.2	Resultados após a aplicação da experiência de Hertz	103
8.2	Análise das respostas da avaliação inicial	105
8.3	Análise das respostas da avaliação final da aprendizagem:	108
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – resultados das questões do questionário inicial (avaliação diagnóstica)	126
	APÊNDICE B – produto educacional	132

1 INTRODUÇÃO

Podemos encontrar diversos exemplos da presença da Ciência e da Tecnologia nas sociedades contemporâneas. Inclusive, influenciando o modo como vivemos, pensamos e agimos (Brasil, 2018). Portanto, é importante que ela possa ser apresentada aos estudantes de uma maneira que lhes proporcione encantamento e admiração, despertando-lhes, desde cedo, o gosto pela ciência.

O astrônomo e grande divulgador científico Carl Sagan (2006, p. 20) afirma, em seu livro *O mundo assombrado pelos demônios*, o fato de que a ciência tem sim essa capacidade, ao dizer: “a ciência desperta um sentimento sublime de admiração”. O renomado biólogo evolucionista Richard Dawkins (2000, p. 10) também defende, em sua obra *Desvendando o arco-íris*, o potencial da ciência em encantar o indivíduo:

O sentimento de admiração reverente que a ciência pode nos proporcionar é uma das experiências mais elevadas de que a psique humana é capaz. É uma profunda paixão estética que se equipara às mais belas que a música e a poesia podem despertar (Dawkins, 2000, p. 10).

É interessante que os professores deixem clara a relevância da Ciência para a sociedade, desde os primeiros contatos dos alunos com as disciplinas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Também evidenciem que a Ciência e a Tecnologia não devem ser encaradas apenas como ferramentas capazes de resolver problemas, mas também como meios de aberturas para novas visões de mundo (Brasil, 2018). Assim, mostrando a Ciência como uma elaboração humana e que está sempre em constante mudança e evolução. Desse modo, visando sempre uma aprendizagem que faça sentido para os discentes e que esses possam encontrar significado nos conhecimentos da disciplina (Borges; Rocha, 2012).

Partindo dessas premissas, neste trabalho, vamos discorrer a respeito da Física das Radiações, em especial as radiações ionizantes. As radiações ditas ionizantes consistem em ondas eletromagnéticas, com energia suficiente para fazer com que elétrons se desprendam de seus átomos, originando a formação de íons e radicais livres altamente reativos. Podendo, muitas vezes, atacar estruturas de moléculas importantes como a molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico), causando-lhes danos (Okuno; Caldas; Chow, 1982).

Este trabalho surgiu da necessidade de mais materiais didáticos de nível médio relacionados às temáticas de Física Moderna e Contemporânea (FMC), que abordassem esses temas de uma maneira mais leve, com uma linguagem mais próxima da realidade do aluno, nos moldes de divulgação científica, e, ao mesmo tempo, mais dinâmica, capaz de prender a atenção do espectador. Nesse sentido, desenvolvemos nosso produto educacional.

1.1 Objetivo geral

Facilitar a aprendizagem do conceito de ondas eletromagnéticas e de conhecimentos relacionados à Física das Radiações Ionizantes, a partir da aplicação de alguns dos experimentos históricos da Teoria Eletromagnética e de vídeos educacionais animados sobre esses temas.

1.2 Objetivos específicos

- Reproduzir e discutir alguns experimentos clássicos do eletromagnetismo, com enfoque na história da Ciência e nos principais personagens responsáveis pelo desenvolvimento desse importante ramo da física;
- Produzir vídeos educacionais curtos com conteúdos temáticos relacionados à FMC.

1.3 Justificativa

A escolha pela abordagem de temáticas da Física das Radiações foi feita por acreditarmos que esses temas possuem relevância educacional, tecnológica, social e ambiental. Assim, permitindo o desenvolvimento de competências e habilidades nos estudantes relacionadas à essas esferas. A Física das Radiações tem também o potencial de servir como “assunto-ponte” para introdução de novos conceitos ao ser discutida de uma maneira contextualizada e integrada com outras áreas da Ciência.

Um outro fator que corrobora em favor da existência de um trabalho como o nosso é que fizemos uma pesquisa bibliográfica em alguns dos principais periódicos

que tratam do ensino de física no Brasil, e a partir dessa pesquisa, constatamos a inexistência de trabalhos relacionados ao ensino de física e animação em motion graphics (pelo menos, até o momento da publicação deste trabalho). Portanto, o nosso trabalho também justifica-se pela possibilidade de contribuir na área de animação e ensino de física.

Acreditamos que vídeos educacionais explicativos, produzidos a partir de conceitos de motion graphics (como os produzidos para o nosso produto), podem vir a ser excelentes recursos para o ensino de temas de difícil abordagem. Esses recursos educacionais podem vir a facilitar a compreensão desses conteúdos, além de tornar a aprendizagem mais lúdica e interessante.

Para produção dos nossos vídeos educacionais, fizemos uso de alguns softwares da Adobe. Por serem amplamente utilizados pela indústria de design gráfico, e por essa razão, possuírem muitos materiais instrucionais relacionados à utilização desses softwares, que podem ser facilmente encontrados na internet, e pela interessante integração entre os programas (como será melhor discutido no capítulo 6 desta dissertação, nas pág. 72-82).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de discutirmos a respeito dos fundamentos didáticos e pedagógicos, no qual o nosso trabalho baseia-se, e sobre alguns dos principais tópicos de Física das Radiações que podem vir a serem apresentados pelo professor em sala de aula aos alunos, é interessante refletirmos também a respeito da importância das atividades experimentais no ensino de ciências. Sem deixar de expor algumas das principais dificuldades encontradas pelos professores no ensino de temas relacionados à Teoria Eletromagnética e à FMC no Brasil. Ademais, é importante analisarmos também o que dizem alguns dos principais documentos legais da educação brasileira a respeito dessas temáticas.

2.1 A importância da experimentação no ensino de ciências

Krasilchik (1987 *apud* Watanabe *et al.*, 2019) aponta diversos problemas que vem marcando o ensino de Ciências, como: a memorização de muitos fatos, a falta de vínculo com a realidade dos alunos, a falta de coordenação com outras disciplinas, o predomínio de aulas mal ministradas, a passividade dos alunos e a programação dos guias curriculares. Sobre o problema específico das “aulas mal ministradas” e a consequente “passividade dos alunos”, Watanabe *et al.* (2019, p. 36-37) argumentam que:

As práticas de grande parte dos professores caracterizam-se por não partir de um planejamento, por serem predominantemente expositivas, referenciadas, basicamente, em livros didáticos e por não abrirem espaço para que os alunos participem com seus conhecimentos e experiências. Nesse contexto, estes acabam demonstrando desinteresse e passividade.

Sobre esse desinteresse por parte da grande maioria do alunado, Reis (2021) destaca que quando o ensino de ciências, em particular o ensino de física, é realizado de modo mecanizado, com fórmulas prontas, cálculos matemáticos exaustivos e sem a prática de atividades experimentais, este torna-se bastante árduo para os alunos, resultando em desmotivação e desinteresse pelos conteúdos da disciplina. Nesta seção, daremos destaque a importância das atividades práticas no ensino de ciências, no sentido de combater essa desmotivação quando contextualizadas com outras áreas do conhecimento, como com a própria história e filosofia da ciência. Acerca

deste tema, Andrade e Massabni (2011, p. 836 *apud* Bassoli, 2014, p. 580) alertam para o fato que:

Os professores, ao deixarem de realizar atividades práticas podem estar incorporando formas de ação presentes historicamente no ensino, pautado por uma abordagem tradicional, sem maiores reflexões sobre a importância da prática na aprendizagem de ciências.

Existe, praticamente, um consenso entre professores e pesquisadores acerca da importância da realização de atividades práticas, no processo de ensino-aprendizagem dos componentes curriculares que compõem a área de Ciências da Natureza. Provavelmente, derivado da concepção empírica que esses profissionais possuem da ciência e do método científico. No entanto, muitos desses docentes confessam que fazem pouco uso de atividades experimentais em suas aulas (Bassoli, 2014; Dornelles; Araujo; Veit, 2012).

Ao discorrer acerca da importância da experimentação no ensino de física, Borges e Rocha (2012, p. 161) argumentam que as atividades práticas “trazem o conhecimento de uma forma mais palpável e acessível aos alunos”. Os autores afirmam ainda que a pouca (ou nenhuma) prática experimental, acompanhada de uma abordagem da física excessivamente matemática, deixando a abordagem conceitual praticamente de lado, serve para reforçar a noção equivocada de que a física não está presente no dia a dia do aluno. Contribuindo, assim, com as dificuldades encontradas no processo de ensino-aprendizagem de física (como as que já foram mencionadas no início desta seção e ainda serão melhor discutidas neste capítulo).

Os mesmos autores apontam as atividades práticas como uma das formas mais eficientes de se minimizar tais dificuldades, como podemos constatar na citação apresentada a seguir:

“[...] o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente” (Araújo; Abib, 2003, p. 176 *apud* Borges; Rocha, 2012, p. 162).

Neste trabalho, entendemos como atividades práticas:

[...] Aquelas tarefas educativas que requerem do estudante a experiência direta com o material presente fisicamente, com o fenômeno e/ou com dados

brutos obtidos do mundo natural ou social. Nesta experiência, a ação do aluno deve ocorrer – por meio da experiência física –, seja desenvolvendo a tarefa manualmente, seja observando o professor em uma demonstração, desde que, na tarefa, se apresente o objeto materialmente (Andrade; Massabni, 2011, p. 840, *apud* Bassoli, 2014, p. 580).

A definição de atividades práticas supracitada baseia-se na presença material dos objetos ou fenômenos a serem investigados. Contudo, sem levar em consideração o tipo de interação que os estudantes desenvolvem com os mesmos. Sabe-se que é desejável que os alunos interajam o máximo possível com os objetos e fenômenos apresentados, sejam essas interações físicas, emocionais e, preferencialmente, intelectuais, como afirma Bassoli (2014).

Conforme Bassoli (2014), as diversas modalidades de atividades experimentais, possíveis de serem abordadas em aulas, são as seguintes: demonstrações práticas; experimentos ilustrativos; experimentos descritivos e experimentos investigativos. Este último, é denominado também pela autora de atividades práticas investigativas. Neste trabalho, não temos a intenção de apresentarmos a definição de todas elas aqui. Para tal feito, sugerimos a leitura do artigo da Fernanda Bassoli (2014)¹. Daremos destaque apenas para os ditos experimentos investigativos.

Os experimentos investigativos (ou atividades práticas investigativas) são aqueles que exigem participação dos alunos na sua execução e posterior discussão de ideias, formulação de hipóteses e experimentos para testá-las (Campos; Nigro, 1999, *apud* Bassoli, 2014). As atividades práticas desenvolvidas e aplicadas na realização deste trabalho são do tipo atividades práticas investigativas, visto que os estudantes foram encorajados a participarem das montagens dos experimentos em sala de aula. E, impelidos, posteriormente, a buscarem explicações acerca dos fenômenos observados.

Zomberu e Laburu (2011), ao defenderem o ensino por investigação, enfatizam que este possibilita o aprimoramento do raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, promove a cooperação entre eles e permitem-lhes compreender o trabalho do cientista. Isso porque os alunos são levados a refletirem acerca dos questionamentos.

¹ Artigo: Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciências(s): mitos, tendências e distorções (2014).

Segundo Bassoli (2014), apesar de não haver um consenso acerca das atividades investigativas, um ponto de convergência entre as diversas concepções é a presença da problematização.

Ao trazer esse conhecimento para o ensino em sala de aula, esse fato – propor um problema para que os alunos possam resolvê-lo – vai ser o divisor de águas entre o ensino expositivo feito pelo professor e o ensino em que proporciona condições para que o aluno possa raciocinar e construir seu conhecimento. No ensino expositivo toda a linha de raciocínio está com o professor, o aluno só a segue e procura entendê-la, mas não é o agente do pensamento. Ao fazer uma questão, ao propor um problema, o professor passa a tarefa de raciocinar para o aluno e sua ação não é mais a de expor, mas de orientar e encaminhar as reflexões dos estudantes na construção do novo conhecimento (Carvalho, 2013, p. 2).

Como evidenciado na citação acima, no ensino por investigação, o professor atua no sentido de “problematizar”, junto à turma, as atividades práticas e os fenômenos observados. Partindo de uma situação-problema, os alunos participam ativamente da construção de conhecimentos ao elaborarem hipóteses e explicações plausíveis para os fenômenos, refletindo e interagindo entre si e juntamente com o professor. Este, atuando nesse momento, no sentido de orientá-los nas reflexões acerca dos conhecimentos construídos. Deixando de agir como um simples expositor de conteúdos (Carvalho, 2011, 2013).

Mumford e Lima (2007 *apud* Bassoli, 2014) destacam que está havendo uma ampliação significativa no entendimento dos professores, sobre o que de fato é o ensino por investigação. Diferenciando-o em relação a um ensino experimental ou baseado em atividades de “investigação simples e ritualística”. O que serve para promover um ensino dialógico e baseado em atividades que convençam os alunos a admitirem as explicações científicas dos fenômenos. Ao invés de, simplesmente, aceitarem as explicações trazidas pelo professor, as quais são, muitas vezes, apresentadas de maneira autoritária, prescritiva e dogmática, segundo a visão dos referidos autores.

Por fim, destacamos que os experimentos clássicos da Teoria Eletromagnética produzidos, classificados também como “experimentos históricos” (ver cap. 6, a partir da pág. 67), permitiram-nos realizarmos, junto à turma alvo do produto educacional, não só a discussão histórica relacionada, mas também reflexões acerca do trabalho do cientista e do funcionamento do método científico. Além de discussões sobre o

progresso do Eletromagnetismo e do próprio conhecimento científico em geral (Silva; Oliveira, 2014).

2.2 Algumas das dificuldades encontradas pelos professores no ensino de Eletromagnetismo e FMC no Brasil

Uma das principais dificuldades manifestadas pelos professores é a falta de tempo ao longo do ano letivo. Os conteúdos de eletromagnetismo, por exemplo, cuja abordagem ocorre geralmente na última etapa da educação básica, assim como os conteúdos de FMC, constituem-se como um verdadeiro desafio no que se refere à abordagem da maioria dos principais tópicos dessas áreas da física.

Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) realizaram uma entrevista acerca da atualização do currículo de física, através da introdução de tópicos de FMC (em particular, os raios X), com 10 professores de física do EM, da cidade do Rio de Janeiro. E, além dos problemas relacionados a preparação dos estudantes para processos seletivos (tema que será abordado no final desta seção), os professores entrevistados destacaram a carga horária reduzida de física no ensino público como um dos fatores limitantes para inserção dessas temáticas:

Apesar de nunca terem trabalhado formalmente com tópicos de física moderna, a maior parte dos professores se mostrou favorável à sua utilização no ensino médio. Outros, entretanto, apontam problemas como o programa dos exames vestibulares e a carga horária reduzida de física no ensino público como fatores de limitação para a abordagem desses tópicos na atual conjuntura (Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007, p. 451).

Quando olhamos especificamente para o caso do ensino de eletromagnetismo no EM, nos vemos diante de uma das áreas mais robustas e completas de toda a física. E o seu ensino, da nossa experiência docente, podemos afirmar que, muitas vezes, envolve cálculos difíceis (na concepção dos alunos) e experimentos que demandam materiais específicos como os encontrados em laboratórios de ciências. Esse espaço é inexistente em diversas escolas brasileiras, principalmente as que são localizadas no interior do país.

Portanto, é perceptível que, a partir da nossa prática docente, para uma disciplina com um campo de estudo tão vasto quanto a física, apenas uma ou duas

aulas semanais por turma não são suficientes para abordar todos os objetos de conhecimento da matriz curricular de um determinado nível de ensino. Diante disso, o professor encontra-se diante da necessidade de selecionar determinados conteúdos em detrimento de outros. Como expresso abaixo por Loch e Garcia (2009, p. 2):

[...] A composição do conjunto de saberes propostos a serem ensinados leva à escolha de alguns conteúdos em detrimento de outros, principalmente para dar conta da composição dos diversos saberes presentes na matriz curricular do Ensino Médio.

Moreira (2018, p.73) faz uma descrição pragmática da atual crise enfrentada no ensino de física no Brasil:

Paradoxalmente, no entanto, esse ensino está em crise. A carga horária semanal que chegou a 6 horas-aula por semana, hoje é de 2 ou menos. Aulas de laboratório praticamente não existem. Faltam professores de Física nas escolas e os que existem são obrigados a treinar os alunos para as provas, para as respostas corretas, ao invés de ensinar física. A interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade são confundidas com não disciplinaridade e tiram a identidade da Física. Os conteúdos curriculares não vão além da Mecânica Clássica e são abordados da maneira mais tradicional possível, totalmente centrada no professor, baseada no modelo de narrativa criticado por Finkel (1999), na educação bancária de Freire (2007), no comportamentalismo de Skinner (1972). O resultado desse ensino é que os alunos, em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física.

Já em relação aos conteúdos de FMC, além da questão da insuficiência de tempo ao longo do ano letivo, as principais dificuldades manifestadas pelos docentes, geralmente, estão relacionadas com a complexidade dos conteúdos dessa área da física, envolvendo uma matemática mais complexa. Além, claro, da impossibilidade de realização de alguns experimentos devido à inacessibilidade de determinados instrumentos específicos e aos perigos relacionados à utilização de alguns materiais, como os radioativos.

Marques *et al.* (2019 *apud* Reis, 2021) realizaram uma pesquisa em alguns periódicos do país, os quais tratam do ensino de Física/Ciências, analisando diversos artigos publicados de 2008 a 2018 com temas de FMC no EM. Dos 40 artigos encontrados que tratavam de temáticas da FMC, menos da metade apresentava uma proposta de aplicação das atividades didáticas sugeridas num ambiente real de ensino. O que evidencia as dificuldades encontradas pelos professores, no que se

refere à abordagem de conceitos de FMC em sala de aula.

Ainda por cima tem o agravante do pouco investimento em ciências por todo o país, por parte dos governos. Tudo isso acaba refletindo nos poucos laboratórios de ciências das escolas, que ainda os possuem, em poucos materiais e equipamentos, muitas vezes, tornando-se obsoletos. Infelizmente, essa é a realidade de muitas das escolas públicas brasileiras (com exceção das escolas federais, como os chamados “IFs”).

Segundo Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007), o ensino de ciências, em particular o ensino de física no Ensino Médio, não tem acompanhado os avanços científicos e tecnológicos das últimas décadas, ao contrário, fica cada vez mais distante das necessidades dos alunos no que diz respeito ao estudo de conhecimento científicos mais atuais. Um dos fatores que contribuem para esse quadro é a defasagem entre os conteúdos estudados em sala de aula e as informações obtidas pelos alunos através das mídias (escrita e falada) acerca dos avanços e descobertas científicas no campo da física.

É comum, nas aulas de física, os alunos trazerem discussões sobre assuntos que leram ou ouviram em revistas, jornais e telejornais e que, por serem mais atuais e/ou estarem presentes no seu no dia a dia, despertam neles um interesse em conhecer e entender que princípios físicos explicam dado fenômeno (Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007, p. 447-448).

Esses autores destacam ainda o fato que um currículo de física desatualizado tem como consequência uma “prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno” (Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007, p. 448). Os tópicos de FMC (como a temática das radiações ionizantes) possuem um imenso potencial pedagógico, visto que esses temas têm uma grande capacidade de motivar e despertar nos alunos o gosto em discutir e aprender física, servindo como assuntos-pontes para o estudo de outros temas em ciências, de modo geral. Permitindo, inclusive, uma articulação entre os professores de Ciências da Natureza, no sentido de abordar esses temas de maneira integrada e contextualizada, promovendo, dessa forma, a chamada interdisciplinaridade.

Algumas das razões elencadas por Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007, p. 448), com base na revisão de literatura feita por Ostermann e Moreira (2000), que justificam a atualização da grade curricular de física no EM, são as seguintes:

- Despertar a curiosidades dos alunos e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano;
- Os estudantes ouvem falar em temas como buracos negros e big bang na televisão ou em filmes de ficção científica, mas nunca nas aulas de física.
- O ensino de temas atuais da física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, hoje presente nos livros didáticos e nas aulas de física (Ostermann; Moreira, 2000, p.391 *apud* Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007, p. 448).

Por fim, queremos apresentar outro problema que vem se acentuando ao longo dos últimos anos, que é o seguinte: os professores, ao invés de estarem ensinando física de verdade, conciliando teoria e prática, a fim de evidenciar a beleza da ciência e promover o encantamento e admiração pela disciplina nos estudantes, estão mais preocupados em “treinar” os alunos para serem aprovados em processos seletivos (como o próprio ENEM). Como enfatizado por Giacomini e Muenchen (2015, p. 341):

De acordo com as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (BRASIL, 2008, p.15), nos últimos anos, o ensino vem sendo marcado por uma dicotomia que constitui um desafio para os educadores, ou seja, para eles ainda permanece a ideia de que o currículo do ensino médio precisa estar voltado, quase que exclusivamente, para a preparação do aluno para os exames vestibulares, em detrimento das finalidades atribuídas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - Lei Nº 9394/96 (BRASIL, 1996). Tem-se uma preocupação com a quantidade de conteúdos a serem ensinados e nem sempre com o porquê ensiná-los e com a qualidade do processo ensino/aprendizagem.

As aulas desses professores, na maioria das vezes, baseiam-se apenas em memorização de fórmulas e equações matemáticas prontas, quase sempre desprezando a História e Filosofia da Ciência e o importante papel cultural e social que a física possui no mundo em que vivemos (Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007).

Diante desse novo paradigma já amplamente estabelecido, as escolas consideradas como melhores instituições de ensino são aquelas que aprovam um número maior de alunos nesses processos seletivos. Moreira (2018, p. 75) também critica veementemente esse tipo de “ensino mercadológico”:

Um absurdo, os professores são treinadores e as escolas são centros de treinamento. As melhores escolas são aquelas que aprovam mais alunos nos testes. Uma visão comportamentalista, mercadológica, massificadora. Todos os estudantes devem ser treinados para “passarem” nas mesmas provas nacionais e internacionais. Professores que não ensinam para a testagem têm a atenção chamada pela direção da escola. Na Física, os alunos sofrem esse ensino para a testagem, passam nos testes, mas chegam à

universidade como se não tivessem estudado física no Ensino Médio. O mesmo ocorre com outras disciplinas. O ensino para a testagem não é ensino, é só treinamento para respostas de curto prazo.

É imprescindível que todos nós, professores da educação básica, façamos sempre uma autorreflexão em relação a prática de ensino que estamos fazendo uso em nossas salas de aulas. A fim de buscarmos sempre desenvolver nos alunos, no exercício de nossa tarefa docente, uma racionalidade crítica em detrimento de estarmos apenas “depositando” mais e mais conteúdos nos educandos. Assim, cultivando uma educação “bancária”, no sentido freireano da expressão (Freire, 2023, 2011; Watanabe *et al.*, 2019).

2.3 O que dizem os principais documentos legais da educação nacional, acerca da inserção de tópicos de FMC no EM

Começaremos nossa análise observando o que diz a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), que estabelece as normas e diretrizes básicas da educação. Como destacado por Anselmo e Borges (2016), a LDB apresenta como uma das finalidades do EM, no seu artigo 35, inciso IV: “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática” (Brasil, 1996, p. 26). É importante que, ao final da última etapa da educação básica, o aluno tenha adquirido uma boa formação científica, capaz de permiti-lo compreender e interagir, em todos os aspectos, com o mundo à sua volta, seja na esfera científica, tecnológica, econômica, social e/ou ambiental (Reis, 2021).

Vamos agora relembrar o que dizem os PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais) e os PCN+ (Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais). Nos PCN, há um trecho que diz que o tópico da natureza dual da luz, juntamente com a temática das radiações eletromagnéticas, de modo geral, abre espaço para uma abordagem quântica da estrutura da matéria. Viabilizando assim a compreensão do funcionamento de dispositivos eletrônicos contemporâneos, como os chamados semicondutores (Brasil, 2000).

Os PCN+ apresentam uma série de competências em física, que se espera que o estudante possua ao final da escolaridade básica. Dentre as várias competências

presente no documento, listamos abaixo apenas aquelas ligadas à temática da FMC:

- Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a **relatividade** ou as **ideias quânticas** povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia.
- Reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do homem, do outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados quanto a um posicionamento responsável. Por exemplo, o uso de **radiações ionizantes** apresenta tanto benefícios quanto riscos para a vida humana.
- Reconhecer, em situações concretas, a relação entre Física e ética, seja na definição de procedimentos para a melhoria das condições de vida, seja em questões como do **desarmamento nuclear** ou em mobilizações pela paz mundial (Brasil, 2006, p. 68, grifo nosso).

Os PCN+ destacam ainda a importância da inserção da FMC no currículo do EM e colocam a física moderna como um dos seus temas estruturadores propostos para o ensino de física no EM:

Alguns aspectos da chamada **Física Moderna** serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores (Brasil, 2006, p. 70, grifo nosso).

Mais adiante, os PCN+ reconhecem a necessidade da aprendizagem dos conhecimentos da física das radiações eletromagnéticas e apontam que o tema de matéria e radiação tem potencial pedagógico para servir como assunto-ponte viabilizando uma introdução à física atômica:

A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo de **matéria e radiação** indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico (Brasil, 2006, p. 70).

Por último, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) afirma que “[...] implica, ainda, considerar modelos mais abrangentes **ao explorar algumas aplicações das reações nucleares**, a fim de explicar, por exemplo, processos estelares, datações geológicas e formação da matéria e da vida” (Brasil, 2018, p. 538, grifo nosso).

Já na sua competência específica 1, da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, “analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia” (Brasil, 2018, p. 540), a BNCC traz no texto da descrição da referida competência, dentre vários outros temas, alguns conteúdos de FMC como recomendação de conteúdos que podem vir a serem selecionados pelo professor na sua prática docente:

Dessa maneira, podem mobilizar estudos referentes a: **estrutura da matéria**; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; **fusão e fissão nucleares**; **espectro eletromagnético**; **efeitos biológicos das radiações ionizantes**; mutação; poluição; ciclos biogeoquímicos; desmatamento; camada de ozônio e efeito estufa; entre outros (Brasil, 2018, p. 540, grifo nosso).

Com base nas orientações apresentadas acima, podemos concluir, que fica evidente os anseios por uma atualização no currículo de física do EM. Podemos constatar nos principais documentos legais da educação nacional a necessidade de um ensino mais próximo da realidade do educando, já que este, sendo um sujeito inserido na atual sociedade moderna, precisa desenvolver determinadas habilidades e competências que lhe permitam compreender e participar do mundo ao seu redor.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, discorreremos a respeito das teorias didático-psicológicas que fundamentam nosso trabalho. Que são as seguintes: a Teoria dos Modelos Mentais, a Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia e os Três Momentos Pedagógicos.

3.1 A Teoria dos Modelos Mentais

A primeira das duas teorias psicológicas da cognição humana, na qual o nosso trabalho está fundamentado, é a chamada *Teoria dos Modelos Mentais (TMM)*, proposta por Johnson-Laird, em 1983. Segundo essa teoria, as pessoas raciocinam utilizando modelos mentais, os quais podem ser alterados ou redimensionados quantas vezes forem necessárias (Moreira; Pinto, 2003), estando a compreensão de um determinado conceito ou objeto, diretamente relacionada a construção dessas representações (ou modelos) mentais na estrutura cognitiva de um indivíduo.

Estamos sempre criando representações (externas e internas) do mundo ao nosso redor. Sendo as representações externas coisas como uma pintura, um diagrama, um texto. Já as representações internas (ou representações mentais) são maneiras como percebemos internamente o mundo exterior (Moreira, 1999). De acordo com a TMM, compreendemos o mundo no qual vivemos criando representações internas dele.

Uma representação é qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que “re-presenta” alguma coisa para nós, na ausência dessa coisa que é, tipicamente, algum aspecto do mundo externo ou de nosso mundo interior, i.e., nossa imaginação (Moreira, 1999, p. 181 *apud* Eisenck; Keane, 1990, p. 203).

Destarte, de acordo com os pressupostos da TMM, um estudante só consegue de fato aprender um determinado conceito quando cria modelos mentais a respeito desses conceitos. E de acordo com os pressupostos da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia, como veremos na próxima seção, esses modelos (ou representações) mentais são criados quando o indivíduo consegue relacionar as novas informações obtidas com os conhecimentos já estabelecidos em sua memória de longo prazo. Conhecimentos estes adquiridos ao longo de sua vida acadêmica e a partir das vivências e interações no mundo ao qual está inserido (ver o diagrama da

pág. 32).

3.2 A Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia

A outra teoria cognitiva na qual o nosso trabalho se apoia é a chamada *Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM)*, de Richard Mayer. Esse autor é um psicólogo americano que tem dado importantes contribuições nas áreas de aprendizagem voltada para a educação e cognição humana. Mayer é conhecido, principalmente, por seus trabalhos relacionados à temática da aprendizagem multimídia. Sendo um dos principais expoentes na área.

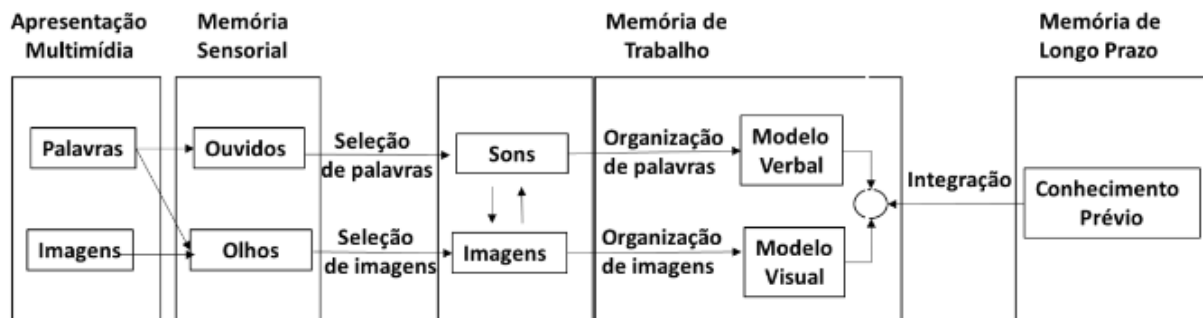
A teoria da aprendizagem multimídia, de Richard Mayer, tem como premissa principal que “as pessoas aprendem melhor com palavras e imagens do que apenas com palavras” (Mayer, 2009, p. 1, tradução nossa). Portanto, conforme Mayer, os educandos têm uma melhor aprendizagem quando o professor faz uso de recursos multimídia nas suas aulas (como infográficos, animações, vídeos explicativos e simulações computacionais). O que possibilita aos estudantes, a construção de representações (ou modelos) mentais dos objetos de conhecimento ensinados.

Essa construção de conhecimentos se dá a partir de representações mentais, que acontecem quando o estudante faz captações sensoriais de informações (visuais ou auditivas), e consegue estabelecer uma integração desses novos conhecimentos com conhecimentos previamente já estabelecidos em sua estrutura cognitiva. Sendo esse também um dos pressupostos da TCAM. O chamado *pressuposto do canal duplo (ou dual)*, o qual diz que os seres humanos possuem dois canais de processamento cognitivo, que possuem inclusive, uma capacidade limitada de processamento de “cargas cognitivas”. Sendo esse o segundo pressuposto da TCAM, o *pressuposto da aprendizagem limitada* (Vasconcelos; Vasconcelos et al, 2019).

Segundo Mayer (2009), o indivíduo pode realizar essas captações e posterior processamento das informações através de dois canais sensoriais, o canal visual/pictórico e o canal auditivo/verbal. O indivíduo faz a captação sensorial do que foi exposto na apresentação multimídia (através de palavras e imagens), na sequência realiza uma organização desses sons e imagens na memória de trabalho, criando modelos mentais (verbal e/ou visual) a partir da integração dessas novas informações

com os conhecimentos já existentes em sua memória de longo prazo. Ver o diagrama da figura 1:

Figura 1 – Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia



Fonte: Adaptada de Mayer (2005, p. 37) *apud* Pinto (2020, p.4)

Richard Mayer define o ensino multimídia como sendo “a apresentação de material utilizando palavras e imagens, com a intenção de promover a aprendizagem” (Mayer, 2009, p. 5). Nesse sentido, o termo palavra não se refere somente a texto impresso, mas também a toda mídia escrita ou falada. De maneira análoga, imagens não se referem apenas a representações pictóricas (como imagens e desenhos), e sim a toda mídia gráfica, como vídeos, animações, jogos, mapas, fotos e ilustrações (Vasconcelos; Vasconcelos *et al*, 2019 *apud* Mayer, 2001).

Por palavras quero dizer que o material é apresentado de forma verbal – utilizando texto impresso ou falado, por exemplo. Por imagens, quero dizer que o material é apresentado em forma pictórica, inclusive usando gráficos estáticos, como ilustrações, gráficos, fotos ou mapas, ou gráficos dinâmicos, como animações ou vídeos (Mayer, 2009, p. 5).

Mayer também deixa algumas orientações que devem ser levadas em consideração na elaboração de materiais multimídias. O que ele chamou de princípios do design de instrução multimídia. Estas recomendações têm por objetivo melhorar a síntese de apresentações multimídias. Viabilizando a produção de materiais que possam ser absorvidos, simultaneamente, por canais sensoriais diferentes. Porém, sem causar sobrecarga desses canais. O que está de acordo com o terceiro pressuposto da Teoria da Aprendizagem Multimídia, de Mayer, denominado de *pressuposto da aprendizagem ativa*, que afirma a possibilidade de um

“processamento cognitivo essencial em ambos os canais” (Vasconcelos; Vasconcelos *et al*, 2019, p. 25). Alguns dos princípios do design de instrução multimídia apresentados por Richard Mayer, e segundo ele, fundamentados na Teoria Cognitiva e obtidos através de evidências empíricas, são os seguintes:

- Princípio da multimídia – principal pressuposto da TCAM. Princípio que diz que as pessoas têm uma melhor aprendizagem quando são ensinadas através de diversos recursos multimídia (infográficos, vídeos explicativos, animações e ilustrações), ao invés de apenas com palavras (no caso de uma aula meramente expositiva).
- Princípio da contiguidade espacial – a aprendizagem é facilitada quando palavras e imagens estão próximas uma da outra, isto é, na mesma página ou na mesma tela. Evitando assim, muito “esforço cognitivo” por parte dos canais de processamento cognitivo do indivíduo.
- Princípio da contiguidade temporal – os alunos têm uma aprendizagem mais eficaz quando palavras e imagens são apresentadas de maneira simultânea, ao invés de separadamente, sequencialmente.
- Princípio da coerência – as pessoas têm uma melhor aprendizagem quando a apresentação multimídia possui conteúdos realmente relevantes. De modo a prender a atenção do espectador. Portanto, o ideal é evitar o acúmulo de informações, tanto caracteres quanto imagens desnecessárias.
- Princípio da sinalização – as pessoas têm a aprendizagem facilitada quando o material multimídia possui sinalizações, marcações que destacam as informações mais importantes, seja esse destaque em negrito, sublinhada ou, ainda, com uma cor diferente do restante.
- Princípio da modalidade – os estudantes conseguem ter uma melhor compreensão de um vídeo educacional animado, quando esse possui apenas animação e narração, ao contrário dos vídeos exibidos com legenda. Isso porque o aluno tem uma espécie de “desconforto cognitivo”, ao tentar realizar a leitura das frases mostradas na tela de um computador ao mesmo tempo em que tenta acompanhar as animações.
- Princípio da redundância – as pessoas têm uma melhor aprendizagem

quando na mensagem multimídia evita-se a exibição de materiais redundantes.

- Personalização – os alunos apresentam uma melhor aprendizagem quando os materiais multimídia fazem uso de uma linguagem coloquial, evitando-se sempre que possível uma linguagem técnica, em favor de uma abordagem mais próxima da realidade dos discentes (Vasconcelos; Vasconcelos *et al*, 2019).

3.3 Os Três Momentos Pedagógicos (3MPs)

Iremos discorrer agora a respeito da metodologia didático-pedagógica que usamos na aplicação do nosso produto educacional, denominada de *Três Momentos Pedagógicos (3MPs)*, proposta inicialmente por Demétrio Delizoicov. “Ao promover a transposição da concepção de educação de Paulo Freire para o espaço da educação formal” (Muenchen, 2010, p.15). Nessa metodologia, uma determinada temática é abordada em sala de aula pelo professor a partir de três momentos, sendo eles: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento.

O primeiro momento pedagógico deve ser organizado de tal modo que a partir das discussões realizadas em sala de aula, discussões essas intermediadas pelo professor, os alunos possam expressar suas concepções pessoais acerca dos temas estudados. Concepções essas trazidas de suas vivências de mundo e experiências e conhecimentos acumulados ao longo de suas respectivas vidas acadêmicas. Inicialmente, essas explicações prevalecem para que, assim, o professor possa conhecer o que pensam esses alunos e nos próximos encontros ir “substituindo” essas concepções por explicações científicas, quando essas concepções não estiverem de acordo com os conhecimentos estabelecidos no meio científico (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018).

Daí decorre a denominação desse primeiro momento. É nele que são levantados os questionamentos relacionados aos temas apresentados no início da aula, assim como são observadas as explicações dadas pelos estudantes. Portanto, o professor terá apenas uma função coordenadora, no sentido de levantar

questionamentos e promover uma problematização inicial sobre os conteúdos que serão desenvolvidos nas próximas etapas pedagógicas (Giacomini; Muenchen, 2015).

O próximo momento é o da organização do conhecimento. Etapa em que os conhecimentos necessários para a compreensão dos temas iniciais são devidamente selecionados e sistematicamente estudados sob orientação do professor (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018). Conforme orientado por Delizoicov e Angotti (1994), nesse momento, os conteúdos devem ser preparados de tal modo que, ao final do processo, o discente possa perceber que há outras visões e explicações para as situações e fenômenos apresentados anteriormente. E, quando realizar a comparação desses novos conhecimentos com os seus, possam usá-los para desenvolver uma melhor interpretação das inquietações iniciais.

O terceiro e último é o momento em que o professor deve promover a aplicação do conhecimento apreendido ao longo das duas primeiras etapas. Nesse sentido, as mais variadas atividades devem ser realizadas, buscando a fixação dos novos conceitos absorvidos pela turma. Como evidenciado na citação abaixo:

As mais variadas atividades são então empregadas, de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações problematizadas (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018, p. 156).

Inclusive, podendo ainda, com a turma, fazer a formulação de novos problemas. O que Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018) chamam de “problemas abertos”.

4 FÍSICA DAS RADIAÇÕES

4.1 Introdução

O que é a luz? Do que ela é composta? Ondas ou partículas? Perguntas como essas foram feitas durante muito tempo ao longo da história da ciência, como veremos ao longo deste capítulo, tendo impactos importantes na física desenvolvida a partir do século XX.

4.2 Qual a natureza da luz?

O grande físico inglês Isaac Newton (1643-1727) acreditava que a luz tinha natureza corpuscular. Alguns dos argumentos usados por Newton, na defesa de sua crença na natureza corpuscular da luz, era o fato de que a luz se propaga em linha reta e sofre reflexão em um espelho como se fosse formada por pequenas partículas (ou corpúsculos), as quais sofrem colisões elásticas numa superfície refletora (Pires, 2008).

Já em relação ao modelo ondulatório da luz, podemos citar como um dos seus principais expoentes o físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695). Inicialmente, Huygens baseou-se nas ideias de Robert Hooke (1635-1703), o qual defendia que a luz se propagava em *pulsos individuais*, já em 1660 (Polito, 2016). Huygens apresentou seus trabalhos acerca da natureza da luz em sua principal obra intitulada: *Tratado sobre a luz*, publicada em 1690. Para Huygens, a luz tinha um comportamento ondulatório semelhante ao das ondas sonoras, propagando-se através de um meio material. No caso do som, esse meio material é o ar, já em relação às “ondas luminosas” esse meio de propagação deveria ser uma espécie de fluido compressível e elástico e que preencheria todo o espaço. Esse meio material foi mais tarde denominado de “éter luminífero” (Pires, 2008).

Uma das principais falhas da teoria ondulatória de Huygens, era o fato que ela não conseguia explicar o fenômeno de interferência sofrida pelos raios luminosos ao atravessarem dois furos em um anteparo; tal falha derivada da visão do físico acerca da constituição destas ondas. Para ele, essas ondas consistiam em pulsos (de luz)

únicos, portanto, não-periódicos.

Embora promissora, a teoria ondulatória proposta por Huygens tinha deficiências. Surpreendentemente, ela não era capaz de explicar fenômenos de interferência. O motivo era que suas ondas não eram periódicas. Elas consistiam apenas de pulsos únicos, que trafegavam individualmente. Esse problema acabou impedindo que a teoria ondulatória se mostrasse como francamente superior ao modelo corpuscular newtoniano e, por isso, a maior parte dos cientistas do século XVIII aderiu à teoria corpuscular (Polito, 2016, p. 90).

A teoria ondulatória de Huygens passou a ser realmente aceita pela comunidade científica da época após os trabalhos experimentais de Thomas Young (1773-1829), ou seja, mais de um século depois das publicações dos trabalhos de Huygens. Quando Young fez passar um raio de luz por dois furos muito próximos um do outro em uma sala escura, observou um fenômeno claramente ondulatório, uma figura de interferência (alternância de regiões claras e escuras) projetada num anteparo a 1 metro de distância dos furos. Dessa forma, trouxe embasamento experimental para a teoria de Huygens (Pires, 2008).

Ao longo da história da física, vários cientistas debruçaram-se a respeito dessas questões sobre a natureza dos raios luminosos. Essas discussões sobre a natureza da luz (ondas ou partículas) culminaram nas pesquisas e nos avanços da Teoria Quântica do início do século XX, com o desenvolvimento de trabalhos importantes de grandes físicos como Max Planck (1858-1947), Albert Einstein (1879-1955) e Louis De Broglie (1892-1987), com a teoria da dualidade onda-partícula.

Logo, hoje podemos concluir que, de acordo com a física quântica, a luz tem mesmo uma natureza dual. De modo que para determinado fenômeno observado, a luz comporta-se como uma onda; já em uma outra observação, ela pode manifestar seu caráter corpuscular, como sendo formada por partículas. Portanto, a luz tem sim uma natureza dual, como defendido pelos teóricos da física quântica, entretanto não simultânea, isto é, nunca manifestando as duas naturezas no mesmo fenômeno observado. Esse resultado é denominado princípio da complementaridade, proposto por um dos pais da Teoria Quântica, o grande físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) em 1928.

4.3 Quantização da energia

As pesquisas de Max Planck sobre a radiação de corpo negro, no final do século XIX e início do século XX, são consideradas os marcos iniciais da Física Quântica. E teve como principal resultado o fato que a radiação é emitida (e absorvida) em pequenos pacotes discretos de energia, posteriormente chamados de *fótons*. O artigo de Planck publicado em 1901, na revista alemã *Annalen der Physik*, foi traduzido e publicado também pela Revista Brasileira de Ensino de Física, em 2000, com o título “*Sobre a Lei de Distribuição de Energia no Espectro Normal*”. Mais tarde, o conceito de quantização da energia foi empregado por Einstein, na sua explicação do efeito fotoelétrico.

Apesar dos seus cálculos evidenciarem a quantização da energia, no início, Planck se mostrou relutante em aceitar esses resultados. Inicialmente, ele tinha postulado que apenas a energia da partícula oscilante dentro da cavidade (de um objeto escolhido para estudar a radiação de corpo negro emitida) era quantizada. Posteriormente, ele estendeu o conceito de quantização da energia para todas as ondas eletromagnéticas (Eisberg; Resnick, 1994). A energia de cada partícula de luz (fóton) pode ser calculada aplicando-se uma relação matemática, que correlaciona o caráter corpuscular com o ondulatório da luz. A equação é a seguinte (Okuno, 2013):

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Em que h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, c representa a velocidade da luz, f é a frequência de oscilação da onda eletromagnética e λ é o seu comprimento de onda.

4.4 A descoberta da estreita relação entre a Eletricidade e o Magnetismo

Discutiremos agora sobre outro marco importante de outra área da física: a Teoria Eletromagnética. Podemos considerar como marco inicial do Eletromagnetismo a descoberta realizada em 1820 pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), da relação entre a eletricidade e o magnetismo. Na ocasião da sua

famosa experiência, Oesterd fez passar uma corrente elétrica próxima a uma bússola. Ele percebeu que, à medida em que ele invertia o sentido da corrente no fio condutor, a agulha da bússola sofria uma deflexão, ou seja, a variação do campo elétrico no fio fazia surgir um campo magnético em torno do fio que, ao interagir com o campo magnético da agulha da bússola, ocasionava o movimento da agulha. Desde então, ficou claro para a comunidade científica da época, a estreita relação existente entre a Eletricidade e o Magnetismo.

Como este trabalho não tem a pretensão de fazer um relato aprofundado sobre esses cientistas e suas respectivas contribuições à física, deixaremos ao leitor a recomendação de leitura de alguns bons artigos sobre estes personagens históricos do eletromagnetismo e que cumprem esse papel de fazer um relato detalhado sobre a vida e obra destes gigantes. Para mais detalhes no caso do Hans C. Oesterd, recomendamos a leitura do artigo: “*Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo*”, publicado em 1986, do historiador da ciência Roberto de Andrade Martins.

Apesar da sua importante descoberta experimental, Oesterd não desenvolveu os aspectos quantitativos derivados do fenômeno. Porém, sua descoberta despertou interesse em muitos cientistas da época. Desse modo, coube a físicos como André Marie Ampère (1775-1836), Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841), dentre outros, realizarem avanços na área a partir da descoberta de Oesterd (Martins, 1986).

4.5 Algumas das principais contribuições de Faraday e Maxwell à Teoria Eletromagnética

É considerado que o Eletromagnetismo tem o seu marco inicial a partir da experiência de Oesterd e dos trabalhos posteriormente desenvolvidos por outros físicos. Porém, quando se trata de Teoria Eletromagnética, dois dos maiores nomes da área são os nomes de Michael Faraday (1791-1867) e James Maxwell (1831-1879).

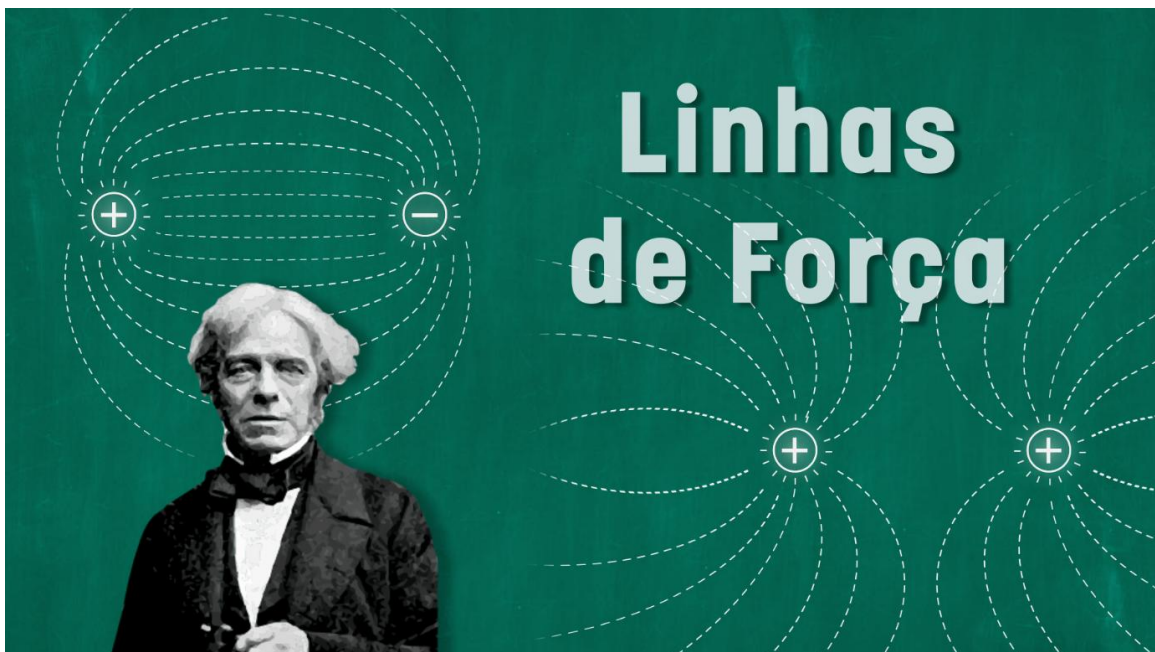
4.5.1 Michael Faraday

Michael Faraday (1791-1867) foi sem dúvidas um dos maiores físicos experimentais de todos os tempos. Dentre as suas descobertas mais relevantes está

a descoberta do fenômeno da indução eletromagnética: um dos mais importantes para a nossa atual sociedade tecnológica. Depois de muitas experiências realizadas em eletromagnetismo, Faraday constatou que ao fazer variar o fluxo magnético no interior de uma bobina, a partir do movimento de um ímã em formato de barra, fazia surgir na bobina uma corrente elétrica induzida. Concluiu-se, então, que um campo magnético variável no tempo induz a formação de um campo elétrico. Esse resultado é conhecido como lei de Faraday da indução eletromagnética. Sendo também expresso nas equações de Maxwell para o Eletromagnetismo (ver as equações das pág. 42-43).

Foi Faraday também quem introduziu um dos conceitos mais importantes de toda a física, o conceito de campo. E propôs o uso de formas gráficas para descrever esses campos. Esses artifícios gráficos propostos por Faraday são conhecidos como linhas de força, como ilustradas na Figura 2 abaixo. Faraday também é o inventor do dínamo (um dos dispositivos mais importantes na geração de energia elétrica numa usina hidrelétrica, que funciona com base no fenômeno da indução eletromagnética). Para mais detalhes sobre a biografia de Faraday recomendamos a leitura do artigo intitulado: *“Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética”*, publicado em 2004, de Valéria Silva Dias e Roberto de Andrade Martins.

Figura 2 – Faraday e linhas de força



Fonte: elaborada pelo autor.

4.5.2 James Clerk Maxwell

Iremos agora fazer menção às contribuições do grande físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) à Teoria Eletromagnética.

Uma das maiores previsões da teoria de Maxwell foi a existência das ondas eletromagnéticas. Ondas formadas por campos elétricos e magnéticos oscilantes no tempo e que se propagam através do espaço. O físico escocês chegou à conclusão também, a partir do seu trabalho teórico em Eletromagnetismo, que a luz deveria ser também uma dessas ondas, já que a velocidade da luz no ar, já conhecida na época, era muito próxima da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas previstas por ele (Pires, 2008).

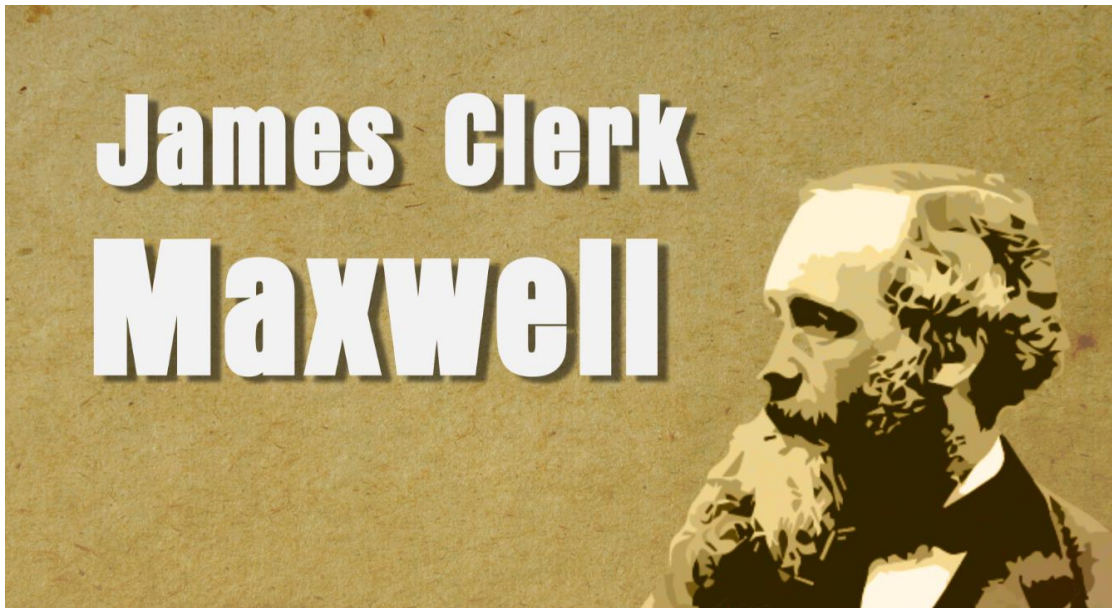
Com seu trabalho excepcional em física teórica e matemática, Maxwell conseguiu realizar a unificação de três grandes áreas da física: a Eletricidade, o Magnetismo e a Óptica, numa teoria unificada do Eletromagnetismo.

No entanto, é importante destacar que o grandioso trabalho teórico desse físico em Eletromagnetismo só ganhou respaldo experimental a partir de 1888, quando o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) produziu ondas eletromagnéticas pela primeira vez. O experimento de Hertz, basicamente, consistia em produzir ondas eletromagnéticas a partir de movimentos oscilatórios de cargas elétricas num circuito, ao qual chamaremos de antena emissora. Essas ondas (na frequência das ondas de rádio), ao interagirem com uma segunda antena (antena receptora), induzem a formação de uma corrente elétrica na mesma resultando numa centelha (ver as figuras das págs. 69-71).

Com esse experimento, Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, comprovando, assim, experimentalmente, as previsões teóricas de James Maxwell. Infelizmente, Maxwell morreu jovem, aos 48 anos em decorrência de um câncer de estômago, quase 10 anos antes dos resultados experimentais obtidos por Hertz. Ele não viu nem uma pequena fração de todo o avanço tecnológico vindouro, que a teoria que ele ajudou a desenvolver proporcionou ao mundo. As contribuições de Maxwell à Teoria Eletromagnética jamais serão esquecidas.

Na figura 4, exibimos um quadro (frame) do vídeo 1, em que surge a figura do cientista numa animação de *position*, da direita para a esquerda:

Figura 3 – James Maxwell



Fonte: elaborada pelo autor.

Houve muita relutância para se aceitar sua teoria, primeiramente por causa do modelo, e segundo porque não havia uma justificativa experimental. Hoje, entendemos melhor que o que conta são as equações em si, e não o modelo usado para obtê-las. Podemos perguntar apenas se as equações são verdadeiras ou falsas. Isto é respondido realizando-se experimentos, e um número sem fim de experimentos confirmou as equações de Maxwell. Se retirarmos a armação usada para construí-lo, veremos que o belo edifício de Maxwell se mantém de pé. Ele agrupou todas as leis da eletricidade e do magnetismo e construiu uma teoria completa e maravilhosa (Feynman, 2008, local 242).

Para mais informações sobre a vida e contribuições de James Maxwell à Física, recomendamos a leitura do livro “*Evoluções das ideias da física*”, de Antonio S. T. Pires.

O físico escocês condensou todo o conhecimento em Eletricidade e Magnetismo de sua época em quatro belíssimas equações, posteriormente conhecidas como equações de Maxwell. Listamos abaixo cada uma das equações de Maxwell na sua forma diferencial:²

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2)$$

² Equações de Maxwell (para campos elétricos e magnéticos no vácuo) na sua forma diferencial.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (5)$$

A equação 2, conhecida também como a lei de Gauss para o campo elétrico, expressa o fato que o fluxo de campo elétrico E através de uma superfície fechada é proporcional à densidade de carga no interior dessa superfície dividido por ϵ_0 , onde ϵ_0 é a permissividade elétrica do meio material em que a carga está inserida. Destacamos o fato da possibilidade de substituição da lei de Coulomb pela Lei de Gauss.

Já a equação 3, conhecida como lei de Gauss para o campo magnético, diz que o fluxo de campo magnético B através de uma superfície fechada é igual a zero, resultando na não existência de “cargas magnéticas isoladas”, denominada também de monopolos magnéticos. Isso explica o porquê de obtermos dois novos ímãs menores ao quebrarmos um ímã (dipolo magnético).

A equação 4 é a lei de Faraday da indução eletromagnética que descreve a formação de um campo elétrico E a partir de um fluxo magnético variando no tempo. Uma consequência desse resultado é a corrente induzida numa bobina, colocada próxima de um campo magnético variável.

E, por fim, a equação 5 é a lei de Ampère-Maxwell, que descreve a originação de um campo magnético B a partir de um campo elétrico variável e da corrente elétrica (Serway; Jewett, 2017). Observe que a explicação da experiência de Oersted se baseia nessa lei.

As ondas ou radiações eletromagnéticas estão constantemente presentes no nosso cotidiano. Essas radiações estão presentes desde o momento em que vamos à rua para fazermos uma caminhada e temos a nossa pele banhada pelos raios solares, por exemplo, ou quando estamos em casa utilizando um aparelho eletrônico, como um celular ou computador. Vivemos imersos em um verdadeiro “oceano de

ondas eletromagnéticas”. Quase toda nossa tecnologia moderna baseia-se nos nossos conhecimentos de física das radiações, como diz Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 69):

A era da informação em que vivemos se baseia quase integralmente na física das ondas eletromagnéticas. Queiramos ou não, hoje estamos globalmente conectados pela televisão, pelo telefone e pela Internet. Além disso, queiramos ou não, estamos imersos em ondas eletromagnéticas por causa das transmissões de televisão, rádio e telefone.

Mas, afinal o que é radiação? Como podemos defini-la? Segundo Okuno, Caldas e Chow (1982, p. 2), “a radiação é a propagação de energia sob várias formas, sendo dividida geralmente em dois grupos: radiação corpuscular e radiação eletromagnética”. Vamos agora discorrer brevemente sobre cada uma delas.

4.6 Radiação corpuscular

As radiações corpusculares são constituídas por feixes de partículas resultantes de processos nucleares em átomos radioativos. Algumas destas radiações, assim como as radiações eletromagnéticas ionizantes, ao interagir com a matéria orgânica, por exemplo, podem arrancar elétrons dos átomos que compõem um determinado tecido do corpo humano e desencadear sérios problemas de saúde (Okuno; Caldas; Chow, 1982). Agora, abordaremos brevemente algumas das radiações corpusculares mais comuns:

4.6.1 Radiação alfa (partículas alfa)

As partículas alfa (α) são constituídas por dois prótons ligados a dois nêutrons (como um núcleo do elemento químico hélio). Essas partículas são originadas do núcleo de isótopos radioativos, denominados também de radionuclídeos. Por serem bastante energéticos e, conseqüentemente, instáveis, esses átomos emitem radiações como, por exemplo, na forma de partículas alfa, buscando um estado menos excitado de energia. Esse processo é denominado de decaimento radioativo (fenômeno puramente estatístico, no sentido de não sabermos qual dos átomos de uma determinada amostra de um material radioativo sofrerá o decaimento).

O decaimento radioativo foi a primeira indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas. Considere, por exemplo, uma amostra de 1 mg de urânio. A amostra contém $2,5 \times 10^{18}$ átomos do radionuclídeo de longa vida ^{238}U . Os átomos presentes na amostra foram criados em supernovas, provavelmente muito antes da formação do sistema solar. Em um segundo apenas 12 dos núcleos presentes na amostra se desintegram, emitindo uma partícula alfa para se transformar em núcleos de ^{234}Th . Entretanto, não existe nenhum meio de prever se um dado núcleo de uma amostra radioativa estará entre os que decairão no segundo seguinte (Halliday; Resnick; Walker, 2009, p. 312)

Embora seja impossível sabermos qual dos átomos de uma amostra radioativa decairá em um isótopo menos energético, podemos calcular a quantidade (N) de átomos que sobrarão na amostra depois de um determinado intervalo de tempo (t). Como a taxa de decaimento é proporcional a quantidade de núcleos presentes na amostra, podemos escrever:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\delta t} \quad (6)$$

ou ainda,

$$N = N_0 e^{-\delta t} \quad (7)$$

Essas são as equações para o fenômeno do decaimento radioativo. Onde N é a quantidade de núcleos ao final de um determinado intervalo de tempo ($t > 0$), N_0 é a quantidade de núcleos disponíveis na amostra no tempo inicial ($t = 0$) e δ é a constante de desintegração (ou constante de decaimento), que depende do radionuclídeo utilizado na amostra.

Se ao invés de calcularmos N , estivermos interessados em determinar a taxa de decaimento dos núcleos da amostra R (em que $R = -\frac{dN}{dt}$), derivando a equação 7, podemos escrever:

$$R = -\frac{dN}{dt} = \delta N_0 e^{-\delta t} \quad (8)$$

Ou

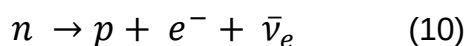
$$R = R_0 e^{-\delta t} \quad (9)$$

Sendo R_0 a taxa de decaimento inicial ($t = 0$). A taxa de decaimento R de um radionuclídeo, pode ser calculada também pelo produto da constante de desintegração radioativa em relação a quantidade de núcleos presentes na amostra num dado intervalo de tempo (Halliday; Resnick; Walker, 2009).

4.6.2 Radiação beta (partículas beta)

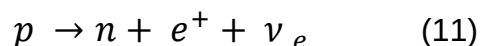
As partículas beta (β), assim como as partículas alfa, também são emitidas por processos nucleares de radionuclídeos. É importante destacar que, ao emitirem essas partículas, esses isótopos se transformam em isótopos de outros elementos químicos (processo denominado *transmutação*). Durante o processo de decaimento, alguns desses átomos emitem um elétron (ou um pósitron, antipartícula do elétron) e um neutrino (ou antineutrino) de seus núcleos instáveis. Sendo o elétron (ou o pósitron) emitido denominada de partícula beta.

No caso do decaimento beta menos, após a emissão, o nêutron do núcleo que emitiu a partícula beta transforma-se em um próton, emitindo também uma pequena partícula denominada antineutrino do elétron. Praticamente, não há alteração do número de massa do isótopo. Contudo, seu número atômico é alterado, por conseguinte, transformando-o em um novo elemento químico. Abaixo, mostramos o esquema de reações do decaimento beta menos:³



Na equação 10 supracitada, n representa o nêutron, p o próton, e^- o elétron (partícula beta) e $\bar{\nu}_e$ é o antineutrino do elétron.

Um outro tipo de decaimento beta que pode ocorrer nos radionuclídeos é o chamado decaimento beta mais, que acontece quando um dos prótons do núcleo instável emite um pósitron e um neutrino, convertendo-se em um nêutron. Como pode ser observado na equação abaixo:⁴



³ Equação do decaimento beta menos.

⁴ Equação do decaimento beta mais.

Na equação 11, p representa o próton, n o nêutron, e^+ o pósitron (partícula beta) e ν_e é o neutrino do elétron.

A emissão de partículas beta também obedece às leis da estatística, portanto, as equações 7 e 9 também podem ser aplicadas nesses fenômenos (Halliday; Resnick; Walker, 2009; Sears; Zemansky; Freedman, 2016).

4.6.3 Nêutrons

Os nêutrons são partículas bariônicas desprovidas de carga elétrica. Essas partículas sozinhas não produzem ionização, porém ao interagirem com outras partículas carregadas podem transferir energia para essas partículas, consequentemente, provocando processos de ionização. Nêutrons emitidos podem percorrer distâncias consideráveis através da matéria. Sendo blindados com materiais (ou substâncias) ricos em hidrogênio (Okuno, Caldas e Chow, 1982).

4.7 Radiações eletromagnéticas

Como dito anteriormente nesta dissertação, as ondas eletromagnéticas são constituídas de campos elétricos e magnéticos oscilantes no tempo e que se propagam em certos meios materiais e, até mesmo, no vácuo. Uma das principais características das ondas (ou radiações) eletromagnéticas é que todas elas, inclusive a luz visível, viajam com a mesma velocidade c no vácuo (aproximadamente $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$). A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas pode ser calculada pela seguinte equação:

$$c = \lambda f \quad (12)$$

Onde c é a velocidade dessas ondas no vácuo, λ é o comprimento de onda e f é a frequência de oscilação da radiação eletromagnética em questão.

O conjunto de todas as radiações que compõem o chamado espectro eletromagnético pode ser dividido em duas partes. De um lado, temos as chamadas radiações não ionizantes e do outro as radiações ionizantes. As radiações não ionizantes vão desde as ondas de rádios longas até o chamado espectro visível.

Dentro desse intervalo do espectro temos também as micro-ondas e a radiação infravermelha. No quadro abaixo, apresentamos o espectro das radiações eletromagnéticas e alguns parâmetros relacionados como comprimentos de onda e frequências:

Quadro 1 – Espectro das radiações eletromagnéticas e alguns dos principais parâmetros relacionados

Espectro de Radiação Eletromagnética				
Região	Comp. Onda (Angstroms)	Comp. Onda (centímetros)	Frequência (Hz)	Energia (eV)
Rádio	$> 10^9$	> 10	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infra-vermelho	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visível	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios-X	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	< 0.1	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

Fonte: O espectro eletromagnético⁵

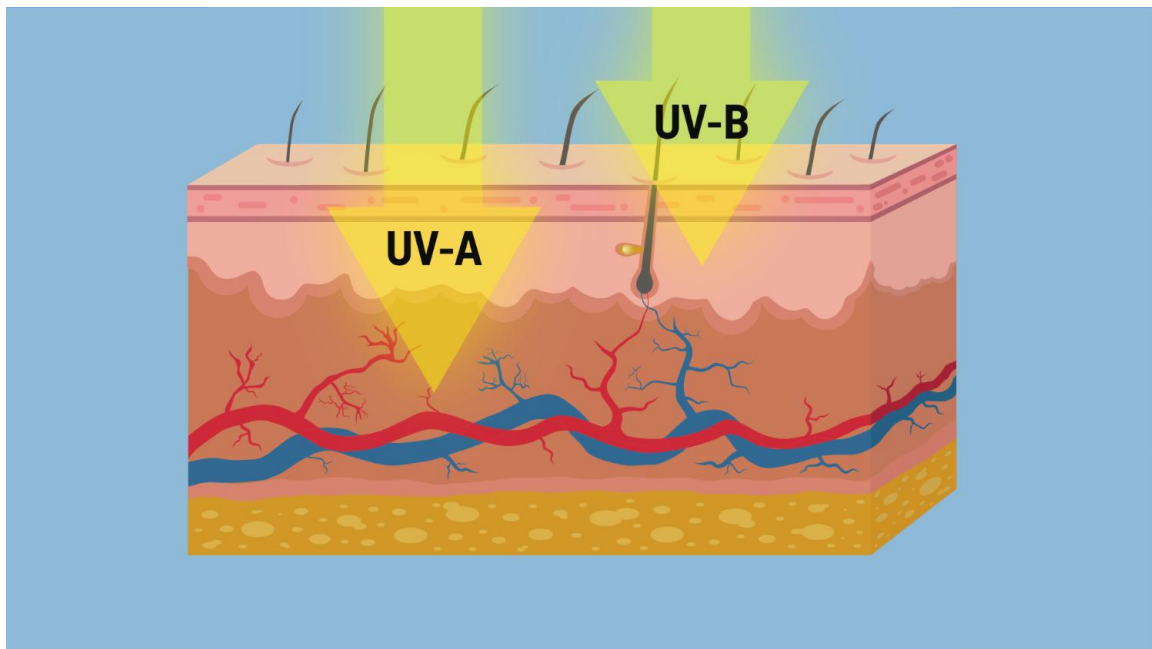
Todas essas radiações mencionadas possuem diversas aplicações no nosso cotidiano, como, por exemplo, nas telecomunicações. Todavia, daremos enfoque na parte ionizante do espectro. Esta parte é composta pelas radiações com energia suficiente para, ao interagir com a matéria, produzir ionizações de alguns de seus átomos. As radiações ionizantes são: as radiações ultravioletas (UVs), os raios X e a radiação gama. Iremos agora examinar cada uma dessas radiações.

⁵ Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>. Acesso em: 12 jan. 24.

4.7.1 Radiações ultravioleta (UVs)

As radiações ultravioleta (UVs) são algumas das ondas eletromagnéticas com que mais temos contato ao longo de nossas vidas, visto que temos o Sol como a maior fonte emissora dessa radiação. As radiações UVs compreendem todas as radiações eletromagnéticas que possuem comprimentos de onda entre 100 nm a 400 nm e faixas de frequências entre $7,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ a $3,0 \times 10^{17} \text{ Hz}$ (ver o quadro 1, na pág. anterior). As radiações UVs são subdivididas em radiações ultravioleta tipo A (UV-A), radiações ultravioleta tipo B (UV-B) e radiações ultravioleta tipo C (UV-C), tendo particularidades entre si.

Figura 4 – Interação das radiações UV-A e UV-B com as camadas da pele humana



Fonte: elaborada pelo autor.

Cerca de aproximadamente 90% a 95% das radiações UVs emitidas pelo Sol e que chegam a atingir a superfície da Terra, estão na faixa de frequência das radiações UV-A. Dentre as radiações UVs, as radiações UV-A são as que possuem o maior poder de penetração, de modo que, ao interagirem com a pele humana, podem, por exemplo, atingir camadas profundas como a derme (ver figura 4 acima). Por essa razão, essas radiações têm potencial de causar bronzeamento, envelhecimento precoce da pele, fotoalergia e fotocarcinogênese (Neto, 2023).

Já no que se refere às radiações UV-B, apenas cerca de 5% a 10% dessas radiações chegam a atingir a superfície do planeta. Essas radiações conseguem chegar até a epiderme de um indivíduo. E estão, principalmente, relacionadas aos casos de vermelhidão e queimaduras de pele, catarata e câncer de pele. Por outro lado, as radiações UV-B auxiliam o organismo na produção de vitamina D, uma das mais importantes vitaminas do corpo (Neto, 2023). Por essa razão, são recomendados, de forma moderada, os “banhos de Sol”. E nunca esquecendo do importante uso de filtros solares. Filtros (ou protetores) esses que criam uma espécie de camada protetora “invisível” contra as radiações UV-A e UV-B (ver figura 5):

Figura 5 – Um dos personagens dos nossos vídeos educacionais usando protetor solar



Fonte: elaborada pelo autor.

As radiações UV-C⁶, as mais energéticas das radiações UVs, possuem o poder de modificar células de tecidos orgânicos de um indivíduo, podendo ocasionar sérios problemas de saúde, como um câncer de pele. Devido essas radiações serem muito energéticas, aqui na terra elas são produzidas e aplicadas na esterilização de alimentos, materiais de laboratórios e utensílios médicos, tendo função germicida e

⁶ Alguns autores divergem no que se refere à classificação das radiações UVs, em ionizantes e não ionizantes. Mesmo quando se tratando das radiações UV-C.

bactericida (Penteado; Torres, 2005).

As radiações UV-C são absorvidas pelo ozônio (O_3) existente na estratosfera (uma das camadas superiores da atmosfera da Terra). Por esse motivo, existe muita preocupação, principalmente, por parte da comunidade científica internacional em relação às emissões de gases poluentes, como os chamados clorofluorcarbono (CFCs) (Bonjorno *et al*, 2016). As moléculas desses gases são extremamente nocivas para as moléculas de ozônio da atmosfera. Estima-se que uma única molécula desses poluentes tenha a capacidade de destruir centenas de milhares de moléculas de ozônio, de modo que as regiões do planeta onde essa destruição do ozônio é mais voraz, formam-se os chamados buracos na camada de ozônio, que são regiões da atmosfera com baixíssima concentração de ozônio.

4.7.2 Os raios X

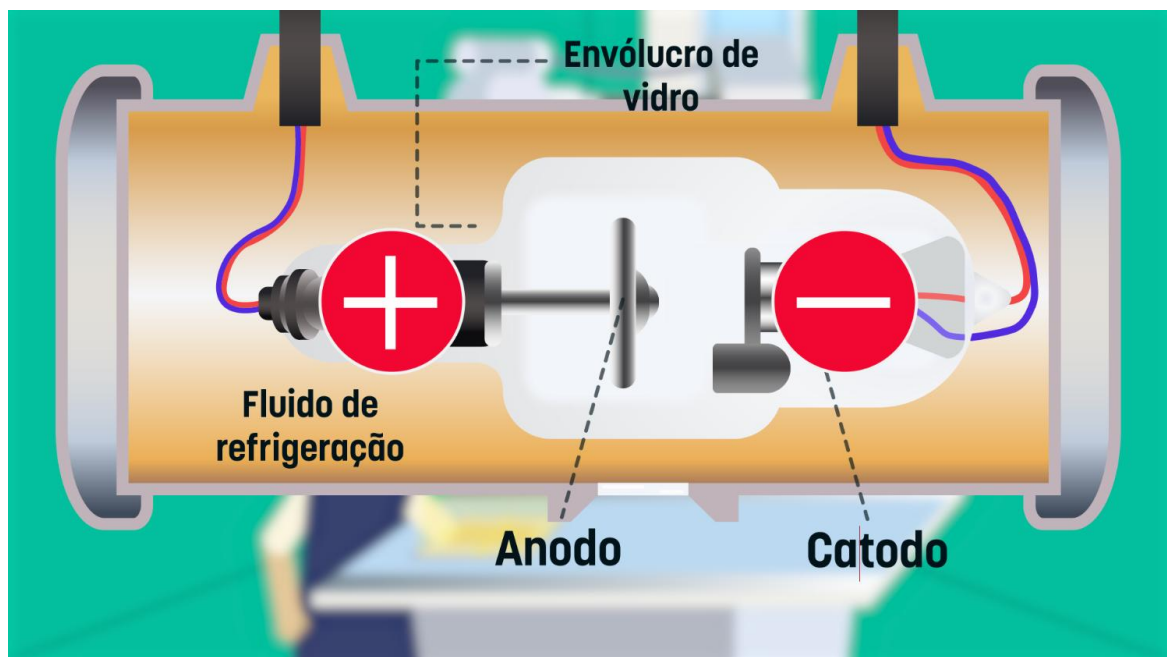
A radiação X possui comprimento de onda entre $10 \text{ \AA}$ a $0,1 \text{ \AA}$ e frequência entre $3,0 \times 10^{17} \text{ Hz}$ a $3,0 \times 10^{19} \text{ Hz}$. Os raios X foram descobertos no final do século XIX, mais precisamente no dia 08 de novembro de 1895, segundo o seu descobridor, o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). Com base nas até então recentes pesquisas do físico Philipp Lenard (1862-1947) com raios catódicos em tubos de Crookes, na ocasião da descoberta dos raios X, Röntgen tinha coberto seu tubo de Crookes com um papelão preto, tendo em sua mesa um filme revestido com platinocianeto de bário.

Röntgen percebeu que, quando era estabelecida uma diferença de potencial (ddp) elevada entre os eletrodos da ampola, o filme fotográfico em sua mesa apresentava uma certa luminescência (mesmo o tubo estando coberto). Logo, ele concluiu que deveria se tratar de um novo tipo de radiação. Essa conclusão deve-se em parte ao fato de os raios catódicos (estudados anteriormente por Crookes e Lenard) não terem uma capacidade de penetração na matéria tão grande assim. Além disso, também não deveria tratar-se de luz vindo da ampola, já que ele cobriu a ampola com papelão preto. Portanto, Röntgen denominou essa nova radiação misteriosa de raios X (Garcia, 2002).

O processo de produção de raios X acontece dentro de ampolas específicas

(denominadas de tubos de Coolidge), quando um feixe de elétrons emitidos (devido ao fenômeno do efeito termiônico) do eletrodo negativo (denominado catodo) colidem em altas velocidades (acelerados devido a uma tensão elétrica elevada no interior da ampola) contra um alvo que é o eletrodo positivo (o anodo). Na figura 6, apresentamos uma ilustração do interior de um tubo de raios X, evidenciando alguns de seus principais componentes e a elevada ddp dentro da ampola, no momento de funcionamento da máquina:

Figura 6 – Ilustração de um tubo de raios X utilizado na radiologia convencional



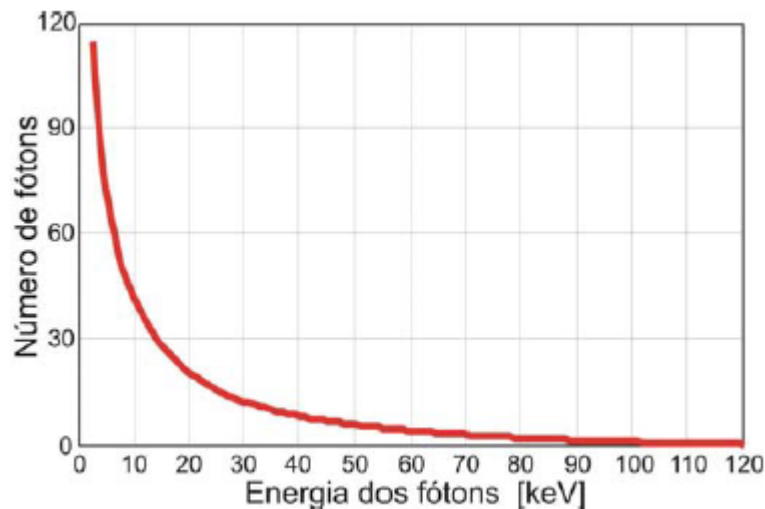
Fonte: elaborada pelo autor.

No momento que os elétrons (sendo partículas de cargas elétricas negativas), dotados de altíssimas energias cinéticas, se aproximam dos átomos do material, que compõe o anodo, sofrem desvios em suas respectivas trajetórias originais; por serem atraídos pelos núcleos (positivos) desses átomos ou repelidos por suas eletrosferas (negativas), emitindo fótons na frequência dos raios X. Os raios X produzidos nesse processo são denominados de raios X de frenagem ou, em alemão, *bremsstrahlung*. Há casos também em que alguns elétrons do feixe colidem diretamente com os átomos-alvo, convertendo toda a sua energia na forma de raios X. Esse fenômeno é chamado de Radiação Máxima (Soares, 2006)

É interessante destacar que, nesse processo, os elétrons não perdem toda sua energia cinética original ao interagirem inicialmente com o alvo. Contudo, à medida

em que vão penetrando no material do anodo, sofrem sucessivas perdas de energia. Assim, emitem cada vez mais fótons de energia máxima menores, o que resulta em um espectro de emissão de energia contínuo, como podemos observar no gráfico 1 (Soares, 2006):

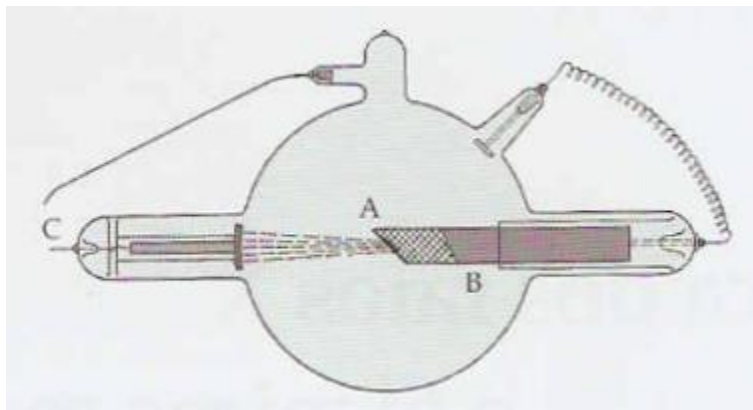
Gráfico 1 – Exemplo de espectro dos fótons gerados por frenamento de elétrons com energia cinética de 120 keV, sem considerar a auto-atenuação do alvo ou filtros adicionais



Fonte: Soares (2006, p.19).

Como podemos observar no gráfico acima, o espectro da radiação emitida vai de zero a energia máxima dos elétrons. A quantidade de fótons de baixa energia supera em muito a quantidade de fótons de altas frequências. O que se traduz, macroscopicamente, num grande aumento de temperatura no interior do tubo de raios X, como consequência da transformação da maior parte da energia cinética dos elétrons em energia térmica e uma pequena fração em fótons de raios X (Soares, 2006). Na figura 7, podemos observar um tubo de Crookes modificado utilizado na época de Röntgen:

Figura 7 – Tubo de Crookes



Fonte: Garcia (2002, p. 276).

Na figura supracitada, A seria a posição do anodo no tubo e B uma barra de cobre, um dos mecanismos usado também para dissipar o calor gerado durante o funcionamento do tubo de maneira mais eficaz (Garcia, 2002).

Geralmente, nos tubos de raios X utilizados na radiologia convencional, o anodo é feito de tungstênio (metal que possui ponto de fusão elevado). Além disso, também são utilizados anodos giratórios e fluidos para fazer a refrigeração da ampola. A maior parte da energia cinética dos elétrons do feixe é convertida em energia térmica, resultando num alto aquecimento do tubo.

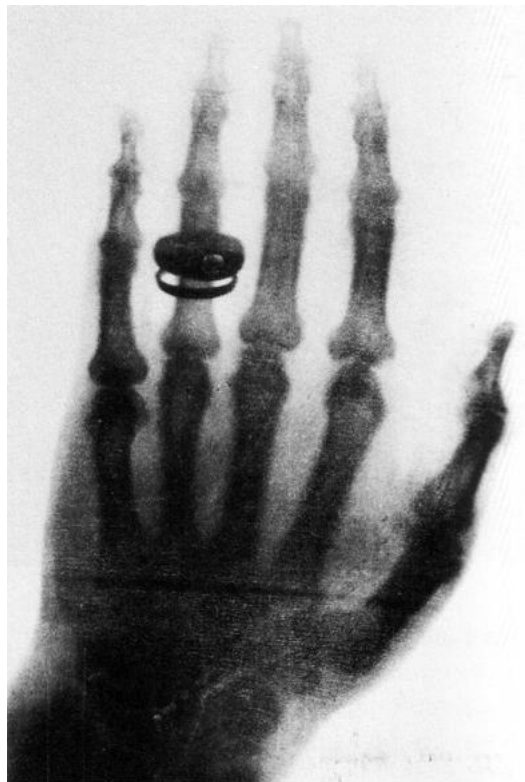
Os raios X produzidos no interior das ampolas são constituídos por ondas eletromagnéticas de várias frequências e intensidades. A maior parte (99%) da energia cinética dos raios catódicos é perdida sob a forma de calor e apenas 1% dela é convertida em raios X (Garcia, 2002, p. 277).

Além de serem produzidos através do processo de freamento, os raios X são produzidos também quando elétrons dos átomos do alvo são “arrancados” de suas órbitas devido às colisões com os elétrons da nuvem termiônica. Quando esses elétrons são lançados para longe de seus átomos, deixando um “espaço vazio” nas camadas eletrônicas mais internas do átomo (como as camadas K e L), um outro elétron de camadas mais externas ocupa seu antigo orbital. Ao realizar esse “salto quântico”, o elétron ocupante emite energia na frequência dos fótons de raios X. Os raios X originados a partir dessa síntese são chamados de raios X característicos. A qualidade dos raios X produzidos depende da natureza do átomo-alvo, já que cada

átomo possui quantidades específicas de energia entre seus orbitais. O espectro de emissão de radiação desse processo é um espectro discreto de energia (Garcia, 2002).

A primeira radiografia da história foi feita por Röntgen, na ocasião em que fotografou a mão de sua esposa, a Sr.^a Anna Bertha Ludwig Röntgen, no dia 22 de novembro de 1895. Para fazer a obtenção desta imagem, ele deixou a mão esquerda da sua esposa exposta aos raios X durante impressionantes 15 minutos. Na figura 8, exibimos a imagem desta radiografia, a qual permite perceber também, além dos ossos de sua mão, o seu anel de casamento:

Figura 8 – Primeira radiografia da história



Fonte: Radiologia odontológica e imaginologia ⁷

Destacamos ainda o fato da radiação X ser um tipo de radiação ionizante muito energética e, por isso, a importância que pacientes e profissionais da área da saúde que trabalham com esse tipo de radiação ou a radiação gama, como a radioterapia, façam uso de todos os equipamentos necessários e recomendados de proteção

⁷ Disponível em: <https://raiosxis.com/primeira-radiografia>. Acesso em: 12 jan. 24.

radiológica, os famosos equipamentos de proteção individual (EPIs). Afinal, a exposição a essas radiações (mesmo com pequenas doses de radiação ao longo de muitos anos de trabalho) podem ocasionar efeitos nocivos à saúde do indivíduo, como os chamados *efeitos biológicos da radiação*, que serão discutidos na próxima seção.

Além das já conhecidas aplicações dos raios X na medicina, a radiação X é empregada também em pesquisas científicas (em universidades e laboratórios); em portos e aeroportos (na identificação de objetos internos em malas, bagagens ou contêineres), aplicações na indústria (na análise de suspeitas de pequenas fissuras em soldas de motores) etc.

Figura 9 – Wilhelm Röntgen: o primeiro Prêmio Nobel de Física da história



Fonte: elaborada pelo autor.

É inegável a importância da descoberta de Röntgen para a história e evolução da medicina moderna. Permitiu aos médicos a visualização de partes internas do corpo de um paciente, sem precisar recorrer a métodos invasivos para isso. A aplicabilidade dos raios X na medicina foi desde o início de sua descoberta rapidamente difundida e desenvolvida. A descoberta de Röntgen lhe rendeu fama ao longo de sua vida e o primeiro Prêmio Nobel de Física da história, em 1901 (como destacado na figura acima). Colocando o nome Wilhelm Conrad Röntgen para sempre no rol dos grandes descobridores da ciência.

Röntgen encarnou o símbolo de excelência da pesquisa científica de seu

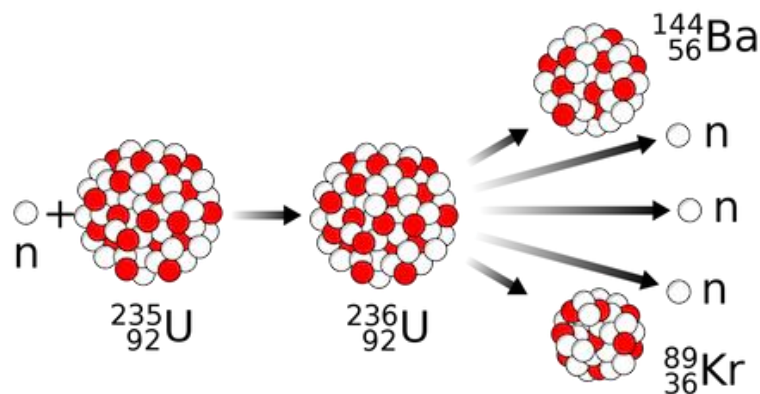
tempo e sua descoberta foi indiscutivelmente o marco decisivo na História da Ciência. [...] Röntgen deveria saber, no dia 8 de novembro de 1895, que a sua pessoa e a sua descoberta passariam a ocupar um lugar inesquecível na História (Arruda, Walter Oleschko, 1996, p. 531).

4.7.3 Radiação gama (γ)

A radiação gama é a mais energética das radiações eletromagnéticas e compreendem as ondas eletromagnéticas que possuem comprimento de onda menor do que 10^{-9} cm e frequência acima de $3,0 \times 10^{19}$ Hz (ver quadro 1 da pág. 48). De certo modo, a radiação gama é praticamente indistinguível da radiação X. Sendo uma onda eletromagnética, assim como também as radiações UVs e os raios X, não possuem massa, nem carga elétrica, não sofrem desvios na presença de um campo eletromagnético e viajam no vácuo com a velocidade da luz (C). Entretanto, a principal diferença entre os raios gama e os raios X é em relação a sua origem.

Como vimos na seção anterior, os raios X são produzidos devido a saltos quânticos de elétrons vindo de camadas mais externas para camadas mais internas dos átomos. Sendo produzidos também pelo freamento de elétrons acelerados em uma ampola a vácuo devido a uma alta ddp estabelecida entre os eletrodos da ampola. Já por outro lado, os raios gama, assim como também as partículas α e β , podem ser produzidos a partir de processos nucleares como a fissão nuclear de núcleos pesados de isótopos radioativos ou através de processos de desintegrações ou decaimentos nucleares. A imagem da figura 10 ilustra o processo de fissão nuclear, (processo que acontece todos os dias, por exemplo, em usinas nucleares ao redor do mundo):

Figura 10 – Representação do processo de fissão nuclear de um radionuclídeo de urânio



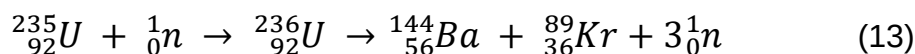
Fonte: Khan Academy – Energia nuclear⁸

A fissão nuclear foi descoberta em 1938 pelos cientistas alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980). No processo de fissão, nêutrons acelerados colidem contra núcleos pesados “instáveis” de isótopos radioativos. Devido ao impacto, o núcleo atingido divide-se em dois núcleos menores, conseqüentemente, é liberada uma grande quantidade de energia na forma de radiação gama e também outros nêutrons que irão colidir com outros núcleos, que vão perder energia e ejetar outros nêutrons, e, assim, sucessivamente. Esse processo é denominado de reação em cadeia. E é o processo que explica, por exemplo, o poder de destruição de uma arma nuclear (como as usadas pelos EUA contra os japoneses na 2ª Guerra Mundial, em agosto de 1945). Vale destacar também que esses núcleos apresentam instabilidades por possuírem excesso de energia. Portanto, emitem energia na forma de radiação gama e decaem em núcleos menos energéticos.

Quanto maior for a instabilidade nuclear, maior será a probabilidade para que o núcleo sofra uma transformação capaz de alterar o seu número atômico. Esse decaimento é chamado de **transmutação**. Nessa evolução, desaparece o átomo-pai e cria-se um átomo-filho. A transmutação radioativa se faz pela emissão de energia sob a forma de radiação alfa e beta, as quais podem estar acompanhadas por emissão gama. Os núcleos instáveis, ao perderem energia, aumentam os seus graus de estabilidade (Garcia, 2002, p. 302).

⁸ Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/8-ano/fontes-de-energia/produzindo-energia-eletrica/a/energia-nuclear>. Acesso em: 12 jan. 24.

Apresentamos abaixo a equação da fissão nuclear do elemento químico urânio-92:



Como mostrado na Figura 10, explicado no parágrafo anterior e agora descrito em linguagem matemática através da equação 13, um radionuclídeo de urânio-235 é atingido por um nêutron (n) transformando-se em um isótopo radioativo de urânio-236 altamente excitado. Devido ao excedente de energia do núcleo, esse isótopo rapidamente acaba se fragmentando em dois novos núcleos mais estáveis, emitindo 3 nêutrons e liberando energia na forma de raios gama. Os núcleos formados são dos elementos químicos bário-56 e criptônio-36 (Sears; Zemansky; Freedman, 2016).

Por serem muito energéticos, os raios gama ao interagirem com a matéria orgânica, por exemplo, através do efeito fotoelétrico, pelo efeito Compton ou pela produção de pares, podem ionizar seus átomos (Okuno; Caldas; Chow, 1982). Os estudos da Radiobiologia têm mostrado que as radiações ionizantes (como a radiação gama), ao causar uma ionização e excitação dos átomos e quebra de moléculas (inclusive, podendo danificar moléculas importantes, como a molécula de DNA), provocam também como consequência a formação de íons e radicais livres altamente reativos. Esses, por sua vez, podem desencadear sérios problemas de saúde ao ser humano, os quais são denominados de *efeitos biológicos da radiação*, sendo classificados em efeitos a curto prazo e efeitos a longo prazo (Okuno; Caldas; Chow, 1982).

Alguns dos efeitos de curto prazo ou agudos que um indivíduo pode apresentar são os seguintes: náuseas, vômitos, perda de cabelo, febre, diarreia etc. Geralmente, esses sintomas estão associados à exposição a altas doses de radiação ionizantes em curtos intervalos de tempo (doses de radiação acima de 1,0 sievert). Já os efeitos de longo prazo ou tardios podem ser genéticos ou somáticos e estão relacionados a doses de radiações intensas em curtos períodos ou pequenas doses somadas, acumuladas ao longo do tempo. Os efeitos genéticos são mutações nos gametas capazes de afetar a prole do indivíduo. Quanto aos efeitos somáticos, estes podem ser: aumento na incidência de câncer, complicações no desenvolvimento do embrião, catarata e diminuição da meia vida (Okuno; Caldas; Chow, 1982). Para finalizar, devemos enfatizar mais uma vez a importância dos cuidados de proteção radiológica.

Depois dessa discussão sobre os efeitos biológicos da radiação, fica clara a importância do uso adequado dos EPIs quando trata-se da realização de exames ou profissões que envolvem radiações ionizantes.

Por fim, destacamos algumas das aplicações da radiação gama, que são as seguintes: aplicações na medicina como, por exemplo, em tratamentos de radioterapia e em contrastes radiológicos; aplicações na agricultura, através da utilização de radioisótopos no controle de insetos; datação por carbono-14 ou urânio-238 etc.

Finalizando as discussões sobre física das radiações, queremos destacar que as emissões alfa, beta e gama estão associadas ao fenômeno da *radioatividade*. Fenômeno descoberto pelo físico francês Antoine Henri Becquerel no ano de 1896, poucos meses após a descoberta dos raios X, por Röntgen.

Salientamos que alguns nomes importantes das áreas da Física Atômica e Nuclear, como o próprio Henri Becquerel (1852-1908), Ernest Rutherford (1871-1937) e o casal Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) não tiveram seus nomes mencionados e suas respectivas histórias contadas ao longo do texto desta dissertação, assim como muitos outros nomes importantes para a Teoria Eletromagnética, devido a economia de tempo de escrita e leitura. Dessarte, recomendamos, aos leitores que queiram se aprofundar nessas temáticas, que façam a busca e posterior leitura desses temas em artigos científicos e livros voltados para a História da Ciência.

5 OS PRINCÍPIOS DA ANIMAÇÃO E O MOTION GRAPHICS

Existem vários tipos de animações: animação tradicional, animação 2D, animação 3D, motion graphics, stop motion, liquid motion etc. O estilo de animação que escolhemos para desenvolver os vídeos educacionais animados do nosso produto educacional foi o motion graphics. Porém, antes de discutirmos a respeito desse tipo de animação, é interessante definirmos o que é animação. “A palavra animação vem do latim ‘anima’ e significa ‘alma’ ou ‘sopro de vida’. Portanto, podemos entender essa arte como o ato de ‘dar vida’ a objetos estáticos e inanimados através de diferentes métodos” (ECDD, 2024).

5.1 Os 12 princípios da animação

Agora, iremos apresentar os princípios encontrados no livro “*The Illusion of Life: Disney Animation*”, publicado em 1981, por dois dos maiores animadores da Disney, Ollie Johnston (1912-2008) e Frank Thomas (1912-2004). Princípios esses que devem sempre serem levados em consideração na síntese de toda e qualquer animação, os chamados *12 princípios da animação*. Baseado no que foi exposto por Shanasa (2020), os princípios da animação são os seguintes:

- 1. Esmagar e esticar

É o princípio que diz que um objeto/personagem deve ser comprimido e esticado para enfatizar coisas como sua velocidade, massa e peso. O princípio de esmagar e esticar, pode ser usado para acentuar um momento cômico ou passar ao espectador a sensação de “objeto/personagem real”, quando aplicado corretamente. Exemplo, uma bolinha quicando no chão e sendo amassada, de baixo para cima, em cada momento que toca o chão e sendo comprimida pelos lados ao subir.

- 2. Antecipação

É o princípio que diz que toda ação precisa ser antecipada. Como no caso de uma animação, que prepara o espectador para a próxima ação. Por exemplo, um personagem dobrando os joelhos antes de realizar um salto.

- 3. Siga em frente e ação sobreposta

Princípio que diz que quando um personagem para depois de estar em movimento, outras partes do seu corpo continuam em movimento, cada qual em um tempo diferente até tudo parar completamente como, por exemplo, os cabelos de uma personagem ou partes de suas roupas que continuam se movimentando mesmo depois dela ter parado de se mover.

- 4. Encenação

A encenação é o princípio segundo o qual deve-se prender a atenção do espectador para os elementos mais importantes da cena. A exemplo, um zoom no rosto de um personagem para chamar a atenção para uma expressão facial. Ou no caso de um afastamento da câmera, em momentos de mais movimentos e mais elementos de cena.

- 5. Pose a pose e siga direto

São duas técnicas de desenho relacionadas à fluidez da animação. O pose a pose é a técnica na qual anima-se primeiro os extremos da animação (início, meio e fim) e só deixa preencher os intervalos. Já no método siga direto, o animador vai desenhando os movimentos um após o outro, na sequência, sem o planejamento dos extremos da animação.

- 6. Desaceleração e aceleração

Nenhuma ação deve começar ou parar do nada. Os objetos levam tempo para desenvolver suas velocidades e para cessar por completo seus movimentos. Por exemplo, no caso de um personagem correndo, ele deve começar lentamente e só depois ir ganhando velocidade. Ou no caso de um objeto parando de se mover, como uma bolinha quicando que vai perdendo velocidade gradualmente até parar por completo o seu movimento.

- 7. Movimento em arco

Segundo esse princípio, os movimentos na vida real não acontecem em linhas retas. Por essa razão, os movimentos dos personagens animados devem seguir algum nível de trajetória em arco, dando mais fluidez e naturalidade à animação.

- 8. Ação secundária

A ação secundária é usada para fortalecer uma ação primária. Desse modo, torna a animação mais convincente. Contudo, é importante destacar que a ação secundária não deve chamar mais atenção que a ação principal. As ações secundárias são sempre subordinadas à ação primária. Um exemplo de ação secundária seria a expressão facial de dor e irritação de um personagem após tropeçar num objeto, como uma pedra no caminho, e cair no chão.

- 9. Temporização e espaçamento

A temporização refere-se ao tempo que uma ação leva para ocorrer, e o espaçamento está relacionado à como essa ação ocorre dentro desse intervalo de tempo estabelecido. Quando um animador planeja uma ação específica, já tem em mente quanto tempo levará para que essa ação ocorra. Na sequência, ao desenhar os quadros (*frames*), ele “espaça” esses frames de modo a alcançar os objetivos inicialmente planejados para essa ação. Uma animação só será crível, convincente se tiver uma boa temporização e espaçamento.

- 10. Exagero

O princípio do exagero é muito utilizado em cenas cômicas e dramáticas, ao acentuar uma ação do personagem exibida na tela. A exemplo, expressões faciais exageradas, movimentos corporais ou tipos de corpos distorcidos do personagem, com o objetivo de transmitir com clareza ao público a mensagem, o sentimento ou intenção de cena planejada pelo animador.

- 11. Desenho volumétrico

Princípio que diz que todo personagem (ou objeto) precisa ter solidez na cena em que foi desenhado com objetivo de transmitir ao espectador uma sensação de peso, altura, largura e profundidade, como se o elemento estivesse inserido num ambiente tridimensional.

- 12. Apelo

Segundo o princípio do apelo, os personagens ou cenários precisam ter um design que chame a atenção do público, isto é, atraente. Assim, causaria empatia no espectador. Diferentes formas e proporções de um determinado personagem, por

exemplo, pode ajudar a desenvolver certas personalidades associadas a ele, muitas vezes promovendo uma conexão com o público.

5.2 Sobre o que é o motion graphics e o porquê de sua escolha no processo de produção dos nossos vídeos educacionais

Apesar de parecer um estilo recente de animação, o *motion graphics* vem ganhando destaque devido à grande popularidade que possui. As origens do *motion graphics* remontam a época do cinema clássico Hollywoodiano ao aparecer nos créditos iniciais ou finais de filmes. Não se sabe ao certo a origem do termo “*motion graphics*”, porém um dos seus primeiros usos aconteceu em 1960, quando o animador John Whitney (1917-1995), considerado um dos pais da animação por computador, fundou um estúdio denominado Motion Graphics Inc. (Shanasa, 2020).

Motion graphics é um termo em inglês que pode ser traduzido para o português como gráficos em movimento. Entretanto, essa seria uma definição muito rápida e simplista do que é o motion graphics, do que ele representa. De acordo com Shanasa (2020, p. 11), Motion Graphics (ou Motion Design) pode ser definido como “qualquer tipo de elemento gráfico que use tecnologia para criar ilusão de movimento”. Ele apresenta ainda outra definição: “Motion Design é a intersecção entre design, cinema e animação” (Shanasa, 2020, p. 11). Portanto, podemos definir o motion graphics como sendo um estilo de animação que é o resultado da mesclagem entre elementos do design, do cinema e da animação. Assim sendo um recurso interessante e muito poderoso quando se pretende transmitir uma mensagem de forma mais leve, dinâmica e objetiva.

O motion (como também é conhecido esse tipo de animação) é uma vertente da área do Design Gráfico que ao combinar textos, infográficos, ilustrações, formas geométricas e muitas vezes até efeitos sonoros, torna-se um recurso muito atrativo para ser utilizado nas mídias, de modo geral. Podemos encontrar elementos e conceitos de motion graphics aplicados em canais de TV, em plataforma de vídeos, como o YouTube, videocliques, propagandas, vinhetas, vídeos explicativos, em mídias sociais etc.

Os motivos elencados por Esteves (2024), que tornam o motion graphics um

estilo de animação tão promissor e atrativo, são os seguintes:

- Causa impacto visual;
- As pessoas preferem ver/assistir a ler textos, já que os recursos audiovisuais são mais atrativos.
- Usa linguagens lúdicas que conquistam pessoas de todas as idades;
- Cerca de 90% das pessoas se recordam de vídeos, mesmo depois de terem visto há algum tempo.
- Contar histórias é extremamente atrativo e persuasivo. O homem conta história desde que é homem, e as pessoas se interessam por isso.
- O custo de produção de um vídeo em motion graphics é financeiramente viável em relação à outras produções audiovisuais, como filmagens em locações, atores, equipamentos etc.
- Com o motion é possível explicar processos complexos de forma simples e divertida;
- É possível mesclar linguagens de cinema, games, quadrinhos, design gráfico e diversas outras.

Foram esses os motivos que nos levaram a optar pelo motion graphics na produção dos vídeos educacionais do nosso produto educacional. Além do promissor potencial pedagógico inovador deste trabalho, propondo-se em fazer uma conexão entre elementos da área do design gráfico e ensino de física. E, assim, produzir animações educacionais a partir da narrativa de um determinado conteúdo (ou vários) para contribuir no processo cognitivo de assimilação desses conteúdos por parte do aluno. Dessa forma, atuando como um recurso didático facilitador da aprendizagem.

As animações educacionais podem ser compreendidas como a combinação de representações pictóricas, escritas, sonoras e gráficas, e têm como principal objetivo facilitar a aprendizagem, adequando e diversificando a apresentação das informações (Monteiro *et al.* 2011, p. 189).

Como destacado por Monteiro *et al.* (2011), o uso de animações no processo de ensino e aprendizagem tem se mostrado como uma possibilidade muito promissora. Isso porque as animações são recursos que possuem uma grande capacidade de facilitar a demonstração de determinados processos e eventos, permitem a possibilidade de exposição de fenômenos raros, complexos ou perigosos, além de servirem para melhorar a capacidade de abstração dos alunos.

6 O PRODUTO EDUCACIONAL

As chamadas radiações ionizantes estão amplamente presentes no cotidiano do aluno, desde o momento em que ele passa a ser submetido a um exame radiodiagnóstico em uma clínica até a uma exposição ao Sol na praia. Porém, muitos desses alunos concluem a educação básica sem nunca terem ouvido falar de temas de FMC como esse. E, quando esses conceitos são abordados na sala de aula, muitas vezes, são discutidos superficialmente, geralmente fazendo uso apenas do livro didático.

6.1 Introdução

Daí decorre a importância de um trabalho como o nosso. A nossa proposta é aplicável a temas de difícil abordagem (devido a fatores como a matemática envolvida e/ou dificuldades em se realizar atividades experimentais relacionadas). Para esses temas, o nosso produto propõe que o professor apresente esses assuntos junto às turmas fazendo uso de vídeos explicativos (usando motion graphics) como recurso didático.

Portanto, o produto educacional consiste em uma sequência didática composta de alguns experimentos análogos as experiências clássicas do Eletromagnetismo e de vídeos animados, que foram utilizados para promover a aprendizagem de conceitos relacionados às ondas eletromagnéticas e, mais especificamente, a Física das Radiações Ionizantes. Os vídeos explicativos foram desenvolvidos usando alguns softwares da Adobe, como: o Photoshop, o Illustrator e o After Effects.

Utilizaremos esses programas por serem alguns dos softwares mais populares da indústria do Design Gráfico. E, pela gigantesca quantidade de ferramentas e recursos nativos que esses programas disponibilizam aos usuários, permitindo diversas possibilidades criativas. Criatividade essa que pode ser empregada na criação de imagens, infográficos e animações educacionais. Diante disso, recomendamos o uso deste produto educacional como mais um dos muitos recursos didáticos que podem vir a ser utilizados pelo professor no ensino de física no EM.

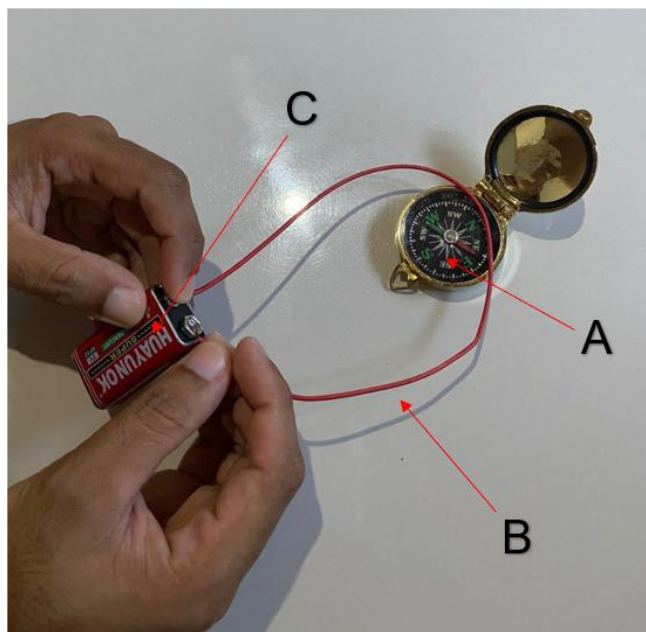
6.2 Experimentos clássicos do Eletromagnetismo

É importante destacarmos que não nos preocupamos em reproduzir fielmente os experimentos originais, já que a intenção da reprodução dessas experiências é apenas fazer uma breve introdução dos primeiros conceitos de Eletromagnetismo. Foi analisada a relação dos fenômenos elétricos e magnéticos, a partir da experiência de Oersted e o conceito de onda eletromagnética, através da realização da experiência de Hertz.

6.2.1 Experiência de Oersted

No ano de 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) realizou um experimento que viria a ficar marcado para sempre na história da física: a descoberta do Eletromagnetismo. Essa experiência consistia na observação de uma deflexão na agulha imantada de uma bússola quando esta era colocada, em paralelo, próxima de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica. Assim, evidencia-se a estreita relação entre eletricidade e magnetismo. Para uma reprodução simplista da experiência de Oersted, precisaremos dos seguintes materiais (como mostrados na Figura 11):

Figura 11 – Experiência de Oersted



Fonte: elaborada pelo autor.

A – bússola

B – pequeno pedaço de fio condutor (tamanho 1,0 mm²)

C – bateria de 9,0 V

Ao reproduzirmos a experiência de Oersted desse modo, realizamos um curto-circuito ao conectarmos o fio condutor à bateria. Portanto, recomendamos o uso de uma bateria nova para visualização de uma deflexão mais acentuada da agulha da bússola.

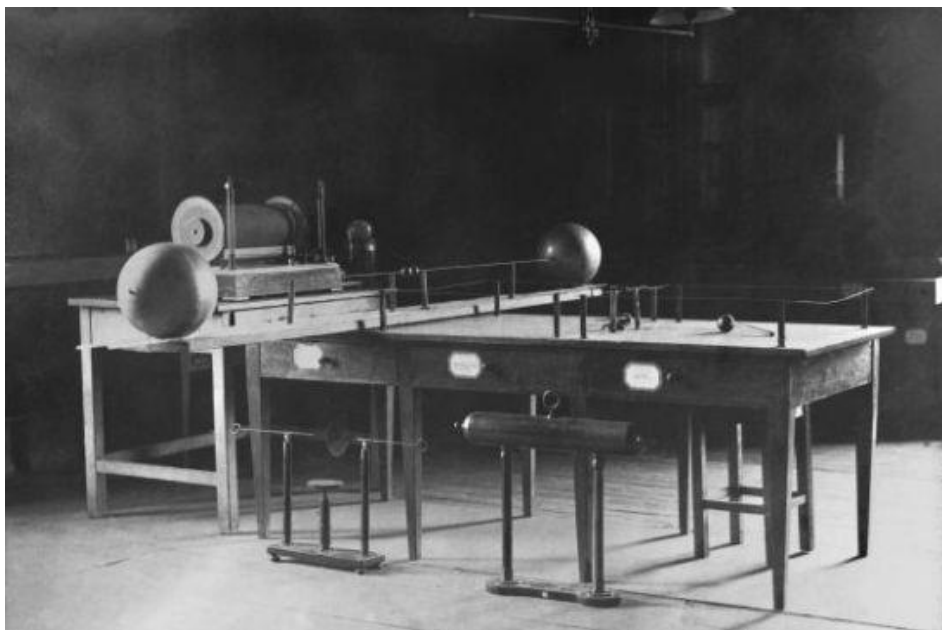
6.2.2 Experiência de Hertz

No final do século XIX, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) realizou uma série de experiências que culminaram com a comprovação das previsões da Teoria Eletromagnética de Maxwell. Em 1887, Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, na frequência das ondas de rádio.

O aparato experimental utilizado por Hertz basicamente consistia em fazer passar uma corrente (a alta tensão) numa antena emissora ligada a uma bobina de indução (denominada bobina Ruhmkorff). Quando ligada, a bobina produzia uma descarga oscilante no circuito a ponto de surgir faíscas entre dois eletrodos esféricos da antena, separados por uma distância muito curta. Assim, ondas eletromagnéticas são emitidas a partir desse primeiro circuito.

Para fazer a captação dessas ondas (ondas de rádio), Hertz usou uma segunda antena também com um par de esferas metálicas separadas por uma pequena distância. Ele percebeu que a cada centelha produzida na antena emissora, correspondia, simultaneamente, na síntese de uma centelha na antena receptora, mesmo quando separadas por distâncias consideráveis (Nussenzveig, 1997). Na figura 12, podemos observar o aparato experimental utilizado por Hertz:

Figura 12 – Aparato experimental utilizado por Hertz



Fonte: Espacio de Cesar⁹

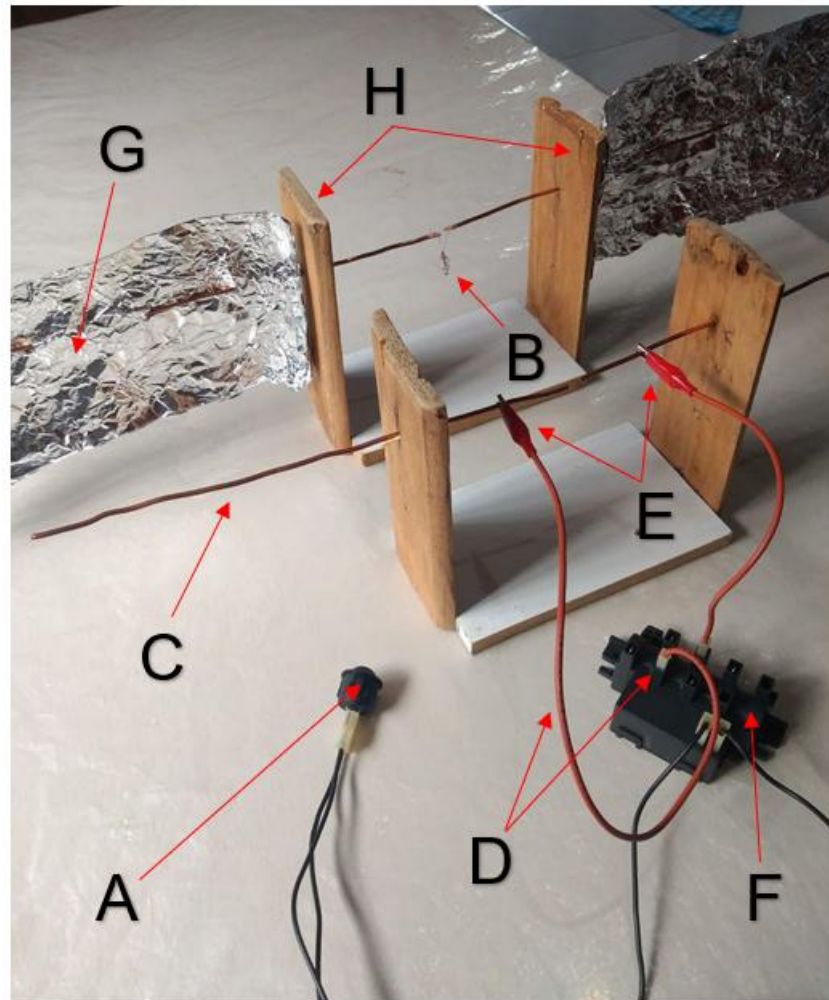
A partir de diversas outras experiências, Hertz percebeu que essas ondas (denominadas posteriormente de ondas hertzianas) apresentavam propriedades ondulatórias como: reflexão, refração e difração (como a luz). Hertz mediu ainda a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo um valor muito próximo da velocidade de propagação da luz (c) conhecida na época, comprovando assim, as previsões de Maxwell.

Na reprodução de ambos os experimentos (experiência de Oersted e experiência de Hertz) em sala de aula, recomendamos que o professor solicite a participação de alguns alunos na realização deles, obviamente, tomando todos os devidos cuidados de segurança. Essa abordagem tem o intuito de motivar os estudantes em relação a compreensão dos fenômenos apresentados e de promover uma aprendizagem mais dinâmica e interativa junto à turma.

Os materiais utilizados na confecção do experimento estão descritos abaixo e mostrados na Figura 13:

⁹ Disponível em: <https://espaciodecesar.com/2015/10/07/experimento-de-hertz-ondas-electromagneticas-radiofrecuencia/>. Acesso em: 12 jan. 24.

Figura 13 – Experiência de Hertz

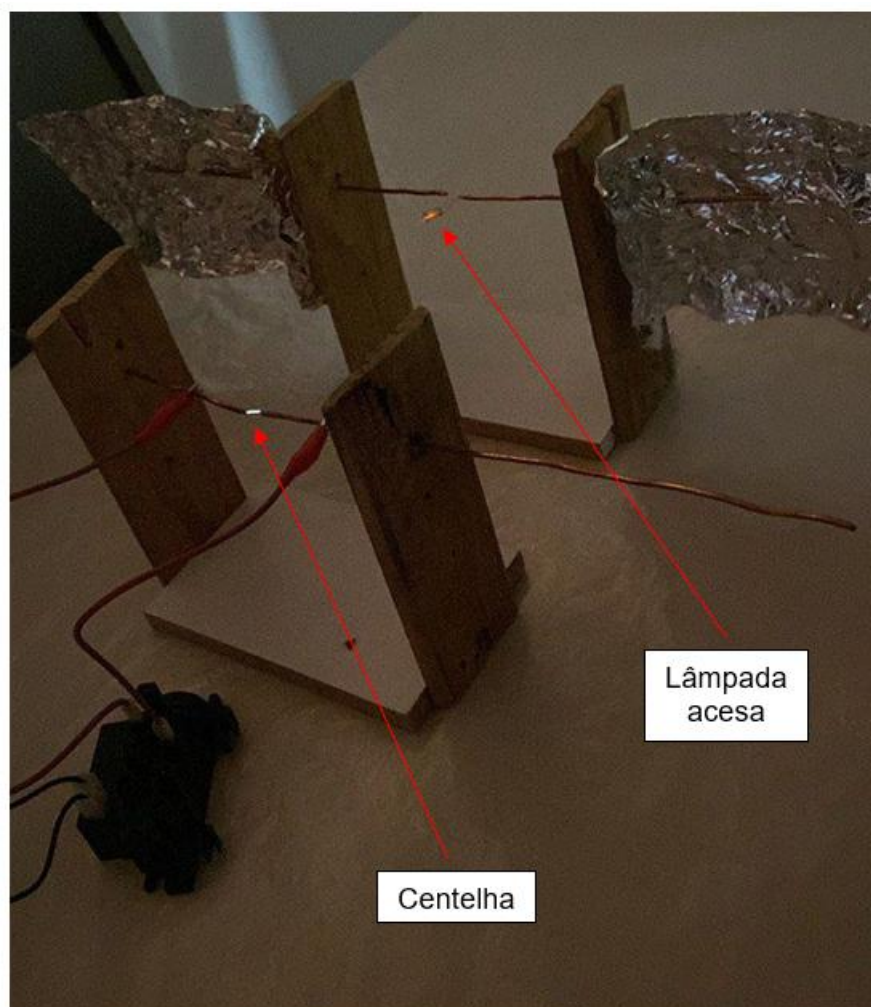


Fonte: elaborada pelo autor.

- A – Chave liga-desliga
- B – Lâmpada pequena de néon
- C – Aproximadamente 1 m de fio de cobre rígido (tamanho 6 mm²) dividido em 4 pedaços de 25 cm.
- D – Cabos elétricos flexíveis e conectores
- E – Duas garras jacaré tamanho pequeno
- F – Usina ignitora de acendimento automático para fogão
- G – Papel alumínio
- H – Placas de madeira

A usina ignitora faz o papel da bobina Ruhmkorff (utilizada no experimento original por Hertz). A usina transforma a tensão da rede em alta tensão produzindo centelhas entre as duas hastes de fio de cobre, resultando na produção e emissão de ondas eletromagnéticas pela antena emissora e consequente captação dessas ondas pela antena receptora. Abaixo, constatamos esse fenômeno na Figura 14 pelo acendimento da lâmpada.

Figura 14 – Experiência de Hertz em funcionamento



Fonte: elaborada pelo autor.

6.3 Os softwares

Os softwares (ou programas) usados no presente trabalho podem ser obtidos através de uma assinatura da Adobe Creative Cloud (conjunto de aplicativos e serviços da Adobe). Inclusive, a empresa oferece desconto na assinatura para estudantes e professores.

Nas próximas subseções, serão feitas breves apresentações dos softwares utilizados nas sínteses dos vídeos educacionais, produzidos neste trabalho. Logo, caso o leitor não tenha interesse em conhecer os programas e em produzir seus próprios vídeos animados, pode continuar a leitura do texto desta dissertação a partir da página 83, já que o desconhecimento destes programas não interfere na aplicação deste produto educacional.

As especificações técnicas mínimas (denominadas também de requisitos de sistema) para uma boa execução destes programas, como o After Effects, em computadores com sistema operacional Windows, por exemplo, estão contidas no quadro 2, na próxima página:

Quadro 2 – Requisitos de sistema mínimos e recomendados para utilização do software After Effects (para sistema operacional Windows)¹⁰

	Mínimo	Recomendado
Processador	- CPU Intel® de 6ª geração ou mais recente – ou CPU AMD Ryzen™ 1000 Series ou mais recente - Compatibilidade com Advanced Vector Extensions 2 (AVX2) necessária  Observação: Não é possível instalar as versões 24.0 em processadores Intel® de 3ª geração ou mais antigos (nem em processadores AMD mais antigos).	CPU Intel® de 11ª geração ou mais recente com Quick Sync ou AMD Ryzen™ série 3000/Threadripper série 2000 ou mais recente
Sistema operacional	Windows 10 (64 bits) versão 20H2 ou posterior	Windows 10 (64 bits) versão 22H2 (ou posterior) ou Windows 11.
Memória	16 GB de RAM	16 GB de RAM para mídias HD 32 GB ou mais para 4K e superior
GPU	4 GB de memória GPU	4 GB de memória GPU para HD e algumas mídias 4K 6 GB ou mais para 4K e superior
Armazenamento	8 GB de espaço disponível em disco para instalação; é necessário espaço livre adicional durante a instalação (não instala em dispositivos de armazenamento removíveis baseados em flash) - Unidade adicional de alta velocidade para mídias	- SSD interno rápido para instalação e cache de aplicativos - Unidades adicionais de alta velocidade para mídias
Tela	1920 x 1080	1920 x 1080 ou maior - DisplayHDR 1000 para fluxos de trabalho em HDR
Placa de som	Compatível com ASIO ou Windows Driver Model da Microsoft	Compatível com ASIO ou Windows Driver Model da Microsoft
Conexão de armazenamento em rede	1 Gigabit Ethernet (somente HD)	Ethernet de 10 Gigabit para fluxos de trabalho 4K de rede compartilhada

Fonte: Adobe – Requisitos de sistema do After Effects

¹⁰ Para sistema macOS, consulte o site: <https://helpx.adobe.com/br/after-effects/system-requirements.html>. Acesso em: 14 jan. 24

6.3.1 O Photoshop

O Photoshop é um dos softwares mais utilizados para edição e retoque de fotos, de banners, criação de montagens, pôsteres, folhetos, panfletos e anúncios publicitários. Ou seja, o Photoshop é amplamente utilizado pela indústria do Design para tratamentos de imagens, de modo em geral. Ele está disponível para download em computadores (sistema operacional Windows e MacOS), além da possibilidade de ser baixado e utilizado em celulares (Photoshop Express). Abaixo, apresentamos a logo do Photoshop:

Figura 15 – Ícone do Photoshop



Fonte: Logosmarcas.net – Photoshop Logo¹¹

Utilizaremos o Photoshop, basicamente, para produção dos *rafes* (rascunhos) dos desenhos e cenas apresentadas durante os vídeos. Na criação dos rafes, o professor pode fazer uso do mouse ou ainda fazer uso de uma caneta e mesa digitalizadora para uma maior precisão no traçado e formas desenhadas.

O programa pode ser usado também na síntese dos chamados *storyboards* dos vídeos (vale destacar que o Adobe Illustrator também pode ser utilizado para esta finalidade). Recomendamos que o professor comece a desenvolver os storyboards dos vídeos, que virão a ser produzidos, apenas depois de concluídos os respectivos roteiros. Serão as narrativas presentes nos roteiros que vão determinar os tipos de desenhos e cenas que serão rascunhadas no Photoshop e, posteriormente, ilustradas no Illustrator e animadas no After Effects.

Após o desenvolvimento do roteiro onde a narrativa já está definida, será o momento de desenvolver o storyboard, que tem o objetivo de organizar o projeto de forma gráfica, é a sequência de quadro a quadro de esboços onde representam as cenas da animação (Amaral, 2018, p. 57).

¹¹ Disponível em: <https://logosmarcas.net/photoshop-logo/>. Acesso em: 12 jan. 24.

O Photoshop foi utilizado também no recorte e, quando necessário, no tratamento de imagens baixadas de sites da internet (como as imagens de alguns cientistas, utilizadas nos vídeos produzidos neste trabalho). Abaixo apresentamos um exemplo de um breve storyboard, criado na produção do vídeo 2:

Figura 16 – Breve storyboard do vídeo 2



Áudio: Somos expostos às radiações eletromagnéticas todos os dias. Desde um simples passeio em um dia ensolarado na praia com os amigos...

Vídeo: Carro deslocando-se na praia. Carro e coqueiros em primeiro plano.



Áudio: até o momento em que somos submetidos a um exame radiodiagnóstico numa clínica.

Vídeo: técnico de radiologia movendo os braços por trás da cabeça e observando uma radiografia.

Boa parte dessas radiações não são prejudiciais à nossa saúde.



Áudio: Felizmente, boa parte dessas radiações não são prejudiciais à nossa saúde.

Vídeo: texto sendo “escrito” na tela de modo gradual (animação de opacidade).



Áudio: Na verdade, uma delas pode até fazer com que o nosso organismo produza vitamina D.

Vídeo: Animação de rotação dos raios de Sol. Texto “vitamina D” vindo de baixo para cima (animação de posição).

6.3.2 O Illustrator

O Illustrator é o software de desenhos vetoriais da Adobe. Os desenhos vetoriais são construídos com base em cálculos matemáticos realizados pelo computador, a partir dos pontos e traços inseridos dentro do programa. Abaixo, apresentamos a logo do Illustrator:

Figura 17 – Ícone do Illustrator

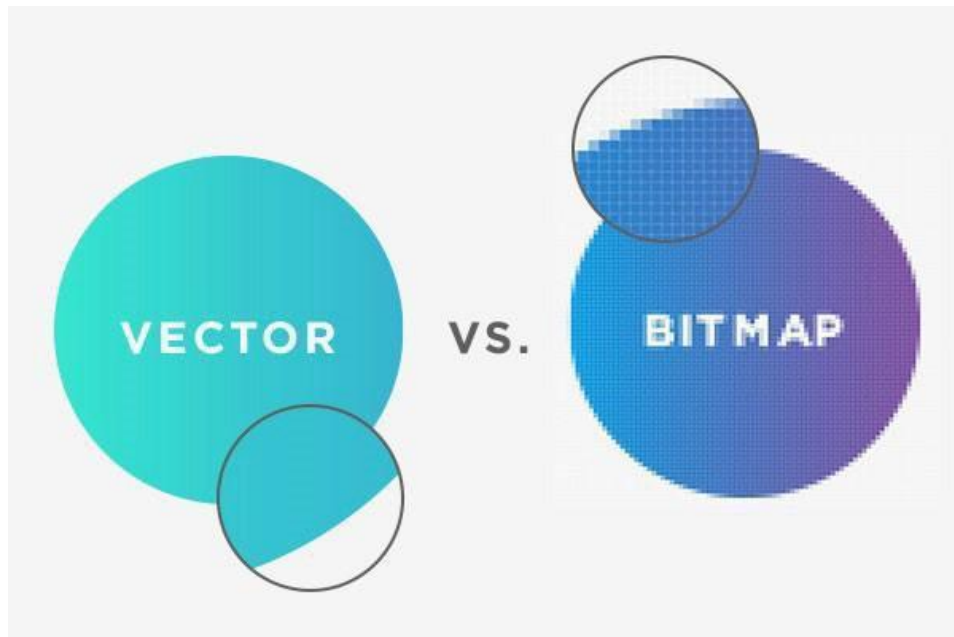


Fonte: Wikipedia – Arquivo: Adobe Illustrador CC icon.svg¹²

Basicamente, as imagens encontradas na internet podem ser classificadas em duas categorias: imagens bitmap (ou rasters) e imagens (ou gráficos) vetoriais. As imagens em bitmap são imagens digitalizadas, baseadas em pixels. Já as imagens vetoriais, como são feitas a partir de cálculos, fórmulas matemáticas específicas, não perdem qualidade quando a imagem é ampliada, por exemplo. Isso torna esse tipo de imagem mais adequada para desenhos que precisam ser redimensionados muitas vezes. Na figura abaixo, podemos ver uma representação do que seria uma imagem vetorial e uma imagem em bitmap (“pixada”):

¹² Disponível em: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Adobe_Illustrator_CC_icon.svg. Acesso em 12 jan. 24.

Figura 18 – Vetor x bitmap

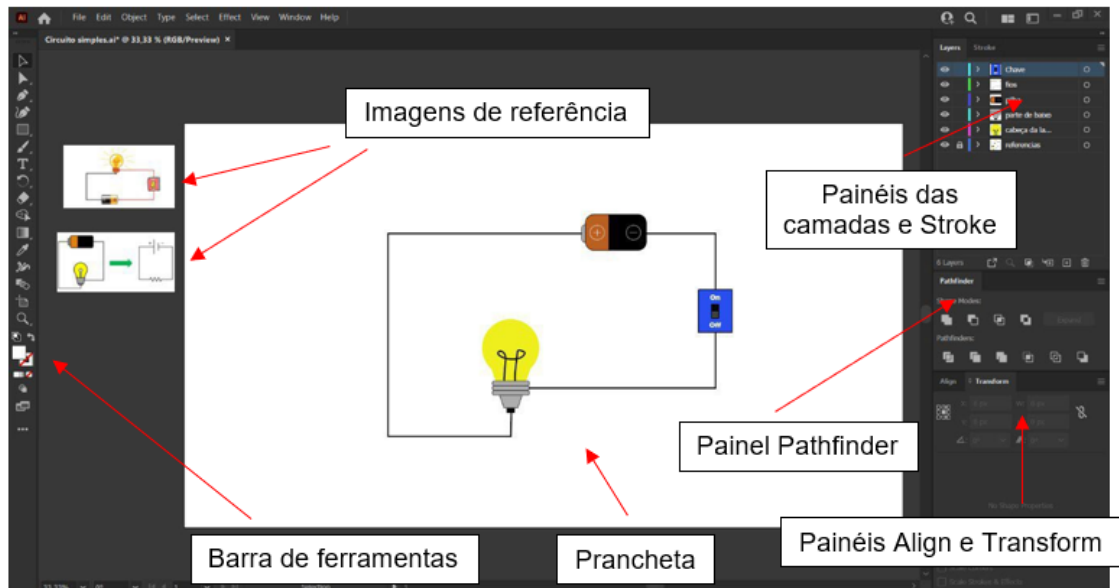


Fonte: Presentationteam - Trabalhando com bitmap e gráficos vetoriais.¹³

O Illustrator será utilizado para produção da maioria das imagens exibidas durante os vídeos explicativos (animações educacionais). Com a sua grande quantidade de ferramentas, permite ao usuário a criação de desenhos incríveis. Daremos preferência à produção de desenhos flats (Flat Design) e infográficos (com predominância de formas geométricas). Na Figura 19, podemos observar um desenho vetorial de um circuito simples produzido pelo autor aplicando os critérios mencionados acima:

¹³ Disponível em: <https://www.presentationteam.com/bitmap-and-vector-graphics-in-presentations>. Acesso em: 14 jan. 24

Figura 19 – Área de trabalho do Illustrator utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa



Fonte: elaborada pelo autor.

Para ajudar o professor na síntese dos seus próprios desenhos, recomendamos que este tome como base imagens e desenhos de referência (como exibido na figura acima). O professor pode encontrar essas “imagens de referência” em sites como: Freepik (<https://br.freepik.com/>), Pinterest (<https://br.pinterest.com/>), Pexels (<https://www.pexels.com/pt-br/>) etc, amenizando, assim, possíveis bloqueios criativos.

6.3.3 O After Effects

O After Effects é um software de pós-produção da Adobe e um dos principais programas utilizados pela indústria de animação. Um dos grandes diferenciais desse programa é a sua biblioteca com vários efeitos incríveis, tornando a edição de uma imagem ou de um vídeo ainda mais criativa. Abaixo, apresentamos a logo do After Effects:

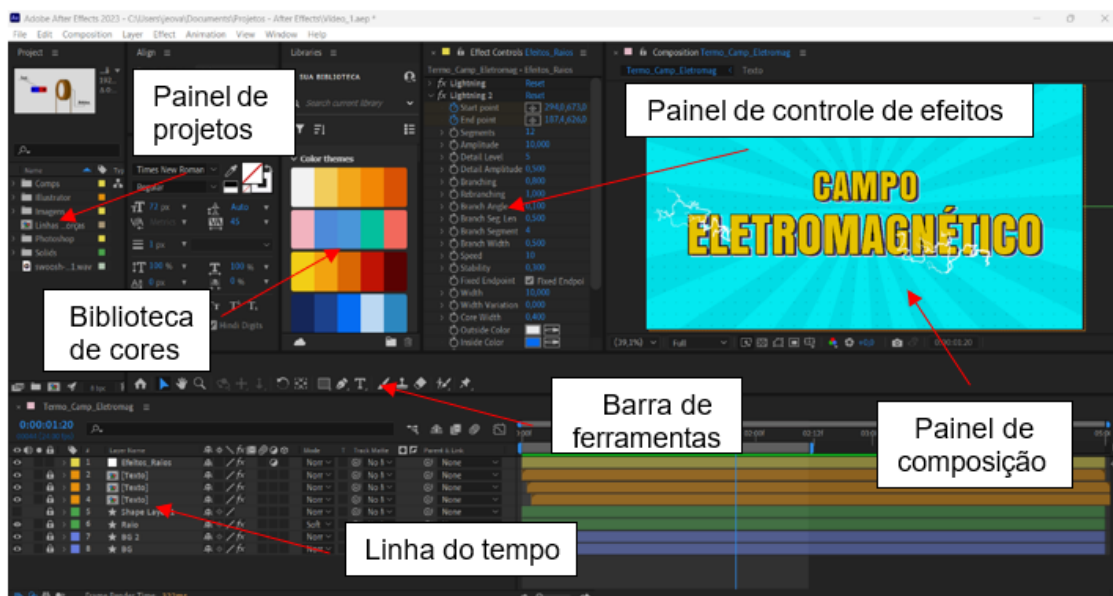
Figura 20 – Ícone do After Effects



Fonte: Logowik – Logotipo do After Effects¹⁴

Devido a boa interação entre os softwares da Adobe, podemos editar uma imagem no Photoshop, por exemplo, ou criar um desenho (vetor) no Illustrator e fazer a animação dele no After Effects. O usuário de outros programas da Adobe encontrará certa familiaridade em alguns dos muitos atalhos de teclado e nas diversas ferramentas do After Effects. Como podemos observar na figura 21, o layout do After Effects também é similar ao de outros programas da Adobe:

Figura 21 – Área de trabalho do After Effects utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa

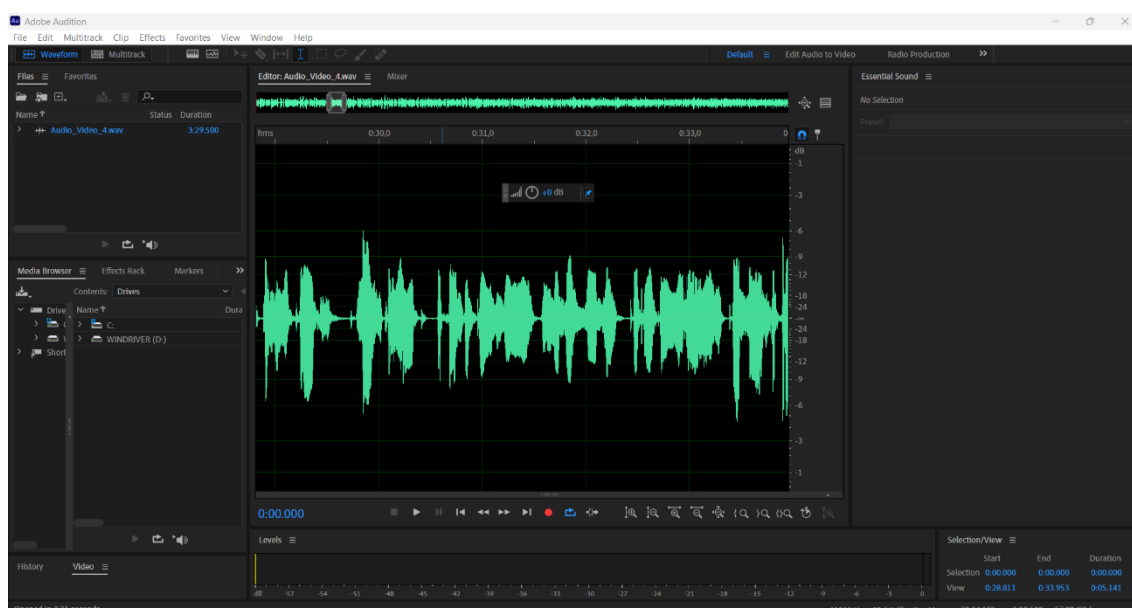


Fonte: elaborada pelo autor.

¹⁴ Disponível em: <https://logowik.com/adobe-after-effects-logo-vector-56636.html>. Acesso em: 12 jan 24.

Em relação ao tratamento de áudios gravados dos roteiros dos vídeos (como cortes de alguns trechos indesejados ou aplicação de efeitos), sugerimos a utilização do software Adobe Audition (programa da Adobe para edição de áudios), devido a boa interação com outros programas da Adobe, como o After Effects. Na imagem abaixo, apresentamos o layout do programa:

Figura 22 – Áudio do vídeo 4 sendo editado no Adobe Audition



Fonte: elaborada pelo autor.

Ainda sobre a questão dos áudios dos vídeos, queremos destacar a importância do uso de efeitos sonoros nas animações. Os efeitos sonoros deixam a animação mais dinâmica e “convincente”. Alguns sites onde pode-se baixar efeitos sonoros (livre de direitos autorais) são os seguintes: biblioteca de áudios do YouTube (https://studio.youtube.com/channel/UCLrFXImA-oT-kLPBo78E3_g/music), FreeSound (<https://freesound.org>), FreeSFX (<https://freesfx.co.uk/>), dentre outros.

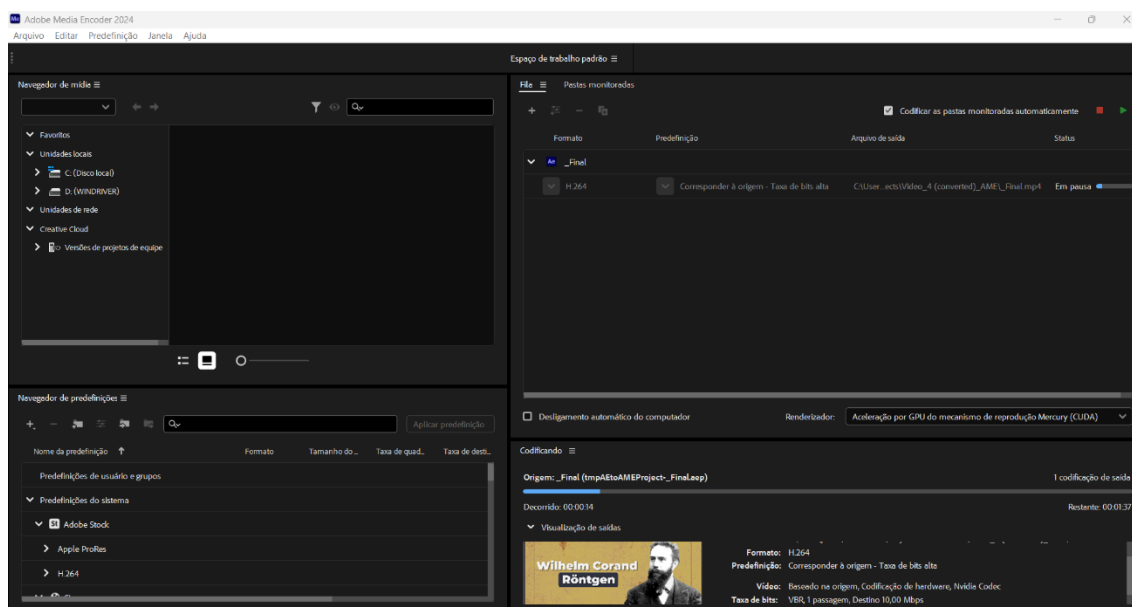
Depois de finalizar as edições na composição final do vídeo, chega-se à etapa da exportação do arquivo, denominada também de renderização. O usuário do After Effects tem, basicamente, duas formas de renderizar sua composição. A primeira delas seria clicar em Composition > Render Queue ou através do atalho de teclado Ctrl + M (para usuários do sistema operacional Windows), fazer as devidas

configurações de exportação (como formato de saída do vídeo) e mandar o programa iniciar o processo de renderização.

A segunda forma de renderizar uma composição seria utilizando o software Adobe Media Encoder (programa de exportação de vídeo e áudio da Adobe), que pode ser baixado da plataforma Adobe Creative Cloud e instalado no computador. Para importar uma composição para a fila de renderização do Adobe Media Encoder, deve-se clicar em Composition > Add to Adobe Media Encoder Queue ou File > Export > Add to Adobe Media Encoder Queue ou ainda, através do atalho de teclado Ctrl + Alt + M (para usuários do sistema operacional Windows).

O Media Encoder disponibiliza ao usuário diversas predefinições de saída de filme/vídeo, além da possibilidade de customizar os parâmetros do render (customização mais completa do que a apresentada no Render Queue do After Effects) e aceleração do processo de renderização via GPU. Isso diminui o tempo de espera da exportação e melhora a qualidade do arquivo final renderizado. Optamos por fazer a renderização dos vídeos educacionais produzidos neste trabalho através do Adobe Media Encoder. Abaixo, apresentamos o layout do programa:

Figura 23 – Vídeo 4 sendo renderizado no Adobe Media Encoder



Fonte: elaborada pelo autor.

Todos os vídeos produzidos neste trabalho têm curta duração, visando não cansar os espectadores e seguindo a tendência atual da preferência por vídeos curtos, por parte do grande público, como podemos observar, por exemplo, nas redes sociais como Instagram e TikTok. Os vídeos produzidos têm o formato H.264 e resolução Full HD (1920 x 1080, formato muito utilizado em vídeos para o YouTube) e frame rate de 24 FPS (quadros por segundo).

6.4 A sequência didática

Quadro 3 - Sequência didática

TEMA: Inserção do tópico de radiações ionizantes no ensino médio
PÚBLICO ALVO: Alunos do 3º ano do ensino médio
DURAÇÃO: 6 encontros
OBJETOS DE CONHECIMENTO: • Breve história do eletromagnetismo; • O conceito de ondas eletromagnéticas; • O espectro eletromagnético; • As radiações UV; • Os raios X; • A radiação gama.
OBJETIVO GERAL: • Facilitar a compreensão do conceito de onda eletromagnética, assim como entender a importância de suas diversas aplicações na medicina e na tecnologia moderna, através de alguns experimentos históricos do eletromagnetismo e da exibição de vídeos animados sobre a temática das radiações ionizantes, tendo como apoio as premissas da Teoria dos Modelos Mentais (TMM), de Johnson-Laird e os resultados e princípios da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM), de Richard Mayer. Ao final, aplicando este produto educacional com base na metodologia pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs), de Demétrio Delizoicov.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: • Fazer com que os estudantes percebam a ciência como uma construção humana, através da discussão da História e Filosofia da Ciência e desenvolver nos alunos a conscientização e o letramento científico, a partir das apresentações desses temas sob uma perspectiva CTS.

- Perceber a relação entre Eletricidade e Magnetismo, através do estudo de alguns marcos históricos e da realização de alguns experimentos clássicos do Eletromagnetismo;
- Diferenciar as várias ondas eletromagnéticas, assim como também as suas respectivas aplicações na Ciência, na Medicina e na Tecnologia;
- Identificar a importância das radiações ionizantes (principalmente para a evolução da medicina), levando também em consideração os perigos relacionados e os cuidados de proteção radiológica.

METODOLOGIA:

- Aulas expositivas dialogadas sobre os temas abordados nos vídeos;
- Uso de ambiente virtual de aprendizagem – como o Google Sala de Aula (*Google Classroom*) – para disponibilização dos vídeos e materiais usados durante as aulas;
- Realização de roda de discussões com carácter avaliativo e para reflexão dos temas estudados (aplicando a metodologia da *tempestade de ideias*).

RECURSOS DIDÁTICOS:

- Aparatos experimentais;
- Livro didático;
- Material impresso;
- Notebook e projetor;
- Marcador para quadro branco e lousa.

AVALIAÇÃO:

- Questionários simples (produzidos usando o *Google Forms*). Após a realização de cada encontro, um questionário será disponibilizado na turma criada no Google Sala de Aula (*Google Classroom*);
- Debates por parte de alguns grupos de alunos, de modo a promover discussões a respeito dos assuntos apresentados durante os encontros;
- Avaliação final (aplicada no último encontro) para fazer o levantamento da aprendizagem dos alunos. Os alunos responderão também, a um teste de satisfação pessoal em relação a aplicação e qualidade do produto educacional. O teste de satisfação será aplicado através da plataforma virtual Plickers, onde a cada aluno será entregue um cartão com um código (a mudança na posição do cartão altera a resposta do aluno). Depois do tempo estipulado para cada

resposta, o professor “escaneará” os cartões através do app Plickers instalado no celular, coletando assim, todas as respostas.

BIBLIOGRAFIA:

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna**. 1ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2010.

BISCUOLA, Gualter José; VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou. **Física 3: eletricidade: física moderna**. 3ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2016.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 12ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

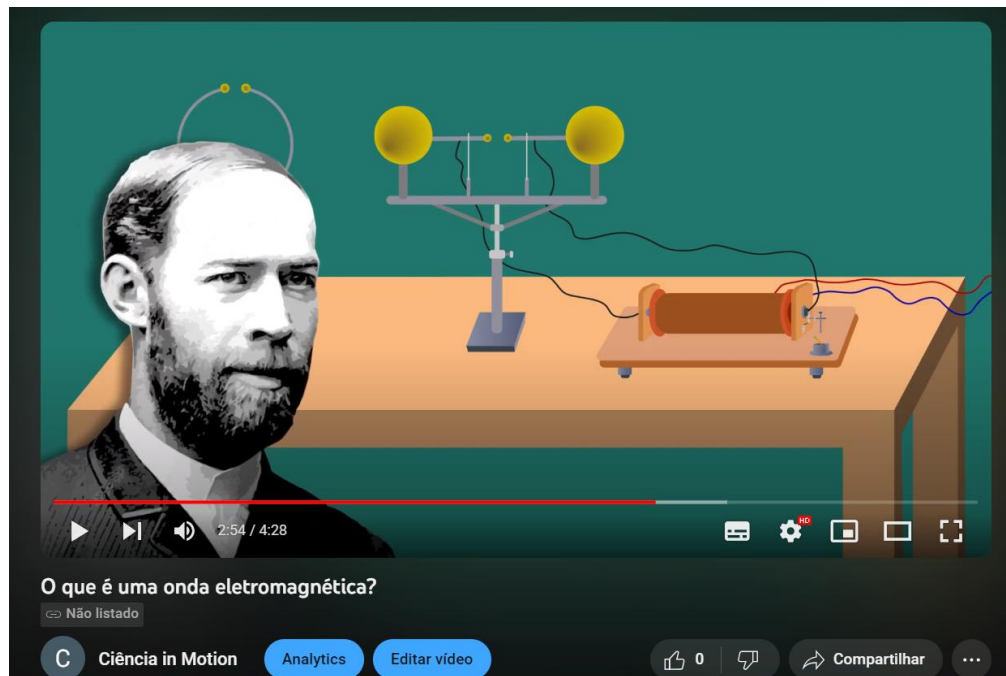
Fonte: elaborado pelo autor.

6.5 Vídeos educacionais produzidos

Todos os vídeos animados produzidos que compõem este produto educacional estão disponibilizados na plataforma do YouTube. O leitor poderá ter acesso aos vídeos através dos links que disponibilizamos abaixo (ou através do QR code, caso prefira):

- Vídeo 1 – O que é uma onda eletromagnética?

Figura 24 – Exibição de um quadro do vídeo 1 na plataforma do YouTube



Fonte: elaborada pelo autor.

Link de acesso do vídeo 1: https://youtu.be/O_alE2KiSYM e QR code:



- Vídeo 2 – O espectro eletromagnético:

Figura 25 – Exibição de um quadro do vídeo 2 na plataforma do YouTube



Fonte: elaborada pelo autor.

Link de acesso do vídeo 2: https://youtu.be/Sfjk4u_RBHg e QR code:



- Vídeo 3 – Radiações ultravioleta (UVs):

Figura 26 – Exibição de um quadro do vídeo 3 na plataforma do YouTube.



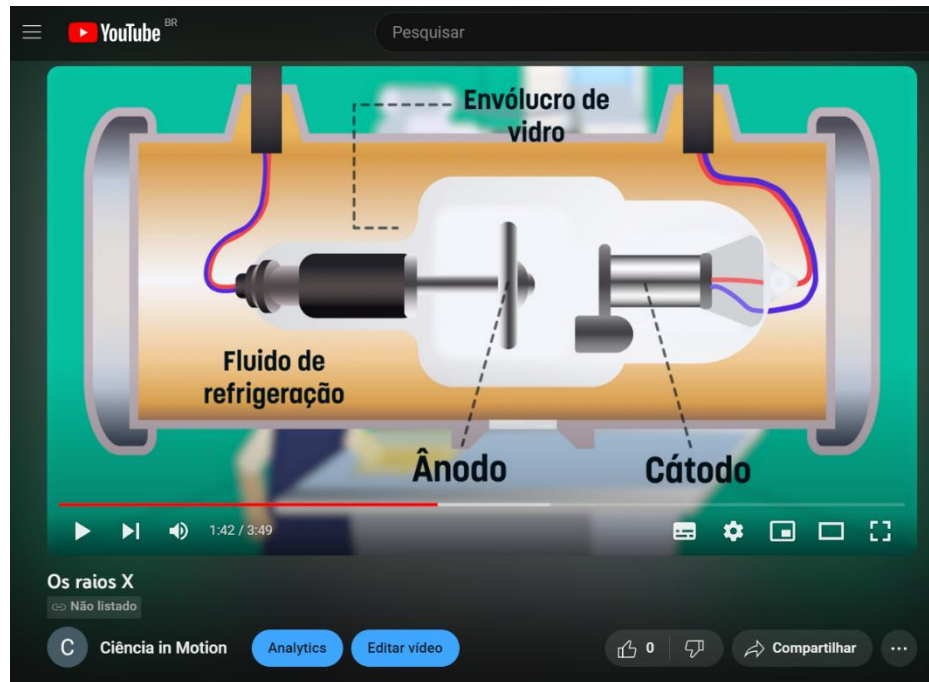
Fonte: elaborada pelo autor

Link de acesso do vídeo 3: <https://youtu.be/KZHlp5LIRfg> e QR code:



- Vídeo 4 – Os raios X:

Figura 27 – Exibição de um quadro do vídeo 4 na plataforma do YouTube.



Fonte: elaborada pelo autor.

Link de acesso do vídeo 4: <https://youtu.be/cNMPIzeiwuA> e QR code:



7 METODOLOGIA

O presente produto educacional foi pensado para ser aplicado em seis encontros em turmas do 3º ano do ensino médio. É esperado que os alunos tenham visto anteriormente alguns conteúdos fundamentais em eletromagnetismo, como, por exemplo: o conceito de carga elétrica, campo elétrico, linhas de força, corrente elétrica e circuitos, ímãs e campo magnético, campo magnético de um condutor retilíneo, campo magnético de uma espira e indução eletromagnética.

Por essas razões, o produto educacional foi aplicado no último bimestre do ano letivo de 2023, numa turma de 3º ano do EM da Escola Estadual Doutor Pedro Velho, que fica localizada no município de Pedro Velho-RN. A escolha por essa turma para aplicação do produto foi simplesmente pelo fato do autor deste trabalho atuar como professor de física nessa escola há alguns anos. A quantidade de participantes dos encontros, e que posteriormente, responderam aos questionários de avaliações foi de 35 alunos (16 meninos e 19 meninas). Na ocasião da aplicação do produto, a idade média dos alunos da turma escolhida era de aproximadamente 18 anos.

Tomamos como referenciais psicológicos para aplicação deste trabalho a Teoria dos Modelos Mentais (TMM), de Johnson-Laird, a qual afirma que o indivíduo aprende através da construção de modelos mentais; e a Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM), de Richard Mayer, segundo a qual os alunos têm uma melhor compreensão dos conteúdos caso sejam apresentados através de imagens, infográficos, vídeos explicativos, animações etc. (recursos multimídias).

Já como referencial pedagógico, lançamos mãos dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs) de Delizoicov e Angotti. No primeiro momento pedagógico, tivemos a problematização inicial, fase em que os principais questionamentos em relação aos temas que seriam desenvolvidos nas próximas etapas foram levantados. Já no segundo momento, ocorreu a apresentação das temáticas e dos conteúdos que foram abordados e aprofundados ao longo desta etapa. Por fim, realizou-se o terceiro e último momento, denominado de aplicação do conhecimento, onde os alunos foram avaliados através da aplicação de um questionário avaliativo e de discussões (em grupos) das temáticas estudadas anteriormente.

7.1 Problematização Inicial

1º encontro (2 aulas de 45 min cada):

Iniciou-se a aula destacando-se a relevância dos temas que foram desenvolvidos ao longo dos próximos encontros e ao mesmo tempo, ouviu-se as concepções iniciais trazidas pelos alunos sem a necessidade de corrigi-las, mesmo que essas explicações não estivessem condizentes com as explicações científicas esperadas. Conforme ressaltaram Delizoicov e Angoti (1994, p. 72):

Possíveis desacordos entre posições de alunos devem ser explorados, de modo a se perceber as (in)consistências das explicações e modelos. Mesmo que estas estejam em total desacordo com o estabelecido cientificamente, não é necessário corrigi-las neste momento. Elas deverão ser retomadas e comparadas após ou durante o segundo momento, quando o conteúdo e as explicações científicas estiverem sendo abordados. Não se pretende que os alunos “adivinhem” o que a ciência já sabe sobre o assunto em questão; pretende-se, sim, apreender a visão dos alunos sobre o assunto.

Após esse primeiro momento de discussão, foi aplicado um questionário junto à turma, que tinha como objetivo fazer uma avaliação diagnóstica inicial em relação aos conhecimentos que foram desenvolvidos nas aulas subsequentes. Essa avaliação diagnóstica inicial permitiu conhecer, de forma mais sistematizada, as percepções trazidas pelos alunos de suas vivências e conhecimento de mundo. Na imagem abaixo, podemos observar o momento da aplicação do questionário inicial.

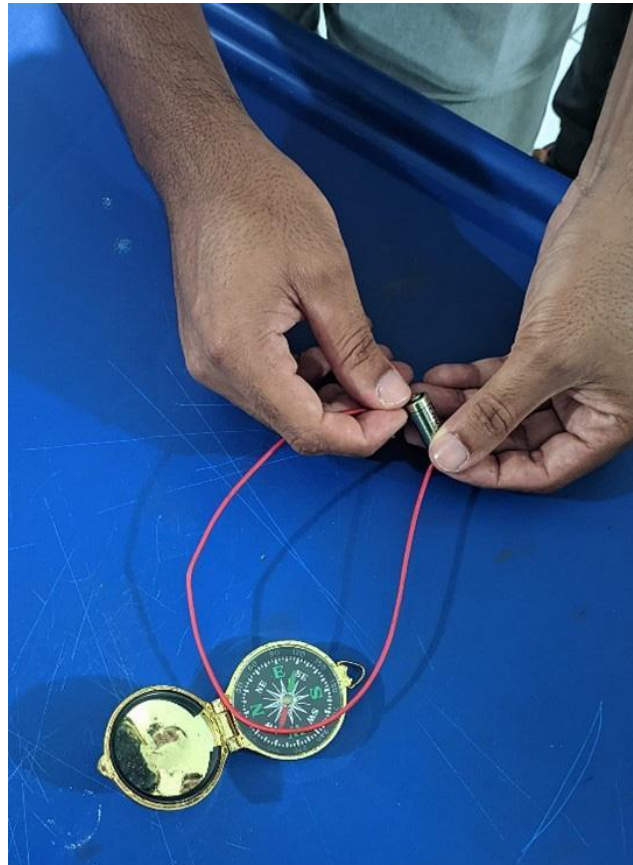
Figura 28: Aplicação do questionário inicial – Registro do 1º encontro



Fonte: elaborada pelo autor.

No final do primeiro encontro, reproduziu-se na sala de aula duas das mais importantes experiências do eletromagnetismo: a experiência de Oersted e a experiência de Hertz.

Figura 29: Professor realizando o experimento de Oersted na turma



Fonte: elaborada pelo autor.

Foram realizados os seguintes questionamentos pelo professor após a experiência de Oersted:

- Como explicar a deflexão da agulha da bússola ao ser aproximada do fio condutor pelo qual passa uma corrente elétrica? Qual o agente físico que faz a agulha ser defletida?
- Por que, na ocasião da inversão dos polos da bateria, a agulha gira no sentido oposto ao primeiro caso observado?

Figura 30 – Professor realizando o experimento de Hertz na turma



Fonte: elaborada pelo autor.

Foram realizados os seguintes questionamentos pelo professor após a experiência de Hertz:

1. O que faz a lâmpada na antena receptora acender?
2. Por que a lâmpada na segunda antena (antena receptora) acende, praticamente, no mesmo instante em que acontece a centelha na primeira antena (antena emissora)? Por que, praticamente, não há um atraso?
3. Por que ao colocarmos a mão entre as antenas a lâmpada apaga?

7.2 Organização do conhecimento

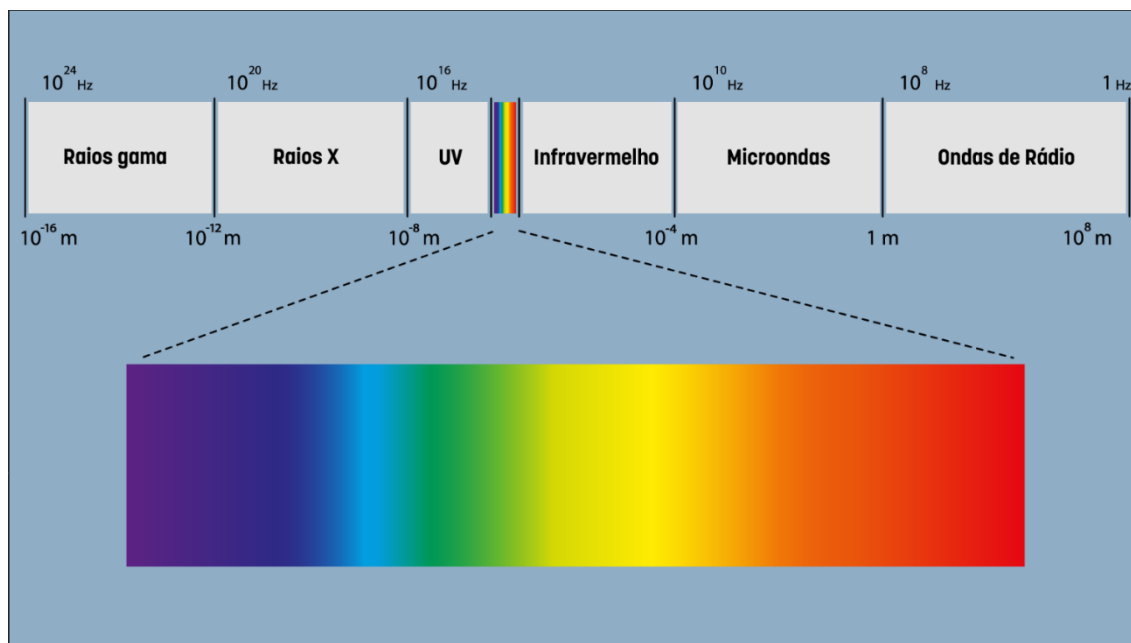
2º encontro (2 aulas de 45 min cada):

Primeiramente, tivemos a apresentação dos temas que foram expostos aos alunos (a apresentação foi feita através do PowerPoint). Foram apresentados os conteúdos abordados ao longo das aulas, relacionando os mesmos com o cotidiano dos estudantes, de modo que eles pudessem encontrar significado nas discussões seguintes.

Após isso, foi apresentado aos alunos uma breve história do eletromagnetismo (de maneira expositiva dialogada), passando pelos principais nomes como, por exemplo, Hans Christian Oersted (1777-1851), André Marie Ampère (1775-1836), Michael Faraday (1791-1867), James Clerk Maxwell (1831-1879), Heinrich Hertz (1857-1894), Oliver Joseph Lodge (1851-1940), Guglielmo Marconi (1874-1937), dentre outros. Além disso, foram destacadas as principais contribuições e experiências realizadas por cada um desses cientistas.

Ao final do encontro, os alunos assistiram ao vídeo 1 intitulado como “O que é uma onda eletromagnética?” (ver pág. 85) e, na sequência, assistiram ao vídeo 2: “O espectro eletromagnético” (ver pág. 86). Reforçando, assim, o que foi apresentado durante a aula expositiva. Apresentamos abaixo, uma representação do espectro eletromagnético (imagem que produzimos utilizando o software Illustrator, da Adobe) e que sugerimos que o professor apresente à turma durante o encontro, para facilitar a compreensão do conceito por parte dos estudantes:

Figura 31 – Espectro eletromagnético



Fonte: elaborada pelo autor.

3º encontro (2 aulas de 45 min cada):

No primeiro momento, discorreu-se sobre os perigos das Radiações UVs e os devidos cuidados necessários, como o uso de protetores solares com um fator de proteção solar (FPS) relevante. Também foi destacada a importância da camada de ozônio no que se refere aos perigos relacionados às radiações UV-C e os preocupantes "buracos" ocasionados pela emissão de poluentes, como os clorofluorcarbonetos (CFCs). Ao final da aula expositiva, os alunos assistiram ao vídeo intitulado: "Radiações Ultravioleta (UVs)" (ver pág. 87). Após a exibição do vídeo, foram feitas as considerações finais (sempre levando em conta as participações dos alunos).

4º encontro (2 aulas de 45 min cada):

Iniciou-se a aula fazendo-se a narrativa da interessante descoberta dos chamados "raios X", pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), no final do século XIX. Posteriormente, foi enfatizada a importante revolução que se sucedeu na medicina, possibilitando a realização de exames não invasivos do organismo. Além

disso, além de explicar a física dos raios X, destacou-se também as mais variadas aplicações que essa radiação possui, assim como também os devidos cuidados de proteção radiológica, como por exemplo, a utilização de aventais de chumbo e protetores de tireoide por parte de pacientes quando submetidos a exames radiodiagnósticos e profissionais de radiologia. Finalizando a aula, os discentes assistiram ao vídeo educacional animado: "Os raios X" (ver pág. 88), para fixar os conteúdos abordados durante o primeiro momento do encontro.

5º encontro (2 aulas de 45 min cada):

No quinto encontro, foi apresentada à turma a temática da radioatividade, com enfoque na radiação gama. Iniciou-se a aula fazendo-se a distinção entre radiação corpuscular e radiação eletromagnética, passando pelos vários tipos de emissões radioativas e destacando os diversos elementos químicos radioativos (denominados também de radioisótopos) naturais e artificiais.

No final da aula, discorreu-se sobre algumas das muitas aplicações da radioatividade, como, por exemplo, aplicações na medicina (com a radioterapia e medicina nuclear) e os processos de produção de energia decorridos dos avanços na física nuclear. Sem esquecer dos perigos relacionados à exposição a altas doses de radiação ionizante, como nos casos de acidentes nucleares e os problemas de saúde resultantes como os chamados efeitos biológicos da radiação.

É importante destacar que, de acordo com o nosso planejamento inicial, ao final da aula seria exibido o vídeo explicativo animado intitulado "radiação gama". Porém, não conseguimos finalizar a produção desse vídeo a tempo de aplicar o produto educacional na turma.

Por fim, caso queira (e se houver tempo disponível para isto), o professor pode ainda exibir para a turma algum documentário sobre alguns dos principais acidentes nucleares da história (como o acidente nuclear de Chernobyl, na Ucrânia e o acidente radiológico de Goiânia com o Césio-137, em Goiás no Brasil), assim como nós fizemos. Abaixo, deixamos como sugestão para os futuros professores que forem aplicar este produto em suas turmas, os links de dois bons documentários exibidos no último encontro:

- Chernobyl: a história completa, do canal no YouTube “Ciência todo dia”: <https://youtu.be/DiGqjYkRQ6o?si=fwquZPk5wn3ZVE0t>
- O maior desastre radioativo da história do Brasil - nostalgia animado, do canal no YouTube “Canal Nostalgia”: <https://youtu.be/UrtenQ77IUA?si=DWTPxKUrKH2sACuR>

7.3 Aplicação do conhecimento

6º encontro (2 aulas de 45 min cada):

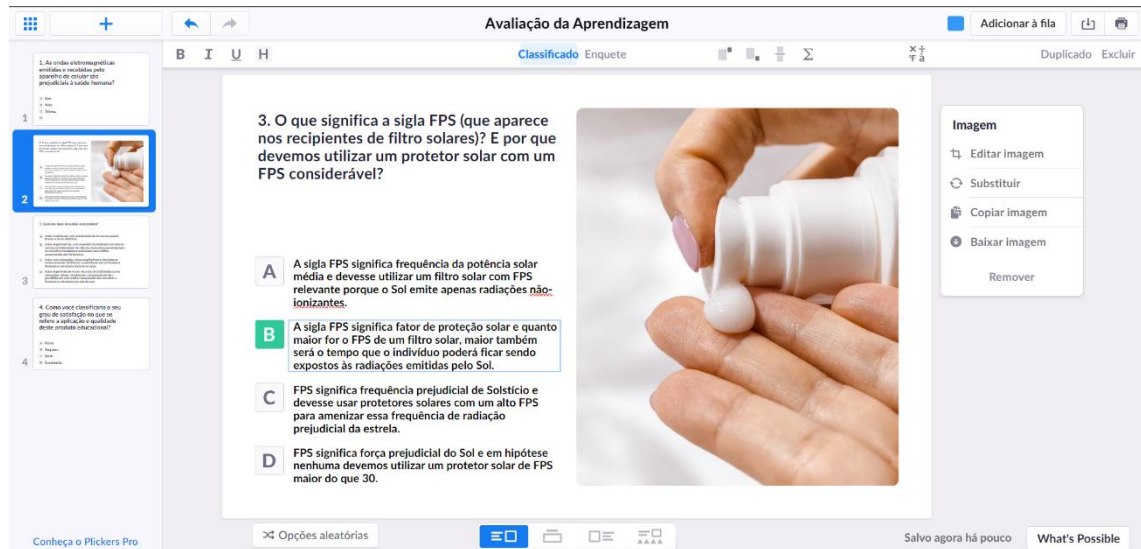
No último encontro, sugerimos que o professor promova um debate entre os discentes, lançando mão do método da tempestade de ideias (ou brainstorming), separando a turma em dois grandes grupos. O primeiro grupo deve argumentar a favor da produção e do uso de energia nuclear (enfatizando, que no Brasil temos algumas usinas nucleares em Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro). Já o segundo grupo apresentará argumentos contrários em relação à produção de energia nuclear e perigos relacionados à aplicação das radiações ionizantes, de modo geral.

Durante a realização dessa dinâmica, o professor atuará basicamente como um mediador das discussões, anotando os argumentos apresentados pelos grupos, e fazendo comentários a respeito das falas dos alunos quando julgar necessário, promovendo assim o debate. É interessante que os alunos que forem participar da discussão sejam sorteados pelo professor no momento da dinâmica. O grupo vencedor do debate será aquele que apresentar uma quantidade maior de argumentos em favor do seu ponto de vista e que melhor defendê-lo.

No último encontro, os discentes responderam a um questionário final, que serviu como avaliação da aprendizagem (ver apêndice G, no arquivo do produto educacional). Vale destacar que para avaliação geral da aprendizagem, também levamos em consideração a participação dos discentes ao longo das aulas.

As últimas três questões do questionário final (pequeno teste de satisfação) foram apresentadas aos alunos através de slides feitos no PowerPoint, e exibidas durante a aula fazendo a utilização de um projetor. As questões foram editadas na plataforma Plickers (plickers.com), como mostrado na Figura 32:

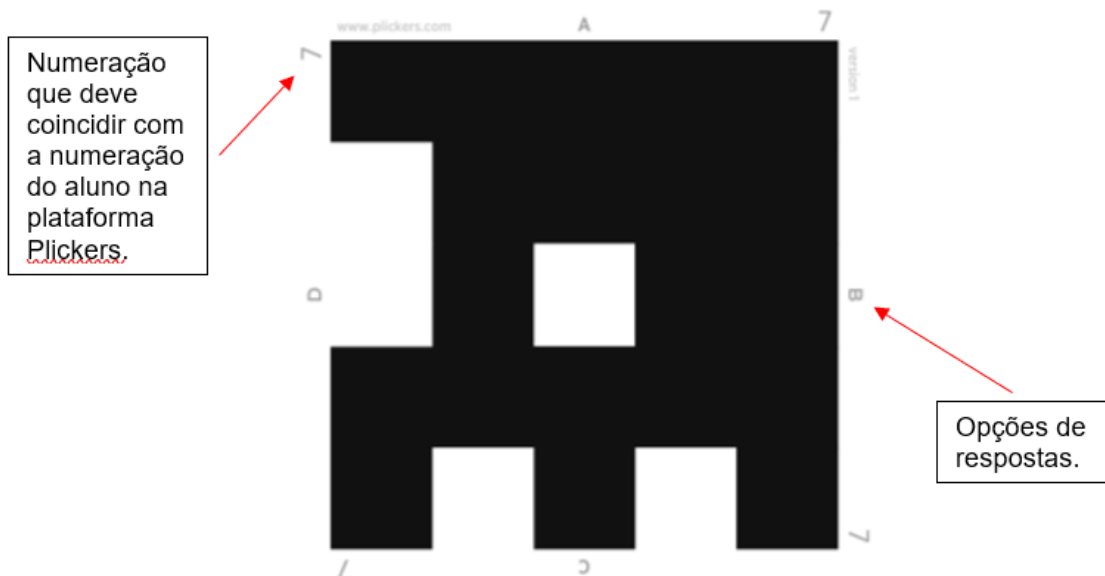
Figura 32 – Avaliação da aprendizagem sendo editada na plataforma Plickers



Fonte: elaborada pelo autor.

Para fazer “a coleta” das respostas dos alunos, a turma foi registrada na plataforma Plickers pelo professor, de modo que ao final do cadastro, foi associado um número específico para cada aluno da turma. No momento da aplicação do questionário, entregou-se para cada discente um cartão Plickers (como mostrado na figura 33):

Figura 33 – Exemplo de um cartão Plickers



Fonte: Cartões Plickers¹⁵

Conforme orientado no site do Plickers, para a utilização dos cartões foram realizadas, basicamente, três etapas:

1. Distribuiu-se os cartões para cada aluno de acordo com a numeração exibida na plataforma.
2. Os alunos forneceram suas respostas segurando o cartão recebido com o lado do código de barra virado para o professor. Orientou-se aos alunos que, no momento da coleta das respostas da turma, a opção de resposta (A, B, C ou D) devia estar sempre na parte superior do cartão.
3. Para fazer a coleta das respostas, foi realizada a leitura usando a câmera do celular (scaneamento) do código de cada cartão exibido pelos alunos utilizando o aplicativo móvel Plickers (ver as figuras 34 e 35):¹⁶

¹⁵ Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://assets.plickers.com/plickers-cards/PlickersCards_2up.pdf. Acesso em: 12 jan. 24

¹⁶ O aplicativo para dispositivo móvel Plickers pode ser baixado diretamente da loja do celular do professor.

Figura 34 – Leitura das respostas dos alunos através do aplicativo móvel Plickers instalado no celular



Fonte: Tribuna de Minas¹⁷

Figura 35: Professor fazendo a leitura das respostas dos alunos – Registro do 6º encontro



Fonte: elaborada pelo autor.

¹⁷ Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/especiais/publieditoria/05-10-2020/faculdade-ensin-e-mais-eficiencia-no-aprendizado-com-o-app-plickers.html>. Acesso em: 12 jan. 24

8 RESULTADOS

Primeiramente, discutiremos sobre as respostas dos alunos da referida turma em relação aos questionamentos iniciais levantados pelo professor após a realização dos experimentos clássicos do eletromagnetismo.

8.1 Análise das respostas dos alunos aos questionamentos iniciais levantados pelo professor após a realização dos experimentos:

8.1.1 Resultados após a aplicação da experiência de Oersted

As perguntas iniciais direcionadas aos alunos foram: “como explicar a deflexão da agulha da bússola ao ser aproximada do fio condutor pelo qual passa uma corrente elétrica? Qual o agente físico que faz a agulha ser defletida?”.

E algumas das respostas dos estudantes a esses questionamentos iniciais foram:

Aluno 1: *“Ao conectar o fio condutor nos polos da bateria, faz surgir uma corrente elétrica através do fio, o que causou uma distorção no campo ao redor do sistema. Portanto, a bússola foi energizada”.*

Aluno 2: *“Após a conexão do fio com a bateria, surge um campo elétrico no fio condutor que vai interagir com o campo da agulha, desorientando a agulha que antes estava orientada na direção norte-sul geográfica da terra”.*

Aluno 3: *“O campo magnético da bússola que deveria estar orientada na direção norte-sul geográfica da terra foi afetada pelos polos (positivos e negativos) da energia concentrada no fio.*

É interessante dizermos que, até o momento da realização do primeiro encontro, a turma não tinha tido nenhuma aula (dada pelo professor) a respeito das temáticas das radiações eletromagnéticas. E mesmo assim, percebe-se, nas análises das respostas dadas por alguns alunos, uma certa proximidade com as explicações científicas do fenômeno descoberto por Hans C. Oersted.

Por exemplo, na primeira resposta, o aluno 1 afirma que de alguma maneira a passagem da corrente pelo fio condutor causa uma “perturbação”, “uma distorção” no campo (magnético) da agulha. Do mesmo modo que para o aluno 2, a proximidade do campo elétrico estabelecido no fio após a conexão com a bateria, deixa a agulha da bússola desorientada. Logo, de alguma forma, para esse aluno, os dois campos (do fio condutor e da bússola) estão interagindo. Diante disso, a resposta dada pelo aluno 2 se aproximou bastante da explicação do fenômeno dada pela Teoria Eletromagnética. Faltou na fala do aluno apenas a percepção que o que causa a “perturbação” no campo magnético da agulha da bússola é outro campo magnético originado no fio condutor.

Em relação à segunda pergunta apresentada acima, nenhuma das respostas dos estudantes foram satisfatórias.

O terceiro questionamento foi: “por que, na ocasião da inversão dos polos da bateria, a agulha gira no sentido oposto ao primeiro caso observado?”

Aluno 4: *“Quando houve a inversão dos polos da bateria, mudou o sentido de movimento das cargas da corrente no fio, assim repelindo o campo magnético da bússola em relação ao campo magnético no fio.”*

Aluno 5: *“Após a inversão dos polos da pilha, a direção (ou o sentido) da corrente no fio muda.”*

Aluno 6: *“A agulha da bússola sofre a deflexão de acordo onde está localizado o polo positivo do sistema. No momento da inversão, acontece a mudança do sentido da corrente elétrica.”*

As explicações expressas pelos estudantes para essa terceira pergunta giraram em torno da mudança no sentido da corrente no fio, a medida em que se invertia os polos da bateria. Com destaque para a resposta do aluno 4, que apresentou uma resposta de acordo com as explicações da Teoria Eletromagnética. Destacamos que tópicos de eletricidade e magnetismo foram os conteúdos estudados na turma ao longo dos três primeiros bimestres do ano letivo, em que realizamos a aplicação do produto.

8.1.2 Resultados após a aplicação da experiência de Hertz

A primeira indagação feita à turma após a realização da experiência de Heinrich R. Hertz foi a seguinte: “o que faz a lâmpada na antena receptora acender?”. E algumas das respostas dos alunos foram:

Aluno 7: *“O papel alumínio sobre os fios de cobre torna-se receptor de cargas elétricas”.*

Aluno 8: *“O papel alumínio gera, na primeira antena, um campo elétrico entre as antenas acendendo a lâmpada na antena receptora”.*

Aluno 9: *“Porque através do cobre dos fios a energia (a corrente elétrica) passa de uma antena para a outra”.*

As duas primeiras respostas dos alunos (7 e 8) falam em termos da relação do papel alumínio com o fenômeno. O aluno 7 percebeu que o papel alumínio estava fazendo a captação de alguma entidade física, segundo ele, de “carga elétricas” (quando, na verdade, tratava-se de ondas eletromagnéticas). Já para o aluno 8, era o papel alumínio que estava “gerando” um campo elétrico entre as antenas e acendendo a lâmpada na outra antena.

Ao final de todas as perguntas feitas e respostas devidamente registradas, o professor mostrou à turma que, mesmo sem o papel alumínio, o experimento de Hertz ainda funcionava. Ou seja, a lâmpada ainda acendia, embora com um brilho menor. Dessa forma, deixou claro que a função do papel alumínio no experimento era ampliar a emissão e captação das ondas eletromagnéticas. Já para o aluno 9, era o fio de cobre o responsável por “passar” energia de uma antena para outra. Quando na verdade, as ondas eletromagnéticas produzidas e emitidas na primeira antena induz a formação de uma corrente (induzida) na antena receptora. O que é comprovado pelo acendimento da lâmpada (mesmo sem haver nenhuma conexão física entre as antenas).

A segunda pergunta relacionada ao experimento de Hertz, foi: “Por que a lâmpada na segunda antena (antena receptora) acende, praticamente, no mesmo instante em que acontece a centelha na primeira antena (antena emissora)? Por que, praticamente, não há um atraso?”. E algumas das respostas foram:

Aluno 10: *“A corrente passa de uma antena para a outra, principalmente, devido à presença do papel alumínio. A corrente é conduzida instantaneamente de uma antena para outra”.*

Aluno 11: *“Porque o campo elétrico que surge entre duas antenas é muito forte”.*

Aluno 12: *“A velocidade dessa onda eletromagnética é muito grande”.*

As respostas dos alunos a essas questões também foram muito interessantes, pois as respostas selecionadas remeteram a incrível velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar (ou no vácuo, 300 000 km/s). Vale destacar mais uma vez que, até esse momento da aplicação do 1º encontro, esses alunos ainda não tinham assistido aulas sobre ondas eletromagnéticas.

A última pergunta foi: Por que ao colocarmos a mão entre as antenas a lâmpada apaga?

Algumas das respostas dos estudantes foram:

“Ao colocarmos a mão entre as antenas, interrompe (ou diminuiu) o fluxo de energia para antena receptora”.

“Quando se coloca a mão “gera” uma barreira entre as duas antenas, diminuindo as forças das cargas elétricas na segunda antena.”

“A partir do momento que a mão da pessoa está entre as antenas, parte da energia é absorvida pela mão”.

“Ao colocarmos a mão entre as antenas diminuiu a transferência de energia de uma antena para a outra”.

. Ao observar as respostas mencionadas acima, percebemos que os alunos deram boas explicações para o fenômeno observado. De fato, ao colocarmos a mão entre as antenas, quando estiverem funcionando, observamos uma diminuição no brilho da lâmpada na antena receptora. Inclusive, dependendo da distância entre as duas antenas, a lâmpada pode até apagar completamente. Esse fenômeno é explicado pelo fato de que parte das ondas eletromagnéticas emitidas pela antena emissora são absorvidas pelas moléculas de água presentes na pele do indivíduo (de maneira análoga ao que acontece com as moléculas de água presentes em alimentos,

num forno de micro-ondas).

Após a análise da primeira etapa das respostas dos discentes, percebe-se o quanto os alunos se saíram bem na observação do fenômeno e nas tentativas de explicá-lo, mesmo antes do professor trazer as explicações científicas desses fenômenos nas aulas da disciplina. Conclui-se, portanto, que, nesse primeiro momento, esses alunos atuaram como verdadeiros cientistas, no sentido que participaram da montagem e realização dos experimentos juntamente com o professor. Afinal, eles observaram os fenômenos manifestados nesses experimentos e tentaram encontrar explicações lógicas e racionais para os fenômenos apresentados, organizando as novas informações captadas e conhecimentos em sua memória de trabalho, criando modelos mentais para os fenômenos ao realizarem a integração dessas novas informações com os conhecimentos já adquiridos das aulas anteriores de eletricidade e magnetismo.

É importante reforçar também a importância de, no primeiro momento pedagógico, o professor não se importar em corrigir as respostas dadas pelos alunos diante das situações-problemas iniciais estabelecidas, ao contrário, deve-se ouvir todas as respostas (Delizoicov; Angotti, 1994). E explorar, inclusive, posições contrárias, perguntando e solicitando aos alunos que se pronunciem (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018), assim, estimulando a participação de todos. Desse modo, ele pode não só conhecer o pensamento de seus alunos, como também suas principais dificuldades cognitivas.

8.2 Análise das respostas da avaliação inicial:

Agora, analisaremos as respostas dos discentes que participaram dos encontros de aplicação deste produto e que responderam a ambos os questionários avaliativos (avaliação diagnóstica inicial e avaliação final da aprendizagem). Compararemos as respostas dos alunos nos dois instrumentos avaliativos aplicados (quando nos depararmos com perguntas comuns a ambas as avaliações). Com a intenção de não tornar muito complexa a apresentação dos resultados da aplicação desse produto educacional, os gráficos de apresentação dos resultados das perguntas objetivas do questionário inicial foram colocados no apêndice A (ver pág. 126). Iremos comentar agora os resultados destas questões.

Na primeira pergunta do teste inicial, perguntamos aos alunos “o que é uma onda eletromagnética?”. E algumas das respostas foram as seguintes:

Aluno 1: *“É uma onda de rádio”.*

Aluno 2: *“É uma forma de energia que se propaga através do espaço na forma de campos elétricos”.*

Com base nessas respostas, podemos concluir que tais alunos já tinham uma noção inicial do que são as ondas eletromagnéticas. Porém, é importante destacar que a maioria dos estudantes da turma erraram na resposta ou simplesmente “deixaram a questão em branco”.

O gráfico de desempenho das respostas dos alunos, em relação à questão 2 (ver gráfico 12 na pág. 127) mostra que a maior parte da turma, isto é, cerca de 70%, não sabiam que nós, seres humanos, conseguimos enxergar sim uma pequena fração do espectro das ondas eletromagnéticas, denominado de espectro visível.

Em relação à questão 3, na qual perguntamos à turma se as ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas pelo aparelho de celular são prejudiciais à saúde, praticamente toda a turma (93%) erraram a questão. Possivelmente por acreditarem que todas as radiações eletromagnéticas são perigosas, podendo fazer mal à nossa saúde (ver o resultado da questão 3 do questionário inicial na pág. 128 e comparar esse resultado inicial com o desempenho dos alunos na questão 2 do questionário final na pág. 109).

Na questão de número 4, perguntamos aos estudantes se eles conheciam o símbolo internacional que indica a presença de radiação ionizante em determinado local ou objeto, o chamado trifólio. E é interessante que mesmo na etapa da avaliação diagnóstica, sem que ainda tivéssemos abordado esses temas em sala de aula, alguns alunos identificaram o trifólio como sendo:

Aluno 1: *“O símbolo da radiação”.*

Aluno 2: *“O símbolo da radiação ionizante ou de objetos radioativos”.*

Aluno 3: *“Símbolo da radiologia”.*

Isso denota que o referido símbolo é bastante conhecido, visto que é

comumente apresentado nas mais diversas mídias como em filmes de ficção científica.

Na 5ª questão, perguntamos aos alunos se eles já tinham ouvido falar em radiação ionizante. E a maior parte da turma (cerca de 59% dos alunos) responderam que não ou não tinham certeza em relação a isso. Esse resultado é um reflexo do fato que temas como esse são pouco abordados em sala de aula, mesmo fazendo parte do dia a dia dos alunos, como é o caso dos exames médicos que utilizam raios X (como exemplo, citamos a mamografia e a tomografia computadorizada).

Na questão 6, foi perguntado acerca do significado da sigla FPS presente nos rótulos de filtro solares. Aproximadamente 78% da turma já sabia sobre o significado da sigla, contudo, 22% erraram a questão (ver gráfico 15, na pág. 130).

Na pergunta 7, os estudantes foram questionados se eles já tinham ouvido falar em radiação gama ou radiação X. Quase metade da turma já tinham ouvido falar sobre esses tipos de radiações eletromagnéticas (cerca de 41%). Isso pode ser explicado pelo fato que uma parte dos alunos já devem ter sido submetidos aos raios X em hospitais ou em clínicas médicas (ver gráfico 16, na pág. 130).

Na questão 8, questionamos aos alunos se existia risco para a saúde do feto, no caso de uma gestante ser submetida a vários exames radiodiagnósticos num curto período. Um pouco mais da metade da turma (cerca de 52%) responderam que sim (ver gráfico 17, na pág. 131). Isso evidencia que esses discentes já tinham uma noção dos perigos relacionados à exposição a radiações ionizantes, fato corroborado por algumas das respostas desses alunos na questão 9 do questionário inicial (ver pág. 131).

A última pergunta do questionário inicial (questão 9) estava relacionada aos cuidados de proteção radiológicas. Indagamos à turma por que nos exames radiodiagnósticos, os pacientes têm que usar protetores radiológicos (como por exemplo, protetores de tireoide e aventais de chumbo). E algumas das respostas foram as seguintes:

“Porque a radiação não atravessa o chumbo. Já que ser exposto à radiação faz mal para o seu humano”.

“Porque nesses exames há radiação. E a radiação é prejudicial à saúde e

esses protetores dificultam o contato dos pacientes com a radiação”.

“Porque há o uso de radiação nesses exames, o que pode ser prejudicial ao ser humano. Portanto, é preciso usar protetores de radiação para minimizar os riscos de problemas decorrentes da radiação”.

Essas respostas deixam claro que esses alunos já estavam cientes dos possíveis efeitos nocivos à saúde humana decorrentes da exposição a altas doses de radiação. No entanto, eles não fizeram uma distinção entre radiações ionizantes e radiações não ionizantes. Dessa forma, podemos supor que, nesse primeiro encontro, na concepção dos alunos todos os tipos de radiações ofereciam riscos à saúde.

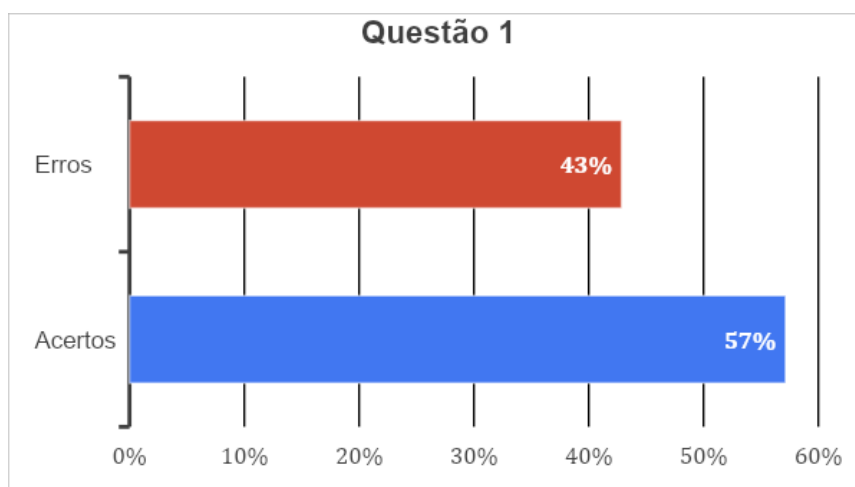
8.3 Análise das respostas da avaliação final da aprendizagem:

O questionário de avaliação final da aprendizagem (ver apêndice G, do produto educacional) foi aplicado no final do 4º bimestre. O que pode ter levado alguns alunos da turma a não levarem muito “a sério” a avaliação aplicada (visto que uma parte da turma já estava aprovada “por média”). Por outro lado, o fato de o questionário final ter sido aplicado no final do ano letivo, pode ter instigado outros estudantes a se esforçarem mais em acertar as perguntas do teste, já que o questionário aplicado foi considerado, pelo professor, como um dos trabalhos avaliativos do referido bimestre.

Dito isto, vamos agora analisar as respostas dada pela turma no questionário final da aprendizagem, inicialmente, olhando para os resultados da questão 1 que perguntava sobre se nós, seres humanos, conseguíamos enxergar alguma faixa de frequência do espectro eletromagnético (questão presente também no questionário inicial). A turma obteve, nessa questão, um total de acertos de 57% contra 43% de erros. A maioria respondeu que “só conseguíamos enxergar uma pequena faixa do espectro eletromagnético denominada de espectro visível”. Essa era a resposta que se encontrava na alternativa **c** da questão (ver o gráfico abaixo).

Ao fazer a comparação desses resultados com as respostas dessa questão na avaliação inicial (ver o gráfico de desempenho da questão 2, pág. 127 e comentários da resposta na pág. 106), percebemos uma melhora muito expressiva no percentual de acertos da turma em relação a essa pergunta. O gráfico de desempenho dessa questão está na próxima página:

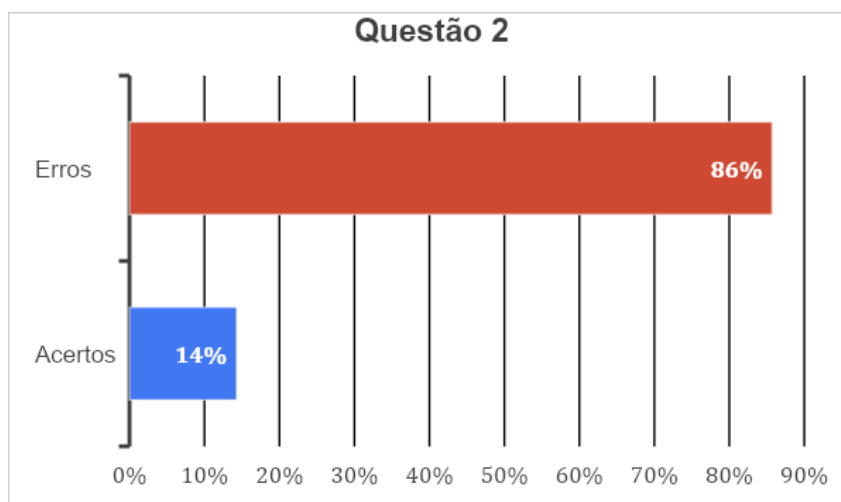
Gráfico 2 – Resultados da questão 1 da avaliação final da aprendizagem



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da questão 2, ilustrados no gráfico abaixo, evidenciam o fato de que a maior parte da turma (cerca de 86%), mesmo depois da aplicação deste produto educacional, ainda acreditava que as radiações eletromagnéticas recebidas e emitidas pelos aparelhos de telefones celulares são prejudiciais à saúde humana (como se essas radiações tivessem caráter ionizante). Outros alunos responderam que “dependia da marca do celular”:

Gráfico 3 – Resultados da questão 2 da avaliação final da aprendizagem

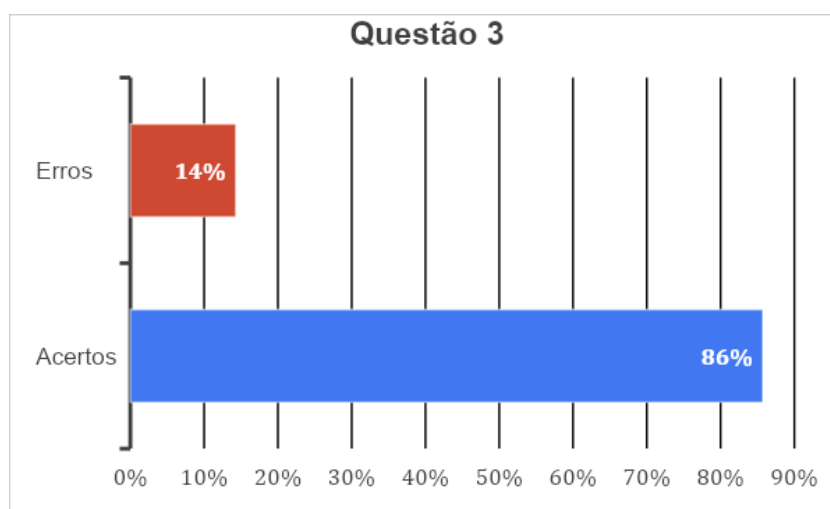


Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nesse resultado e considerando que a maior parte dos alunos erraram a questão, é importante que em uma próxima aplicação deste produto educacional, o professor enfatize que as ondas eletromagnéticas emitidas e captadas pelos aparelhos celulares não são ionizantes. Isso porque as ondas eletromagnéticas utilizadas nas telecomunicações são ondas que possuem baixas faixas de frequências; com frequências entre a radiação em micro-ondas e as ondas de rádio (ver quadro 1, na pág. 48).

Nos resultados das respostas da questão de número 3, podemos constatar que a maioria da turma acertou a questão (86%). Diferentemente, de quando foram indagados a respeito dessa mesma questão no questionário inicial, em que apenas 78% acertaram a questão contra 22% de erros (antes da aula sobre radiações ultravioleta e da exibição do vídeo animado sobre esse assunto, conforme o gráfico 15, pág. 130). Logo, percebemos uma melhoria no percentual de acertos em relação a essa questão após a aplicação do produto. O resultado exibido no gráfico 4 indica que houve uma aprendizagem considerável por parte da turma acerca desse conceito (vale destacar que, além de explicado durante a aula expositiva, o significado dessa sigla foi exibido também na exposição do 3º vídeo educacional animado, facilitando a assimilação desse conhecimento por parte dos estudantes).

Gráfico 4 – Resultados da questão 3 da avaliação final da aprendizagem



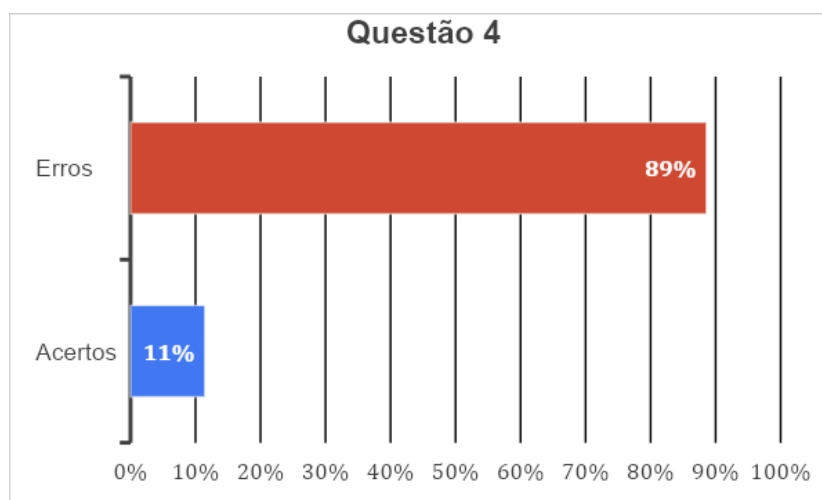
Fonte: elaborado pelo autor.

Um total de 86% dos alunos respondeu que “a sigla FPS significa fator de proteção solar e que quanto maior for o FPS de um filtro solar, maior também será o tempo que o indivíduo poderá ficar sendo exposto às radiações emitidas pelo Sol”.

As questões de números 4 a 7 da avaliação final são questões de edições passadas do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio, principal exame avaliativo do país para última etapa da educação básica) relacionadas a temática da FMC. Além de avaliar a aprendizagem dos discentes participantes dos encontros, estas questões serviram para mostrar aos mesmos que temas como esse (assim como demais temáticas da FMC) podem vir a ser também cobrados no ENEM.

Na questão de número 4 (questão de física do ENEM 2009), pergunta-se sobre a interação da radiação (na faixa dos raios X) com os átomos de um paciente. E, como podemos observar no gráfico 5, um percentual de quase 90% da turma errou essa questão. Esse dado evidencia o fato que a maioria dos alunos não compreenderam que, no momento da interação dos raios X com uma parte do corpo de um paciente, em um exame radiodiagnóstico, por exemplo, os átomos de cálcio dos ossos do indivíduo absorvem mais radiação do que outros tipos de átomos (como os átomos de carbono de tecidos de órgãos do paciente). Essa interação produz uma “sombra esbranquiçada” no filme que fica dentro de um chassi e por trás da parte radiografada quando revelado, permitindo a visualização do formato dos ossos do indivíduo. O gráfico abaixo apresenta os resultados da questão 4:

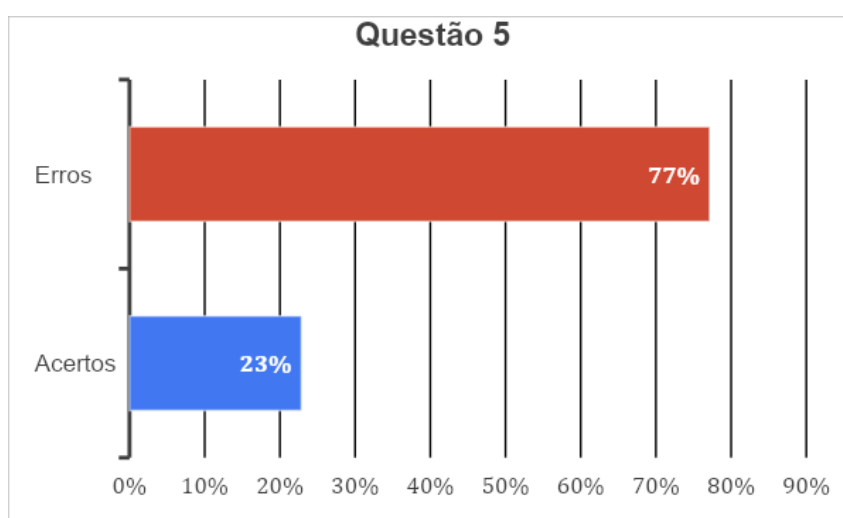
Gráfico 5: – Resultados da questão 4 da avaliação final da aprendizagem.



Fonte: elaborado pelo autor.

A questão de número 5 (questão de física do ENEM 2012) trata da diferença entre material radioativo e material irradiado. O resultado das respostas à essa questão demonstra que a maioria dos alunos (quase 80%) não compreenderam que quando um material é submetido a radiações ionizantes (por exemplo, radiação na faixa de frequência dos raios X) este não se torna radioativo simplesmente pelo fato de ter sido irradiado.

Gráfico 6 – Resultados da questão 5 da avaliação final da aprendizagem.

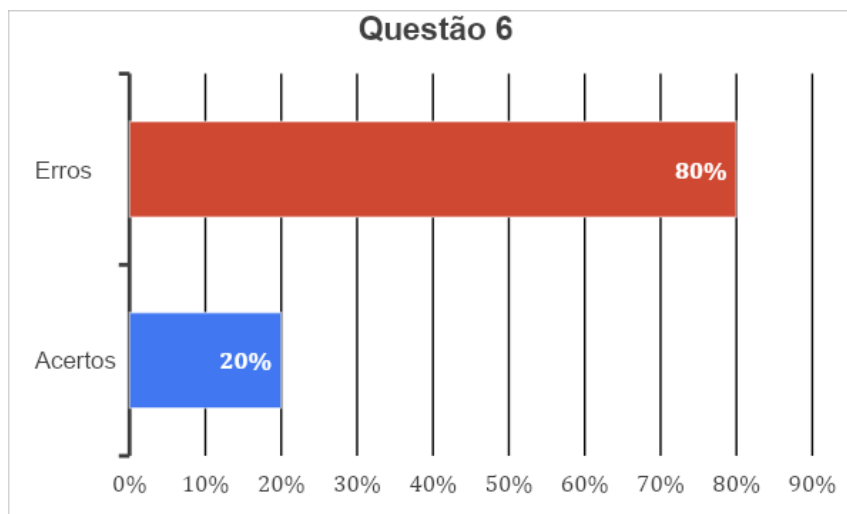


Fonte: elaborado pelo autor.

Na questão 6 (questão de física do ENEM 2015), apenas 20% dos alunos acertaram, enquanto 80% erraram. Esse resultado negativo demonstra a dificuldade da maioria dos alunos em realizar os cálculos envolvendo a grandeza física comprimento de onda, mesmo esse conceito sendo apresentado, geralmente, no 2º ano do EM nas aulas sobre ondulatória (assim como os conceitos de frequência e velocidade de propagação das ondas).

Muitas vezes, dificuldades em realizar cálculos básicos em física por parte dos discentes é um problema corriqueiro na grande maioria das escolas brasileiras. Problema esse que precisa ser discutido e enfrentado pelos profissionais da educação brasileira, principalmente, os profissionais das áreas de Ciências da Natureza e Matemática.

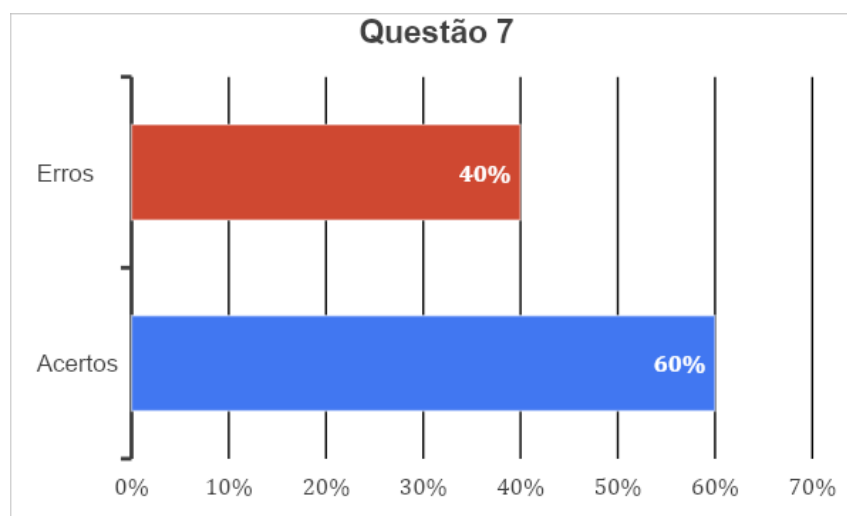
Gráfico 7 – Resultados da questão 6 da avaliação final da aprendizagem



Fonte: elaborado pelo autor.

A questão 7 (questão de física do ENEM 2020) refere-se à energia nuclear e ao processo de fissão nuclear. O percentual de acerto da turma nessa pergunta foi de 60% de acertos contra 40% de respostas erradas. Desse modo, podemos concluir que mais da metade da turma aprendeu esses conceitos relacionados à física nuclear (ver o gráfico abaixo):

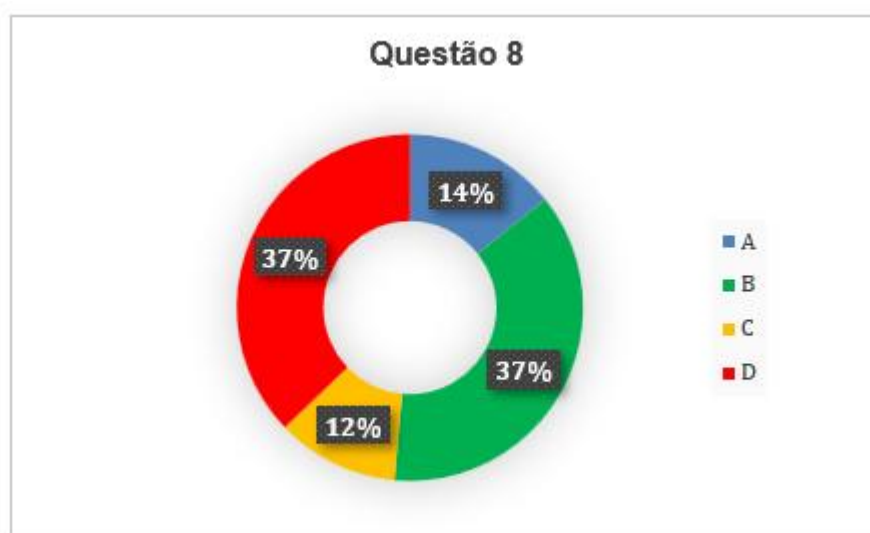
Gráfico 8 – Resultados da questão 7 da avaliação final da aprendizagem



Fonte: elaborado pelo autor.

As questões de 8 a 10 são relacionadas a satisfação pessoal dos alunos no tocante a aplicação deste produto educacional (perguntas aplicadas utilizando a plataforma Plickers). Na questão 8, foi perguntado aos discentes da turma quais dos tipos de aulas eles preferiam. E a maioria respondeu (cerca de 74%, somando as alternativas **b** e **d**) que preferiam aulas experimentais, com experiências realizadas em sala de aula ou no laboratório de ciências da escola e com recursos de multimídias, como animações educacionais, vídeos explicativos, simuladores computacionais etc., possibilitando uma melhor compreensão dos conceitos e fenômenos estudados em sala de aula.

Gráfico 9 – Resultados da questão 8 – Teste de satisfação

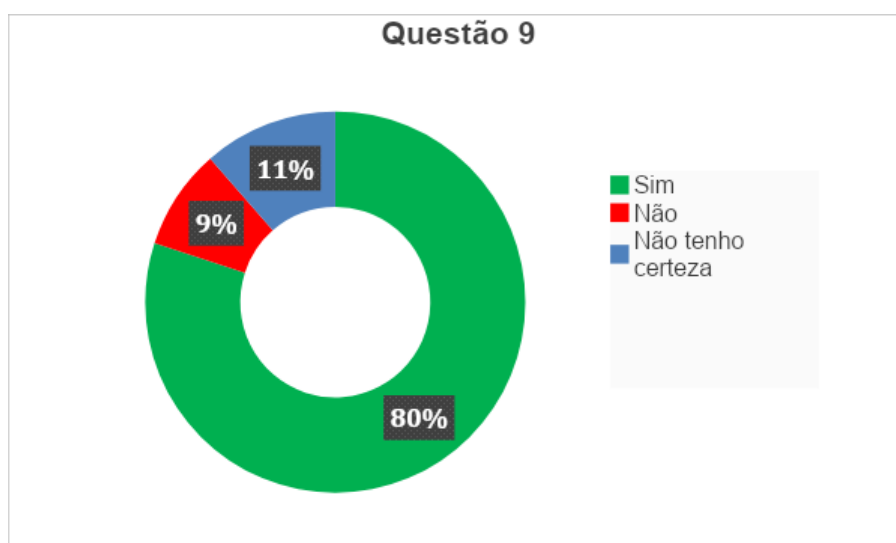


Fonte: elaborado pelo autor.

Apenas 12% responderam que preferem aulas apenas com animações educacionais, vídeos explicativos e simuladores computacionais; e 14% disseram que têm preferência pelas aulas tradicionais, com predominância do uso do quadro branco e livros didáticos.

Na questão 9, foi perguntado aos alunos se eles consideravam que a compreensão dos conteúdos abordados durante as aulas foi facilitada pela exibição dos vídeos animados. E a grande maioria dos alunos (cerca de 80% da turma) responderam que sim. O que, de acordo com a nossa visão, justifica o uso de animações educacionais nas salas de aulas e nos ambientes virtuais de aprendizagem para facilitar a compreensão dos conteúdos.

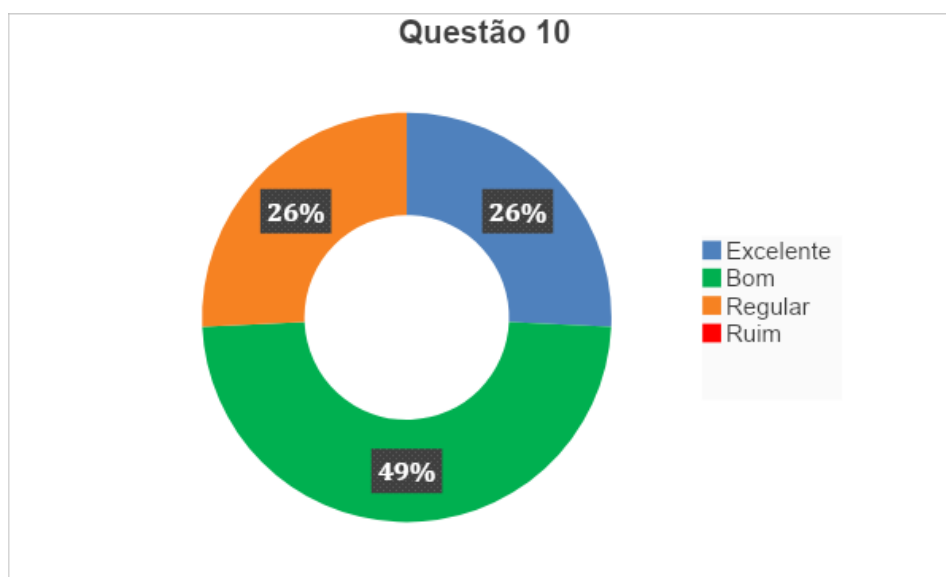
Gráfico 10 – Resultados da questão 9 – Teste de satisfação



Fonte: elaborado pelo autor.

Na última questão, perguntamos aos alunos como eles classificariam os seus respectivos graus de satisfação em relação a aplicação e a qualidade do nosso produto educacional. E aproximadamente 75% da turma (somando os percentuais de respostas **a** e **b**) classificou o produto como bom ou excelente, o que consideramos como um resultado muito positivo dado o elevado percentual de alunos satisfeitos com a aplicação deste produto educacional.

Gráfico 11 – Resultados da questão 10 – Teste de satisfação



Fonte: elaborado pelo autor.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, queremos avisar aos futuros professores leitores deste trabalho interessados também em produzir vídeos educacionais animados que deixamos algumas dicas e orientações no arquivo do nosso produto educacional sobre fontes de estudos e inspirações, como livros e canais do YouTube sobre animações (ver apêndice B, a partir da pág. 132).

Ademais, enfatizamos que, ao longo do processo de produção dos vídeos, vocês encontrarão dificuldades devido à falta de habilidades no início dos manuseios dos softwares, desconhecimento de certas técnicas de desenho e animação, ansiedade e, às vezes, possíveis bloqueios criativos.

Entretanto, se por acaso vocês não desistirem do processo, estarão diante de uma promissora ferramenta pedagógica que lhes permitirá abordar qualquer conteúdo (até mesmo os mais complexos) de uma maneira mais leve, dinâmica, lúdica e que prende a atenção dos alunos (claro, a depender das habilidades e criatividade do professor, em relação aos softwares utilizados e ao processo de produção). Se possível, recomendamos que tomem como ponto de partida os experimentos clássicos da teoria em questão, para que, ao longo das próximas aulas, possam ir introduzindo temas mais complexos, fazendo uso de apresentações multimídia (como os vídeos educacionais animados). Assim, prendendo o interesse e facilitando a aprendizagem da turma.

São diversos os objetos de conhecimento que podem vir a ser abordados pelo professor a partir da aplicação de um produto educacional como o nosso e que tenha uma temática tão rica, como são os tópicos da FMC, a fim de permitir, inclusive, integrações com outras disciplinas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Isso porque os temas relacionados à FMC, como a temática das radiações ionizantes, podem servir como assuntos-pontes ao estabelecer conexões com diversos outros conteúdos.

Para finalizar nossa discussão, vale lembrar que, nos próprios documentos que regem a educação nacional, há o anseio por um ensino de física mais contextualizado e mais próximo da realidade dos estudantes. De modo que, esse ensino proporcione a esses alunos o encontro de significados nos objetos de

conhecimento estudados em sala de aula. Quando refletimos sobre os resultados promissores e satisfatórios obtidos na aplicação desse produto educacional, acreditamos que um produto educacional como o nosso tem o potencial de tornar a aprendizagem dos alunos de determinada temática facilitada (mesmo quando tratando-se de temas por vezes complexos, como são os tópicos de FMC).

Destacamos ainda que, por termos optado por aplicar apenas questões objetivas de múltipla escolha na avaliação final, deixamos também de considerar a aprendizagem dos alunos com base em outros aspectos avaliativos. A exemplo, poderíamos ter aplicado também uma avaliação oral, como fizemos com os questionamentos levantados pelo professor na problematização inicial. Contudo, uma das razões da escolha do método avaliativo aplicado, foi a apresentação de todos os resultados finais em gráficos de desempenho.

Talvez, se tivéssemos aplicado também um questionário oral aos estudantes ou realizado rodas de discussões com os alunos (como sugerido no quadro da sequência didática deste trabalho, na pág. 83), fazendo um paralelo entre respostas escritas e orais, tivéssemos obtidos resultados ainda melhores no que se refere a aprendizagem da turma. Devido à proximidade do término do ano letivo, em razão de termos aplicado a avaliação final da aprendizagem no final do último bimestre (como comentamos na pág. 108, do capítulo de resultados), não tivemos mais tempo com a turma.

Por fim, acreditamos que o principal objetivo deste trabalho foi alcançado, visto que a maior parte dos estudantes da turma participante do nosso produto afirmaram que tiveram a aprendizagem dos conceitos abordados durante as aulas facilitada pela exibição dos vídeos educacionais. Além disso, a maioria dos estudantes da turma mostraram-se satisfeitos quanto à aplicação do produto educacional, já que classificaram o produto como bom e excelente, na pesquisa de satisfação pessoal aplicada no último encontro.

Diante disso, acreditamos que o motion graphics pode vir a ser utilizado pelo professor sempre que esse se deparar com conteúdos e temáticas de difíceis abordagens, devido à complexidade matemática envolvida ou as dificuldades na realização de experiências relacionadas aos assuntos. O motion design é um ótimo recurso quando se quer apresentar um tema de forma mais leve e objetiva. Não é à

toa que é amplamente utilizado pelos canais de TV e na internet para produção de vídeos explicativos, relativamente curtos.

Conclui-se, portanto, que o nosso produto educacional possui relevante potencial pedagógico. Assim, é mais uma das muitas abordagens didáticas que o professor pode realizar na sua prática, enquanto docente da educação básica. Destacamos também o caráter inovador do nosso trabalho, visto que, até o momento da aplicação do nosso produto, ainda não havia pesquisas produzidas relacionando ensino de física e motion graphics. Com isso, esperamos que esse trabalho possa servir de inspiração para as pesquisas vindouras na área de animação e ensino de física.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Elidiany Andreia de Oliveira do. **Animação em motion graphics para prevenção do Bullying em escolas brasileiras**. Monografia (curso de Tecnologia em Design Gráfico). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p. 95. 2018.

ANSELMO, Jeovani Cleiton; BORGES, Jacques Cousteau da Silva. **O (não) ensino de radiações ionizantes: concepções sobre o uso, geração e proteção radiológica**. TCC (Licenciatura Plena em Física). Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p.16. 2016.

ARRUDA, Walter Oleschko. Wilhelm Corand Röntgen: 100 anos da descoberta dos raios X. v. 54, n. 3, p. 523-531. São Paulo: **Arq Neuropsiquiatr**, 1996.

BASSOLI, Fernanda. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/Mt8mZzjQcXTtK6bxR9Sw4Zg/?lang=pt>. Acesso em: 18 mai. 2024.

BONJORNIO, José Roberto *et al.* **Física: eletromagnetismo, física moderna**. São Paulo: FTD, 2016.

BORGES, Jacques Cousteau da Silva; ROCHA, Ingrid Ribeiro da. Análise e reflexões sobre a formação docente e o ensino de física experimental no Rio Grande do Norte. **Holos**, Natal, vol. 3, p. 159-171, 2012. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/323>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei n. 9394 de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/572694/Lei_diretrizes_bases_4ed.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 jan. 2024.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio.** Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+).** Ciências da natureza e matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas - (SEI). **O uno e o diverso na educação.** cap. 18, p. 253-266. Uberlândia: MG: EDUFU, 2011.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de *et al.* O ensino e a proposição de sequências de ensino investigativas. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula.** cap. 1. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

DAWKINS, Richard. **Desvendando o arco-íris: Ciência, ilusão e encantamento.** 1ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Metodologia do Ensino de Ciências.** São Paulo: Cortez editora, 1994.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências fundamentos e métodos.** 5ª ed. São Paulo: Cortez editora, 2018.

DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência e educação**, vol. 10, n. 3, p. 517-530, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/QcVb9BJk6C4RycyBbLLy3d/?format=pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

ECDD. O que é animação? CONHEÇA ESSA ÁREA DA PRODUÇÃO MULTIMÍDIA. Tudo sobre o que é animação: origem, história, evolução e carreiras da área. Disponível em: <https://ecdd.blog/guia-o-que-e-animacao/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EISBERG, Robert Martin; RESNICK, Robert. **Física quântica.** 9ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

ESTEVES, Lucas. Ideia clara, 2024. Motion graphics. Disponível em:

<https://ideiaclara.com/motion-graphics-um-pouco-sobre-o-design-em-movimento/>.

Acesso em: 12 jan. 2024.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de física de Feynman [recurso eletrônico]**: edição definitiva. Vol. 2. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 87^a ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2023.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 58^a ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

GARCIA, Eduardo A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 2002.

GIACOMINI, Alexandre; MUENCHEN, Cristiane. Os três momentos pedagógicos como organizadores de um processo formativo: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, Vol. 15, n. 2. p. 339-355, novembro, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4317>. Acesso em: 14 maio 2024.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Vol. 3. 8^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Vol. 4. 8^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LOCH, Juliana; GARCIA, Nilson Marcos Dias. Física moderna e contemporânea na sala de aula do ensino médio. **VII Enepec**, Florianópolis, novembro, 2009.

MARTINS, Roberto de Andrade. Orsted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, vol.10, p. 89-114, 1986. Disponível em: <https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/1226>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MAYER, Richard E. **Multimedia Learning**. 2^a ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MONTEIRO, Sueli Aparecida Itman *et al.* **Educações na contemporaneidade: reflexão e pesquisa**. 1.ed. São Carlos: Pedro & João Editores, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise crítica do ensino de Física. v. 32, n. 94, p. 73-80, São Paulo: **Estudos Avançados**, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLWqQNsfWPqr6hjzyLQzs/>. Acesso em: 25 dez. 23

MOREIRA, Marco Antonio; PINTO, Adriano de Oliveira. Dificuldades dos Alunos na Aprendizagem da Lei de Ampère, à luz da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. **Revista brasileira de ensino de física**, vol. 25, n.3, p. 317-325, setembro, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rgb99D4rtLgnHM99JrXZWFH/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias da aprendizagem**. São: Editora EPU, 1999.

MUENCHEN, Cristiane. **A disseminação dos três momentos pedagógicos: um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/RS**. 2010. 273f. Tese (Doutorado) – Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

NETO, Itamar Bezerra da Nóbrega. **Radiação ultravioleta no ensino de física: uma abordagem didática investigativa**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Escola de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 140. 2023.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física 3: eletromagnetismo**. Vol. 3. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. v. 27, n. 77, p. 185-200, São Paulo: **Estudos Avançados**, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/xzD9Dgv8GPFtHkxkfbQsn4f/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê Luiz; CHOW, Cecil. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, pg. 447-454, dezembro, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rh5x6dG35fJrV87r99L5PmK/>. Acesso em: 10 jan.

2024.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, março, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 10 jan. 2024.

PENTEADO, Paulo Cesar M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física – ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2005.

PINTO, Luiz F. Gomes. Teorias de aprendizagem aplicadas ao e-learning: uma abordagem da teoria cognitiva de aprendizagem multimídia. **Anais do CIET EnPED 2020 - (Congresso Internacional de Educação e Tecnologias | Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância)**, São Carlos, p. 1-6, agosto, 2020. Disponível em: <https://cietenped.ufscar.br/submissao/index.php/2020/article/view/1867>. Acesso em: 10 jan. 2024.

PIRES, Antônio S. T. **Evolução das ideias da física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

POLITO, Antony M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

REIS, Diogo Myrrha. **Ensino de física e os três momentos pedagógicos: a física nuclear na educação de jovens e adultos**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, p. 179. 2021.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. 1ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

SHANASA, Dhyan. **Manual de sobrevivência para motion designers**. São Paulo: Layer Lemonade, 2020.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV: ótica e física moderna**. Vol.4 14ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. Jr. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo**. Vol. 3. São Paulo: Cengage, 2017.

SILVA, Ana Paula Bispo da; OLIVEIRA, Rilavia Almeida de. Herschel e os raios invisíveis de calor: experimentos históricos e as tecnologias atuais. **III Conferencia latinoamericana del International, History and Philosophy of Science Teaching Group IHPST-LA**, Santiago, p. 267-276, novembro, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308120713_Herschel_and_the_invisible_rays_of_heat_historical_experiments_and_the_new_technologies. Acesso em: 09 jun. 2024.

SOARES, Flávio Augusto Penna. **Produção de raios X em ampolas radiográficas: estudo do tomógrafo computadorizado do Hospital Regional de São José/SC**. Tese (Doutorado em Física Experimental) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 102. 2006.

VASCONCELOS, Adaylson W. Souza de; VASCONCELOS, Thamires N. Souza de *et al.* **Educação e Tecnologias: experiências, desafios e perspectivas**. Vol.4. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

WATANABE, Giselle *et al.* **Educação científica freireana na escola**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2019.

APÊNDICE A - Resultados das questões do questionário inicial (avaliação diagnóstica):

1. O que é uma onda eletromagnética?

Aluno 1: “– É uma onda de rádio.”

Aluno 2: “– É uma forma de energia que se propaga através do espaço na forma de campos elétricos.”¹⁸

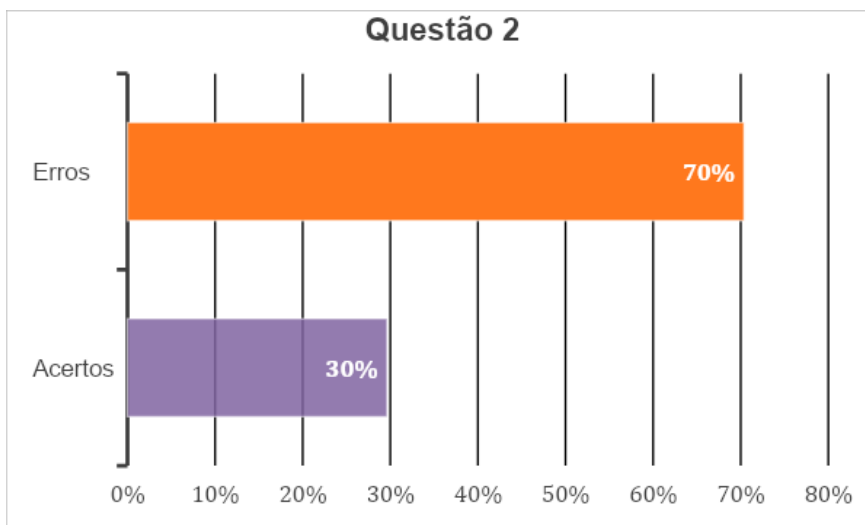
2. Nós, seres humanos, conseguimos enxergar alguma faixa de frequência do espectro eletromagnético? Se sim, qual (ou quais) onda(s) eletromagnética(s) conseguimos enxergar?

- a) Ondas de rádio, luz visível, raios X e raios gama.
- b) Micro-ondas, infravermelho, radiações ultravioletas e ondas mecânicas.
- c) Só conseguimos enxergar uma pequena faixa do espectro eletromagnético denominada de espectro visível.¹⁹
- d) Não conseguimos enxergar nenhuma das radiações eletromagnéticas.

¹⁸ Algumas das respostas da questão 1 dadas pelos alunos da turma.

¹⁹ As alternativas destacadas em vermelho são as respostas corretas das suas respectivas perguntas.

Gráfico 12: Resultados da questão 2 – Questionário inicial

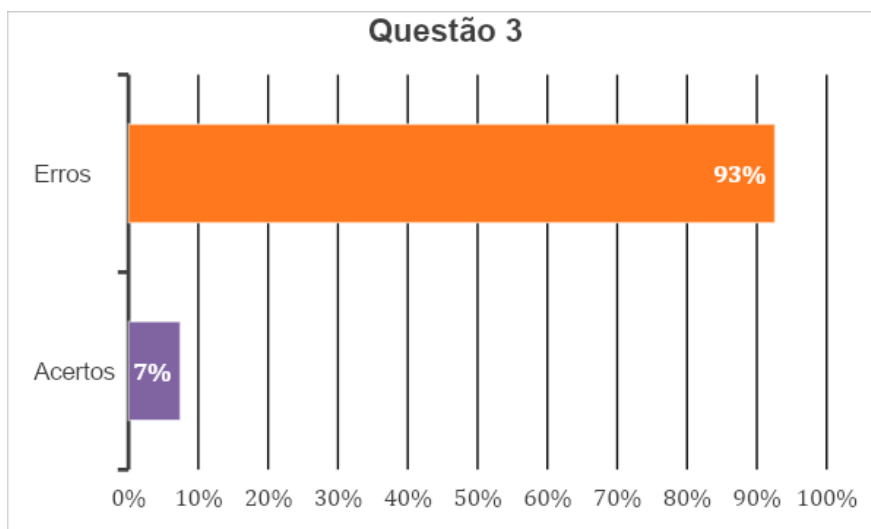


Fonte: elaborado pelo autor.

3. As ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas pelo aparelho de celular são prejudiciais à saúde humana?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.
- d) Depende da marca do aparelho celular.

Gráfico 13: Resultados da questão 3 – Questionário inicial



Fonte: elaborado pelo autor.

4. Você conhece este símbolo ao lado? Se sim, explique o significado desta imagem.

Alguns alunos identificaram o trifólio como sendo:

Aluno 1: “– O símbolo da radiação.”

Aluno 2: “– O símbolo da radiação ionizante ou de objetos radioativos.”

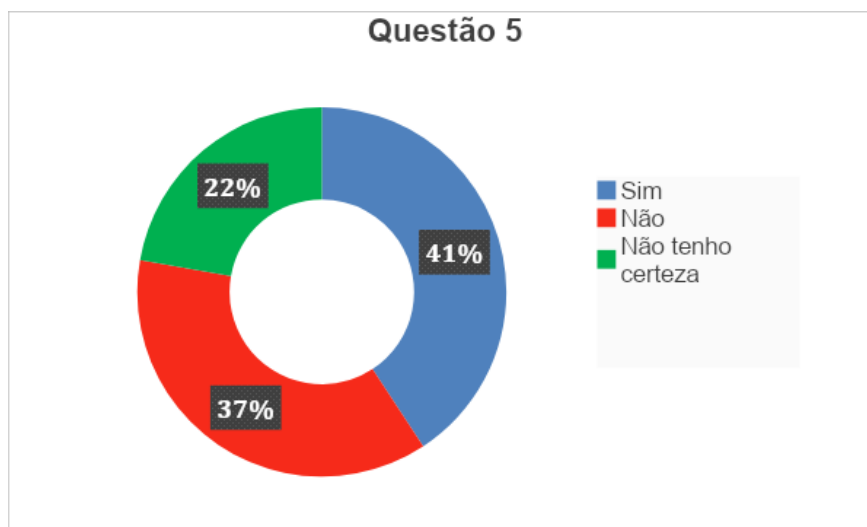
Aluno 3: “– símbolo da radiologia.”



5. Você já ouviu falar em radiação ionizante?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

Gráfico 14: resultados da questão 5 – Questionário inicial.

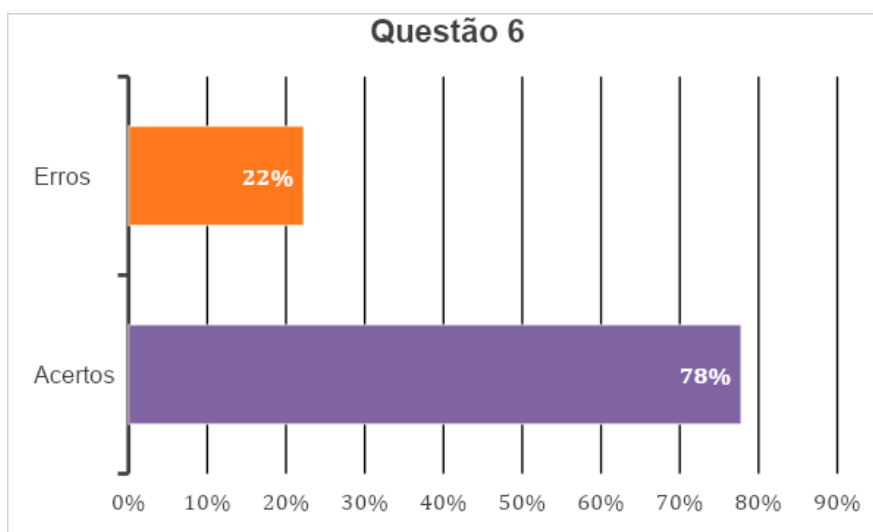


Fonte: elaborado pelo autor.

6. O que significa a sigla FPS (que aparece nos recipientes de filtro solares)? E por que devemos utilizar um protetor solar com um FPS considerável?

- a) A sigla FPS significa frequência da potência solar média e deve-se utilizar um filtro solar com FPS relevante porque o Sol emite apenas radiações não-ionizantes.
- b) A sigla FPS significa fator de proteção solar e quanto maior for o FPS de um filtro solar, maior também será o tempo que o indivíduo poderá ficar sendo exposto às radiações emitidas pelo Sol.**
- c) FPS significa frequência prejudicial de Solstício e deve-se usar protetores solares com um alto FPS para amenizar essa frequência de radiação prejudicial da estrela.
- d) FPS significa força prejudicial do Sol e em hipótese nenhuma devemos utilizar um protetor solar de FPS maior do que 30.

Gráfico 15: resultados da questão 6 – Questionário inicial

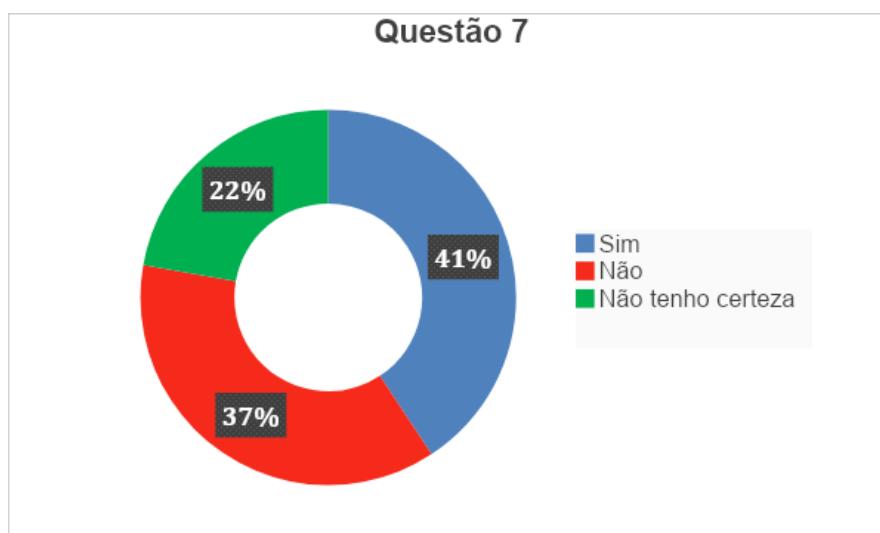


Fonte: elaborado pelo autor.

7. Você já ouviu falar em radiação gama ou radiação X?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

Gráfico 16: resultados da questão 7 – Questionário inicial.

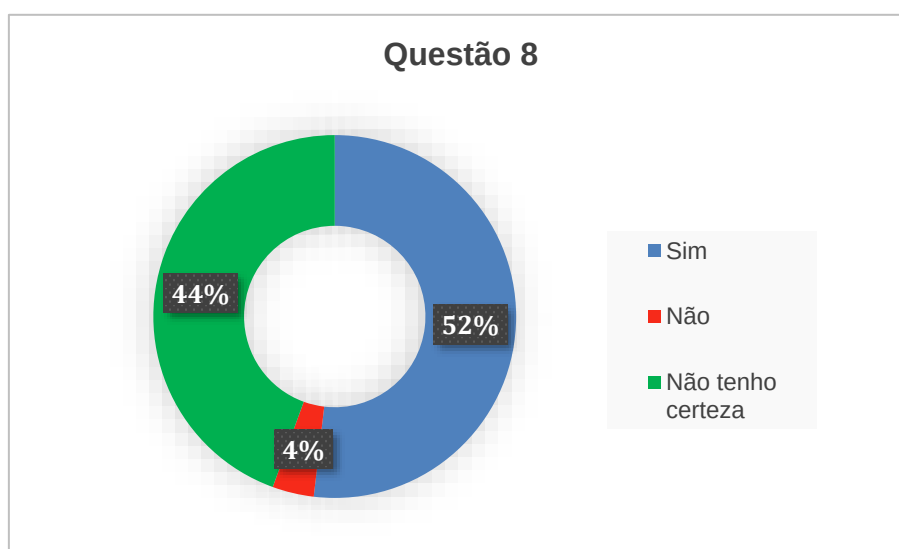


Fonte: elaborado pelo autor.

8. Existe risco para a saúde do feto, no caso de uma gestante ser submetida a vários exames radiodiagnósticos num curto período?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

Gráfico 17: resultados da questão 8 – Questionário inicial.



Fonte: elaborado pelo autor.

9. Por que nos exames radiodiagnósticos, os pacientes têm que usar protetores radiológicos (como por exemplo, protetores de tireoide e aventais de chumbo)?

Algumas das respostas dos alunos foram as seguintes:

“– Porque nesses exames há radiação. E a radiação é prejudicial à saúde e esses protetores dificultam o contato dos pacientes com a radiação.”

“– Porque há o uso de radiação nesses exames, o que pode ser prejudicial ao ser humano. Portanto, é preciso usar protetores de radiação para minimizar os riscos de problemas decorrentes da radiação.”

APÊNDICE B – Produto Educacional

Este apêndice contém o texto referente ao nosso produto educacional, na íntegra. De forma que ele se faz suficiente para um professor que tenha o interesse em utilizar esta proposta didática. O texto do produto inicia na próxima página. Com a leitura deste apêndice, o professor conhecerá o nosso produto educacional e sua proposta de aplicação.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS NATAL – CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 10

Jeovani Cleiton Anselmo

Produto Educacional

**Experimentos clássicos e animações educacionais para o
ensino das radiações ionizantes na educação básica**

Natal/RN
2024

Jeovani Cleiton Anselmo

Experimentos clássicos e animações educacionais para o ensino das radiações ionizantes na educação básica

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Experimentos clássicos e animações educacionais para o ensino das radiações ionizantes na educação básica, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 10 – IFRN / Nordeste-RN, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto

NATAL/RN
2024

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero agradecer aos meus familiares, em especial minha querida mãe, a sr^a. Maria Solange Guedes da Silva, que sempre devotou muito amor e cuidado tanto para comigo, quanto para o meu irmão e sempre fez questão que nós tivéssemos uma boa educação. Obrigado pela vida, dona Solange!

Quero agradecer à minha noiva Lais Leticia da Silva Neves (*in memoriam*), que sempre acreditou em mim (mesmo quando nem eu acreditava) e nunca permitiu que eu desistisse. Amor, você sempre foi o meu baluarte, a minha rocha, o meu porto seguro.

Deixo aqui também registrado a minha gratidão aos meus colegas de curso, em especial aos colegas do PET da graduação, por todo o apoio e carinho que me deram ao longo dessa jornada trabalhosa e muito gratificante que foi a licenciatura em física. Vocês sempre serviram de inspiração para mim.

Não poderia deixar de agradecer também à professora Ingrid Isabel Santos Pereira pelas correções ortográficas desta dissertação. Obrigado, Isabel.

Agradeço aos meus professores da graduação e do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), do IFRN Campus Natal Central, polo 10, na pessoa do coordenador Dr. Edemerson Solano Batista de Moraes, por todo conhecimento compartilhado ao longo desses anos. Com destaque para o meu orientador, o prof. Dr. Calistrato Soares da Câmara Neto, por toda paciência, compreensão e importantes ensinamentos partilhados. Muito obrigado, professor.

Quero aqui agradecer também aos professores avaliadores deste trabalho; em especial ao prof. Dr. Paulo Cavalcante da Silva Filho (*in memoriam*) que, infelizmente, veio a falecer antes da entrega da versão final deste trabalho. Prof. Paulo, tenho orgulho de ter sido seu aluno durante a graduação, e me sinto honrado por ter tido o senhor como um dos examinadores da minha dissertação. Todos que tiveram o prazer de lhe conhecer, sabem que o senhor foi um gigante não só em estatura, mas principalmente de coração.

Agradeço também a Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela criação e

fomento, desse tão necessário programa de pós-graduação em ensino de física. Programa esse que permite a simples professores de física como eu, a possibilidade de poder contribuir com o ensino desta tão importante e linda disciplina que é a física.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ícone do Photoshop	11
Figura 2 – Breve storyboard do vídeo 2	12
Figura 3 – ícone do Illustrator	13
Figura 4 – Vetor x bitmap	14
Figura 5 – Área de trabalho do Illustrator utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa	15
Figura 6 – Ícone do After Effects	15
Figura 7 – Área de trabalho do After Effects utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa	16
Figura 8 – Áudio do vídeo 4 sendo editado no Adobe Audition	17
Figura 9 – Vídeo 4 sendo renderizado no Adobe Media Encoder	18
Figura 10 – Experiência de Orsted	23
Figura 11 – Experiência de Hertz	25
Figura 12 – Experiência de Hertz em funcionamento	26
Figura 13 – Espectro eletromagnético	28
Figura 14 – Avaliação da aprendizagem sendo editada na plataforma Plickers	32
Figura 15 – Exemplo de um cartão Plickers	33
Figura 16 – Leitura das respostas dos alunos através do aplicativo móvel Plickers instalado no celular	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos de sistema mínimos e recomendados para utilização do software After Effects	10
Quadro 2 – Sequência didática	19

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
2	OS SOFTWARES	09
2.1	O Photoshop	11
2.2	O Illustrator	13
2.3	O After Effects	15
3	A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	19
4	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	21
4.1	Problematização inicial	21
4.1.1	Experimentos clássicos do eletromagnético	22
4.1.1.1	Experiência de Oersted	22
4.1.1.2	Experiência de Hertz	24
4.2	Organização do conhecimento	27
4.3	Aplicação do conhecimento	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE A – ROTEIRO DO VÍDEO 1: O QUE É UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA?	37
	APÊNDICE B – ROTEIRO DO VÍDEO 2: O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	39
	APÊNDICE C – ROTEIRO DO VÍDEO 3: RADIAÇÕES ULTRAVIOLETA (UVS)	41
	APÊNDICE D – ROTEIRO DO VÍDEO 4: OS RAIOS X	43
	APÊNDICE E – ROTEIRO DO VÍDEO 5: RADIAÇÃO GAMA	45
	APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO INICIAL	47
	APÊNDICE G – AVALIAÇÃO FINAL DA APRENDIZAGEM	49

1. INTRODUÇÃO

As chamadas radiações ionizantes estão amplamente presentes no cotidiano do aluno, desde o momento em que ele passa a ser submetido a um exame radiodiagnóstico em uma clínica até a uma exposição ao Sol na praia. Porém, muitos desses alunos concluem a educação básica sem nunca terem ouvido falar de temas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) como esse. E, quando esses conceitos são abordados na sala de aula, muitas vezes, são discutidos superficialmente, geralmente fazendo uso apenas do livro didático.

Daí decorre a importância de um trabalho como o nosso. A nossa proposta é que, em se tratando de temas de difícil abordagem devido a fatores como: a matemática envolvida e/ou dificuldades em se realizar atividades experimentais relacionadas (como alguns temas de FMC), o professor apresente esses assuntos junto às turmas fazendo uso de vídeos explicativos (usando motion graphics) como recurso didático.

Portanto, o nosso produto educacional consiste na aplicação de alguns experimentos clássicos do eletromagnetismo e na produção (e posterior aplicação) de vídeos animados para promover a aprendizagem de conceitos relacionados às ondas eletromagnéticas, mais especificamente, a física das radiações ionizantes. Os vídeos explicativos foram desenvolvidos usando alguns softwares da Adobe, como: o Photoshop, o Illustrator e o After Effects.

Utilizaremos esses programas por serem alguns dos softwares mais populares da indústria do Design Gráfico. E, pela gigantesca quantidade de ferramentas e recursos nativos que esses programas disponibilizam aos usuários, permitindo diversas possibilidades criativas. Criatividade essa que pode ser empregada na criação de imagens, infográficos e animações educacionais. Diante disso, recomendamos o uso deste produto educacional como mais um dos muitos recursos didáticos que podem vir a ser utilizados pelo professor no ensino de física no ensino médio.

2. OS SOFTWARES

Os softwares (ou programas) usados no presente trabalho podem ser obtidos através de uma assinatura da Adobe Creative Cloud (conjunto de aplicativos e serviços da Adobe). Inclusive, a empresa oferece desconto na assinatura para estudantes e professores.

Nas próximas seções, serão feitas breves apresentações dos softwares utilizados nas sínteses dos vídeos educacionais, produzidos neste trabalho. Logo, caso o leitor não tenha interesse em conhecer os programas e em produzir seus próprios vídeos animados, pode continuar a leitura do texto a partir da pág. 19, já que o desconhecimento destes programas não interfere na aplicação deste produto educacional.

As especificações técnicas mínimas (denominadas também de requisitos de sistema) para uma boa execução destes programas, como o After Effects, em computadores com sistema operacional Windows, por exemplo, estão contidas no quadro 1, na próxima página:

Quadro 1 - Requisitos de sistema mínimos e recomendados para utilização do software After Effects (para sistema operacional Windows)¹

	Mínimo	Recomendado
Processador	- CPU Intel® de 6ª geração ou mais recente – ou CPU AMD Ryzen™ 1000 Series ou mais recente - Compatibilidade com Advanced Vector Extensions 2 (AVX2) necessária  Observação: Não é possível instalar as versões 24.0 em processadores Intel® de 3ª geração ou mais antigos (nem em processadores AMD mais antigos).	CPU Intel® de 11ª geração ou mais recente com Quick Sync ou AMD Ryzen™ série 3000/Threadripper série 2000 ou mais recente
Sistema operacional	Windows 10 (64 bits) versão 20H2 ou posterior	Windows 10 (64 bits) versão 22H2 (ou posterior) ou Windows 11.
Memória	16 GB de RAM	16 GB de RAM para mídias HD 32 GB ou mais para 4K e superior
GPU	4 GB de memória GPU	4 GB de memória GPU para HD e algumas mídias 4K 6 GB ou mais para 4K e superior
Armazenamento	8 GB de espaço disponível em disco para instalação; é necessário espaço livre adicional durante a instalação (não instala em dispositivos de armazenamento removíveis baseados em flash) - Unidade adicional de alta velocidade para mídias	- SSD interno rápido para instalação e cache de aplicativos - Unidades adicionais de alta velocidade para mídias
Tela	1920 x 1080	1920 x 1080 ou maior - DisplayHDR 1000 para fluxos de trabalho em HDR
Placa de som	Compatível com ASIO ou Windows Driver Model da Microsoft	Compatível com ASIO ou Windows Driver Model da Microsoft
Conexão de armazenamento em rede	1 Gigabit Ethernet (somente HD)	Ethernet de 10 Gigabit para fluxos de trabalho 4K de rede compartilhada

Fonte: Adobe – Requisitos de sistema do After Effects

¹ Para sistema macOS, consulte o site: <https://helpx.adobe.com/br/after-effects/system-requirements.html>. Acesso em: 12 jan. de 24.

2.1 O Photoshop

O Photoshop é um dos softwares mais utilizados para edição e retoque de fotos, de banners, criação de montagens, pôsteres, folhetos, panfletos e anúncios publicitários. Ou seja, o Photoshop é amplamente utilizado pela indústria de design para tratamentos de imagens, de modo em geral. Disponível para download em computadores (sistema operacional Windows e MacOS), além da possibilidade de ser baixado e utilizado em celulares (Photoshop Express). Abaixo, apresentamos a logo do Photoshop:

Figura 1 – Ícone do Photoshop



Fonte: Logosmarcas.net – Photoshop Logo²

Utilizaremos o Photoshop, basicamente, para produção dos rafes (rascunhos) dos desenhos e cenas apresentadas durante os vídeos. Na criação dos rafes, o professor pode fazer uso do mouse ou ainda fazer uso de uma caneta e mesa digitalizadora para uma maior precisão no traçado e formas desenhadas.

O programa pode ser usado também na síntese dos chamados storyboards dos vídeos (vale destacar que o Adobe Illustrator também pode ser utilizado para esta finalidade). Recomendamos que o professor comece a desenvolver os storyboards dos vídeos, que virão a ser produzidos, apenas depois de concluídos os respectivos roteiros. Serão as narrativas presentes nos roteiros que vão determinar os tipos de desenhos e cenas que serão rascunhadas no Photoshop e, posteriormente, ilustradas no Illustrator e animadas no After Effects.

“Após o desenvolvimento do roteiro onde a narrativa já está definida, será o momento de desenvolver o storyboard, que tem o objetivo de organizar o projeto de forma gráfica, é a sequência de quadro a quadro de esboços onde representam as cenas da animação”. (AMARAL, 2018, p. 57).

² Disponível em: <https://logosmarcas.net/photoshop-logo/>. Acesso em: 12 jan. 24.

O Photoshop foi utilizado também no recorte e, quando necessário, no tratamento de imagens baixadas de sites da internet (como as imagens de alguns cientistas, utilizadas nos vídeos produzidos neste trabalho). Abaixo apresentamos um exemplo de um breve storyboard, criado na produção do vídeo 2:

Figura 2 – Breve storyboard do vídeo 2



Áudio: Somos expostos às radiações eletromagnéticas todos os dias. Desde um simples passeio em um dia ensolarado na praia com os amigos...

Vídeo: Carro deslocando-se na praia. Carro e coqueiros em primeiro plano.



Áudio: até o momento em que somos submetidos a um exame radiodiagnóstico numa clínica.

Vídeo: técnico de radiologia movendo os braços por trás da cabeça e observando uma radiografia.

**Boa parte
dessas radiações
não são prejudiciais
à nossa saúde.**



Áudio: Felizmente, boa parte dessas radiações não são prejudiciais à nossa saúde.

Vídeo: texto sendo "escrito" na tela de modo gradual (animação de opacidade).



Áudio: Na verdade, uma delas pode até fazer com que o nosso organismo produza vitamina D.

Vídeo: Animação de rotação dos raios de Sol. Texto "vitamina D" vindo de baixo para cima (animação de posição).

2.2 O Illustrator

O Illustrator é o software de desenhos vetoriais da Adobe. Os desenhos vetoriais são construídos com base em cálculos matemáticos realizados pelo computador, a partir dos pontos e traços inseridos dentro do programa. Abaixo, apresentamos a logo do Illustrator:

Figura 3 – Ícone do Illustrator

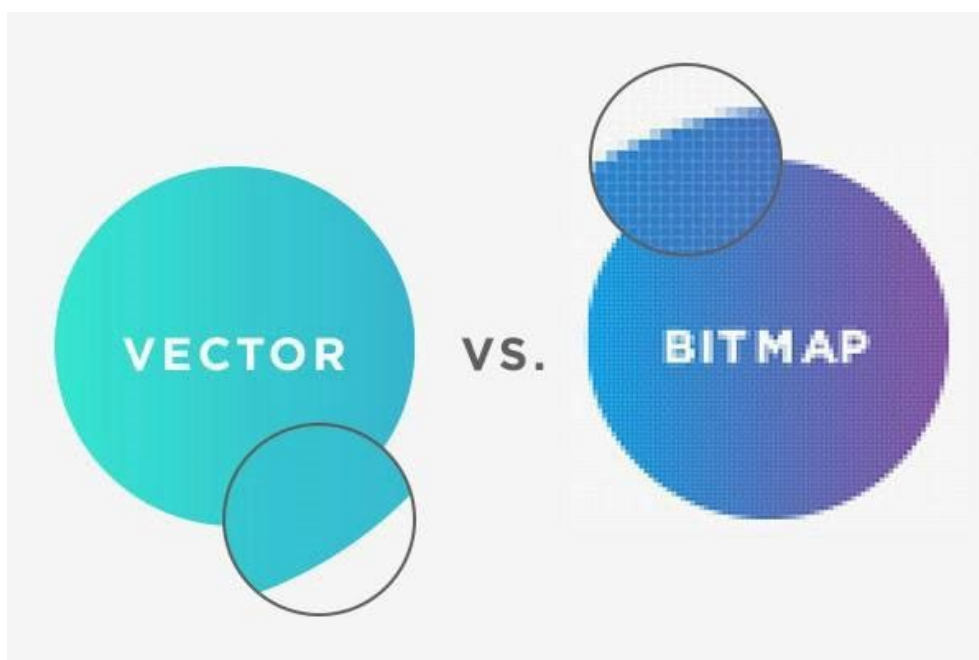


Fonte: Wikipedia – Arquivo: Adobe Illustrador CC icon.svg³

Basicamente, as imagens encontradas na internet podem ser classificadas em duas categorias: imagens bitmap (ou rasters) e imagens (ou gráficos) vetoriais. As imagens em bitmap são imagens digitalizadas, baseadas em pixels. Já as imagens vetoriais, como são feitas a partir de cálculos, fórmulas matemáticas específicas, não perdem qualidade quando a imagem é ampliada, por exemplo. Isso torna esse tipo de imagem mais adequada para desenhos que precisam ser redimensionados muitas vezes. Na figura 4, podemos ver uma representação do que seria uma imagem vetorial e uma imagem em bitmap (“pixada”):

³ Disponível em: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Adobe_Illustrator_CC_icon.svg. Acesso em 12 jan. 24.

Figura 4 – Vetor x bitmap

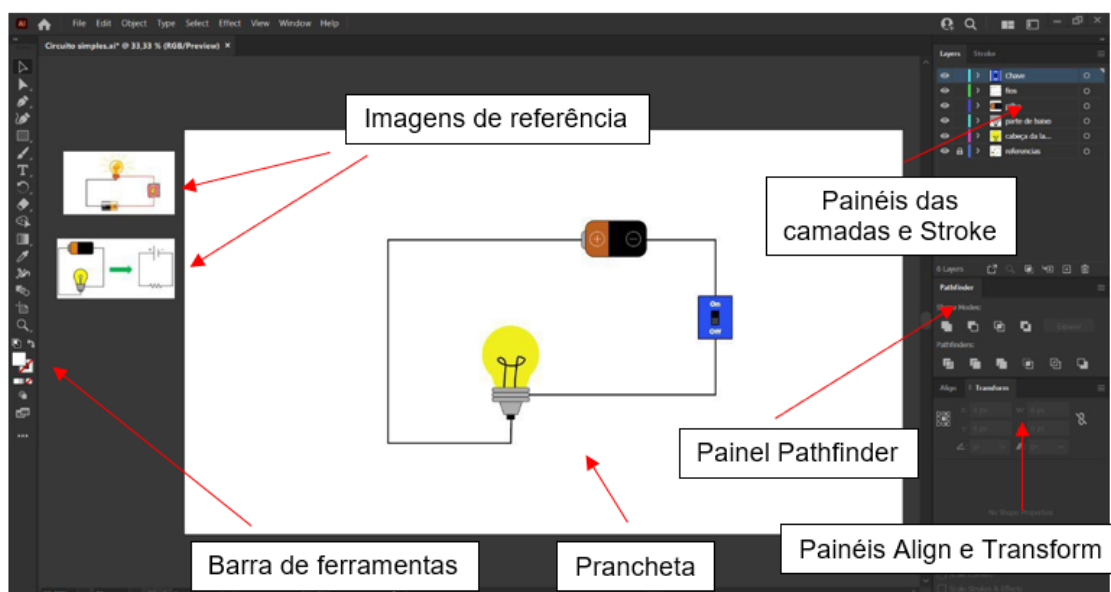


Fonte: Presentationteam - Trabalhando com bitmap e gráficos vetoriais⁴

O Illustrator será utilizado para produção da maioria das imagens exibidas durante os vídeos educacionais animados. Com a sua grande quantidade de ferramentas permite ao usuário a criação de desenhos incríveis. Daremos preferência à produção de desenhos flats (Flat Design) e infográficos (com predominância de formas geométricas). Na figura 5, podemos observar um desenho vetorial de um circuito simples produzido pelo autor aplicando os critérios mencionados acima.

⁴ Disponível em: <https://www.presentationteam.com/bitmap-and-vector-graphics-in-presentations>. Acesso em: 14 jan. 24

Figura 5 – Área de trabalho do Illustrator utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa



Fonte: elaborada pelo autor.

Para ajudar o professor na síntese dos seus próprios desenhos, recomendamos que este tome como base imagens e desenhos de referência (como exibido na figura acima). O professor pode encontrar essas “imagens de referência” em sites como: Freepik (<https://br.freepik.com/>), Pinterest (<https://br.pinterest.com/>), Pexels (<https://www.pexels.com/pt-br/>) etc, amenizando, assim, possíveis bloqueios criativos.

2.3 O After Effects

O After Effects é um software de pós-produção da Adobe e um dos principais programas utilizados pela indústria de animação. Um dos grandes diferenciais desse programa é a sua biblioteca com vários efeitos incríveis, tornando a edição de uma imagem ou de um vídeo ainda mais criativa. Abaixo, apresentamos a logo do After Effects.

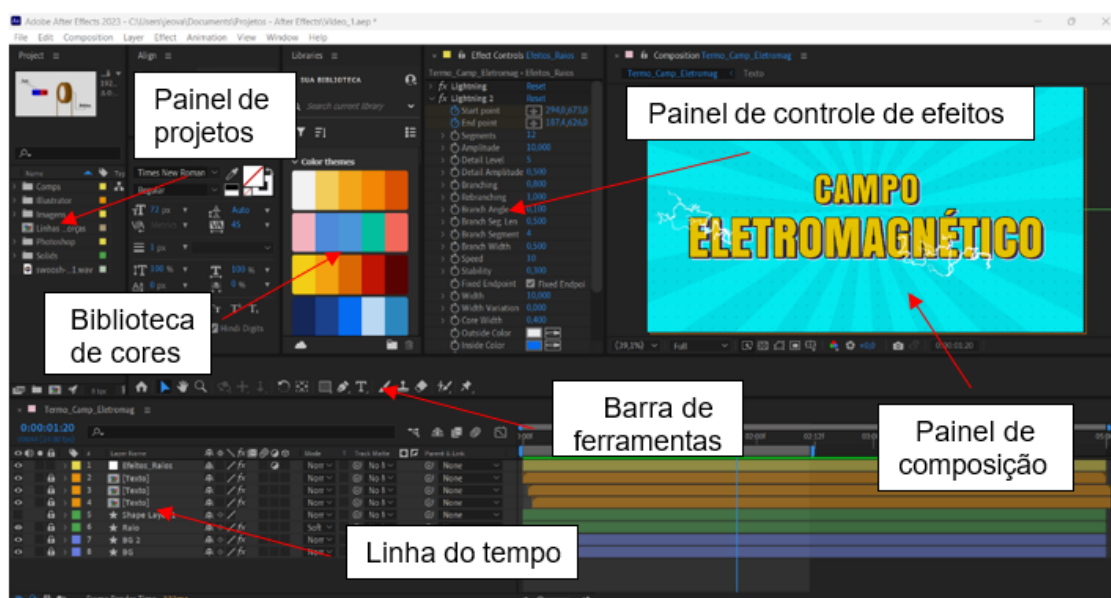
Figura 6 – Ícone do After Effects



Fonte: Logowik – Logotipo do After Effects⁵

Devido a boa interação entre os softwares da Adobe, podemos editar uma imagem no Photoshop, por exemplo, ou criar um desenho (vetor) no Illustrator e fazer a animação dele no After Effects. O usuário de outros programas da Adobe encontrará certa familiaridade em alguns dos muitos atalhos de teclado e nas diversas ferramentas do After Effects. Como podemos observar na figura 7, o layout do After Effects também é similar ao de outros programas da Adobe.

Figura 7 – Área de trabalho do After Effects utilizada pelo autor e alguns dos principais painéis do programa

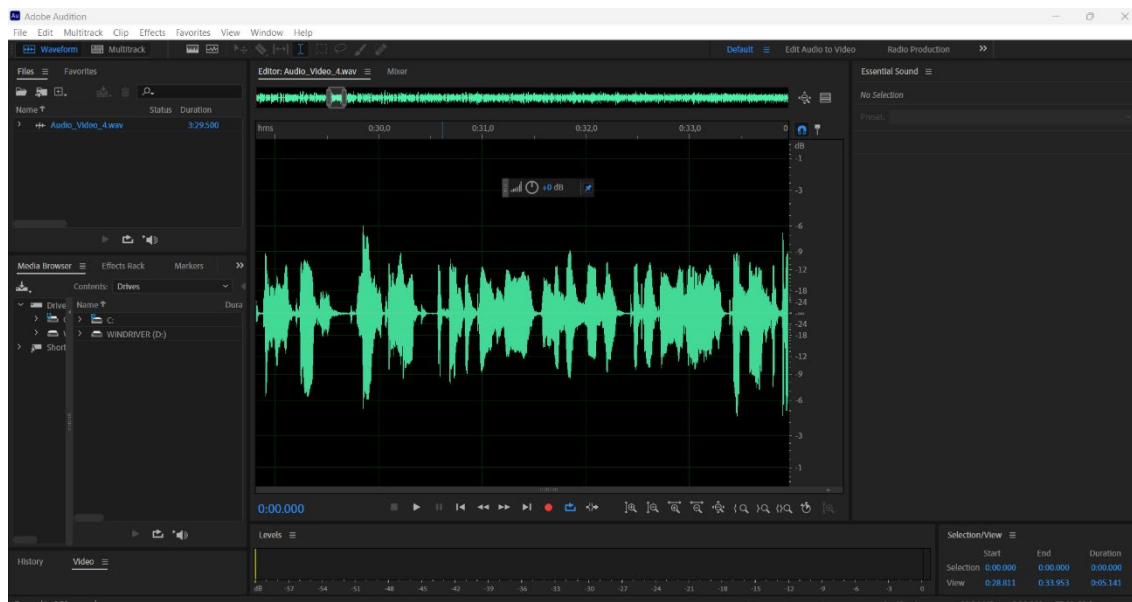


Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação ao tratamento de áudios gravados dos roteiros dos vídeos (como cortes de alguns trechos indesejados ou aplicação de efeitos), sugerimos a utilização do software Adobe Audition (programa da Adobe para edição de áudios), devido a boa interação com outros programas da Adobe, como o After Effects. Na figura 8, apresentamos o layout do programa.

⁵ Disponível em: <https://logowik.com/adobe-after-effects-logo-vector-56636.html>. Acesso em: 12 jan 24.

Figura 8 – Áudio do vídeo 4 sendo editado no Adobe Audition



Fonte: elaborada pelo autor.

Depois de finalizar as edições na composição final do vídeo, chega-se à etapa da exportação do arquivo, denominada também de renderização.

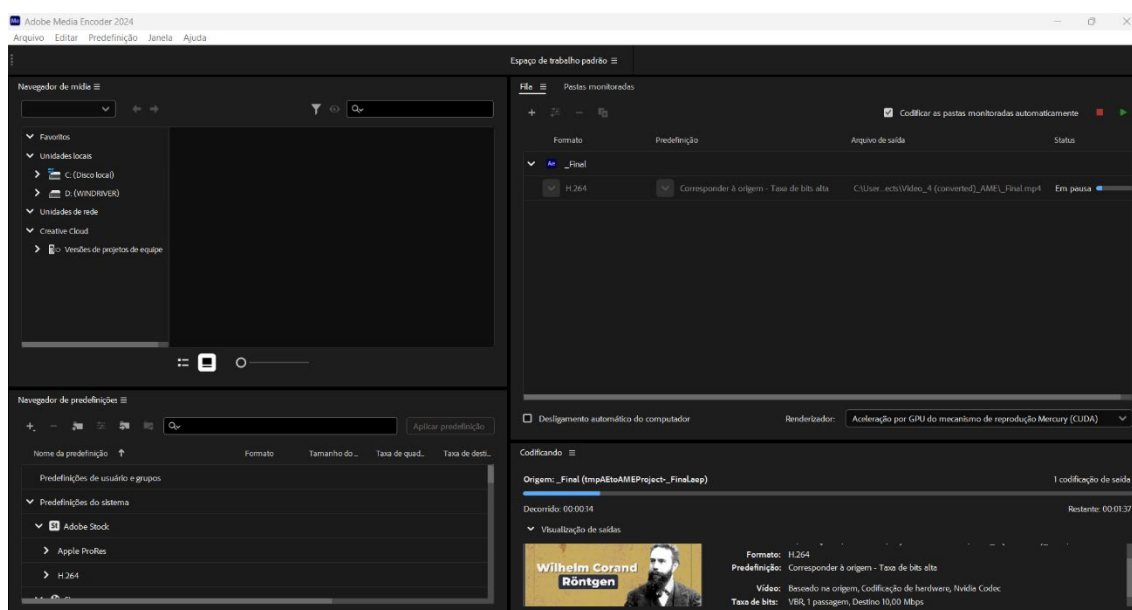
O usuário do After Effects tem, basicamente, duas formas de renderizar sua composição. A primeira delas seria clicando em Composition > Render Queue ou através do atalho de teclado Ctrl + M (para usuários do sistema operacional Windows), fazer as devidas configurações de exportação (como formato de saída do vídeo) e mandar o programa iniciar o processo de renderização.

A segunda forma de renderizar uma composição seria utilizando o software Adobe Media Encoder (programa de exportação de vídeo e áudio da Adobe), que pode ser baixado da plataforma Adobe Creative Cloud e instalado no computador. Para importar uma composição para a fila de renderização do Adobe Media Encoder, deve-se clicar em Composition > Add to Adobe Media Encoder Queue ou File > Export > Add to Adobe Media Encoder Queue ou ainda, através do atalho de teclado Ctrl + Alt + M (para usuários do sistema operacional Windows).

Como o Media Encoder disponibiliza ao usuário diversas predefinições de saída de filme/vídeo, além da possibilidade de customizar os parâmetros do render (customização mais completa do que a apresentada no Render Queue do After

Effects) e aceleração do processo de renderização via GPU, diminuindo assim o tempo de espera da exportação e melhorando a qualidade do arquivo final renderizado, optamos por fazer a renderização dos vídeos educacionais produzidos neste trabalho, através do Adobe Media Encoder. Na figura 9, apresentamos o layout do programa.

Figura 9 – Vídeo 4 sendo renderizado no Adobe Media Encoder



Fonte: elaborada pelo autor.

Todos os vídeos produzidos neste trabalho têm curta duração, visando não cansar os espectadores e seguindo a tendência atual da preferência por vídeos curtos, por parte do grande público, como podemos observar, por exemplo, nas redes sociais como Instagram e TikTok. Os vídeos produzidos têm o formato H.264 e resolução Full HD (1920 x 1080, formato muito utilizado em vídeos para o YouTube) e frame rate de 24 FPS (quadros por segundo).

3 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Quadro 2 - Sequência didática

TEMA: Inserção do tópico de radiações ionizantes no ensino médio
PÚBLICO ALVO: Alunos do 3º ano do ensino médio
DURAÇÃO: 6 encontros
OBJETOS DE CONHECIMENTO: • Breve história do eletromagnetismo; • O conceito de ondas eletromagnéticas; • O espectro eletromagnético; • As radiações UV; • Os raios X; • A radiação gama.
OBJETIVO GERAL: • Facilitar a compreensão do conceito de onda eletromagnética, assim como entender a importância de suas diversas aplicações na medicina e na tecnologia moderna, através de alguns experimentos históricos do eletromagnetismo e da exibição de vídeos animados sobre a temática das radiações ionizantes, tendo como apoio as premissas da Teoria dos Modelos Mentais (TMM), de Johnson-Laird e os resultados e princípios da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM), de Richard Mayer. Ao final, aplicando este produto educacional com base na metodologia pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs), de Demétrio Delizoicov. OBJETIVO ESPECÍFICOS: • Fazer com que os estudantes percebam a ciência como uma construção humana, através da discussão da História e Filosofia da Ciência e desenvolver nos alunos a conscientização e o letramento científico, a partir das apresentações desses temas sob uma perspectiva CTS. • Perceber a relação entre Eletricidade e Magnetismo, através do estudo de alguns marcos históricos e da realização de alguns experimentos clássicos do Eletromagnetismo; • Diferenciar as várias ondas eletromagnéticas, assim como também as suas respectivas aplicações na Ciência, na Medicina e na Tecnologia; • Identificar a importância das radiações ionizantes (principalmente para a evolução da medicina), levando também em consideração os perigos relacionados e os cuidados de proteção radiológica.

METODOLOGIA:

- Aulas expositivas dialogadas sobre os temas abordados nos vídeos;
- Uso de ambiente virtual de aprendizagem – como o Google Sala de Aula (*Google Classroom*) – para disponibilização dos vídeos e materiais usados durante as aulas;
- Roda de discussões com carácter avaliativo e para reflexão dos temas estudados (aplicando a metodologia da *tempestade de ideias*).

RECURSOS DIDÁTICOS:

- Aparatos experimentais;
- Livro didático;
- Material impresso;
- Notebook e projetor;
- Marcador para quadro branco e lousa.

AValiação:

- Questionários simples (produzidos usando o *Google Forms*). Após a realização de cada encontro, um questionário será disponibilizado na turma criada no Google Sala de Aula (*Google Classroom*);
- Debates por parte de alguns grupos de alunos, de modo a promover discussões a respeito dos assuntos apresentados durante os encontros;
- Avaliação final (aplicada no último encontro) para fazer o levantamento da aprendizagem dos alunos. Os alunos responderão também, a um teste de satisfação pessoal em relação a aplicação e qualidade do produto educacional. O teste de satisfação será aplicado através da plataforma virtual Plickers, onde a cada aluno será entregue um cartão com um código (a mudança na posição do cartão altera a resposta do aluno). Depois do tempo estipulado para cada resposta, o professor “escaneará” os cartões através do app Plickers instalado no celular, coletando assim, todas as respostas.

BIBLIOGRAFIA:

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna**. 1ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2010.

BISCUOLA, Gualter José; VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou. **Física 3: eletricidade: física moderna**. 3ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2016.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 12ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

4 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O presente produto educacional foi pensado para ser aplicado em seis encontros em turmas do 3º ano do ensino médio. É esperado que os alunos tenham visto anteriormente alguns conteúdos fundamentais em Eletromagnetismo, como, por exemplo, o conceito de carga elétrica, campo elétrico, linhas de força, corrente elétrica e circuitos, ímãs e campo magnético, campo magnético de um condutor retilíneo, campo magnético de uma espira e indução eletromagnética.

Tomaremos como referenciais psicológicos para aplicação deste trabalho a Teoria dos Modelos Mentais (TMM), de Johnson-Laird, a qual afirma que o indivíduo aprende através da construção de modelos mentais; e a Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM), de Richard Mayer, segundo a qual os alunos têm uma melhor compreensão dos conteúdos caso sejam apresentados através de imagens, infográficos, vídeos explicativos, animações etc. Já como referencial pedagógico, lançaremos mãos dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs) de Delizoicov e Angotti, em que, no primeiro momento pedagógico, temos a problematização inicial, fase em que os principais questionamentos em relação aos temas que serão desenvolvidos nas próximas etapas são levantados. Já no segundo momento, ocorre a apresentação das temáticas e dos conteúdos a serem abordados e ao longo desta etapa aprofundados. Por fim, no terceiro e último momento, denominado de aplicação do conhecimento, os alunos serão avaliados através da aplicação de um questionário avaliativo e de discussões (em grupos) das temáticas estudadas anteriormente.

4.1 Problematização Inicial

1º encontro (2 aulas de 45 min cada):

O professor pode iniciar a aula destacando a relevância dos temas que serão desenvolvidos ao longo dos próximos encontros e ao mesmo tempo, deve ouvir as concepções iniciais trazidas pelos alunos sem a necessidade de corrigi-las mesmo que essas explicações não estejam condizentes com as explicações científicas esperadas. Conforme ressaltaram Delizoicov e Angoti (1994, p. 72):

Possíveis desacordos entre posições de alunos devem ser explorados, de modo a se perceber as (in)consistências das explicações e modelos. Mesmo que estas estejam em total desacordo com o estabelecido cientificamente, não é necessário corrigi-las neste momento. Elas deverão ser retomadas e comparadas após ou durante o segundo momento, quando o conteúdo e as explicações científicas estiverem sendo abordados. Não se pretende que os alunos “adivinhem” o que a ciência já sabe sobre o assunto em questão; pretende-se, sim, apreender a visão dos alunos sobre o assunto.

Após esse primeiro momento de discussão, o professor deve aplicar um questionário junto à turma, que tem como objetivo fazer uma avaliação diagnóstica inicial, em relação aos conhecimentos que serão desenvolvidos nas aulas subsequentes. Essa avaliação diagnóstica inicial permitirá ao professor conhecer de forma mais sistematizada, as percepções trazidas pelos alunos a respeito dos temas apresentados no início da aula (ver apêndice F, na pág. 47).

4.1.1 Experimentos clássicos do eletromagnetismo

No final do primeiro encontro, o professor deverá reproduzir na sala de aula (ou no laboratório de ciências, se houver) duas das mais importantes experiências do eletromagnetismo: a experiência de Oersted, na qual comprovou-se a estreita relação entre a eletricidade e o magnetismo; e a experiência de Hertz, produzindo e detectando ondas eletromagnéticas.

Não nos preocupamos em reproduzir fielmente os experimentos originais, já que a intenção da reprodução dessas experiências é apenas fazer uma breve introdução dos primeiros conceitos de eletromagnetismo, como, por exemplo, a relação dos fenômenos elétricos e magnéticos, a partir da experiência de Oersted e o conceito de ondas eletromagnéticas, através da realização da experiência de Hertz.

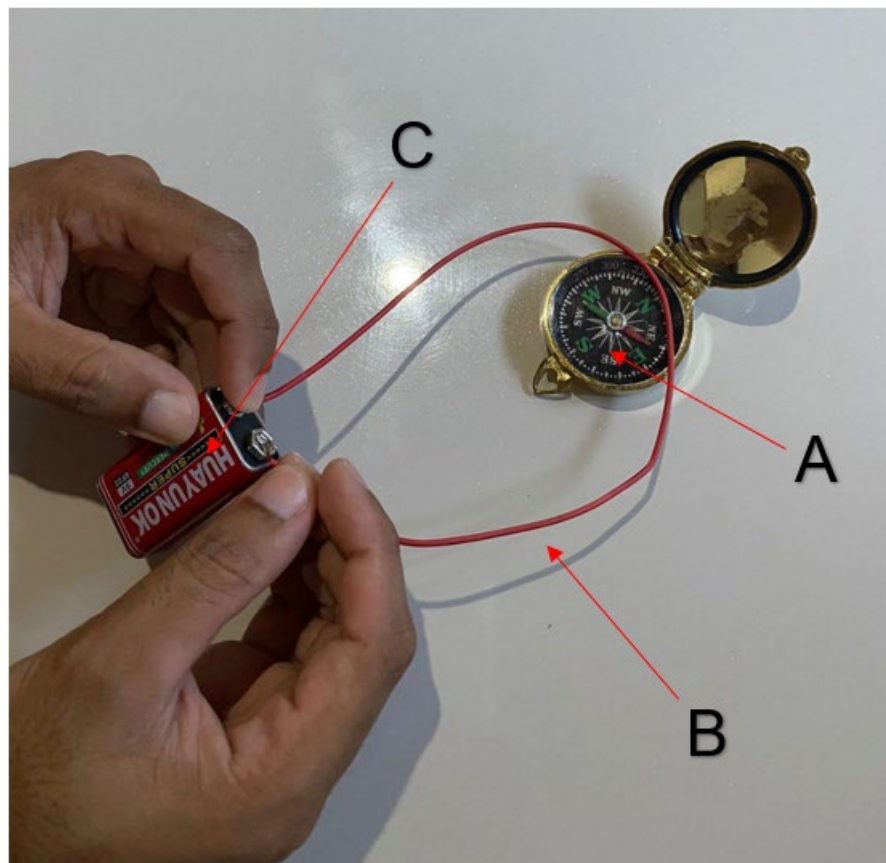
4.1.1.1 Experiência de Oersted

No ano de 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) realizou um experimento que viria a ficar marcado para sempre na história da física: a descoberta do eletromagnetismo. Essa experiência consistia na observação de uma deflexão na agulha imantada de uma bússola quando esta era colocada, em paralelo, próxima de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica. Assim, evidencia-se a estreita relação entre eletricidade e magnetismo.

Para uma reprodução simplista da experiência de Oersted, precisaremos dos

seguintes materiais (como mostrados na Figura 10):

Figura 10 – Experiência de Oersted



Fonte: elaborada pelo autor.

A – bússola

B – pequeno pedaço de fio condutor (tamanho $1,0 \text{ mm}^2$)

C – bateria de 9,0 V

Ao reproduzirmos a experiência de Oersted desse modo, realizamos um curto-circuito ao conectarmos o fio condutor à bateria. Portanto, recomendamos o uso de uma bateria nova para visualização de uma deflexão mais acentuada da agulha da bússola.

Sugestões de questionamentos que poderão vir a serem realizados pelo professor após a experiência:

- Como explicar a deflexão da agulha da bússola ao ser aproximada do fio condutor pelo qual passa uma corrente elétrica? Qual o agente físico que faz a

agulha ser defletida?

- Por que, na ocasião da inversão dos polos da bateria, a agulha gira no sentido oposto ao primeiro caso observado?

4.1.1.2 Experiência de Hertz

No final do século XIX, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) realizou uma série de experiências que culminaram com a comprovação da teoria eletromagnética de Maxwell. Em 1887, Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, na frequência das ondas de rádio.

O aparato experimental utilizado por Hertz, basicamente, consistia em fazer passar uma corrente (a alta tensão) numa antena emissora ligada a uma bobina de indução (denominada bobina Ruhmkorff). Quando ligada, a bobina produzia uma descarga oscilante no circuito a ponto de surgir faíscas entre dois eletrodos esféricos da antena, separados por uma distância muito curta. Assim, ondas eletromagnéticas são emitidas a partir desse primeiro circuito.

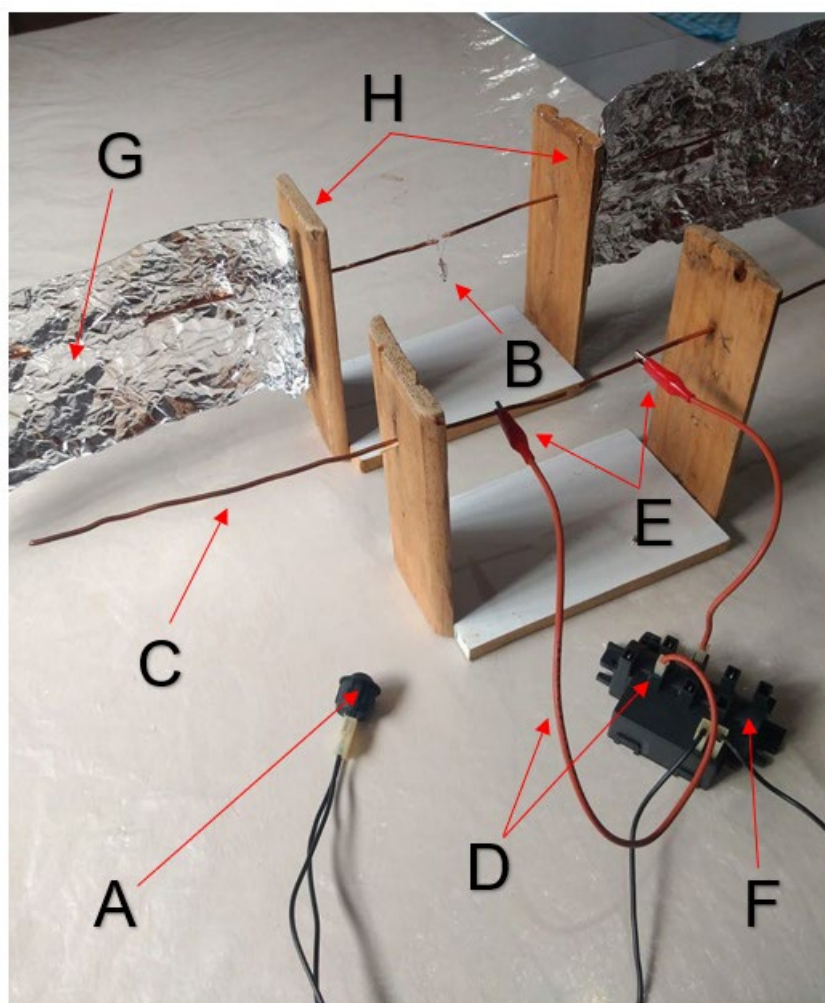
Para fazer a captação dessas ondas (ondas de rádio), Hertz usou uma segunda antena também com um par de esferas metálicas separadas por uma pequena distância. Ele percebeu que a cada centelha produzida na antena emissora, correspondia, simultaneamente, na síntese de uma centelha na antena receptora, mesmo quando separadas por distâncias consideráveis (Nussenzveig, 1997).

A partir de diversas outras experiências, Hertz percebeu que essas ondas (denominadas posteriormente de ondas hertzianas) apresentavam propriedades ondulatórias como: reflexão, refração e difração (como a luz). Hertz, mediu ainda, a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo um valor muito próximo da velocidade de propagação da luz (c) conhecida na época. Comprovando assim, as previsões de Maxwell.

Na reprodução de ambos os experimentos (experiência de Oersted e experiência de Hertz) em sala de aula, recomendamos que o professor solicite a participação de alguns alunos na realização deles, obviamente, tomando todos os devidos cuidados de segurança. Essa abordagem tem o intuito de motivar os estudantes em relação a compreensão dos fenômenos apresentados e de promover uma aprendizagem mais dinâmica e interativa junto à turma.

Os materiais utilizados na confecção do experimento estão descritos abaixo e mostrados na Figura 11.

Figura 11 – Experiência de Hertz



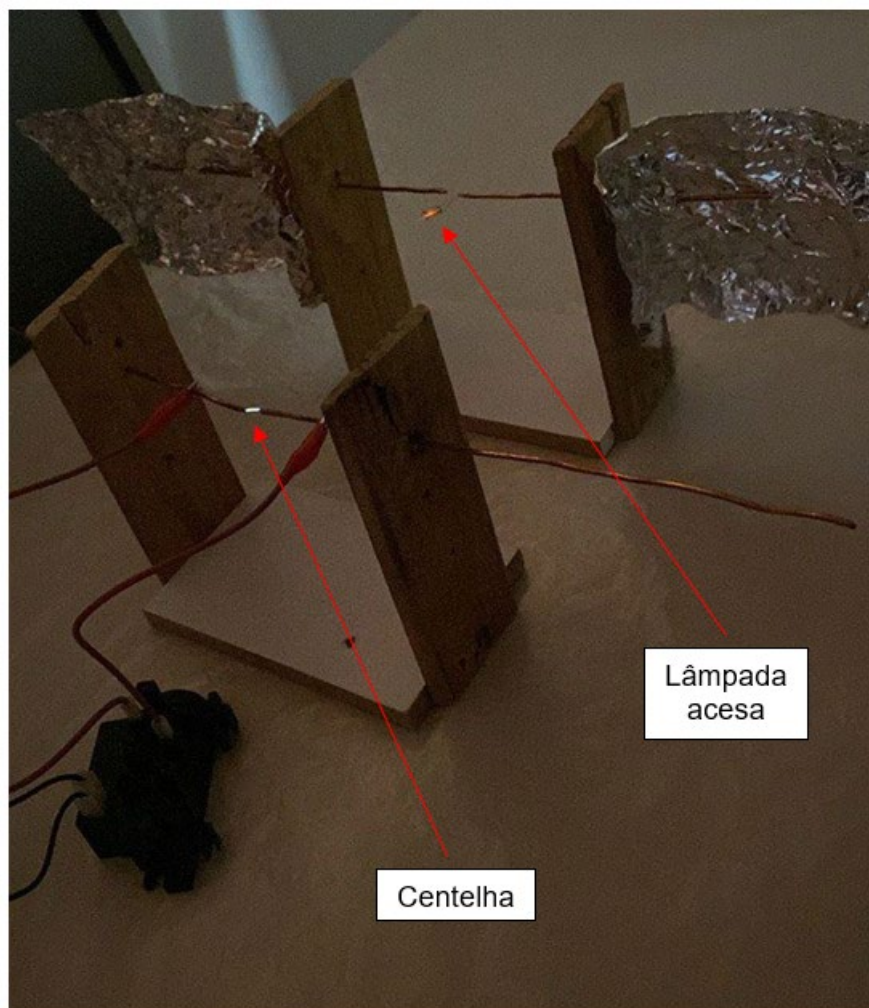
Fonte: elaborada pelo autor.

- A – Chave liga-desliga
- B – Lâmpada pequena de néon
- C – Aproximadamente 1 m de fio de cobre rígido (tamanho 6 mm²)
- D – Cabos elétricos flexíveis e conectores
- E – Duas garras jacaré tamanho pequeno
- F – Usina ignitora de acendimento automático para fogão
- G – Papel alumínio
- H – Placas de madeira

A usina ignitora faz o papel da bobina Ruhmkorff (utilizada no experimento original por Hertz). A usina transforma a tensão da rede em alta tensão produzindo centelhas entre as duas hastes de fio de cobre, resultando na produção e emissão de

ondas eletromagnéticas (na frequência das ondas de rádio) pela antena emissora e consequente captação dessas ondas pela antena receptora, fenômeno que podemos constatar na Figura 12 pelo acendimento da lâmpada.

Figura 12 – Experiência de Hertz em funcionamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Sugestões de questionamentos que poderão vir a serem realizados pelo professor após a experiência:

1. O que faz a lâmpada na antena receptora acender?
2. Por que a lâmpada na segunda antena (antena receptora) acende, praticamente, no mesmo instante em que acontece a centelha na primeira antena (antena emissora)? Por que, praticamente, não há um atraso?
3. Por que ao colocarmos a mão entre as antenas a lâmpada apaga?

4.2 Organização do conhecimento

2º encontro (2 aulas de 45 min cada):

Primeiramente, teremos a apresentação dos temas que serão expostos aos alunos (a apresentação pode ser feita através do PowerPoint). O professor deve apresentar os conteúdos abordados ao longo das aulas, relacionando os mesmos com o cotidiano dos estudantes, de modo que eles venham encontrar significado nas discussões que se seguirão.

Após isso, o professor deverá apresentar aos alunos uma breve história do eletromagnetismo (de maneira expositiva dialogada), passando pelos principais nomes como, por exemplo, Hans Christian Oersted (1777-1851), André Marie Ampère (1775-1836), Michael Faraday (1791-1867), James Clerk Maxwell (1831-1879), Heinrich Hertz (1857-1894), Oliver Joseph Lodge (1851-1940), Guglielmo Marconi (1874-1937), dentre outros. Além de destacar as principais contribuições e experiências realizadas por cada um desses cientistas.

Ao final do encontro, os alunos assistirão ao vídeo 1 intitulado como “O que é uma onda eletromagnética?” (disponibilizado através do seguinte link do YouTube: https://youtu.be/O_alE2KiSYM e do QR code apresentado na próxima página) e, na sequência, assistirão ao vídeo 2: “O espectro eletromagnético” (disponibilizado através do link no YouTube: <https://youtu.be/XpMGdFxAJqE> e do QR code apresentado na próxima página). Na imagem 13, temos uma representação do espectro das radiações eletromagnéticas que poderá ser apresentada às turmas durante o encontro.

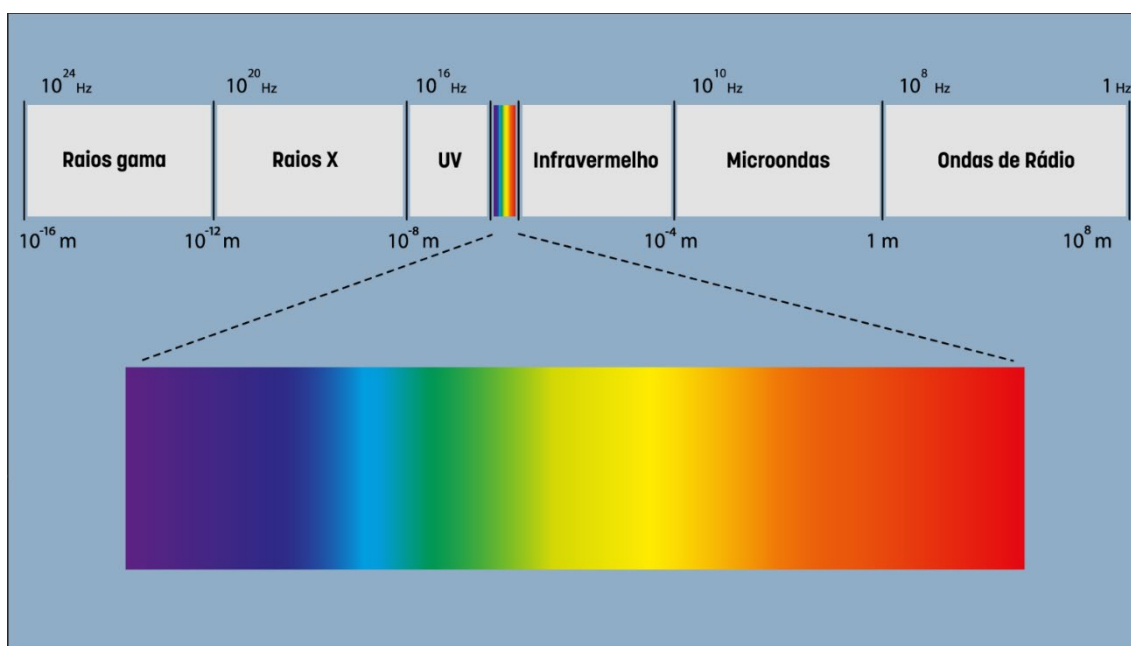
QR code de acesso ao vídeo 1:



QR code de acesso ao vídeo 2:



Figura 13 – Espectro eletromagnético



Fonte: elaborada pelo autor.

3º encontro (2 aulas de 45 min cada):

No primeiro momento, o professor irá discorrer sobre os perigos das Radiações UVs e os devidos cuidados necessários, como o uso de protetores solares com um fator de proteção solar (FPS) relevante. O professor deve também destacar a importância da camada de ozônio no que se refere a proteção da Radiação UV-C e os preocupantes "buracos" ocasionados pela emissão de poluentes, como os

clorofluorcarbonetos (CFCs). Ao final da aula expositiva, os alunos assistirão ao vídeo intitulado: "Radiações Ultravioletas (UVs)" (disponibilizado através do link do YouTube: <https://youtu.be/KZHlp5LIRfg> e QR code abaixo). Após a exibição do vídeo, o professor fará as considerações finais (sempre levando em conta as participações dos alunos).

QR code de acesso ao vídeo 3:



4º encontro (2 aulas de 45 min cada):

Sugerimos que o professor inicie a aula fazendo a narrativa da interessante descoberta dos chamados "raios X", pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), no final do século XIX. E, enfatizando a importante revolução que se sucedeu na medicina. Proporcionando a realização de exames não invasivos do organismo. É importante que o professor além de explicar a física dos raios X, destaque também as mais variadas aplicações que essa radiação possui assim como também os devidos cuidados de proteção radiológica, como por exemplo, a utilização de aventais de chumbo e protetores de tireoide por parte de pacientes submetidos a exames radiodiagnósticos e profissionais de radiologia. Finalizando a aula, os discentes assistirão ao vídeo animado: "Os raios X" (<https://youtu.be/cNMPIzeiwuA>), para fixar os conteúdos abordados durante o primeiro momento do encontro.

5º encontro (2 aulas de 45 min cada):

No quinto encontro, será apresentada à turma a temática da radioatividade, com enfoque na radiação gama. O professor pode iniciar a aula fazendo a distinção entre radiação corpuscular e radiação eletromagnética. Passando pelos vários tipos de emissões radioativas e destacando os diversos elementos químicos radioativos (denominados também de radioisótopos) naturais e artificiais.

Na sequência da aula, o docente pode discorrer sobre algumas das muitas aplicações da radioatividade, como, por exemplo, aplicações na medicina (com a radioterapia e medicina nuclear) e os processos de produção de energia decorridos dos avanços na física nuclear. Sem esquecer dos perigos relacionados à exposição a altas doses de radiação ionizante, como nos casos de acidentes nucleares e os problemas de saúde resultantes como os chamados efeitos biológicos da radiação.

É importante destacar que, de acordo com o nosso planejamento inicial, ao final da aula seria exibido o vídeo explicativo animado intitulado “radiação gama”. Porém, não conseguimos finalizar a produção desse vídeo a tempo de aplicar o produto educacional na turma. Todavia, depois de finalizado o vídeo, seu link de acesso (assim como seu QR code) serão adicionados ao arquivo do produto educacional.

Por fim, caso queira (e se houver tempo disponível para isto), o professor pode ainda exibir para a turma algum documentário sobre alguns dos principais acidentes nucleares da história (como o acidente nuclear de Chernobyl, na Ucrânia e o acidente radiológico de Goiânia com o Césio-137, em Goiás no Brasil), assim como nós faremos. Abaixo, deixamos como sugestão para os futuros professores que forem aplicar este produto em suas turmas, os links de dois bons documentários que serão exibidos no último encontro:

- Chernobyl: a história completa, do canal no YouTube “Ciência todo dia”:

<https://youtu.be/DiGqjYkRQ6o?si=fwquZPk5wn3ZVE0t>

- O maior desastre radioativo da história do Brasil - nostalgia animado, do canal no YouTube “Canal Nostalgia”:

<https://youtu.be/UrtenQ77IUA?si=DWTPxKUrKH2sACuR>

QR code de acesso ao vídeo 4:



4.3 Aplicação do conhecimento

6º encontro (2 aulas de 45 min cada):

No último encontro, o professor deverá promover um debate entre os discentes, lançando mão da metodologia da tempestade de ideias (ou brainstorming), separando a turma em dois grandes grupos. O primeiro grupo deve argumentar a favor da produção e do uso de energia nuclear (ênfatizando, que no Brasil temos algumas usinas nucleares em Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro). Já o segundo grupo apresentará argumentos contrários em relação à produção de energia nuclear e perigos relacionados à aplicação das radiações ionizantes, de modo geral.

Durante a realização dessa dinâmica, o professor atuará basicamente como um mediador das discussões, anotando os argumentos apresentados pelos grupos, e fazendo comentários a respeito das falas dos alunos quando julgar necessário, promovendo assim o debate. Os alunos que participarão da discussão serão sorteados pelo professor no momento da dinâmica. O grupo vencedor do debate, será aquele que apresentar uma quantidade maior de argumentos em favor do seu ponto de vista e melhor defendê-lo.

Finalizando o encontro, os discentes responderão a um questionário final, que servirá como avaliação da aprendizagem (ver apêndice G, na pág. 49). Vale destacar que para avaliação da aprendizagem, também levaremos em consideração a

participação dos discentes ao longo das aulas, assim como suas respectivas participações nas discussões em grupo.

As questões do questionário final serão apresentadas aos alunos através de slides feitos no PowerPoint, e exibidas durante a aula fazendo a utilização de um projetor. As questões foram editadas na plataforma Plickers (plickers.com), como mostrado na Figura 14.

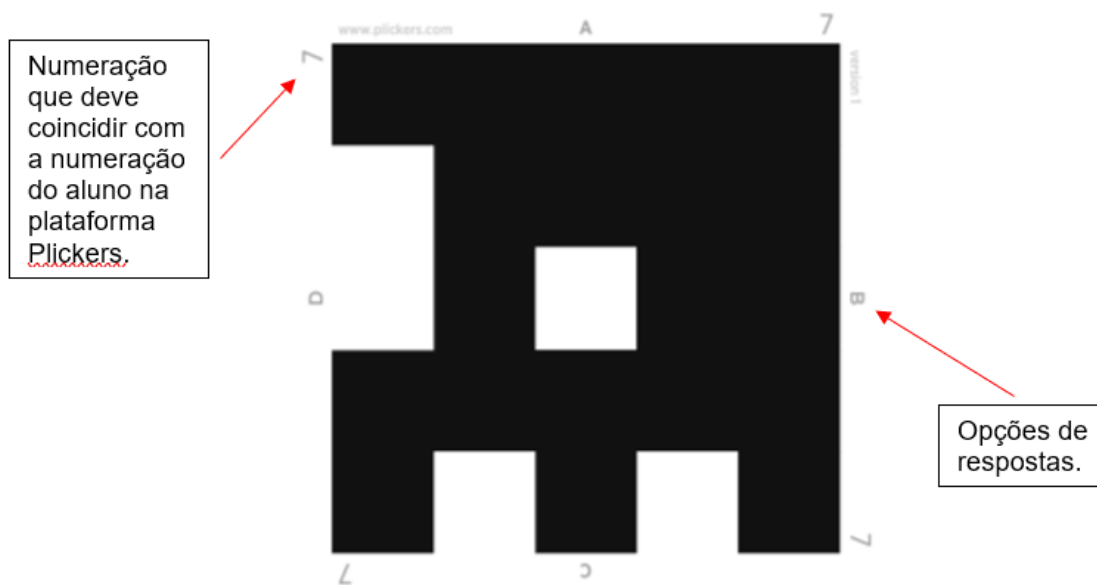
Figura 14 – Avaliação da aprendizagem sendo editada na plataforma Plickers



Fonte: elaborada pelo autor.

Para fazer “a coleta” das respostas dos alunos, o professor deverá registrar a turma na plataforma Plickers, de modo que ao final do cadastro, será associado um número específico para cada aluno da turma. No momento da aplicação do questionário, o professor entregará para cada discente um cartão Plickers (como mostrado na figura 15).

Figura 15 – Exemplo de um cartão Plickers



Fonte: Cartões Plickers⁶

Conforme orientado no site do Plickers, para a utilização dos cartões o professor deve realizar, basicamente, três etapas:

1. Distribuir os cartões para cada aluno de acordo com a numeração exibida na plataforma.
2. Os alunos fornecerão suas respostas segurando o cartão recebido com o lado do código de barra virado para o professor. Deve-se orientar aos alunos que no momento da coleta das respostas da turma, a opção de resposta (A, B, C ou D) deve estar sempre na parte superior do cartão.
3. Para fazer a coleta das respostas, o professor deverá “scanear” o código de cada cartão exibido pelos alunos utilizando o aplicativo móvel Plickers⁷ através do celular (ver a figura 16).

⁶ Disponível em: https://assets.plickers.com/plickers_cards/PlickersCards_2up.pdf. Acesso em: 12 jan. 24

⁷ O aplicativo para dispositivo móvel Plickers pode ser baixado diretamente da loja do celular do professor.

Figura 16 – Leitura das respostas dos alunos através do aplicativo móvel Plickers instalado no celular



Fonte: Fonte: Tribuna de Minas⁸

⁸ Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/especiais/publieditoria/05-10-2020/faculdade-ensin-e-mais-eficiencia-no-aprendizado-com-o-app-plickers.html>. Acesso em: 12 jan. 24.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que se refere aos conhecimentos necessários para um uso eficiente dos softwares utilizados, recomendamos que o professor assista a tutoriais em plataformas de vídeos como Vimeo e YouTube, principalmente aqueles que abordam animação computacional em si, utilizando o After Effects e, se possível, faça cursos/treinamentos online para aprimorar os conhecimentos apreendidos. Além, é claro, de estar sempre praticando.

Deixamos como sugestões de boas fontes de estudos e inspiração os seguintes canais na plataforma do YouTube relacionados a temática Motion Graphics: Em poucas palavras – Kurzgesagt, Layer Lemonade, Héber Simeoni, Barlavento Estúdio Criativo e o nosso próprio canal Ciência in Motion (criado com a finalidade de armazenar os vídeos desenvolvidos do presente trabalho, e demais animações educacionais sobre ciência que posteriormente poderão vir a serem desenvolvidas). Como sugestão de leitura deixamos o importante livro: *Criando motion graphics com After Effects*, de Trish e Chris Meyer e o riquíssimo livro *Manual de animação: manual de métodos, princípios e fórmulas para animadores clássicos, de computador, de jogos, de stop motion e de internet*, de Richard Williams (2016).

Acreditamos que o Motion Graphics pode ser utilizado pelo professor sempre que esse se deparar com conteúdos e temáticas de difícil abordagem, devido à complexidade matemática envolvida, por exemplo, ou as dificuldades na realização de experiências relacionadas aos assuntos. O Motion Design é um ótimo recurso quando se quer apresentar um tema de forma mais leve e objetiva. Não é à toa que é amplamente utilizado pelos canais de TV e na internet para produção de vídeos explicativos, relativamente curtos.

Diante de tudo que foi exposto no presente trabalho, acreditamos que o nosso produto educacional possui relevante potencial pedagógico, figurando como mais uma das muitas abordagens didáticas que o professor pode realizar na sua prática, enquanto docente da educação básica.

REFERÊNCIAS

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Metodologia do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez editora, 1994.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências fundamentos e métodos**. 5ª ed. São Paulo: Cortez editora, 2018.

AMARAL, Elidiany Andreia de Oliveira do. **Animação em motion graphics para prevenção do Bullying em escolas brasileiras**. Monografia - curso de Tecnologia em Design Gráfico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p. 95. 2018.

MEYER, Chris; MEYER, Trish. **Criando motion graphics com After Effects**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

WILLIAMS, Richard. **Manual de animação: manual de métodos, princípios e fórmulas para animadores clássicos, de computador, de jogos, de stop motion e de internet**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2016.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 12ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê Luiz; CHOW, Cecil. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

GARCIA, Eduardo A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 1998.

POLITO, Antony M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Vol. 3. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

H. NUSSENZVEIG, Moysés. **Curso de física 3: eletromagnetismo**. Vol. 3. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: eletromagnetismo**. Vol.3 12ª ed. São Paulo: Adisson Wesley, 2009.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV: ótica e física moderna**. Vol.4 14ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE A – ROTEIRO DO VÍDEO 1: O QUE É UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA?

Você já ouviu falar em onda eletromagnética? Não?

Para entendermos o conceito de onda eletromagnética, vamos voltar no tempo para o ano de 1820, quando o físico dinamarquês Hans Christian Oersted estudando a ação da eletricidade sobre uma agulha imantada, percebeu que ao aproximar a agulha de um fio no qual passava uma corrente elétrica, esta sofria uma deflexão.

Anos depois, o físico francês André Marie Ampère descobriu e descreveu matematicamente um fenômeno eletrodinâmico que existia entre dois fios condutores paralelos que ao serem atravessados por correntes elétricas, no mesmo sentido, sofriam uma atração. Já se as correntes elétricas nos fios tivessem sentidos opostos, era observada uma repulsão. Ampère descobriu também que um material condutor enrolado numa espiral por um fio comportava-se como um ímã. O que hoje nós chamamos de eletroímã. A partir dos resultados de suas experiências, Ampère concluiu que os materiais com propriedades magnéticas (denominados de magnetos) seriam circundados por “correntes elétricas moleculares”, como se cada molécula fosse um pequeno eletroímã, reduzindo os fenômenos magnéticos a meras manifestações da eletricidade.

Outro personagem importante no estudo do eletromagnetismo foi o físico britânico Michael Faraday. Faraday foi, sem dúvidas, um dos maiores físicos experimentais de todos os tempos. Entre as suas experiências mais famosas, está a experiência na qual Faraday percebeu que ao movimentar um ímã no interior de uma bobina, fazia surgir na bobina uma corrente elétrica (que ele chamou de corrente elétrica induzida), descobrindo, assim, o fenômeno da indução eletromagnética. Além da descoberta da indução eletromagnética (que serviu para esclarecer ainda mais para a comunidade científica da época, a estreita relação entre a eletricidade e o magnetismo), Faraday deu ainda outras grandes contribuições à física, como, por exemplo, o conceito de linhas de forças e a introdução do termo “campo eletromagnético.”

Provavelmente, o maior nome em eletromagnetismo seja o do físico britânico James Clerk Maxwell. Maxwell compilou, em seus trabalhos, praticamente todo o conhecimento em eletricidade e magnetismo de sua época, compactando todo esse

conhecimento em quatro equações; hoje em dia conhecidas como “equações de Maxwell”. Um dos principais resultados obtidos por Maxwell foi o fato de que a luz é uma onda eletromagnética. Maxwell chegou nessa conclusão após encontrar o valor de 310 740 km/s para a velocidade da luz. Resultado bem próximo do obtido pelo físico Fizeau.

Porém, em seus trabalhos, Maxwell não disse como se produzir ondas eletromagnéticas (para além do espectro visível). Esse feito foi realizado pelo físico alemão Heinrich Hertz, que em 1888 produziu essas ondas utilizando um aparato experimental muito interessante.

A primeira pessoa a fazer uso das ondas eletromagnéticas (chamadas na época também de “ondas hertzianas”) na telegrafia sem fio, foi o físico britânico Oliver Joseph Lodge, em 1894. Porém Lodge não percebeu o gigantesco potencial tecnológico que essas ondas possuíam. A aplicação das ondas hertzianas na telecomunicação foi feita em 1901, quando o físico italiano Guglielmo Marconi enviou informações da Europa para a América do Norte (através de código Morse); realizando assim a primeira comunicação transatlântica.

Bem, depois da apresentação desse breve histórico do eletromagnetismo, devemos definir o que seria uma onda eletromagnética. Uma onda eletromagnética é uma perturbação que se propaga em alguns meios materiais e, até mesmo, no vácuo, constituída por um campo elétrico e um campo magnético acoplados um no outro e de velocidade aproximadamente igual a $3,0 \times 10^8$ m/s (ou 300 000 km/s). No próximo vídeo, apresentaremos o chamado espectro eletromagnético, assim como abordaremos algumas das mais variadas aplicações das ondas eletromagnéticas.

APÊNDICE B – ROTEIRO DO VÍDEO 2: O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Somos expostos às radiações eletromagnéticas todos os dias. Desde um simples passeio em um dia ensolarado na praia com os amigos, até o momento em que somos submetidos a um exame radiodiagnóstico numa clínica. Felizmente, boa parte dessas radiações não são prejudiciais à nossa saúde. Na verdade, uma delas pode até fazer com que o nosso organismo produza vitamina D. Por outro lado, algumas radiações (a depender da intensidade da radiação e do tempo de exposição) podem ser altamente nocivas à saúde humana. Essas radiações são denominadas radiações ionizantes.

As radiações ionizantes, juntamente com as radiações não-ionizantes compõem o chamado “espectro eletromagnético”. Essas radiações (ou ondas eletromagnéticas) podem ter desde frequências pequenas, como, por exemplo, 1 Hz. Ou podem possuir frequências altíssimas, como por exemplo, algo próximo de 1024 Hz. Podemos classificar essas ondas a partir das suas frequências de oscilação ou dos seus respectivos comprimentos de onda. O espectro eletromagnético compreende desde as ondas de rádio, até os chamados raios gama. As ondas eletromagnéticas são as seguintes: ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama.

Um fato interessante é que, somos completamente cegos em relação a maior parte do espectro. Só enxergamos uma pequena faixa “colorida” chamada de espectro visível. E a explicação para isso está relacionada com o nosso processo evolutivo. Como as frutas que nossos ancestrais coletavam e os animais que caçavam refletiam cores, predominantemente, que estavam dentro do espectro visível, a seleção natural fez com que nós só enxergássemos essas cores, nos tornando cegos para todo o restante do espectro eletromagnético. Outros animais possuem um espectro visível bem mais ampliado que o nosso, como por exemplo as borboletas, que conseguem enxergar as cores de uma flor na faixa do ultravioleta.

Mas o fato de não enxergarmos a maioria das ondas eletromagnéticas do espectro, não torna essas radiações menos importantes. São diversas as aplicações que essas ondas possuem na tecnologia e no nosso mundo moderno. As ondas de rádio, por exemplo, são amplamente usadas nas telecomunicações. Já as microondas

são usadas nas comunicações via celulares ou redes sem fios. Hoje, podemos encontrar câmeras que gravam na frequência do infravermelho. Sendo capaz de filmar (ou fotografar) imagens de pessoas (ou objetos) até mesmo no escuro, devido as trocas de calor que ocorrem entre esses corpos e o ambiente. A radiação ultravioleta pode ser usada por exemplo, numa cirurgia ocular a laser. Os raios X, por possuírem alto poder de penetração, são usados na odontologia e na medicina para obter imagens de partes mais densas do corpo humano (como dentes e ossos). A radiação gama, a mais energética das ondas eletromagnéticas, é usada desde um procedimento de radioterapia (na destruição de células cancerígenas), até mesmo na obtenção de energia numa usina nuclear.

Nos próximos vídeos, daremos mais enfoque na parte ionizante do espectro, ou seja, traremos mais detalhes a respeito das radiações ultravioletas, os raios X e os raios gama. Até a próxima aula!

APÊNDICE C – ROTEIRO DO VÍDEO 3: RADIAÇÕES ULTRAVIOLETA (UVS)

Como vimos no vídeo anterior, existe uma grande variedade de radiações eletromagnéticas. Vimos também, que estas radiações podem ser classificadas de acordo com as suas respectivas frequências ou comprimento de onda (1 comprimento de onda pode ser definido como sendo a distância entre duas cristas consecutivas, ou entre dois vales consecutivos da onda). Neste vídeo, iremos focar nas radiações que têm comprimento de onda entre 200 nm a 400 nm, as chamadas “radiações ultravioleta”.

O sol, como todas as demais estrelas, emite radiações nas mais variadas faixas de frequências. Sendo boa parte delas nocivas aos seres vivos. Como por exemplo, as radiações ultravioleta. Felizmente, as camadas superiores da atmosfera do nosso planeta se encarregam de absorver grande parte dessas radiações. Uma delas é a chamada camada de ozônio. Daí decorre a preocupação da comunidade científica internacional, em relação a destruição de áreas relevantes dessa camada, através da emissão de gases poluentes, como os chamados clorofluorcarbonetos (CFCs).

As radiações ultravioleta foram descobertas em 1801, pelo físico alemão Joham Wilhelm Ritter quando esse realizava experimentos de fotoquímica. O espectro das radiações ultravioleta pode ser dividido em três partes menores, sendo cada parte um tipo de radiação UV com características diferentes. São as chamadas UV-A, UV-B e UV-C.

A radiação UV-A tem grande capacidade de penetração, de modo que ao incidir sobre a pele humana, por exemplo, atinge camadas mais profundas podendo interagir e modificar algumas proteínas como a elastina e o colágeno, resultando no aparecimento de rugas e o envelhecimento precoce da pele. A exposição exagerada aos raios solares, ao longo de muitos anos, pode ocasionar o surgimento de catarata e câncer de pele no indivíduo.

A radiação UV-B (que tem incidência maior durante o verão) sendo mais energética que a primeira, interage com as camadas mais superficiais da pele, e a depender do tempo de exposição, pode provocar dilatação dos capilares sanguíneos, resultando na vermelhidão da pele do indivíduo. Além de também está relacionada ao câncer de pele. Por isso, é extremamente importante fazer uso do protetor solar (que

ofereça proteção contra UV-A e UV-B) e que tenha um alto FPS. A sigla FPS significa fator de proteção solar. Um filtro solar com FPS 30, por exemplo, significa que o indivíduo após realizar a aplicação adequada do mesmo pode ficar exposto aos raios solares um intervalo de tempo 30 vezes maior do que poderia ficar se não estivesse fazendo uso de nenhuma proteção.

Já a radiação UV-C é praticamente toda absorvida pelas camadas superiores da nossa atmosfera (como já foi dito anteriormente nesse vídeo). Os raios UV-C, por serem muito energéticos, interagem com as moléculas de oxigênio (O_2) dessas camadas provocando uma reação química que resulta na formação da molécula de ozônio (O_3). A diminuição da camada de ozônio terá como consequência, infelizmente, casos cada vez mais frequentes de problemas de saúde, como o câncer de pele.

Porém, é importante destacar que a radiação UV-C nem sempre atua como vilã da história. Por ser bastante energética, a luz ultravioleta tipo C é empregada na esterilização de alguns objetos, como materiais de laboratórios e utensílios médicos. Ou seja, tem função germicida; destruindo alguns tipos de germes e bactérias.

Ainda tentando limpar um pouco a barra das radiações ultravioleta, além do efeito germicida (já mencionado), quero dizer que ela pode proporcionar outros efeitos benéficos. Como por exemplo, a radiação ultravioleta atua na saúde das plantas, além de estar relacionada em parte na produção de vitamina D (com as radiações UV-A e UV-B), essencial para nós, seres humanos, e para a saúde de outros seres vivos deste planeta.

Nesse vídeo vimos acerca dos perigos e cuidados em relação as radiações ultravioleta. Espero que tenham gostado, usem protetor solar e óculos de sol e até a próxima aula!

APÊNDICE D – ROTEIRO DO VÍDEO 4:

OS RAIOS X

Quantos de vocês já precisaram ser submetidos aos raios X em um hospital ou numa clínica, para obter uma radiografia de um dente ou de um osso fraturado? Quase todos, né. Pois é, dentre outras diversas aplicações, os raios X têm grande aplicabilidade na medicina. A razão disso, explicaremos ao longo deste vídeo.

Os raios X foram descobertos no início de novembro de 1895, quando o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen trabalhava com um tubo de Crookes em seu laboratório. O tubo de Crookes, basicamente, é constituído de uma ampola de vidro que contém um gás a baixa pressão. Gás esse que ao ser submetido a descargas elétricas emitia uma certa luminescência.

Na ocasião da descoberta dos raios X, Röntgen tinha coberto seu tubo de Crookes com papelão preto. Röntgen percebeu que a medida em que ele realizava experimentos com seu tubo, um filme (coberto de platinocianeto de bário) que estava na sua mesa era “velado”, sensibilizado. Após vários testes, Röntgen descobriu várias propriedades desses “raios”, como por exemplo, a capacidade de atravessar certos objetos (mesmo objetos opacos) e que podiam atingir certas distâncias consideráveis. Foi então que Röntgen percebeu que essa radiação, não se tratava de nenhuma das muitas radiações eletromagnéticas já conhecidas da época. Portanto, por não saber a natureza desse novo tipo de radiação, ele a denominou de “raios X”. X de incógnita mesmo! Em 1901, Wilhelm C. Röntgen foi agraciado com o primeiro Prêmio Nobel de Física da história, por suas descobertas dos raios X.

O processo de produção dessa radiação em tubos (ou ampolas) de raios X, acontece quando elétrons (de uma região chamada catodo da ampola) são acelerados (devido a uma alta diferença de potencial elétrico) em direção a um “alvo” denominado anodo. A maior parte da energia cinética dos elétrons é perdida sob a forma de calor, resultando num alto aquecimento do tubo. Uma pequena fração dessa energia é transformada em raios X, quando esses elétrons passam próximos dos núcleos atômicos (ou das eletrosferas) do elemento que compõe o anodo. Os raios X produzidos nesse processo são conhecidos como radiação de frenagem (ou em alemão *bremsstrahlung*). Os raios X podem ser produzidos também quando alguns elétrons acelerados interagem diretamente com o núcleo desses átomos ou com

elétrons orbitais, esse tipo de síntese de radiação é denominada raios X característicos.

A radiação X é um tipo de radiação muito energética. Portanto, possui alto poder de penetração. Ao ponto de atravessar a matéria e sensibilizar um filme do outro lado. Permitindo a obtenção de imagens do interior do corpo. Assim, possibilitando aos médicos a realização de exames não-invasivos do corpo do paciente. O que ocasionou uma verdadeira revolução na medicina!

Algumas das aplicações dos raios X são as seguintes: aplicações na radiologia diagnóstica, como por exemplo, na utilização de um tomógrafo para obtenção de imagens de órgãos internos de um paciente, aplicações na indústria através de ensaios não-destrutivos, como na análise da qualidade de soldas em alguns materiais, como em partes de motores e na visualização de microfissuras em asas de aviões. Por fim, destacamos o fato que esses raios são bastantes usados também em pesquisas científicas, por exemplo, no estudo de estruturas cristalinas, através de técnicas de cristalografia por raios X.

É importante destacar que, sendo os raios X um tipo de radiação ionizante é recomendado que os profissionais que trabalham com esse tipo de radiação, assim como pacientes que são submetidos a esses raios em exames radiodiagnósticos façam uso de equipamentos de proteção individuais (EPI), como medidas de proteção radiológica (como o uso de aventais de chumbo e protetores de tireoide).

APÊNDICE E – ROTEIRO DO VÍDEO 5:

RADIAÇÃO GAMA

Agora, iremos discorrer a respeito daquela que é a mais energética das radiações, a chamada radiação gama. Os raios gama são originados de reações que acontecem nos núcleos de alguns átomos instáveis, como por exemplo, os elementos químicos urânio e rádio.

Por serem formados por ondas eletromagnéticas (como a luz visível), os raios gama não sofrem desvios em suas respectivas trajetórias, como no caso das partículas alfa e beta, quando submetidos a um forte campo eletromagnético.

Poucos meses depois da descoberta dos raios X, por Röntgen, o físico francês Antoine Henri Becquerel estudando amostras de sais de urânio, em 1896, percebeu que uma radiação (semelhante aos raios X) emanava da substância, descobrindo assim o fenômeno da radioatividade. Outros personagens importantes na área da radioatividade são os nomes de Pierre Curie e Marie Curie, descobridores dos elementos radioativos rádio e polônio. Em 1903, o casal Curie, juntamente com Henri Becquerel, foram laureados com prêmio Nobel de física, por suas descobertas e pesquisas em radioatividade. Destacamos também o nome do físico britânico Ernest Rutherford, que em 1911 realizou um famoso experimento que ficou conhecido na história da ciência como “experiência da folha de ouro”, resultando na descoberta do núcleo atômico e avanços no entendimento da estrutura dos átomos. Em 1908, Rutherford recebeu o prêmio Nobel de química, por mostrar que o fenômeno da radioatividade resulta da desintegração atômica.

Os núcleos dos elementos químicos radioativos por serem instáveis sofrem um processo espontâneo denominado decaimento nuclear. O processo consiste no fato que o núcleo instável devido ao excesso de energia, emite partículas e/ou radiação. Fazendo com que o elemento químico passe por um processo de transmutação. Que é a transformação de um elemento químico em outro.

Outro processo no qual podemos observar liberação de energia pelos núcleos radioativos, é o processo denominado fissão nuclear. A fissão nuclear, como o próprio nome já sugere, é a quebra de núcleos radioativos “pesados” em núcleos mais leves de outros elementos químicos.

Na fissão nuclear, um núcleo radioativo é atingido por um nêutron acelerado, ocasionando uma fragmentação do núcleo instável em dois núcleos menores, com a emissão de outros nêutrons acelerados e liberação de energia na forma de radiação gama. Esse processo repete-se indefinidamente resultando no que chamamos de reação em cadeia. É o mesmo processo que ocorre na detonação de uma bomba atômica (como as lançadas pelos EUA, em 1945, nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki no final da 2ª guerra mundial). A fissão nuclear é empregada também nas chamadas usinas nucleares para obtenção de energia elétrica, como as de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro.

É importante não confundir o processo de fissão nuclear com a fusão nuclear. Na fusão nuclear, núcleos de elementos mais leves se fundem formando um núcleo maior. A fusão nuclear, por exemplo, é o processo de produção de energia encontrado nos núcleos das estrelas, como no caso do nosso Sol.

A radioatividade aqui no nosso planeta não é um fenômeno novo. Estando presente desde a formação da Terra! Somos submetidos a pequenas doses de radiação todos os dias. Desde o simples ato de comermos uma banana e fazermos a ingestão de isótopos radioativos de potássio, até mesmo a radiação que provém do solo em que pisamos, e das emissões de isótopos radioativos de alguns minerais presentes nas paredes de nossas casas de tijolos. Denominamos essas radiações de radiação natural. Mas, não se preocupe! Doses de radiação nesses níveis não oferecem riscos graves a nossa saúde.

As aplicações da radiação gama vão desde métodos de datação radioativa, como no uso do carbono-14 no processo de datação de amostras arqueológicas, passando por aplicações na medicina, como nos tratamentos de radioterapia, com elementos radioativos como cobalto-60, até mesmo na obtenção de energia elétrica numa usina nuclear.

E se você, por caso, fosse submetido à intensas doses de radiação gama dificilmente se transformaria em um poderoso monstro verde (como um certo personagem de histórias em quadrinhos). O que provavelmente aconteceria é que você sofreria com alguns dos chamados efeitos biológicos da radiação. Que são problemas decorrentes de exposições intensas ou prolongadas às radiações ionizantes.

APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO INICIAL

1. O que é uma onda eletromagnética?
2. Nós, seres humanos, conseguimos enxergar alguma faixa de frequência do espectro eletromagnético? Se sim, qual (ou quais) onda(s) eletromagnética(s) conseguimos enxergar?
 - a) Ondas de rádio, Luz visível, Raios X e Raios Gama.
 - b) Microondas, Infravermelho, Radiações Ultravioletas e ondas mecânicas.
 - c) Só conseguimos enxergar uma pequena faixa do espectro eletromagnético denominada de espectro visível.
 - d) Não conseguimos enxergar nenhuma das radiações eletromagnéticas.
3. As ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas pelo aparelho de celular são prejudiciais à saúde humana?
 - a) Sim.
 - b) Não.
 - c) Não tenho certeza.
4. Você conhece este símbolo ao lado? Se sim, explique o significado desta imagem.
5. Você já ouviu falar em radiação ionizante?
 - a) Sim.
 - b) Não.
 - c) Não tenho certeza.
6. O que significa a sigla FPS (que aparece nos recipientes de filtro solares)? E por que devemos utilizar um protetor solar com um FPS considerável?
 - a) A sigla FPS significa frequência da potência solar média e devesse utilizar um filtro solar com FPS relevante porque o Sol emite apenas radiações não-ionizantes.

- b) A sigla FPS significa fator de proteção solar e quanto maior for o FPS de um filtro solar, maior também será o tempo que o indivíduo poderá ficar sendo expostos às radiações emitidas pelo Sol.
- c) FPS significa frequência prejudicial de Solstício e devesse usar protetores solares com um alto FPS para amenizar essa frequência de radiação prejudicial da estrela.
- d) FPS significa força prejudicial do Sol e em hipótese nenhuma devemos utilizar um protetor solar de FPS maior do que 30.

7. Você já ouviu falar em radiação gama ou radiação X?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

8. Uma gestante pode ser submetida a exames radiodiagnósticos? Justifique sua resposta.

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

9. Por que nos exames radiodiagnósticos, os pacientes têm que usar protetores radiológicos (como por exemplo, protetores de tireoide e aventais de chumbo)?

APÊNDICE G – AVALIAÇÃO FINAL DA APRENDIZAGEM

1. Nós, seres humanos, conseguimos enxergar alguma faixa de frequência do espectro eletromagnético? Se sim, qual (ou quais) onda(s) eletromagnética(s) conseguimos enxergar?

- a) Ondas de rádio, Luz visível, Raios X e Raios Gama.
- b) Microondas, Infravermelho, Radiações Ultravioletas e ondas mecânicas.
- c) Só conseguimos enxergar uma pequena faixa do espectro eletromagnético denominada de espectro visível.
- d) Não conseguimos enxergar nenhuma das radiações eletromagnéticas.

2. As ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas pelo aparelho de celular são prejudiciais à saúde humana?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

3. O que significa a sigla FPS (que aparece nos recipientes de filtro solares)? E por que devemos utilizar um protetor solar com um FPS considerável?

- a) A sigla FPS significa frequência da potência solar média e devesse utilizar um filtro solar com FPS relevante porque o Sol emite apenas radiações não-ionizantes.
- b) A sigla FPS significa fator de proteção solar e quanto maior for o FPS de um filtro solar, maior também será o tempo que o indivíduo poderá ficar sendo expostos às radiações emitidas pelo Sol.
- c) FPS significa frequência prejudicial de Solstício e devesse usar protetores solares com um alto FPS para amenizar essa frequência de radiação prejudicial da estrela.
- d) FPS significa força prejudicial do Sol e em hipótese nenhuma devemos utilizar um protetor solar de FPS maior do que 30.

4. (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 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 consequente 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 2012) A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir.

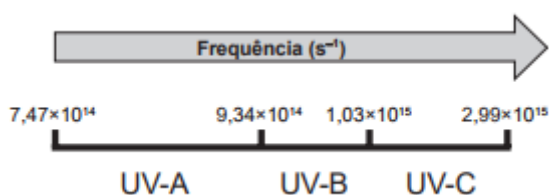
“Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação.”

Física na Escola, V. 8, n. 2, 2007 (adaptado).

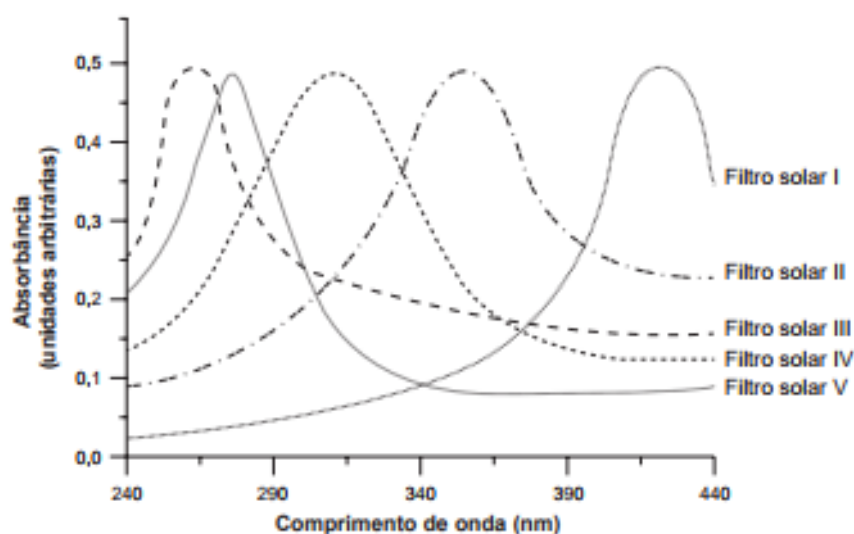
A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois

- a) O material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- b) A utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- c) A contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- d) O material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- e) O intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.

6. (ENEM 2015) A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:



Considere: velocidade da luz = $3,0 \times 10^8$ m/s e $1 \text{ nm} = 1,0 \times 10^{-9}$ m

O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o

- a) V.
- b) IV.
- c) III.
- d) II.
- e) I.

7. (ENEM 2020) Embora a energia nuclear possa ser utilizada para fins pacíficos, recentes conflitos geopolíticos têm trazido preocupações em várias partes do planeta e estimulado discussões em massa. Além do potencial destrutivo da bomba atômica, uma grande preocupação associada ao emprego desse artefato bélico é a poeira radioativa deixada após a bomba ser detonada.

- a) Qual o processo envolvido na detonação dessa bomba?
- b) Fissão nuclear do urânio, provocada por nêutrons.
- c) Fusão nuclear do hidrogênio, provocada por elétrons.
- d) Desintegração nuclear do plutônio, provocada por pósitrons.
- e) Decaimento radioativo do carbono, provocado por partículas beta.

8. Qual dos tipos de aula(s) você prefere?

- a) Aulas tradicionais, com predominância do uso do quadro branco e livros didáticos.
- b) Aulas experimentais, com experiências realizadas em sala de aula (ou no laboratório de ciências da escola) que evidenciem os conceitos estudados e promovam uma melhor compreensão dos fenômenos.
- c) Aulas com animações, vídeos explicativos e simuladores computacionais (que poderão ser apresentadas pelo professor, em sala de aula, ou no laboratório de informática da escola) facilitando a assimilação dos conceitos e fenômenos estudados durante as aulas.
- d) Aulas experimentais e com recursos de multimídias (como animações educacionais, vídeos explicativos, simuladores computacionais etc), possibilitando uma melhor compressão dos conceitos e fenômenos estudados em sala de aula.

9. Você considera que a compreensão dos conteúdos abordados durante as aulas, foi facilitada pela exibição dos vídeos animados?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Não tenho certeza.

10. Como você classificaria o seu grau de satisfação no que se refere a aplicação e qualidade deste produto educacional?

- a) Excelente.
- b) Bom.
- c) Regular.
- d) Ruim.