

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ARMANDO ALVES DE MENEZES**

**EXPLORANDO O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO EM UMA SEQUÊNCIA DE  
ENSINO: TIPOS DE RADIAÇÕES E MEDIDAS DE PROTEÇÃO**

**CAMPUS I - CAMPINA GRANDE**

**2025**

ARMANDO ALVES DE MENEZES

**EXPLORANDO O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO EM UMA SEQUÊNCIA DE  
ENSINO: TIPOS DE RADIAÇÕES E MEDIDAS DE PROTEÇÃO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

**Orientadora:** Profa. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire.

**CAMPINA GRANDE**

**2025**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M543e Menezes, Armando Alves de.

Explorando o espectro eletromagnético em uma sequência de ensino [manuscrito] : tipos de radiações e medidas de proteção / Armando Alves de Menezes. - 2025.

148 f. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2025.

"Orientação : Prof. Dra. Morgana Ligia de Farias Freire, Departamento de Física - CCT".

1. Espectro eletromagnético. 2. Três momentos pedagógicos. 3. Tipos de radiação. I. Título

21. ed. CDD 530.7

ARMANDO ALVES DE MENEZES

EXPLORANDO O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO EM UMA SEQUÊNCIA DE  
ENSINO: TIPOS DE RADIAÇÕES E MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Dissertação apresentada à  
Coordenação do Curso de Mestrado  
Profissional em Ensino de Física da  
Universidade Estadual da Paraíba,  
como requisito parcial à obtenção do  
título de Mestre em Ensino de Física

Linha de Pesquisa: Física no Ensino  
Médio.

Aprovada em: 13/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Morgana Ligia de Farias Freire** (\*\*\*.350.644-\*\*), em **23/07/2025 20:13:57** com chave **b572ff4a681a11f0b45706adb0a3afce**.
- **José Jamilton Rodrigues dos Santos** (\*\*\*.441.154-\*\*), em **23/07/2025 22:39:31** com chave **0bb9408a682f11f09af71a1c3150b54b**.
- **Jadilson Marinho da Silva** (\*\*\*.269.135-\*\*), em **05/08/2025 12:18:44** com chave **7a302c56720f11f09e581a7cc27eb1f9**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse [https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar\\_documento/](https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/) e informe os dados a seguir.

**Tipo de Documento:** Folha de Aprovação do Projeto Final

**Data da Emissão:** 05/08/2025

**Código de Autenticação:** 90245f



Aos meus familiares, pela dedicação, companheirismo e  
amizade, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Professores do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UEPB que contribuíram para minha formação.

Ao Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos, coordenador do curso de Mestrado Profissional em Física, MPEF da UEPB, pelo empenho, atenção e amizade demonstrados durante todo o processo.

À professora Dra. Morgana Lígia de Farias Freire, minha orientadora, sou grato pelas valiosas sugestões de leitura e pela dedicação à minha orientação.

À Karla, secretária do curso do MNPEF da UEPB, pela presteza e eficiência no atendimento às minhas solicitações.

À minha esposa, Claudimary Laleska F. L. de Menezes, agradeço imensamente a paciência, o amor e a compreensão por minha ausência em momentos familiares.

À minha avó, minha mãe e meu pai (*in memoriam*), embora distantes fisicamente, sinto suas presenças me fortalecendo.

Aos meus filhos, Armando Kelvyn, Ketylle e Uirá, pelos quais eu tenho as maiores motivações, por me fazerem um pai mais feliz.

Aos colegas e amigos do curso, agradeço os momentos de descontração, amizade e apoio mútuo.

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

*“Ensinar é um exercício de imortalidade.  
De alguma forma continuamos a viver  
naqueles cujos olhos aprenderam a ver o  
mundo pela magia da nossa palavra.  
O professor, assim, não morre jamais...”*  
Rubem Alves

## RESUMO

No mundo que nos rodeia, os fenômenos físicos são uma presença constante. Dentre eles, dois se destacam: os movimentos e as ondas. Sabemos que é difícil imaginarmos uma situação na qual não estejamos em contato com movimentos ou, imersos em ondas. Em particular, com todo esse desenvolvimento tecnológico do mundo moderno onde somos constantemente expostos a diversas formas de radiação eletromagnética, é crucial compreender os diferentes tipos de radiação e as medidas de proteção correspondentes. Nosso objetivo foi desenvolver e aplicar uma sequência de ensino desenvolvida para explorar o espectro eletromagnético, abordando desde suas propriedades fundamentais até suas aplicações práticas. A abordagem adotada nesta sequência de ensino baseou-se nos “Três Momentos Pedagógicos”: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Através de atividades diversificadas, como o uso de simuladores computacionais, atividades escritas, pesquisa e debates em grupo, os estudantes foram incentivados a construir seu conhecimento sobre os diferentes tipos de radiação eletromagnética e a desenvolver uma consciência sobre questões relacionadas às radiações eletromagnéticas. A aplicação da sequência de ensino demonstrou ser uma abordagem eficaz para promover a compreensão do espectro eletromagnético, transformando a sala de aula em um ambiente de diálogo, investigação e reflexão crítica, indo além da memorização de conceitos e conectando a física com o cotidiano dos estudantes.

**Palavras-Chave:** espectro eletromagnético; três momentos pedagógicos; tipos de radiação.

## ABSTRACT

In the world around us, physical phenomena are a constant presence. Among them, two stand out: movements and waves. We know that it's hard to imagine a situation in which we are not in contact with movements or immersed in waves. Particularly, with all the technological development of the modern world where we are constantly exposed to various forms of electromagnetic radiation, it is crucial to understand the different types of radiation and the corresponding protection measures. Our objective was to develop and apply a teaching sequence designed to explore the electromagnetic spectrum, addressing everything from its fundamental properties to its practical applications. The approach adopted in this teaching sequence was based on the "Three Pedagogical Moments": Initial Problematization, Organization of Knowledge, and Application of Knowledge. Through diverse activities, such as the use of computational simulators, written activities, research, and group debates, students were encouraged to build their knowledge about the different types of electromagnetic radiation and to develop an awareness of issues related to electromagnetic radiation. The application of the teaching sequence proved to be an effective approach to promote the understanding of the electromagnetic spectrum, transforming the classroom into an environment of dialogue, investigation, and critical reflection, going beyond the memorization of concepts and connecting physics with the students' daily lives.

**Keywords:** electromagnetic spectrum; three pedagogical moments; types of radiation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Representação de uma onda eletromagnética e algumas características.....	27
Figura 2 -	Representação do espectro eletromagnético.....	34
Figura 3 -	Interação dos raios X com um átomo.....	38
Figura 4 -	Representação do corpo humano visto pelo ponto eletromagnético, ou seja, imagens térmicas com o uso do infravermelho.....	39
Figura 5 -	Representação do experimento da dupla fenda de Young.....	40
Figura 6 -	Um elétron absorvendo energia, ficando excitado e salta para uma órbita mais externa, com nível de energia superior, nas representações diagramas de órbitas e de energias.....	43
Figura 7 -	Um elétron liberando energia na forma de radiação eletromagnética e salta para uma órbita mais interna, com nível de energia inferior, nas representações de diagramas de órbitas e de energias.....	44
Figura 8 -	Representação do efeito fotoelétrico.....	44
Figura 9 -	Esquema do aparato para estudar o efeito fotoelétrico.....	45
Figura 10 -	Representação do efeito Compton.....	46
Figura 11 -	Diagrama do fenômeno da formação de pares.....	48
Figura 12 -	Imagem de exame de tomografia computadorizada.....	52
Figura 13 -	Recorte da página do Jornal Estadão.....	68
Figura 14 -	Questionário aplicado para verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.....	68
Figura 15 -	Atividades avaliativas foram cobradas dos estudantes ao final de cada dois encontros consecutivos do segundo momento pedagógico dos 3MP.	70
Figura 16 -	Alguns slides usados durante as aulas expositivas referente ao primeiro encontro do segundo momento pedagógico dos 3MP.....	71
Figura 17 -	Slides usados durante as aulas expositivas referente ao segundo encontro do segundo momento pedagógico dos 3MP.....	72
Figura 18 -	Alguns slides usados durante as aulas expositivas referente ao terceiro encontro do segundo momento pedagógico dos 3MP. ....	73
Figura 19 -	Questionário avaliativo para verificar a evolução de novos entendimentos pelos estudantes no terceiro momento dos 3MP.	75
Figura 20 -	Recortes de duas respostas de quatro estudantes ao questionário de verificação dos conhecimentos prévios.....	78
Figura 21 -	Uma Estudante segurando um exame de raio X, apresentando um parafuso em seu intestino.....	80
Figura 22 -	Momentos de discussões e resolução de questões referentes as aulas do 3MP.....	83
Figura 23 -	Momento de apresentação do conteúdo por parte do professor.....	84
Figura 24 -	Estudantes resolvendo as atividades propostas no segundo momento dos 3MP.....	84
Figura 25 -	Recortes de respostas dos estudantes, referentes as relações entre grandezas e suas determinações.	87
Figura 26 -	Apresentação na “aula show”, na EREM- Arcoverde, com a presença do professor de física do SESC, Alexsandro.....	89
Figura 27 -	Recorte de respostas dos estudantes à atividade de conclusão.....	91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Autarquia de Ensino Superior de Arcoverde
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
EREMA	Escola de Referência em Ensino Médio de Arcoverde
GRE	Gerência Regional de Ensino
IES	Instituições de Ensino Superior
INCA	Instituto Nacional de Câncer
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LHC	Large Hadron Collider
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
SE	Sequência de Ensino
SESC	Serviço Social do Comércio
TC	Tomografia computadorizada
USP	Universidade de São Paulo
UVA	Ultra violeta tipo A
UVB	Ultra violeta tipo B
VUNESP	Fundação para o Vestibular da Universidade Estadual Paulista

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Esquema de algumas características da abordagem dos três momentos pedagógicos.....	18
Quadro 2 - Resumo de como ficou a nova reforma do novo ensino médio.....	25
Quadro 3 - Denominação dos nêutrons de acordo com sua energia.....	55
Quadro 4 - Cronograma da aplicação da Sequência de Ensino referente ao espectro eletromagnético usando a abordagem dos 3MP.....	67
Quadro 5 - Simulações computacionais que foram utilizadas na sequência de ensino.....	69
Quadro 6 - Títulos e endereços eletrônicos dos vídeos utilizados sobre o espectro eletromagnético durante a sequência de ensino com 3MP.....	74
Quadro 7 - Aspectos positivos e negativos do primeiro momento pedagógico dos 3MP.....	95
Quadro 8 - Aspectos positivos e negativos do segundo momento pedagógico dos 3MP.....	96
Quadro 9 - Aspectos positivos e negativos do terceiro momento pedagógico dos 3MP.....	96

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO.....	15
2.1	Princípios Fundamentais de uma Teoria Construtivista de Ensino.....	15
2.2	Os três momentos pedagógicos.....	16
2.2.1	<i>Problematização inicial</i> .....	18
2.2.2	<i>Organização do conhecimento</i> .....	20
2.2.3	<i>Aplicação do conhecimento</i> .....	21
2.3	A importância da problematização inicial.....	22
2.4	A BNCC e os três momentos pedagógicos.....	24
3	REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA.....	26
3.1	As ondas eletromagnéticas.....	26
3.2	Espectro eletromagnético.....	34
3.3	Radiações: ionizantes e não ionizantes.....	36
3.4	Energia e radiação.....	40
3.5	Interação da radiação com a matéria.....	44
3.6	Interação de nêutrons com a matéria.....	53
3.7	Interação das radiações diretamente ionizantes com a matéria.....	56
3.8	Interação de elétrons com a matéria.....	65
3.9	Interação das partículas alfa com a matéria.....	60
4	METODOLOGIA .....	63
4.1	Descrição da pesquisa.....	63
4.2	A aplicação da sequência de ensino.....	65
4.2.1	<i>Localização</i> .....	65
4.2.2	<i>Público-alvo</i> .....	65
4.3	A abordagem didática dos três momentos pedagógicos.....	66
4.3.1	<i>Problematização inicial</i> .....	67
4.3.2	<i>Organização do conhecimento</i> .....	70
4.3.3	<i>Aplicação do conhecimento</i> .....	74
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL .....	104
	APÊNDICE B– ALGUNS QUESTIONÁRIOS E SUAS RESPOSTAS....	145

## 1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos físicos são uma presença constante. Dentre eles, dois se destacam: os movimentos e as ondas. Sabemos que é difícil imaginarmos uma situação na qual não estejamos em contato com movimentos ou, imersos em ondas. Devemos lembrar que:

[...] o ponto alto da teoria eletromagnética no século XIX foi a previsão e a comprovação experimental de que campos eletromagnéticos poderiam se propagar pelo espaço. Isso abriu um campo inteiramente novo na área das comunicações, primeiro com o telégrafo sem fio, depois com o rádio e, finalmente com a televisão” (Ferraro et al., 2001, p. 518).

No mundo contemporâneo, o espectro eletromagnético permeia nossa vida cotidiana de maneiras que muitas vezes passam despercebidas. Desde a luz do Sol que aquece a Terra até as ondas de rádio que nos mantêm conectados ao mundo digital, a radiação eletromagnética desempenha um papel fundamental em inúmeras atividades humanas. A era da informação em que vivemos se baseia quase integralmente na física das ondas eletromagnéticas (Halliday; Resnick e Walker, 2016). No entanto, juntamente com os benefícios do uso dessas radiações, também surgem preocupações com relação à proteção contra seus potenciais efeitos adversos. Com todo esse desenvolvimento tecnológico onde somos constantemente expostos a essas diversas formas de radiação eletromagnética, é crucial compreender os diferentes tipos de radiação e as medidas de proteção correspondentes. Por exemplo, com relação às radiações não ionizantes, temos que:

Todos nós somos expostos a radiação não ionizantes, sejam elas por meio de fontes naturais ou produzidas pelo homem. A exposição domiciliar é muito maior em residências próximas às torres de transmissão e distribuição de eletricidade. Outra forma de exposição comum é a utilização de telefones celulares próximos da cabeça. Níveis muito mais baixos de radiação têm origem nas antenas de transmissão de rádio e TV (Kesminiene e Schüz, 2014, p. 578).

Uma das áreas em que a proteção contra a radiação eletromagnética é de extrema importância é a medicina. Nos exames médicos, como radiografias, tomografias e ressonâncias magnéticas, a exposição à radiação é inevitável (VX Medical Innovation, 2009). Portanto, é essencial implementar medidas rigorosas de proteção para garantir a segurança dos pacientes e dos profissionais de saúde envolvidos. Isso inclui o uso de aventais de chumbo para reduzir a exposição à radiação ionizante, bem como o emprego de protocolos de imagem otimizados para minimizar a dose de radiação recebida.

Além dos exames médicos, no cotidiano também estamos expostos a diversas fontes de radiação eletromagnética, como os dispositivos eletrônicos que utilizamos diariamente. Telefones celulares, fornos de micro-ondas, redes Wi-Fi e muitos outros dispositivos emitem radiação eletromagnética em diferentes frequências (Kesminiene e Schüz, 2014). Embora a maioria dessas exposições seja considerada segura em níveis normais de uso, é importante estar ciente dos potenciais riscos e adotar medidas de proteção quando necessário.

A radiação ionizante é um fenômeno naturalmente presente no Universo e também gerado pelo homem através de diversas fontes tecnológicas. Este tipo de radiação possui energia suficiente para remover elétrons de átomos, criando íons e potencialmente causando danos aos seres vivos e ao meio ambiente (INCA, 2021). Seu estudo e compreensão são essenciais não apenas para a segurança em aplicações industriais e médicas, mas também para a proteção da saúde pública e a preservação do ecossistema global. A versátil aplicabilidade na área da Medicina – como a Medicina Nuclear, “possibilita, desde o início e ao longo do século XX, o diagnóstico e o tratamento de doenças” (Terini, 2018, p. 4).

Nesta dissertação, exploraremos os diferentes tipos de radiação ionizante, e não ionizantes, suas aplicações, efeitos e as estratégias atuais para mitigar seus impactos negativos, proporcionando uma visão abrangente sobre um tema de importância crescente no cenário científico e tecnológico contemporâneo.

Diante desse contexto, neste trabalho tem-se como objetivo geral, apresentar uma Sequência de Ensino baseada nos Três Momentos Pedagógicos, com o intuito de explorar o espectro eletromagnético, discutindo a natureza da onda eletromagnética e suas aplicações.

Para isso, discutimos as propriedades das diferentes faixas do espectro, os efeitos da exposição excessiva à radiação eletromagnética, bem como as estratégias para minimizar esses riscos no contexto dos exames médicos e do uso cotidiano.

Dominar os conceitos básicos sobre radiação eletromagnética e conhecer as medidas de segurança adequadas é fundamental para que os indivíduos façam escolhas conscientes e protejam sua saúde em um mundo cada vez mais digital, onde a tecnologia está presente em todos os aspectos da vida, o que por consequência inclui diversos tipos de ondas eletromagnéticas, ou seja, radiações.

Neste trabalho apresentamos uma Sequência de Ensino desenvolvida para explorar o espectro eletromagnético, abordando desde suas características, como

organização, propriedades fundamentais, bem como suas aplicações práticas. Vamos discutir sobre cada faixa, as primeiras descobertas. A abordagem adotada nesta sequência de ensino baseia-se nos “Três Momentos Pedagógicos: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento” (Giacomini e Muenchen, 2015, p. 2).

Através de atividades práticas, pesquisa de materiais, simulações e debates em grupo, os estudantes são incentivados a construir seu próprio conhecimento e desenvolver uma compreensão abrangente do espectro eletromagnético, promovendo a curiosidade científica e a conscientização sobre questões relacionadas às radiações eletromagnéticas.

Esta pesquisa foi organizada em seis capítulos. No Capítulo 1 apresentamos a motivação, objetivo geral e justificativa para a escolha do tema na introdução. No Capítulo 2, apresentamos o alicerce teórico em Ensino, ou seja, os Três Momentos Pedagógicos que pode estimular o estudante a construir o próprio conhecimento de forma dialógica, partindo de suas experiências e conhecimentos prévios, além de ser uma abordagem que favorece a interação entre os estudantes e a troca de ideias, em especial, para conteúdos referentes à Física, tanto Clássica quanto Moderna, em que se faz necessário o uso de uma abordagem contextualizada e dialogada. No Capítulo 3, nos debruçamos sobre o tópico referente à Física, o estudo das ondas, com ênfase especial nas ondas eletromagnéticas. Exploramos o espectro eletromagnético e os tipos de radiações, ionizantes e não ionizantes. No Capítulo 4, apresentamos a construção da Sequência de Ensino, desde a seleção dos conteúdos até a elaboração das atividades para a sala de aula, e discutimos os procedimentos metodológicos utilizados para análise dos dados. No Capítulo 5 tem-se os resultados e discussão e no Capítulo 6, as considerações finais.

Como Produto Educacional, apresentamos uma Sequência de Ensino, destinada a professores do ensino médio, intitulada “O Espectro Eletromagnético: Radiações e Medidas de Proteção”, que visa promover a compreensão dos diferentes tipos de radiação e a importância das medidas de proteção. Composta por atividades, recursos digitais e orientações pedagógicas, elaborada com intuito de estimular o pensamento crítico e a autonomia dos estudantes, através dos Três Momentos Pedagógicos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO**

Ao longo da história, diferentes teorias têm buscado compreender como os indivíduos aprendem e como esse processo pode ser otimizado. O ensino tradicional, centrado na figura do professor como transmissor de conhecimento, predominou por muitos anos. No entanto, a partir de meados do século XX, tivemos uma revolução da compreensão sobre o processo de aprendizagem, dando origem à teoria construtivista.

O construtivismo, em linhas gerais, defende que o conhecimento não é uma cópia da realidade, mas uma construção individual e social. Nessa perspectiva, o estudante não é um recipiente a ser preenchido, mas um sujeito ativo que constrói seus próprios significados a partir da interação com o meio e com outras pessoas.

Nessa perspectiva, o conhecimento não é uma cópia da realidade. Mas uma construção individual e social, que se dá por meio da interação do sujeito com o meio e com outras pessoas. Dentro da teoria construtivista para a prática pedagógica uma das contribuições foi a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos.

### **2.1 Princípios fundamentais de uma teoria construtivista de ensino**

Para os professores, ou seja, aqueles que trabalham com ensino, é notório que no decorrer da história, a didática, como campo de estudo e prática pedagógica, tem acompanhado as transformações sociais, culturais e tecnológicas das últimas décadas. As novas gerações, marcadas pelo acesso à informação instantânea e pela interação constante com dispositivos digitais, demandam abordagens pedagógicas inovadoras que promovam a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de habilidades do século XXI, como o pensamento crítico, a autonomia e a colaboração.

Neste sentido, o papel do professor é o de proporcionar aos estudantes meios para os quais eles possam desenvolver pensamentos críticos, poder de observação e análise de situações. Em seu livro, Libaneo (1990) defende uma atividade docente ativa, motivadora para que seja possível o estímulo a curiosidade de aprender por parte do estudante. Para o pesquisador o ensino será bem sucedido quando: “[...] ensinar e aprender, pois, são duas facetas do mesmo processo, e que se realizam em torno das matérias de ensino, sob a direção do professor” (Libaneo, 1990, p. 52).

O processo educacional contemporâneo exige dos professores, novas estratégias, novas metodologias e práticas participativas que despertem a criatividade do estudante e a interdisciplinaridade entre as áreas do conhecimento. As pesquisas em Ensino de Ciências ou Física apontam que, mesmo fazendo parte do cotidiano dos estudantes, os conteúdos apresentados, principalmente em Física, que são abordados em sala de aula, parecem desconectados das questões ambientais, científicas, tecnológicas, sociais, econômicas, culturais, políticas e éticas (Santos e Schnetzler, 2010).

Nesse contexto, a elaboração e aplicação de diversas metodologias de ensino são essenciais para a motivação dos educandos. Em decorrência disso, os professores buscam alternativas que minimizem tais dificuldades de conexão, priorizando a participação dos estudantes e contribuindo para o desenvolvimento da autonomia dos mesmos na co-construção de conhecimentos científicos e tecnológicos (Prsybyciem, 2015).

Dentre as propostas de trabalho, vamos destacar uma que é a aplicação do ensino por investigação. Essa abordagem pedagógica apresenta relevância, uma vez que buscar promover uma aprendizagem ativa no decorrer do tempo, na qual os estudantes são estimulados a investigar, questionar e construir seus próprios conhecimentos, ou seja, são protagonistas na construção de seus conhecimentos científicos, desenvolvendo habilidades essenciais para a vida.

## **2.2 Os três momentos pedagógicos**

A metodologia denominada de Três Momentos Pedagógicos, abreviada por 3MP, foi proposta por Delizoicov e Angotti (1990) e também investigada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), durante o processo de formação de professores na região de Guiné-Bissau, inspirada na pedagogia de Freire (1987) para um contexto de educação formal, que enfatiza uma educação dialógica, onde o professor deve mediar uma conexão entre os conteúdos científicos, expostos em sala de aula, com a realidade de seu cotidiano.

Essa abordagem, que enfatiza o protagonismo do estudante, ao problematizar situações do cotidiano, organizar o conhecimento e aplicá-lo em diferentes contextos, os estudantes tornam-se sujeitos ativos de sua aprendizagem (Moreira, 2014; Freire 2005). Nesta perspectiva de abordagem temos que “estudar requer apropriação da

significação dos conteúdos, a busca de relações entre os conteúdos e entre eles e aspectos históricos, sociais e culturais do conhecimento, “o educando se assume como sujeito do ato de estudar e adote uma postura crítica e sistemática” (Moreira, 2014, p. 4). Por consequência, que o ato de ensinar “não é transferir conhecimento, mas criar possibilidades para sua própria produção ou a sua construção” (Freire, 1996, p. 13).

Nesse sentido, a abordagem dos 3MP vem se apresentando como um meio facilitador para o crescimento do conhecimento do educando, ou seja, é uma metodologia que emerge como um caminho promissor para estimular a construção autônoma do conhecimento pelos estudantes. Delizoicov e Angotti (1990, p. 620) caracterizam a abordagem dos 3MP em três etapas sequenciais: Problematização inicial, Organização do conhecimento e Aplicação do conhecimento (Quadro 1). Os 3MP busca promover uma aprendizagem contextualizada e significativa, em que o processo de ensino em três etapas independentes e interligadas:

Embora denominados de etapas, deve-se dizer que sua natureza investigativa organiza-se em um ciclo composto por três fases (ou momentos) interligadas (ou interligados). Assim, como também, utilizamos o termo abordagem ao invés de metodologia, para enfatizar a flexibilidade e adaptabilidade dessa proposta pedagógica. Cada uma das etapas é especificada a seguir.

Primeiro momento: “problematização inicial” É o momento no qual os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre o assunto. O professor, com a função coordenadora, irá concentra-se mais em questionar e problematizar este conhecimento, fomentando discussões e lançando dúvidas sobre o assunto do que em responder ou fornecer explicações. O objetivo do primeiro momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno, ao se deparar com interpretações das situações propostas pelo professor.

Segundo momento: “organização do conhecimento”, é o momento em que os alunos estudarão os conhecimentos selecionados pelo professor como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial. Neste momento, o aluno irá resolver problemas e atividades propostas em livros didáticos que desempenharão uma função formativa na apropriação de conhecimentos.

Terceiro momento: “aplicação do conhecimento”, é o momento em que é abordado sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno e em que são analisadas e interpretadas as situações que determinaram seu estudo; é neste momento que os alunos são capacitados para empregar seus conhecimentos, e em que eles poderão articular a conceituação científica com situações reais (Giacomini e Muenchen, 2015, p. 343-344).

**Quadro 1** - Esquema de algumas características da abordagem dos Três Momentos Pedagógicos.

OS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	OBJETIVO	IMPLEMENTAÇÃO
<b>PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL</b>	Introduzir o tema de forma a despertar a curiosidade e a reflexão dos estudantes.	Apresentar situações-problema do cotidiano dos estudantes, relacionadas ao conteúdo a ser estudado. Promover um debate inicial sobre essas situações, incentivando a troca de ideias e a construção de hipóteses. Explorar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema.
<b>ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO</b>	Sistematizar os conhecimentos científicos sobre o tema.	Apresentar os conceitos teóricos de forma clara e organizada, utilizando diferentes recursos didáticos (textos, vídeos, experimentos). Estabelecer relações entre os novos conhecimentos e as situações-problema apresentadas na problematização inicial. Propor atividades que permitam aos estudantes aprofundarem seus conhecimentos e desenvolver habilidades de análise e síntese.
<b>APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO</b>	Aplicar os conhecimentos adquiridos em novas situações e resolver problemas.	Propor atividades que exijam a utilização dos conhecimentos teóricos para analisar e interpretar novas situações. Incentivar a produção de trabalhos que demonstrem a compreensão do tema e a capacidade de relacioná-lo com o cotidiano. Promover a discussão em grupo e a troca de experiências entre os estudantes.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Para que os conteúdos sejam apresentados de forma contextualizada e relevante para os estudantes, é fundamental que se adotem abordagens pedagógicas que promovam a participação ativa dos estudantes, conectando os conteúdos científicos, por exemplo, às questões ambientais, sociais e tecnológicas (Silva e Marcondes, 2010; Wartha, Silva e Bejarano, 2013; Macedo e Silva, 2014).

### **2.2.1 Problematização inicial**

Neste primeiro momento, o foco está na introdução do conceito por meio de uma situação que desperta o interesse dos estudantes e os leva a questionar e explorar. Segundo os autores, Delizoicov e Angotti (1990), é nessa etapa que se apresentam questões e/ou situações para discussão com os estudantes, visando

relacionar o estudo de um conteúdo com situações reais que eles conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes.

Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes (Delizoicov e Angotti, 1990, p. 29).

Ou seja, é na problematização que se deseja aguçar explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações do conhecimento que vem sendo expressado, quando este é cotejado com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado (Delizoicov, Angotti e Pernambuco 2002, p. 201). Portanto, esse primeiro momento é caracterizado pela compreensão e apreensão da posição dos estudantes frente ao tema. É desejável ainda, que a postura do professor se volte mais para questionar e lançar dúvidas sobre o assunto, criar hipóteses que para responder e fornecer explicações.

Para o primeiro momento, ou seja, a problematização inicial, devem ser apresentadas situações para discussão com os estudantes, sendo mais do que uma simples motivação, ou seja:

[...] motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes.

A problematização poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. Por um lado, o aluno já poderá ter noções sobre as questões colocadas, fruto da sua aprendizagem anterior na escola ou fora dela. As noções poderão ou não estar de acordo com as teorias e as explicações da Física, representando o que se tem chamado de “concepções alternativas” ou “conceitos espontâneos” dos alunos. A discussão problematizada pode permitir que essas concepções emerjam. Por outro lado, a problematização poderá permitir que o aluno sinta necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém; ou seja, a situação ou questão se configura para ele como um problema para ser resolvido. Daí, a importância de se problematizarem questões e situações. Neste primeiro momento, caracterizado pela compreensão e apreensão da posição dos alunos frente ao tópico, é desejável que a postura do professor se volte mais para questionar e lançar dúvidas sobre o assunto que para responder e fornecer explicações (Delizoicov e Angotti, 1992, p. 29).

O professor precisa considerar os conhecimentos prévios dos estudantes, para criar situações de aprendizagem que os desafiem a buscar novos conhecimentos e aprofundar suas compreensões. O ponto culminante “dessa problematização é fazer

que o estudante sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser enfrentado” (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2007, p. 201).

### **2.2.2 Organização do conhecimento**

Neste momento, o foco é na formalização do conceito, fornecendo aos estudantes uma estrutura conceitual e linguagem adequada para descrever e entender o que foi explorado na primeira fase. Aqui, os professores apresentam definições formais, teoremas, propriedades e símbolos matemáticos relevantes relacionados ao conceito em questão. Delizoicov e Angotti (1990, p. 29) explicam que, nele os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema e da Problematização Inicial devem ser sistematicamente estudados sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis, apresentadas no texto introdutório, serão agora aprofundados.

Os estudantes são guiados a organizar suas descobertas e experiências em um formato mais formal, permitindo-lhes desenvolver uma compreensão mais abstrata e generalizada do conceito. De acordo com Albuquerque, Santos e Ferreira (2015, p. 467) esse é o momento em que os conhecimentos científicos passam a ser incorporados nas discussões. Os estudantes começam a desenvolver uma compreensão a respeito da problematização ou situação inicial. Entretanto, para que isso ocorra, materiais devem ser consultados e atividades devem ser sugeridas para complementar as discussões, no sentido de incentivar e melhorar a sistematização dos conhecimentos.

Nessa perspectiva, deve-se ressaltar a importância de diversificadas atividades, com as quais se poderá trabalhar para organizar a aprendizagem (Delizoicov e Angotti, 1990). Sugerem exposições, pelo professor, de definições e propriedades, além de formulações de questões (exercícios de fixação como dos livros didáticos), textos e experiências. Neste sentido, atualmente poderíamos acrescentar as mídias digitais, como televisão, vídeos, filmes, programas tecnológicos, aplicativos de celulares, simulações, entre outros, de modo a auxiliar no processo da sistematização do conhecimento.

### **2.2.3 Aplicação do conhecimento**

Os estudantes são convidados a aplicar o conceito em novos contextos, resolver problemas e realizar atividades que consolidem e aprofundem sua compreensão. O objetivo é permitir que os estudantes transfiram o conhecimento adquirido para situações diferentes e mais complexas, desenvolvendo assim habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico. Nela, o conhecimento que vem sendo incorporado pelo estudante para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento (Delizoicov e Angotti, 1990).

Este é o momento importante também para que os estudantes encontrem relações entre os temas abordados, não apenas através dos conceitos, mas também de fenômenos que possam ter alguma conexão com as informações apresentadas. Nele, os estudantes são desafiados a usar o conhecimento de forma autônoma e criativa, demonstrando sua capacidade de aplicar o que aprenderam de maneira significativa.

No entanto, o professor mantém a postura problematizadora, podendo trazer questionamentos que não foram levantados pelos estudantes, como informações e problemas que surgirão no decorrer dos momentos. Além disso, este é um bom momento para o professor formalizar alguns conceitos que não foram aprofundados pelos estudantes (Albuquerque, Santos e Ferreira, 2015).

Os 3MP são interdependentes e complementares entre si, formando um ciclo de ensino e aprendizagem que visa promover uma compreensão profunda e duradoura dos conceitos.

Sob o formato dessa abordagem sequencial, a proposta didática dos 3MP amparados nas proposições de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) foi incorporada à proposta de ensino-aprendizagem de noções de Física das radiações. Através da exploração inicial, formalização e aplicação prática, os estudantes foram incentivados a se tornarem participantes ativos na construção do conhecimento, ao invés de meros receptores passivos de informações.

Essa abordagem pedagógica visa desenvolver habilidades cognitivas, metacognitivas e afetivas dos estudantes, proporcionando-lhes uma base sólida para o aprendizado contínuo e o pensamento crítico. Em relação à Física do ensino médio,

a literatura nos mostra uma preocupação em aproximar os conteúdos com a vivência dos estudantes, como no trecho “Ao longo da elaboração da obra, a seguinte questão esteve presente: “Para que serve o ensino de Física no 2º grau?” (Muenchen e Delizoicov, 2014, p. 622). Com isso, os autores demonstram a preocupação em subsidiar um trabalho didático-pedagógico que permita tanto a apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e sua utilização, assim como sua aproximação com fenômenos ligados a situações vividas pelos educandos (Delizoicov e Angotti, 1990).

A principal característica das metodologias ativas reside no protagonismo do estudante no processo de ensino-aprendizagem. Ao invés de serem meros receptores de informações, os estudantes são incentivados a assumir um papel central na construção do próprio conhecimento, por meio da investigação, da resolução de problemas e da interação dinâmica com o conteúdo.

A metodologia dos 3MP é considerada ativa, a depender da postura do engajamento da turma. Ela é ativa devido as seguintes características: o estudante não é um receptor passivo de informações, mas um construtor ativo do seu próprio conhecimento, ele é o protagonista; o conhecimento é construído a partir de experiências e necessidades dos estudantes, tornando a aprendizagem significativa e duradoura; estimula o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, resolução de problemas, trabalho em equipe, criatividade entre outras. Diante das características tem-se apontado ser inovadora, pois o estudante está no centro do processo de ensino-aprendizagem. E ao estimular a participação ativa, a construção do conhecimento e a aplicação prática do que é aprendido, essa metodologia contribui para uma educação transformadora.

### **2.3 A importância da problematização inicial**

A problematização, nos 3MP, vai além de uma simples pergunta. Ela é uma ferramenta poderosa para estimular a reflexão, o debate e a construção do conhecimento. Ao transformar perguntas em problemas, o professor cria um ambiente de aprendizagem desafiador e relevante, onde os estudantes são protagonistas de sua própria aprendizagem.

Embora pergunta e problema visem instigar a reflexão e a busca por respostas, a problematização, vai além de uma pergunta; pois, ela carrega consigo “uma carga” de significado e profundidade.

A problematização inicial pode ser pensada como “um convite” para uma análise crítica. Sua finalidade é estimular o estudante a saber desenvolver desafios, com um olhar crítico sobre as situações propostas, questionando suas próprias interpretações e reconhecendo a necessidade de aprofundar seus conhecimentos para construir uma compreensão precisa e, por que não, também abrangente da realidade. Seguindo esta lógica, o professor deseja estimular “explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações do conhecimento que vem sendo expressado, quando este é cotejado com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado” (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002, p. 201).

Os 3MP tem como um dos desafios, a profundidade dos problemas. Como nesta etapa, deve - se apresentar questões-problemas ou situações reais que os estudantes conhecem e presenciam. Os estudantes são desafiados a expressar suas opiniões sobre essas situações, permitindo ao professor conhecer o que eles pensam. No entanto, a problematização pode ser superficial, não explorando um tema como deveria. E indo mais além, pode haver ausência de diversidade de problemas, o que ao nosso ver poderia causar ausência do engajamento dos estudantes. Motivo, pelo qual procuramos entender melhor, como deve ser a problematização inicial. Ademais, nos 3MP “a problematização está implícita em todos os momentos, pois busca, a partir de aspectos relacionados à vida dos educandos, discutir, investigar, dialogar, problematizar tais situações” (Araújo e Muenchen, 2018, p. 55).

O professor durante a problematização inicial, atua como um facilitador da aprendizagem, promovendo um ambiente que estimula a reflexão crítica e a construção de significados (Delizoicov, 2001). Ao invés de fornecer respostas prontas, ele organiza a discussão de forma a desafiar os estudantes a questionarem suas próprias interpretações para construir um conhecimento tipo compartilhado.

## 2.4 A BNCC e os três momentos pedagógicos

Os 3MP pode ser uma abordagem para o Ensino de Ciências (Física), quando se trata de implementar a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) no ambiente de sala de aula. Por conta das suas características pode promover uma educação ativa, crítica e conectada com a realidade dos estudantes. E, como consequência, os professores podem contribuir para a formação de cidadãos críticos e conscientes; e assim preparados para os desafios contemporâneos. Ao conseguirem isso, considerando os 3MP, os professores, provavelmente, criam um ambiente com um ensino dinâmico e desafiador. Em outras palavras, a implementação dos 3MP em sala de aula pode criar um ambiente de aprendizagem dinâmico e desafiador. Corroborando com a legislação nacional, como defende Locatelli, Crestani e Rosa (2020).

A legislação nacional exemplificada na voz dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999) e na Base Nacional Curricular Comum (BRASIL, 2017), somada às pesquisas no campo da Educação, evidencia a necessidade e importância de um ensino interdisciplinar e contextualizado, que direcione as ações em sala de aula para a realidade dos alunos e para o que esperam apreender e conhecer quando chegam à escola (Locatelli, Crestani e Rosa, 2020, p. 189).

Assim, a experimentação, a simulação são caminhos utilizados em uma metodologia de ensino de ciências e está de acordo com a Lei de Diretrizes e Bases - LDB (Brasil, 1996), com os Parâmetros Curriculares Nacionais das Ciências - PCN (Brasil, 1997) e atualmente com a Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2018). A LDB 9394/96 é a lei que abrange desde a educação infantil ao ensino superior, público ou privado, com o objetivo de apresentar aos cidadãos quais os seus direitos e deveres no que tange a educação. Esta lei determina a carga horária mínima para cada nível de ensino, regulamenta os recursos financeiros, atribui funções aos profissionais da educação.

Recentemente foi votada e aprovada no congresso a nova reforma da educação que mantém as 3.000 horas, sendo divididas em 2400 para a base comum e 600 para as eletivas. O presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, sancionou, numa quarta-feira, 31 de julho, a Lei nº 14.945/2024, que estabelece a Política Nacional de Ensino Médio. A norma, que passa a valer em 2025, altera a Lei

nº 9.394/1996, de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, e revoga parcialmente a Lei nº 13.415/2017, que dispõe sobre a reforma do ensino médio (Quadro 2).

### Quadro 2 - Resumo de como ficou a nova reforma do novo ensino médio.

Confira as principais mudanças que serão implementadas no ensino médio, a partir de 2025, com a sanção da Lei nº 14.945/2024:

COMO ERA	COMO FICOU
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga horária obrigatória (ensino regular)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.800 horas para componentes curriculares (Formação Geral Básica), previstos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC)</li> <li>• 1.200 horas para itinerários formativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.400 horas para componentes curriculares (Formação Geral Básica), previstos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC)</li> <li>• 600 horas para itinerários formativos</li> </ul>
<b>Componentes curriculares</b> (anteriormente conhecidos como disciplinas obrigatórias)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente português e matemática, em todos os anos do ensino médio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Português, inglês, artes, educação física, matemática, ciências da natureza (biologia, física, química) e ciências humanas (filosofia, geografia, história, sociologia), em todos os anos do ensino médio</li> <li>• Língua espanhola será opcional</li> </ul>

Fonte: <https://www.planalto.gov.br/>.

No que diz respeito a função do ensino médio em relação a formação do cidadão, podemos destacar o artigo 35, ele tem a responsabilidade de dar suporte para que o educando prossiga nos estudos, seja num ensino profissionalizante ou educação superior, fornecendo também o mínimo do saber para ingressar no mercado de trabalho.

Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades: I) a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos; II) a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores; III) o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico; IV) a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina (Brasil, 2017, s/p).

Além de formação ética criando o desenvolvimento da autonomia intelectual. Ao final do ensino médio espera-se que o estudante tenha adquirido conhecimentos básicos científicos e tecnológicos, ao passo de poder estar relacionando teoria e prática. Dessa forma os dois últimos itens do artigo citado acima permitem a inserção da experimentação e da simulação como ferramentas metodológicas no ensino médio.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA

As ondas eletromagnéticas são a base de diversas tecnologias que utilizamos no nosso dia a dia, como rádio, televisão, celulares e equipamentos médicos. Compreender suas propriedades e aplicações é essencial para entendermos o mundo que nos cerca.

A descoberta das ondas eletromagnéticas revolucionou nossa compreensão do universo. Desde as primeiras experiências de Michael Faraday até as mais recentes pesquisas em física quântica, o estudo das ondas eletromagnéticas tem sido fundamental para o avanço da ciência e da tecnologia.

Para isso abordaremos o conceito de ondas eletromagnéticas, o espectro eletromagnético e por fim as radiações: ionizantes e não ionizantes.

#### 3.1 Ondas eletromagnéticas

No mundo que nos rodeia, os fenômenos físicos são uma presença constante. Dentre eles, dois se destacam: os movimentos e as ondas.

[...] o universo está cheio de caos extremos. Nas profundezas do interior de um buraco negro uma massa enorme fica comprimida a ponto de ocupar um espaço minúsculo. No momento do big-bang, o universo inteiro emergiu de uma pepita microscópica, perto da qual um grão de areia é algo colossal (Greene, 2001, p. 18).

Neste trecho de Brian Greene, o universo é um frenesi de partículas, interações vibrações etc. As ondas são parte importante nesse processo pois, muitas vezes, são as principais responsáveis por transferir energia e informações.

Pode-se dizer que as ondas são classificadas em dois tipos, são elas: as ondas mecânicas (é o caso, por exemplo, das ondas do mar e do som); e, as ondas eletromagnéticas (é o caso, por exemplo, da luz, das ondas de rádio, ondas de celular, raio X) e também *ondas de matéria*.

As ondas eletromagnéticas permeiam nosso cotidiano e são fundamentais para o desenvolvimento tecnológico. Para iniciarmos esta discussão, apresentaremos uma citação que ilustra essa importância.

Há 20 anos a maior parte dessa rede global de processadores de informação não era imaginada nem pelos engenheiros mais visionários. O desafio para os engenheiros de hoje é tentar prever como serão as interconexões globais daqui a 20 anos. O ponto de partida para enfrentar esse desafio é

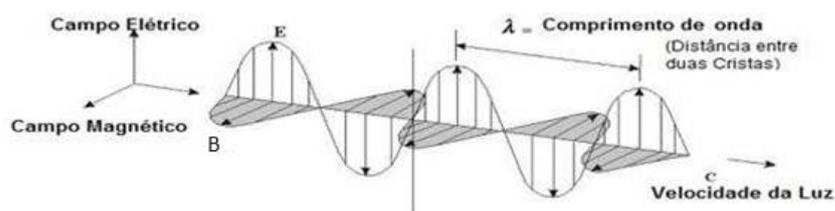
compreender a física básica das ondas eletromagnéticas, que existem em tantas formas diferentes que receberam o nome poético de arco-íris de Maxwell (Halliday, 2009. p. 2).

No século XIX, cientistas dedicaram-se ao estudo dos campos elétricos e magnéticos. Foi nesse período que James Clerk Maxwell fez uma descoberta fundamental: uma carga elétrica oscilante gera um campo magnético ( $\mathbf{B}$ ) e um campo elétrico ( $\mathbf{E}$ ), constituindo o que denominamos onda eletromagnética. A partir dessa descoberta de Maxwell, compreendemos que os fenômenos elétricos e magnéticos estão intrinsecamente ligados, sendo descritos por um conjunto de equações conhecidas como equações de Maxwell. Além disso, Maxwell demonstrou que essas ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo à velocidade da luz, unificando assim a óptica e o eletromagnetismo.

Quando temos uma onda mecânica passando por uma partícula, em um ponto, ela oscila com a mesma frequência ( $f$ ) e mesmo período ( $T$ ) da onda. No caso da onda eletromagnética, são os campos elétrico e magnético que aumentam e diminuem periodicamente sua intensidade, ora num sentido, ora no sentido oposto, por analogia com as ondas mecânicas, dizemos que os campos oscilam (Figura 1).

A direção de propagação de uma onda eletromagnética é simultaneamente perpendicular às direções de oscilação do vetor campo elétrico  $\mathbf{E}$  e do vetor campo magnético  $\mathbf{B}$ . Isso quer dizer que as ondas eletromagnéticas são *sempre transversais*. Sendo  $\mathbf{v}$  a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, os vetores  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$  devem ter, a cada instante, sentidos perpendiculares entre si. Os vetores em nosso texto são representados em negrito e itálico.

**Figura 1** - Representação de uma onda eletromagnética e algumas características.



Fonte: Aguiar (2009, com adaptações)<sup>1</sup>.

Para uma compreensão da propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo, é fundamental entender como a equação de onda pode ser deduzida a partir das

<sup>1</sup> <http://caoptico.blogspot.com/>

equações de Maxwell. Essas equações, propostas por James Clerk Maxwell, descrevem de forma completa o comportamento dos campos elétrico e magnético, relacionando-os com as cargas e correntes que os geram. As equações de Maxwell descrevem o comportamento dos campos elétrico  $\mathbf{E}$  e magnético  $\mathbf{B}$  em função das fontes de carga e corrente. As equações de Maxwell na forma integral são dadas por (Halliday et al., 2016; Machado, 2002):

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}; \quad (\text{Lei de Gauss}) \quad (1)$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0; \quad (\text{Lei de Gauss para o magnetismo}) \quad (2)$$

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi_B^C}{dt}; \quad (\text{Lei de Faraday}) \quad (3)$$

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i_n + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E^C}{dt}. \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \quad (4)$$

onde S indica uma superfície fechada;  $d\mathbf{S}$  é um vetor perpendicular a S; C refere-se a contorno fechado,  $d\mathbf{l}$  é um vetor paralelo, tangencial a C;  $\mathbf{E}$  é o campo elétrico;  $\mathbf{B}$  é o campo magnético; t é o tempo;  $Q_{int}$  é a carga elétrica interna a S, ou seja, dentro de S;  $\phi_B^C$  é o fluxo magnético em uma superfície aberta de contorno C;  $\phi_E^C$  é o fluxo elétrico na superfície aberta de contorno em C;  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica no vácuo; e,  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética no vácuo.

A lei de Gauss é uma lei fundamental da eletrostática que estabelece uma relação entre o fluxo elétrico através de uma superfície fechada (chamada de superfície gaussiana) e a carga elétrica total contida no interior dessa superfície, através dela pode-se verificar como cargas elétricas criam campos elétricos. Já a lei de Gauss permite interpretar a inexistência de monopolos magnéticos, ou seja, cargas magnéticas.

A lei de Faraday, também conhecida como lei da indução eletromagnética, descreve como um campo magnético variável pode induzir uma corrente elétrica em um circuito. O sinal negativo garante que a corrente induzida produz um campo magnético que se opõe a variação que lhe deu origem, lei de Lenz, compatível com o princípio da energia.

A lei de Ampère estabelece que a circulação do campo magnético ao longo de um caminho fechado é diretamente proporcional à corrente elétrica que atravessa a superfície delimitada por esse caminho. No entanto, ao unificar a eletricidade e o magnetismo, percebeu que a lei de Ampère precisava de uma correção para explicar fenômenos como a propagação de ondas eletromagnéticas. Maxwell introduziu o conceito de corrente de deslocamento para explicar como um campo elétrico variável no tempo pode gerar um campo magnético (Halliday, Resnick e Walker, 2016). Essa corrente de deslocamento é proporcional à taxa de variação do fluxo elétrico através de uma superfície. Com a lei de Ampère-Maxwell, campos magnéticos podem ser gerados por correntes elétricas ou campos elétricos variáveis no tempo.

As equações de Maxwell na forma diferencial oferecem uma descrição local e intuitiva dos fenômenos eletromagnéticos (Griffiths, 2010). Elas são obtidas a partir das equações integrais através dos teoremas de Gauss e Stokes, que estabelecem relações entre integrais de superfície e volume com propriedades do campo vetorial (Machado, 2002).

Para a lei de Gauss para o campo elétrico, utiliza-se o teorema de Gauss, ou seja,

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \nabla \cdot \mathbf{E} dV. \quad (5)$$

Expressando a carga como:

$$q = \int_V \rho dV, \quad (6)$$

onde  $\rho$  é a densidade de carga; em que

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{E} dV = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV, \quad (7)$$

obtem-se a forma diferencial, ou seja:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0. \quad (\text{Lei de Gauss}) \quad (8)$$

Da lei de Gauss referente ao campo magnético, se faz o procedimento matemático semelhante a lei de Gauss para o campo elétrico, obtendo a forma diferencial como:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0. \quad (\text{Lei de Gauss do Magnetismo}) \quad (9)$$

Para a lei de Faraday, tem-se do teorema de Stokes que:

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot d\mathbf{s}. \quad (10)$$

O fluxo magnético é dado por:

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad (11)$$

e a derivada temporal de  $\Phi_B$  por:

$$d\Phi_B/dt = \int_S (\partial\mathbf{B}/\partial t) \cdot d\mathbf{s} \quad (12)$$

o que permite igualar as equações como:

$$\int_S (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot d\mathbf{s} = - \int_S (\partial\mathbf{B}/\partial t) \cdot d\mathbf{s} \quad (13)$$

e assim obter a lei na forma diferencial, ou seja,

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t. \quad (\text{Lei de Faraday}) \quad (14)$$

Para a lei de Ampère-Maxwell, de acordo como o teorema de Stokes, pode-se escrever que (Machado, 2002):

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot d\mathbf{s}, \quad (15)$$

onde a corrente elétrica  $i$  é dada por:

$$i = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s}, \quad (16)$$

sendo  $\mathbf{J}$  a densidade de corrente; o fluxo elétrico é dado como:

$$\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}. \quad (17)$$

A derivada temporal é expressada como:

$$d\Phi_E/dt = \int_S (\partial\mathbf{E}/\partial t) \cdot d\mathbf{s} \quad (18)$$

Isso permite fazer a seguinte igualdade:

$$\int_S (\nabla \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \int_S (\mathbf{J} + \varepsilon_0 (\partial\mathbf{E}/\partial t)) \cdot d\mathbf{s} \quad (19)$$

de onde obtém-se a lei em sua forma diferencial como:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left[ \mathbf{J} + \varepsilon_0 \left( \frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} \right) \right]. \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \quad (20)$$

Ou,

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \left( \frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} \right). \quad (21)$$

No vácuo onde as fontes de cargas e correntes estejam muito distantes, tem-se que  $\rho = 0$  e  $\mathbf{J} = 0$  (Machado, 2002; Griffiths, 2010). Daí as equações de Maxwell no formato diferencial passam a ser escritas como:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0; \quad (22)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0; \quad (23)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t; \quad (24)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \partial\mathbf{E}/\partial t. \quad (25)$$

Correspondendo a Lei de Gauss para o campo elétrico, a Lei de Gauss para o campo magnetismo, Lei de Faraday (Indução) e Lei de Ampère – Maxwell, respectivamente.

Partindo das equações de Maxwell no vácuo (ou seja, ausência de cargas e correntes elétricas) para obter a **equação de onda** na forma:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2 \quad (26)$$

para o campo elétrico  $\mathbf{E}$  e

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \partial^2 \mathbf{B} / \partial t^2 \quad (27)$$

para o campo magnético  $\mathbf{B}$ , aplica-se o operador rotacional ( $\nabla \times$ ) em ambos os lados da Equação 24, Lei de Faraday, ou seja:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla \times \left( -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right). \quad (28)$$

Que pode ser reescrita como:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\partial / \partial t (\nabla \times \mathbf{B}). \quad (29)$$

Usando a identidade vetorial:  $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}$  para o campo elétrico  $\mathbf{E}$  (Machado, 2002), tem-se:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}, \quad (30)$$

Como vácuo  $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$ , então,  $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\nabla^2 \mathbf{E}$ , obtém-se que:

$$-\nabla^2 \mathbf{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B}), \quad (31)$$

Em que se substitui o termo  $\nabla \times \mathbf{B}$  como  $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t$ , de acordo com a Lei de Ampère-Maxwell, resultando em:

$$-\nabla^2 \mathbf{E} = -\mu_0 \epsilon_0 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2. \quad (32)$$

Cancelando os sinais negativos obtemos a equação:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (33)$$

Que é a equação de onda para o campo elétrico  $\mathbf{E}$ .

A equação de onda para o campo magnético  $\mathbf{B}$ , segue passos análogos para obtenção da equação de onda para o campo elétrico  $\mathbf{E}$ . Aplicando o rotacional na Lei de Ampère-Maxwell, obtém-se que:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{B}) = \mu_0 \epsilon_0 \partial(\nabla \times \mathbf{E})/\partial t. \quad (34)$$

Usando a Lei de Gauss para o campo magnético, ou seja,  $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ ; que o termo  $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{B})$  pode ser escrito como:  $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{B}) = -\nabla^2 \mathbf{B}$ ; e, a Lei de Faraday:  $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$ , obtém-se que  $-\nabla^2 \mathbf{B} = -\frac{\mu_0 \epsilon_0 \partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$ . Resultando na equação expressa como:

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \partial^2 \mathbf{B} / \partial t^2 \quad (35)$$

Que é a equação de onda para o campo magnético  $\mathbf{B}$ . Como a velocidade da onda eletromagnéticas no vácuo, representada pela letra  $c$  (Machado, 2002; Griffiths, 2010), é dada por:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}, \quad (36)$$

a forma geral da equação referente à onda eletromagnética no vácuo é:

$$\nabla^2 \mathbf{f} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{f}}{\partial t^2}, \quad (37)$$

onde  $\mathbf{f}$  pode ser  $\mathbf{E}$  ou  $\mathbf{B}$ .

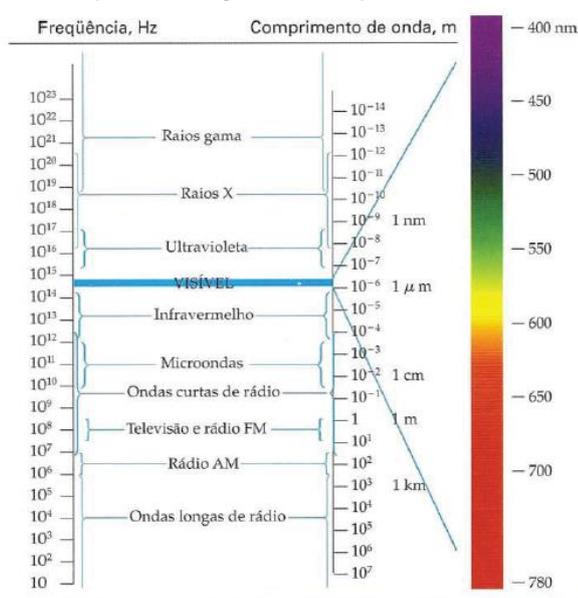
Assim, as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo, com a velocidade da luz  $c$ . A velocidade das ondas eletromagnéticas obtidas, é a velocidade da luz no vácuo que atualmente tem valor aproximado de  $2,99792458 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>. Vale salientar

que a luz, assim como as demais ondas eletromagnéticas (ondas de rádio, micro-ondas etc.) possuem as seguintes características em comum: (1) são transversais,  $E$  e  $B$ , são perpendiculares entre si e à direção de propagação da onda); (2) a razão entre o módulo de  $E$  e  $B$  é constante, ou seja,  $E = c B$ ; (3) a onda se desloca no vácuo com velocidade definida e invariável; e, (4) diferentemente das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas não necessitam de meio material para se propagarem (Machado, 2002; Griffiths, 2010).

### 3.2 O espectro eletromagnético

Um outro conceito importante é o da velocidade definida pelo produto da frequência  $f$  e do comprimento de onda  $\lambda$ . Esse conceito nos ajuda a compreender a relação dessas grandezas quando estamos estudando o espectro eletromagnético já que elas são inversamente proporcionais entre si. O espectro eletromagnético é a faixa completa de todas as frequências de radiação eletromagnética. Ele abrange desde as ondas de rádio, com comprimentos de onda muito longos, até os raios gama, que têm comprimentos de onda extremamente curtos (electricity-magnetism.org). A radiação eletromagnética é composta por ondas que transportam energia e se propagam pelo espaço, e o espectro eletromagnético classifica essas ondas de acordo com sua frequência e comprimento de onda (Figura 2).

**Figura 2 - Representação do espectro eletromagnético.**



Fonte: Tipler e Mosca (2009, p. 342).

Na Figura 2, tem-se uma organização das ondas eletromagnéticas e seus diversos tipos. Estas podem ser separadas, em sete categorias, são elas:

**ONDAS DE RÁDIO:**

- Comprimento de onda: De milímetros a quilômetros;
- Frequência: De quilohertz (kHz) a um giga hertz (GHz);
- Aplicações: Usadas em comunicações (rádio, televisão, telefonia celular), radar, e outros.

**MICRO-ONDAS:**

- Comprimento de onda: De 1 mm a 30 cm;
- Frequência: De 1 GHz a 300 GHz;
- Aplicações: Usadas em fornos de micro-ondas, comunicações via satélite, e radares.

**INFRAVERMELHO (IV):**

- Comprimento de onda: De 700 nm a 1 mm;
- Frequência: De 300 GHz a 430 THz;
- Aplicações: Detecção de calor, visão noturna, e em controles remotos.

**LUZ VISÍVEL:**

- Comprimento de onda: De 380 nm a 700 nm;
- Frequência: De 430 THz a 770 THz;
- Aplicações: Esta é a faixa que o olho humano pode detectar, permitindo-nos ver o mundo ao nosso redor. Inclui todas as cores do arco-íris, desde o violeta (menor comprimento de onda) até o vermelho (maior comprimento de onda).

**ULTRAVIOLETA (UV):**

- Comprimento de onda: De 10 nm a 380 nm;
- Frequência: De 770 THz a 30 PHz;
- Aplicações: Usada em esterilização, luz negra, e também é responsável pelas queimaduras solares. A exposição excessiva à radiação UV pode causar danos à pele e aos olhos.

**RAIOS X:**

- Comprimento de onda: De 0,01 nm a 10 nm;
- Frequência: De 30 PHz a 30 EHz;
- Aplicações: Usados em radiografias médicas, tomografias e na inspeção de materiais e segurança em aeroportos.

**RAIOS GAMA:**

- Comprimento de onda: Menos de 0,01 nm;
- Frequência: Acima de 30 EHz;
- Aplicações: Usados no tratamento de câncer, em diagnósticos médicos, e na observação de fenômenos astrofísicos. Eles são emitidos por elementos radioativos e processos astrofísicos violentos.

Em termos de magnitude e comparação, para dimensionar o Exahertz, considere que ele equivale a um quintilhão de Hertz. Essa unidade é mil vezes superior ao Terahertz

(THz), que por sua vez já representa um trilhão de Hertz. Avançando na escala, encontramos o Peta-hertz (PHz), ou um trilhão de Hertz. Essa frequência extraordinariamente alta encontra aplicações em áreas de ponta da física, como nos aceleradores de partículas. No LHC (Large Hadron Collider), por exemplo, as energias alcançadas nas colisões de partículas atingem a ordem de PHz, permitindo aos cientistas desvendar os segredos fundamentais do Universo.

Ainda observando a Figura 2, tem-se na vertical esquerda, os valores das frequências em cada faixa e na vertical direita, os valores dos correspondentes comprimentos de onda. Estes intervalos não são, em geral, bem definidos e, algumas vezes, se superpõem. Por exemplo, ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda de aproximadamente 0,1 nm são normalmente chamadas de raio X, mas se as ondas eletromagnéticas tiverem origem na radioatividade nuclear, elas são chamadas de raios gama (Tipler e Mosca, 2009).

### 3.3 Radiações: ionizantes e não ionizantes

Para iniciar a discussão sobre os diferentes tipos de radiação, é fundamental compreender o significado do termo em si. A palavra “radiação”, de acordo com dicionário Aulete digital (Aulete, 1958) a etimologia do verbete *radiação* vêm do latim *radiation, onis* – 'irradiação, luzimento, esplendor, brilho'; do verbo latino *radiāre*, 'irradiar, emitir raios (de luz)' – e chegou à Língua Portuguesa por meio do francês que por sua vez deriva do séc. XIX–XX como termo da linguagem da física.

A radiação é uma forma de energia que se propagam de um meio para outro na forma de onda eletromagnética ou de partículas com ou sem carga elétrica. Por essa e outras razões, essas radiações possuem inúmeras aplicações, por exemplo, em áreas como indústria, medicina, energia nuclear.

A seguir apresenta-se uma definição do que são as radiações ionizantes e não ionizantes.

As radiações ionizantes são caracterizadas por sua capacidade de remover elétrons de átomos, processo conhecido como ionização (INCA, 2021). Quando uma radiação ionizante interage com a matéria, ela transfere energia aos elétrons atômicos. Se essa energia for superior à energia de ligação que mantém o elétron ligado ao núcleo, o elétron é ejetado, formando um íon positivo (átomo que perdeu um elétron) e um íon negativo (o elétron livre). A energia de ligação varia de acordo com

o elemento químico e a camada eletrônica do elétron. A energia é medida com um valor específico, geralmente, em eV (elétron-volt).

Para ilustrar, podemos citar alguns átomos que compõem nosso corpo. O carbono, o oxigênio, o hidrogênio e o nitrogênio possuem energias de ligação específicas para seus elétrons mais externos, ou seja, aqueles localizados na camada mais distante do núcleo. Essas energias, medidas em elétron-volt (eV), são:

Carbono (11,3 eV)

Oxigênio (13,6 eV)

Hidrogênio (13,6 eV)

Nitrogênio (14,5 eV).

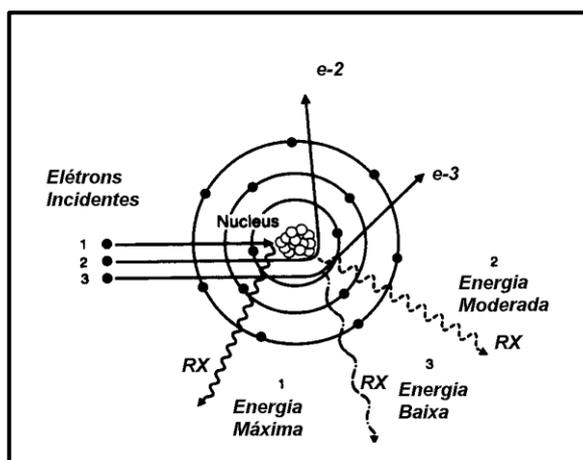
Quanto maior o valor da energia de ligação, mais fortemente o elétron está ligado ao átomo

Assim, para que um átomo do nosso corpo seja ionizado a energia incidente precisa ser igual ou maior que as energias que estão citadas acima. Somente fótons de raios X e raios Gama possuem energia maior que 12 eV. Ainda vale a pena reforçar que a Comissão Internacional de Proteção contra a Radiação Não Ionizante, classifica como ionizante somente aquelas radiações que possuem um comprimento de onda menor que 10nm. As radiações que estão nesta faixa de comprimento de ondas são as radiações X e gama (Okuno e Yoshimura, 2010).

Na Figura 3, apresenta-se o fenômeno conhecido como ionização, ele ocorre devido a interação de um tipo radiação com um átomo, por exemplo. Se denomina radiação ionizante se ela tiver energia suficiente para arrancar o elétron de sua camada eletrônica, ou seja, energia superior à energia de ligação desse elétron, formando assim um par iônico, onde o elétron é o íon negativo e o restante do átomo o íon positivo pois passa a ter 1(um) elétron a menos. A energia de ligação varia entre as camadas eletrônicas de um átomo e é maior nos elétrons das camadas mais internas (próximas ao núcleo), esses valores também variam entre os diferentes átomos existentes.

A radiação não ionizante é uma modalidade de radiação de baixa frequência e conseqüentemente de baixa energia, que se propaga através de uma onda eletromagnética, constituída por um campo elétrico e um campo magnético, podendo ser provenientes de fontes naturais e não naturais (INCA, 2021).

**Figura 3** - Interação dos raios X com um átomo.



Fonte: Dimenstein e Hornos (2001).

De todas as formas que a radiação não ionizante se apresenta, como ondas de rádio, TV, raios solares ultravioleta etc., a luz é a única que o homem pode perceber, através da visão. As demais variações desta radiação são invisíveis, o que não significa que são menos agressivas à saúde<sup>2</sup>.

Quanto aos tipos de radiação não ionizante, dentre eles, os raios solares ultravioletas (os famosos UV) talvez sejam a mais famosa fonte de radiação não ionizante, provavelmente por ser a principal fonte de exposição humana à radiação (especialmente os raios UVA e UVB).

Por isso, trabalhadores que atuam expostos à luz solar precisam estar atentos aos riscos causados por esta exposição, já que normalmente pensamos no risco físico “calor” como grande vilão, porém, toda atenção possível a este tipo de radiação também se faz necessária, já que também é altamente prejudicial à saúde.

Além dessas, temos também outras fontes artificiais de radiação não ionizante (Louza, 2019). Exemplos (a) Laser, geralmente em equipamentos de diagnóstico à laser; (b) Infravermelha: as principais fontes artificiais de radiação infravermelha são as chamas ou corpos incandescentes, lâmpadas e superfícies muito quentes; (c) Radiofrequência/micro-ondas: Telefones celulares e sem fio, radares e transmissões de rádio e TV, equipamentos que emitem radiação infravermelha, redes Wi-Fi, dentre muitas outras. Os equipamentos médicos e sistemas de energia elétrica são grandes fontes emissoras deste tipo de radiação.

<sup>2</sup> Louza, L. SST. <https://www.sstonline.com.br>. (2019).

A radiação infravermelha, devido à sua capacidade de detectar a temperatura, tem se mostrado uma ferramenta indispensável em diversas áreas. Na astronomia, ela é fundamental para identificar e estudar corpos celestes, uma vez que esses objetos emitem radiação infravermelha em função de sua temperatura (Louza,2019). Além disso, a termografia, técnica que utiliza câmeras capazes de captar a radiação infravermelha, permite a obtenção de imagens térmicas, nas quais as áreas mais quentes aparecem em cores mais intensas. Essa tecnologia encontra aplicações em diversos campos, como a medicina, onde é utilizada para visualizar o fluxo sanguíneo e identificar obstruções vasculares, como ilustrado na Figura 4.

O astrônomo William Herschel contribuiu para o uso do infravermelho na contemporaneidade. Inclusive, muitas tecnologias ligadas a esse espectro só foram possíveis pelos estudos e experimentos feitos por ele no passado (Silva e Oliveira, 2014).

**Figura 4** - Representação do corpo humano visto pelo ponto eletromagnético, ou seja, imagens térmicas com o uso do infravermelho.

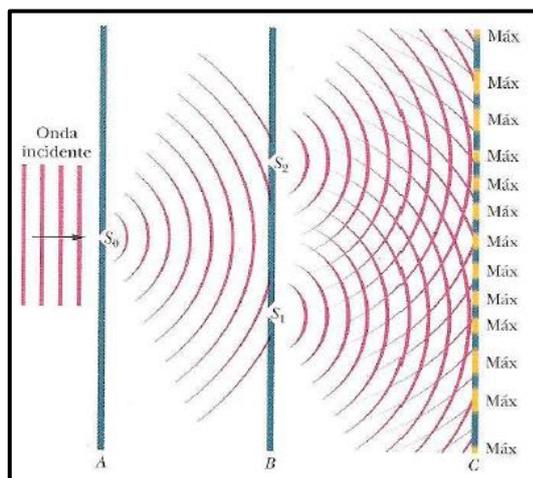


Fonte: Fisiowork (2024).

Um dos fenômenos que caracteriza a luz como uma onda é a interferência, esse fenômeno consiste na superposição de ondas que se propagam no espaço. A primeira pessoa a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz foi o físico

Holandês Christian Huygens 1678. Em 1801, Thomas Young provou experimentalmente que a luz é uma onda, ao contrário do que pensavam muitos cientistas da época (Halliday, 2009). Na Figura 5 tem-se uma representação do experimento produzido por ele.

**Figura 5** - Representação do experimento da dupla fenda de Young.



**Fonte:** Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 82).

Nele, a luz que sai de uma fonte monocromática distante ilumina a fenda  $S_0$  do anteparo A. A luz difrata pela fenda se espalha e é usada para iluminar as fendas  $S_1$  e  $S_2$  do anteparo B. Ocorre uma nova difração quando a luz atravessa essas fendas, e duas ondas esféricas se propagam simultaneamente no espaço à direita do anteparo B, interferindo uma com a outra. A interferência só pode ser observada com um anteparo C, que irá interceptar a luz. Os pontos em que as ondas se reforçam formam listras iluminadas, *franjas claras*, já os pontos em que elas se cancelam, formam listras sem iluminação, denominamos de *franjas escuras*. O conjunto de franjas claras e escuras é chamado figura de interferência.

### 3.4 Energia e radiação

Para obter uma expressão para referente à determinação da energia da radiação, esta pode ser deduzida a partir da teoria da radiação eletromagnética. Partindo do que a física clássica previu como um resultado paradoxal, que ficou conhecido como catástrofe ultravioleta, em que um corpo negro deveria emitir uma quantidade infinita de energia na região ultravioleta do espectro eletromagnético, o que claramente contraria as observações experimentais (Quartuccio, 2016). Para

resolver esse problema, Max Planck propôs uma hipótese: a energia de um oscilador (que emite a radiação) não pode assumir qualquer valor, mas sim valores discretos, múltiplos de uma quantidade mínima de energia, chamada de quantum de energia. Tal hipótese, foi apresentada numa reunião da Sociedade Alemã de Física, a 14 de dezembro de 1900, onde Max Planck apresentou seu artigo “Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal” (Eisberg e Resnick, 1979, p. 19). Planck descobriu que podia obter uma função empírica para calcular a energia média, supondo que a energia das cargas oscilantes, e, portanto, da radiação emitida, era uma variável discreta, ou seja, uma variável capaz de assumir apenas os valores  $0, \epsilon, 2\epsilon, \dots, n\epsilon$ , em que  $n$  é um número inteiro. Além disso, era necessário supor que  $\epsilon$  era proporcional à frequência dos osciladores e, assim, à frequência da radiação ( $f$ ). Assim, Planck supôs que a energia era dada por:

$$E_n = n \epsilon = n h f. \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (38)$$

Sendo  $E$  a energia (classicamente, as ondas eletromagnéticas no interior da cavidade, que representa um corpo negro, são produzidas por cargas elétricas nas paredes, que vibram como osciladores harmônicos simples; a radiação emitida por um oscilador harmônico tem a mesma frequência que o próprio oscilador) e  $h$  é uma constante, hoje conhecida como constante de Planck, cujo valor é dado por  $6,6260 \times 10^{-34}$  J.s ou  $h = 4,1357 \times 10^{-15}$  eV.s

A hipótese de Planck teve um impacto profundo na física, levando a uma série de desenvolvimentos importantes: (1) compreensão do efeito fotoelétrico e (2) compreensão da estrutura atômica, referente ao modelo atômico de Bohr, que descreveu o átomo como um sistema quantizado. Assim, como também a quantização da energia proposta por Planck foi o ponto de partida para o desenvolvimento da mecânica quântica, uma das teorias mais bem-sucedidas da chamada física moderna (Oliveira e Fernandes, 2006).

Para o efeito fotoelétrico, Einstein utilizou a hipótese de Planck para explicá-lo, mostrando que a luz também se comporta como partículas (fótons) com energia quantizada e a estrutura atômica do átomo de hidrogênio, Bohr descreveu o átomo como um sistema quantizado, partido do momento angular  $L$ .

Em 1913, o físico dinamarquês Niels H. D. Bohr propôs um modelo para o átomo de hidrogênio que combinava os trabalhos de Planck, Einstein e

Rutherford e que permitia prever, com notável precisão, a posição das linhas do espectro do hidrogênio. O modelo de Rutherford atribuía uma carga e uma massa ao núcleo, mas nada dizia a respeito da distribuição de carga e massa dos elétrons.

Bohr [...] formulou a hipótese de que o elétron do átomo de hidrogênio girava em torno do núcleo, atraído pela carga positiva (Tipler e Llewelly, 2017, p. 178).

Como no modelo de Rutherford ele supôs que os elétrons orbitavam o núcleo da mesma forma que os planetas orbitam em torno do sol. Entretanto, uma partícula carregada movendo em uma trajetória circular deve perder energia. Isso significava que o átomo era instável de acordo com o modelo de Rutherford (Parente, Santos e Torta, 2013). Como Neils Bohr observou o espectro de linhas de determinados elementos e admitiu que os elétrons estavam confinados em estados específicos de energia, denominado de órbitas.

Assim, à primeira vista, o modelo de Bohr prevê que o átomo irradia um espectro contínuo (já que a frequência de radiação varia continuamente enquanto o elétron se aproxima do núcleo) e tem uma vida muito curta, o que, felizmente, não ocorre na prática. O que se observa é que, a menos que sejam excitados por algum agente externo, os átomos não irradiam; ao serem excitados, em vez de irradiar um espectro contínuo, irradiam apenas em certas frequências bem definidas (Tipler e Llewelly, 2017, p. 179).

Bohr para resolver esses problemas propôs dois postulados decididamente revolucionários.

Primeiro Postulado: Os elétrons se movem em certas órbitas sem irradiar energia, denominado essas órbitas de estados estacionários.

Segundo Postulado: Os átomos irradiam quando um elétron sofre uma transição de um estado estacionário para outro e a frequência  $f$  da radiação emitida está relacionada às energias das órbitas através da equação:

$$hf = E_i - E_f, \quad (39)$$

onde  $E_i$  e  $E_f$  são as energias dos estados inicial e final. O modelo do átomo de Bohr foi um modelo fundamental, que representou um avanço significativo na compreensão da estrutura atômica, pois buscou explicar como os elétrons se organizam ao redor do núcleo atômico e por que os átomos emitem e absorvem luz em frequências específicas.

Para determinar as energias dos estados estacionários, Bohr utilizou um terceiro postulado, hoje conhecido como princípio de correspondência, que teve

consequências profundas, descrito como: No limite de grandes órbitas e altas energias, os resultados quânticos devem coincidir com os resultados clássicos.

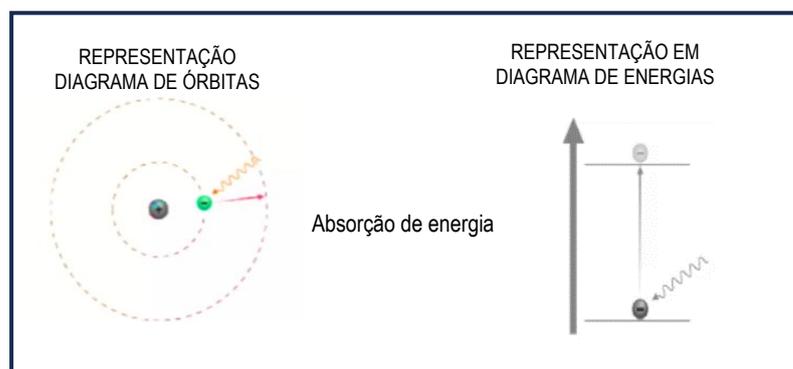
De acordo com o princípio de correspondência, sejam quais forem as modificações introduzidas na física clássica para descrever o comportamento da matéria em nível submicroscópico, quando esses resultados são estendidos ao mundo macroscópico, devem estar de acordo com as leis da física clássica, que foram exaustivamente testadas em nosso dia a dia. Embora o modelo proposto por Bohr para o átomo de hidrogênio tenha sido suplantado pela teoria quântica moderna, que será discutida em capítulos posteriores [...], a condição de frequência e o princípio de correspondência continuam a desempenhar um papel importante na nova teoria (Tipler e Llewelly, 2017, p. 180).

De acordo com o modelo de Bohr, os valores possíveis da energia do átomo de hidrogênio são dados pela equação, com  $Z = 1$  (número atômico):

$$E_n = -\frac{m k^2 Z^2 e^4}{2 \hbar^2 n^2} = -E_o \frac{Z^2}{n^2}. \quad (40)$$

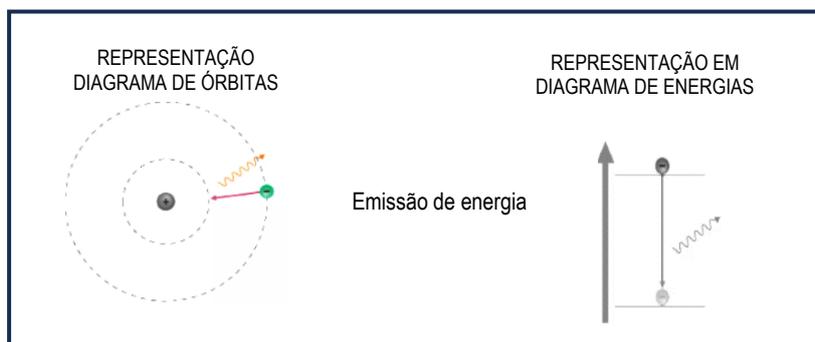
onde o número inteiro  $n$  é denominado número quântico principal e  $\hbar = h/2\pi$ ,  $m$  é a massa do elétron,  $k$  constante de Boltzmann; e carga do elétron;  $e$ ,  $E_o = m k^2 e^4 / 2 \hbar^2$ .  $E_o = 13,6 \text{ eV}$  é o valor absoluto de  $E_n$  para  $n = 1$ , O estado no qual  $E = E_1 = -E_o$  é chamado de estado fundamental (Parente, Santos e Torta, 2013).

**Figura 6** - Um elétron absorvendo energia, ficando excitado e salta para uma órbita mais externa, com nível de energia superior, nas representações diagramas de órbitas e de energias.



Fonte: Slideplayer (2018).

**Figura 7** - Um elétron liberando energia na forma de radiação eletromagnética e salta para uma órbita mais interna, com nível de energia inferior, nas representações de diagramas de órbitas e de energias.



Fonte: Slideplayer (2018).

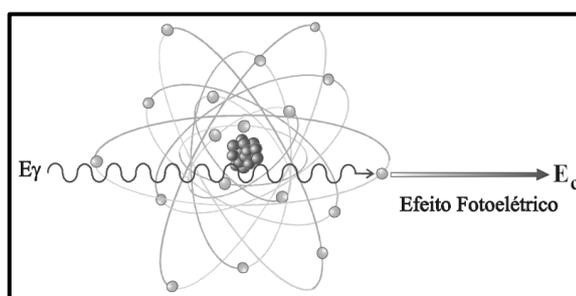
Para simplificar, deduzimos anteriormente, a expressão para a energia de um fóton de radiação eletromagnética.

### 3.5 Interação da radiação com a matéria

#### A - EFEITO FOTOELÉTRICO

Foi apenas em 1905, com Albert Einstein, que o efeito observado por Hertz foi corretamente interpretado. Einstein explicou o efeito fotoelétrico utilizando a hipótese sugerida por Max Planck (Eisberg, 1979). Ele propôs que a luz é composta por quanta (fótons), e que cada fóton tem uma energia  $E$  dada como:  $E = h \cdot f$ . Se a energia do fóton for maior que a função trabalho do material (energia mínima necessária para remover um elétron da superfície do material), os elétrons seriam ejetados (Figura 8).

**Figura 8** - Representação do efeito fotoelétrico.



Fonte: CEFET/SC (2024).

O efeito fotoelétrico foi descoberto independentemente por Heinrich Hertz no final do século XIX. Ele não estudou de forma aprofundada e coube a um discípulo

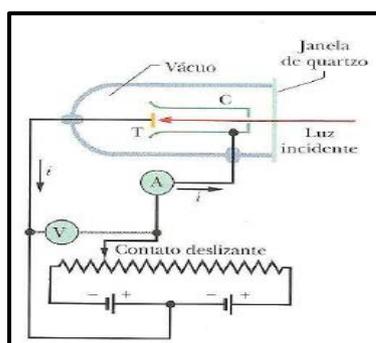
seu, Lenard, tentar explicar o que significava esse fenômeno (Cotinguiba, 2022). Sua observação forneceu a base para experimentos subsequentes, que levaram à formulação da teoria quântica e à compreensão moderna do efeito fotoelétrico, culminando no trabalho de Einstein.

Muito embora a teoria eletromagnética de Maxwell descreva com sucesso a propagação da radiação eletromagnética, ela falha ao tratar, em certas situações, da interação da radiação com a matéria – como é o caso do efeito fotoelétrico (Halliday e Resnick, 2013, p. 180). Neste caso, aspectos corpusculares da radiação se manifestam e conceitos de física quântica devem ser utilizados. Conforme mencionado anteriormente, a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico é que um fóton com energia  $h \cdot f$ , onde  $f$  é a frequência da radiação e  $h$  é a constante de Planck, pode ser absorvido por um único elétron de um metal. Aplicando a conservação da energia, Einstein obteve a equação básica para o efeito fotoelétrico, a saber:

$$E = h \cdot f = K + W, \quad (41)$$

onde  $K$  é a energia cinética máxima do elétron ejetado e  $W$  é a energia necessária para arrancar o elétron do metal. Na Figura 9, apresenta-se o aparato experimental para o estudo do efeito fotoelétrico (Halliday, 2013).

**Figura 9** - Esquema do aparato para estudar o efeito fotoelétrico.



**Fonte:** Halliday e Resnick (2013, p. 188).

Neste aparato, a luz incide no alvo T, ejetando elétrons, que são recolhidos pelo coletor C. Os elétrons se movem no circuito no sentido oposto ao sentido convencional da corrente elétrica, indicado por setas. As baterias e o resistor variável são usados

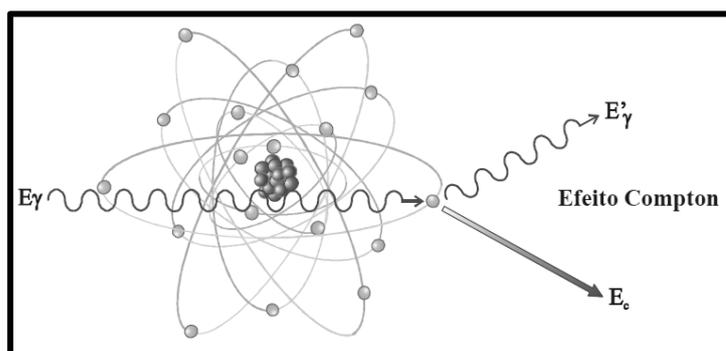
para produzir e ajustar uma diferença de potencial entre os pontos T e C. Esse efeito tem uma relevância muito importante para o diagnóstico por imagem, e dependendo do aumento da potência da radiação, temos a possibilidade de examinar camadas mais profundas do nosso corpo.

A prevalência do tipo de interação de absorção e/ou espalhamento está associada à energia das radiações. Nos exames de raios X de extremidades, por exemplo, prevalece o Efeito Fotoelétrico. Para exames de raios X de joelho, partes dos fótons incidentes no tecido absorvem, e outra parte sofre o espalhamento Compton. Para os exames de raios de tórax, é necessário empregar uma maior tensão de operação, para que os fótons possam atravessar o paciente e, portanto, a prevalência é do espalhamento por Efeito Compton. (BASES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS EM DIAGNÓSTICO POR IMAGEM, Física Médica para Residentes, 2022).

## B - EFEITO COMPTON

Com o aumento da energia da radiação emitida, aplicado ao tubo de raios X, a capacidade de penetração do feixe no tecido será maior. Neste tipo de interação, os fótons apenas transferem parte de sua energia para elétrons das camadas mais periféricas. O espalhamento da radiação independe de Z (CBR, 2014), mas apenas da energia da radiação emitida, o resultado é o espalhamento do fóton e do elétron, sendo referido como Efeito Compton (Figura 10).

**Figura 10** - Representação do efeito Compton.



Fonte: CEFET/SC (2024).

## C - EFEITO RAYLEIGH

O espalhamento Rayleigh, estudado por J. W. Rayleigh em 1900 como parte da teoria clássica do espalhamento de ondas eletromagnéticas, é um processo de interação no qual fótons são espalhados por elétrons atômicos ligados (Costa, 2019).

Neste processo o átomo não é nem excitado nem ionizado e, após a interação, os elétrons retornam a seu estado energético inicial. O átomo, como um todo, recebe o momento transferido, mas sua energia de recuo é muito pequena e um fóton é espalhado em um ângulo  $\theta$  com a mesma energia do fóton incidente. Neste processo, os ângulos de espalhamento são normalmente pequenos (Costa, 2019).

No contexto da interação da radiação com a matéria, o espalhamento Rayleigh, representa um processo fundamental. Este processo é provável de ocorrer com fótons de baixa energia e absorvedores de alto número atômico, ou seja, na região de energias na qual a energia de ligação dos elétrons faz com que a secção de choque de Klein-Nishina para o espalhamento Compton diminua fortemente.

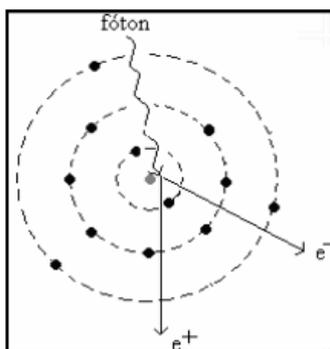
#### **D - FORMAÇÃO DE PARES**

A descoberta do fenômeno da produção de pares, um importante processo na interação da radiação com a matéria, ocorreu em 1933 (Eisberg e Resnick, 1979) durante pesquisas com radiação cósmica – o intenso fluxo de fótons e outras partículas de alta energia que bombardeia a atmosfera terrestre. Essa descoberta representou a solução para uma discrepância observada na absorção de raios X e nos coeficientes de atenuação dos materiais. Os valores teoricamente previstos para esses coeficientes eram menores do que os resultados experimentais. A consideração da produção de pares durante a interação da radiação com a matéria corrigiu essa lacuna, alinhando teoria e experimentação.

A compreensão completa desse fenômeno requer familiaridade com a Teoria da Relatividade de Einstein, que estabelece a equivalência entre massa e energia ( $E = mc^2$ ). Contudo, a produção de pares se distingue como um processo complementar às outras formas de interação, pois sua ocorrência é restrita a fótons de alta energia, especificamente raios X de alta energia e radiação gama.

A formação de pares, ilustrada na Figura 11, inicia-se quando um fóton com energia mínima de 1,022 MeV (correspondente a uma frequência de  $2,5 \times 10^{20}$  Hz) interage com o campo de um núcleo atômico. Nesse processo, o fóton desaparece, transferindo toda a sua energia para o campo nuclear e resultando na criação de um par de partículas: um elétron e um pósitron. O pósitron, uma antipartícula do elétron descoberta posteriormente, possui a mesma massa do elétron, mas com carga elétrica positiva (Eisberg e Resnick, 1979).

**Figura 11** - Diagrama do fenômeno da formação de pares.



**Fonte:** Eisberg e Resnick (1979).

Nessa interação fóton-núcleo com essa ordem de energia, o recuo do núcleo é tão pequeno que acaba sendo ignorado. Se comparadas às massas do dia-a-dia, mesmo um núcleo de um elemento pesado que tem uma massa minúscula. Porém, comparado à massa do elétron (que é igual a massa do pósitron), o núcleo é bastante massivo ou melhor dizendo, tem uma grande massa.

Embora o elétron e o pósitron sejam formados do núcleo com a mesma energia, eles acabam mostrando uma pequena diferença de energia à medida que se afastam do núcleo. Devido à interação coulombiana entre essas partículas carregadas e o núcleo, o pósitron que é positivo acaba sendo repellido pelo núcleo através de uma força coulombiana repulsora e o elétron acaba sendo freado por causa da força atrativa. Há efetivamente, uma pequena diferença de energia entre o elétron e o pósitron quando ejetados do núcleo então (Eisberg e Resnick, 1979, p 928).

Em resumo, podemos dizer que o fóton colide com o núcleo e como resultado da colisão, toda a energia do fóton incidente se distribui igualmente entre um par elétron-pósitron gerado durante a interação.

## **E - COEFICIENTES: ATENUAÇÃO LINEAR TOTAL E ATENUAÇÃO LINEAR EM MASSA**

### *ATENUAÇÃO LINEAR*

A descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen em 1895 inaugurou uma era de avanços tecnológicos na medicina, fundamentada na interação da radiação eletromagnética com a matéria. Röntgen observou que a radiação gerada pela desaceleração de elétrons em um alvo metálico, ao incidir sobre o corpo humano, possibilitava a visualização de estruturas internas sem a necessidade de cirurgia. Esse fenômeno era explicado pela diferente forma como os diversos tecidos e ossos

do corpo atenuam a radiação, “resultando em variações no contraste das imagens radiográficas” (Martins, 1998, p. 375).

O coeficiente de atenuação linear total ( $\mu$ ), também conhecido como coeficiente de atenuação, emerge como um parâmetro na física para quantificar essa interação da radiação com os materiais (Eisberg e Resnick, 1979). Seja a radiação na forma de ondas eletromagnéticas (como raios X ou luz visível) ou partículas subatômicas (como partículas alfa e beta),  $\mu$  descreve a taxa na qual sua intensidade diminui ao penetrar um meio material. Essa atenuação é o resultado de diferentes processos de interação entre a radiação e os constituintes da matéria, principalmente: (1) Absorção em que a energia da radiação é transferida para os átomos ou moléculas do material, promovendo excitação eletrônica, vibração molecular ou até mesmo ionização; e, (2) Dispersão quando a direção de propagação da radiação é alterada devido a colisões com as partículas do material, como elétrons ou núcleos atômicos.

O coeficiente de atenuação linear total,  $\mu$ , é dado através da expressão (Eisberg e Resnick, 1979):

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}, \quad (42)$$

onde  $I(x)$  é a intensidade da radiação após ter atravessado uma distância  $x$  dentro do material;  $I_0$  é a intensidade inicial da radiação e  $x$  é a espessura do material atravessado.

O coeficiente  $\mu/\rho$  quantifica a atenuação da radiação em função da quantidade de matéria (massa) que a radiação atravessa (Yoshimura, 2009). A principal distinção entre ele e o coeficiente linear ( $\mu$ ) reside na unidade de medida: comprimento<sup>-1</sup> para  $\mu$  e área/massa para  $\mu/\rho$ . Essa normalização pela densidade torna  $\mu/\rho$  uma grandeza mais intrínseca ao material, permitindo comparar a capacidade de diferentes substâncias interagirem com a radiação, independentemente de suas densidades.

Assim como  $\mu$ , o coeficiente  $\mu/\rho$  também é influenciado pela composição química do material (os tipos de átomos presentes e suas proporções) e pela energia da radiação incidente, refletindo as diferentes formas como a radiação de diferentes energias interage com os elétrons e núcleos dos átomos (Yoshimura, 2009). Radiações de alta energia tendem a ter menores coeficientes de atenuação em massa em comparação com radiações de baixa energia, para um mesmo material.

A utilidade do coeficiente de atenuação em massa é particularmente evidente ao lidar com materiais de diferentes densidades, como pós ou líquidos, onde a

comparação direta usando  $\mu$  poderia ser enganosa (Xavier et al., 2006). Ele permite avaliar a eficácia de materiais de blindagem (como chumbo ou concreto) na proteção contra a radiação, considerando a quantidade de massa necessária para uma determinada atenuação. Na medicina, é crucial para modelar a interação da radiação com os diversos tecidos do corpo humano, levando em conta suas diferentes densidades, e para a reconstrução de imagens de alta resolução em Tomografia Computadorizada (TC), onde a absorção dos raios X é diretamente relacionada à densidade dos tecidos.

Ao considerar o coeficiente de atenuação em massa (Pereira, 2011), isolamos de certa forma a "propensão" intrínseca de um material em interagir com a radiação por unidade de massa, oferecendo uma visão fundamental da natureza da interação entre a radiação e a matéria.

#### *ATENUAÇÃO LINEAR EM MASSA*

O coeficiente de atenuação de um material para um determinado tipo de interação varia com a energia da radiação, mas depende, para um mesmo material, de seu estado físico ou fase. Para evitar esta dificuldade, costuma-se tabelar os valores dos coeficientes de atenuação divididos pela densidade do material, tornando-os independentes de sua fase. O coeficiente de atenuação em massa ( $\mu/\rho$ ) é uma medida para compreender como a radiação interage com a matéria, oferecendo uma perspectiva que transcende a densidade do matéria (Tauhata et al., 2014), diferentemente do coeficiente de atenuação linear total ( $\mu$ ), que descreve a atenuação por unidade de comprimento,  $\mu/\rho$  quantifica a taxa de atenuação da radiação por unidade de massa do material. em essência, ele revela a capacidade intrínseca de uma dada massa de material em reduzir a intensidade da radiação incidente.

Matematicamente, o coeficiente de atenuação em massa é definido pela relação (Tauhata et al., 2014):

$$I(x) = I_0 e^{-(\frac{\mu}{\rho})x}, \quad (43)$$

onde:  $\mu/\rho$  é o coeficiente de atenuação linear em massa (com unidades de  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) e  $\rho$  é a densidade do material (com unidades de  $\text{g}/\text{cm}^3$ ),

Essa formulação demonstra que  $\mu/\rho$  representa a atenuação da radiação em função da quantidade de matéria (em massa) atravessada. Enquanto  $\mu$  indica a atenuação por centímetro de material,  $\mu/\rho$  normaliza essa atenuação pela densidade,

tornando-se uma ferramenta para comparar a eficiência de diferentes materiais na interação com a radiação, independentemente de estarem em estados físicos ou densidades distintas.

Assim como o coeficiente linear ( $\mu$ ), o valor de  $\mu/\rho$  é intrinsecamente ligado à composição elementar do material e à energia da radiação (Tauhata et al., 2014). Diferentes elementos químicos interagem de maneiras distintas com a radiação, e a energia dos fótons ou partículas incidentes determina os tipos de interação predominantes (como efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e produção de pares), influenciando diretamente a taxa de atenuação por unidade de massa. Assim, por exemplo, a água pode possuir valores diferentes de seus coeficientes de atenuação conforme esteja no estado de vapor, líquido ou sólido (gelo). Da mesma forma, o carbono depende de suas formas alotrópicas de apresentação: grafite, diamante ou pó sinterizado (Tauhata et al., 2014).

Em geral, radiações de alta energia tendem a ser menos atenuadas por unidade de massa em comparação com radiações de baixa energia para o mesmo material.

A utilidade do coeficiente de atenuação em massa é vasta. Na área médica, ele desempenha um papel crucial na avaliação da eficácia de materiais de blindagem contra a radiação, como chumbo e concreto, pois considera a massa necessária para uma proteção adequada. É imprescindível na radioterapia, pois nessa área é necessário conhecer o feixe antes de sua aplicação nos pacientes. O objetivo principal da dosimetria é a determinação da taxa de exposição e taxa de dose da radiação em um ponto específico de um meio, seja orgânico ou não (Costa, 2017). Além disso, auxilia na modelagem da interação da radiação com os tecidos biológicos de diferentes densidades, sendo essencial para o planejamento de tratamentos radioterápicos e para a interpretação de exames de imagem como a TC.

Na tomografia computadorizada (Figura 12), o coeficiente de atenuação em massa serve para modelar a absorção dos raios X pelos diferentes tecidos do corpo, cujas densidades variam. Essa modelagem precisa, levar em conta a densidade de cada voxel (elemento volumétrico da imagem), é o que permite a reconstrução de imagens transversais com alta resolução, revelando informações importantes para o diagnóstico médico.

**Figura 12** - Imagem de exame de tomografia computadorizada.



Fonte: <https://pixeldiagnostico.com.br> (2024).

A indicação da TC ou da ressonância magnética varia de acordo com a região que precisa ser analisada. Para avaliar os pulmões, por exemplo, que possuem maior quantidade de ar, a TC é a mais indicada (<https://pixeldiagnostico.com.br>, 2024). Além disso, ela é ideal para gerar imagens anatômicas em poucos segundos.

Em aplicações médicas e a escolha do exame de imagem, a TC e a RM são ferramentas de diagnóstico por imagem complementares, com princípios físicos distintos. A tomografia, como discutido, baseia-se na atenuação dos raios X, uma forma de radiação eletromagnética ao interagirem com os tecidos do corpo, sendo particularmente eficaz para visualizar estruturas com grandes diferenças de densidade, como os pulmões (com grande quantidade de ar) e ossos, e para obter imagens anatômicas rápidas. O coeficiente de atenuação em massa é um parâmetro físico essencial por trás da formação das imagens tomográficas (CBR, 2014).

Por outro lado, a RM não utiliza radiação ionizante. Ela se baseia no comportamento dos núcleos atômicos (principalmente, o hidrogênio) quando submetidos a um forte campo magnético e pulsos de radiofrequência (CBR, 2014). É especialmente útil para avaliar tecidos moles, como tendões, músculos e o sistema nervoso central, e para a avaliação da região pélvica feminina. Pacientes com marca-passos ou clips de aneurisma geralmente não podem realizar uma RM devido aos riscos associados devido ao campo magnético.

A escolha entre TC e RM depende da região do corpo a ser examinada e da suspeita clínica. Por exemplo, em casos de insuficiência renal acentuada, o uso de contrastes (tanto na TC quanto na RM) pode ser contraindicado.

Em estudos de radiação cósmica e sua interação com a atmosfera terrestre ou outros corpos celestes, por exemplo, o coeficiente de atenuação em massa é empregado para estimar a penetração e a atenuação dessas partículas de alta energia ao atravessarem diferentes camadas de materiais com composições e densidades variadas (Echer, 2001).

Assim, o coeficiente de atenuação em massa oferece uma visão fundamental da interação da radiação com a matéria, sendo fundamental em diversas áreas, desde a física de partículas até a medicina diagnóstica. Essas pesquisas e avaliações das doses e efeitos sobre a radioatividade natural e o uso das radiações ionizantes em Medicina e outras áreas de aplicação, são contínuas e crescentemente realizadas (Tauhata et al., 2014). Permitindo uma compreensão profunda e possibilidades de comparações, como diferentes materiais afetam a propagação da radiação.

### **3.6 Interação de nêutrons com a matéria**

A interação de nêutrons com a matéria constitui um domínio da física nuclear, com amplas aplicações práticas que permeiam a física de reatores, a física de partículas, a medicina diagnóstica e terapêutica, e a ciência de materiais. Os nêutrons, partículas subatômicas eletricamente neutras, exibem um comportamento singular ao interagir com a matéria, distinto daquele observado em partículas carregadas como prótons e elétrons. O nêutron possui grande massa e carga nula e por isso não interage com a matéria por meio da força coulombiana, que predomina nos processos de transferência de energia da radiação com partículas carregadas para a matéria. O que os torna ferramentas únicas para sondar o mundo atômico (Costa, 2019).

Ao se propagarem através de um material, os nêutrons podem interagir com os núcleos atômicos de diversas maneiras, sendo a probabilidade de cada tipo de interação dependente da energia do nêutron incidente e da composição isotópica do material alvo. Reações com nêutrons podem ser, grosseiramente, classificadas em duas classes, denominadas de “espalhamento” e “absorção” (Costa, 2019).

A dispersão de nêutrons ocorre quando um nêutron colide com um núcleo atômico, alterando sua trajetória sem ser absorvido. Este é o tipo de interação mais

comum e pode ser categorizado em: (1) Dispersão Elástica: colisão, em que o nêutron ricocheteia no núcleo, transferindo parte de seu momento e energia cinética para o núcleo, mas mantendo a energia total do sistema conservada. A energia cinética do nêutron e do núcleo é redistribuída após o choque; (2) Dispersão Inelástica: o nêutron transfere uma porção de sua energia para o núcleo, elevando-o a um estado excitado de maior energia. O nêutron prossegue com energia reduzida, e o núcleo excitado pode, posteriormente, liberar essa energia excedente na forma de radiação gama, como citado por (et al., 2014).

Uma das reações de grande importância na física de reatores, é a reação ( $n,p$ ) que ocorre nos reatores refrigerados a ar ou água, onde existe grande quantidade de oxigênio disponível. Esta reação, gera o hidrogênio nascente no interior do reator e o  $^{16}\text{N}$  de meia-vida de 7,13 s, emissor beta e duas radiações gama de alta energia  $E_{\gamma 1}=6,13$  MeV (68%) e  $E_{\gamma 2} = 7,11$  MeV (4,9%) (Tauhata et al., 2014, p. 119).

A absorção de nêutrons acontece quando um núcleo atômico captura um nêutron incidente, geralmente resultando na formação de um isótopo diferente do elemento original. Esse processo pode desencadear dois fenômenos importantes: (a) Fissão Nuclear: em certos núcleos pesados, como o urânio-235 e o plutônio-239, a absorção de um nêutron, especialmente um nêutron térmico, pode induzir a fissão nuclear. O núcleo se divide em dois ou mais núcleos menores, liberando uma grande quantidade de energia e, assim, mais nêutrons. Esses nêutrons secundários podem, por sua vez, provocar novas fissões, sustentando uma reação em cadeia; (b) Captura Radiativa: trata-se de um processo, em que o núcleo absorve o nêutron e, para retornar ao seu estado fundamental de menor energia, emite um ou mais fótons de alta energia, conhecidos como raios gama (Barroso, 2009).

Além da fissão e da captura radiativa, nêutrons podem induzir uma variedade de outras reações nucleares em núcleos específicos. A absorção de nêutrons de alta energia pode levar à emissão de outras partículas subatômicas, como prótons, outros nêutrons ou partículas alfa, dependendo das características energéticas e da estrutura nuclear do isótopo alvo.

Os nêutrons podem ser classificados com base em sua energia, e o tipo de interação que eles têm com a matéria depende bastante dessa classificação, por exemplo, os nêutrons térmicos (IAEA, 1999), esses nêutrons possuem energias muito baixas (geralmente da ordem de 0.025 eV a temperatura ambiente). São muito comuns em reatores nucleares, onde se utilizam nêutrons térmicos para sustentar

reações nucleares controladas. Nêutrons térmicos têm maior probabilidade de ser absorvidos ou espalhados por núcleos, o que facilita a fissão nuclear em certos combustíveis nucleares, como o urânio-235. Já os Nêutrons rápidos (IAEA, 1999), têm energias mais altas, da ordem de milhões de eV (eletrovolts). Podem atravessar materiais com maior facilidade e, frequentemente, interagem com a matéria principalmente por dispersão elástica, ocorre quando o nêutron colide com um núcleo alvo de massa igual ou próxima à dele, como os materiais hidrogenados (Costa, 2019). Quando esses nêutrons são desacelerados a energias térmicas (em um processo chamado moderador de nêutrons), eles podem ser mais eficazes em causar fissão. Ainda temos os ultra rápidos, são nêutrons com energias ainda maiores, tipicamente da ordem de  $10^6$  eV ou mais (Costa, 2019). Eles interagem com os materiais principalmente por dispersão e podem penetrar grandes distâncias em substâncias densas, mas sua interação direta com núcleos é menos provável do que com nêutrons térmicos.

**Quadro 3** - Denominação dos nêutrons de acordo com sua energia.

<b>Denominação</b>	<b>Energia</b>
Térmico	0,025 eV
Epitérmico	$0,025 \text{ eV} \leq E \leq 0,4 \text{ eV}$
Lento	$1 \text{ eV} \leq E \leq 10 \text{ eV}$
Lento	$300 \text{ eV} \leq E \leq 1 \text{ MeV}$
Rápido	$1 \text{ MeV} \leq E \leq 20 \text{ MeV}$

**Fonte:** Tauhata, et al. (2014, p. 119)

A compreensão da interação de nêutrons com a matéria abriu caminho para inúmeras aplicações, apresentamos diversas consequências fenomenológicas que podem ser discutidas em sala, tais como: reações de fissão e energia nuclear; a fusão nuclear como fonte de energia do Sol e demais estrelas; a fusão como reação geradora de todos os elementos na Natureza, justificando a famosa frase de Carl Sagan de que “somos poeira das estrelas” (Sagan, 2001); e decaimentos nucleares e aplicações tecnológicas (Guio e Dorsch, 2023). São exemplos, (1) os reatores nucleares: em que a fissão nuclear induzida por nêutrons térmicos em combustíveis nucleares como o urânio e o plutônio é o princípio fundamental da geração de energia em reatores nucleares. O calor liberado pela fissão é convertido em eletricidade de forma controlada; (2) radiografia de nêutrons: técnica de imagem não destrutiva explora a forma como diferentes materiais atenuam um feixe de nêutrons. Ela oferece

vantagens em relação à radiografia de raios X para a visualização de certos materiais leves em matrizes densas ou para a detecção de fluidos em metais, sendo aplicada na inspeção de componentes industriais e na pesquisa de materiais; (3) neutronografia (difração de nêutrons): em que ao analisar os padrões de difração produzidos quando um feixe de nêutrons interage com um material, permite determinar a estrutura atômica e magnética de sólidos, líquidos e pós em escala microscópica, fornecendo informações em ciência dos materiais, química e física da matéria condensada; e Medicina (BNCT - Terapia de Captura de Nêutrons por Boro): uma aplicação promissora na terapia do câncer, que envolve a administração de um composto contendo boro-10, que possui alta seção de choque para captura de nêutrons térmicos, seletivamente em células tumorais. A subsequente irradiação com um feixe de nêutrons térmicos induz a uma reação nuclear no boro-10, liberando partículas alfa de alta energia que destroem as células cancerosas com dano mínimo ao tecido saudável circundante (Machado, 2010).

Por fim, tanto nêutrons quanto fótons são classificados como radiação indiretamente ionizante. Ao atravessarem a matéria, eles liberam um número limitado de íons primários através de processos como colisões elásticas (para nêutrons) ou efeito fotoelétrico e espalhamento Compton (para fótons). A ionização da matéria ocorre secundariamente, devido à interação desses íons e elétrons primários liberados com outros átomos e moléculas do meio (Yoshimura, 2009).

### **3.7 Interação das radiações diretamente ionizantes com a matéria**

É um tema da física nuclear e na radiologia, pois está relacionada à maneira como as radiações interagem com os átomos e moléculas de um material, particularmente no contexto de radiações que podem causar ionização diretamente nas substâncias com as quais interagem. Afinal de contas, o que são essas radiações diretamente ionizantes? As radiações diretamente ionizantes são aquelas radiações que possuem carga elétrica e podem transferir energia diretamente para os elétrons do material que atingem, com o resultado de ionizar os átomos ou moléculas desse material. A ionização ocorre quando a radiação remove um elétron de um átomo ou molécula, criando um íon positivo e um elétron livre.

Exemplos de radiações diretamente ionizantes incluem: Partículas alfa ( $\alpha$ ) que são núcleos de hélio ( $\text{He}^{2+}$ ), compostos por dois prótons e dois nêutrons, com uma

carga elétrica de +2; Partículas beta ( $\beta$ ): São elétrons ( $e^-$ ) ou pósitrons ( $e^+$ ), com uma carga elétrica de -1 e +1, respectivamente; e, Íons pesados: Como núcleos de átomos pesados (por exemplo, nêutrons ou núcleos de carbono, oxigênio, etc.).

Essas radiações têm a capacidade de interagir diretamente com os elétrons nos átomos do material, causando ionização e excitando os átomos. Quando uma radiação diretamente ionizante passa por um material, ela perde sua energia principalmente por meio da interação com os elétrons do material, tais como os raios X e os raios gama podem, por exemplo, interagir com a matéria de tal forma que toda ou parte de sua energia pode ser transferida para os átomos e elétrons do meio por onde eles se propagam (Menezes, 2008).

As partículas carregadas (como partículas alfa ou beta) transferem sua energia para os elétrons do material por meio de colisões diretas. Quando a partícula ionizante se aproxima de um átomo, ela exerce uma força de repulsão ou atração sobre os elétrons desse átomo, no entanto, se a energia da partícula for suficientemente alta, ela pode arrancar um elétron do átomo, criando um íon positivo e um elétron livre (Okuno e Yoshimura, 2010). Esse processo é chamado de ionização.

Para partículas alfa, que são mais massivas e possuem uma carga maior (+2), a taxa de ionização é alta, o que significa que elas perdem rapidamente sua energia ao longo do trajeto no material (Xavier et al., 2006). Já as partículas beta, sendo menores e com uma carga de -1, interagem de forma diferente, causando menos ionização por unidade de comprimento, mas podem atravessar maiores distâncias no material. Isto significa que seu poder de penetração é maior do que o das partículas  $\alpha$  e, portanto, é necessária uma espessura maior de material para que ocorra a perda de toda sua energia (Xavier et al., 2006).

Há outro processo, denominado de excitação de átomos, em que a radiação pode transferir energia com quantidade suficiente para excitar os átomos, fazendo com que seus elétrons passem para níveis de energia mais altos. Como os raios-X que têm inúmeras aplicações nas áreas industrial e médica, abrangendo técnicas de radiografia industrial e de diagnóstico médico, técnicas analíticas de fluorescência para obter informações sobre elementos presentes numa amostra (Xavier et al., 2006).

A taxa de ionização depende de vários fatores, incluindo a *velocidade* da partícula, partículas rápidas perdem menos energia por colisão, enquanto partículas lentas perdem energia rapidamente, a *carga* da partícula, partículas carregadas (como

as alfa) interagem intensamente com os elétrons do material, o que resulta em uma taxa de ionização maior, a *massa* da partícula, partículas com maiores valores de massa, como as alfa, também tendem a perder rapidamente sua energia do que as partículas beta, que são leves e também, a *densidade* do material, materiais densos, com maior número de átomos ou moléculas por unidade de volume, aumentam a probabilidade de interação com a radiação, resultando em uma perda de energia maior. Essa quantidade é denominada Transferência Linear de Energia, ou TLE da radiação, normalmente expressa em keV/ $\mu\text{m}$ , que depende, de modo complexo, da massa, energia e carga da radiação ionizante (Xavier et al., 2006).

Com tudo podemos de dizer que radiações como as partículas alfa, a perda de energia ocorre em uma faixa curta e de forma intensa. Já para as partículas beta, a perda de energia ocorre de maneira gradual, e elas podem percorrer distâncias maiores antes de serem absorvidas totalmente.

Quando as radiações diretamente ionizantes interagem com a matéria biológica, como as células do corpo humano, o processo de ionização pode resultar em danos celulares, o que tem implicações importantes para a saúde. A ionização pode destruir células, onde a perda de elétrons pode danificar diretamente o DNA (Ácido Desoxirribonucleico) da célula, levando à morte celular ou a mutações. Pode causar mutações genéticas, mesmo que a célula não morra, danos ao DNA podem resultar em mutações, que, se não reparadas, podem levar ao câncer e também podem gerar radicais livres, a ionização de moléculas na célula pode formar radicais livres extremamente reativos, que são espécies químicas instáveis que podem causar danos adicionais aos tecidos (Okuno e Yoshimura, 2010).

As aplicações são diversas, as de maiores destaques são (CIDESP, 2025): a *Radioterapia*: radiações diretamente ionizantes, como partículas alfa, beta e raios-X (em certos casos, se considerados como radiação diretamente ionizante), são utilizadas para tratar câncer, destruindo células tumorais por ionização e danos ao DNA; a *Detecção de Radiação*: detectores de radiação, como os contadores Geiger-Müller ou detectores de cintilação, são usados para medir a ionização produzida por radiações diretamente ionizantes; *Radiação em Materiais*: a interação de radiações com materiais é utilizada em técnicas como a radiografia de nêutrons e em análises químicas e estruturais de materiais.

Essas radiações têm importância tanto em estudos de física de partículas quanto em várias aplicações tecnológicas, especialmente na medicina, em

tratamentos de radiação e diagnóstico (CIDESP, 2025). Embora o efeito da ionização seja muitas vezes usado de forma benéfica, também pode causar danos biológicos, com implicações para a saúde humana, especialmente quando a radiação atinge tecidos internos.

### **3.8 Interação de elétrons com a matéria**

A interação de elétrons com a matéria é um fenômeno na física que descreve como os elétrons, interagem com os átomos e moléculas de um material à medida que se movem através dele. A interação tem importantes implicações tanto para processos naturais (como radiação e física de partículas) quanto para aplicações tecnológicas em áreas como a radiologia, física de materiais e nanotecnologia (Schaberle, 2000).

Os elétrons, ao se deslocarem através de um material, podem interagir de diferentes maneiras com os átomos ou moléculas presentes. A principal forma de interação ocorre por meio da transferência de energia de elétrons para os elétrons do material, principalmente, os elétrons da camada de valência, ou para os núcleos atômicos (Rodrigues, 2010)

As interações mais comuns de elétrons com a matéria incluem a dispersão coulombiana (ou espalhamento), ionização, excitação, emissão de radiação característica e bremsstrahlung (radiação de desaceleração). Embora a descrição detalhada desses processos não seja o foco desta dissertação, a sua relação com a energia dos elétrons é interesse. A intensidade e a natureza dessas interações variam de acordo com a energia dos elétrons. Elétrons de baixa energia (eV a centenas de eV) interagem predominantemente com os elétrons da camada de valência, resultando em ionização e excitação, com rápida perda de energia e penetração limitada. Já elétrons de alta energia (keV a MeV) possuem poder de penetração maior; a interação com os elétrons de valência é menos frequente, enquanto a dispersão e o bremsstrahlung se tornam relevantes (Tauhata et al., 2014). Contudo, mesmo elétrons de alta energia podem causar ionização e excitação se sua energia for suficientemente elevada.

Quando esses elétrons interagem com matéria biológica, como tecidos humanos, podem ocorrer diversos efeitos biológicos (Okuno, 2013). Danos celulares diretos por ionização, onde as moléculas biológicas (principalmente o DNA) podem

ser danificadas diretamente, resultando em mutações, morte celular ou câncer. Além disso temos os danos indiretos onde a ionização pode criar radicais livres, que são partículas altamente reativas capazes de danificar outras moléculas nas células, incluindo o DNA, lipídios e proteínas. Esses efeitos biológicos são a base dos tratamentos de radioterapia, onde elétrons ou outros tipos de radiação são usados para destruir células cancerígenas.

Suas aplicações são diversas, radioterapia, quando os elétrons de alta energia são usados em radioterapia para tratar certos tipos de câncer. Eles causam ionização nas células tumorais, danificando o DNA e levando à morte celular. Essa interação é fundamental para técnicas como a espectroscopia de elétrons (como a espectroscopia de fotoelétrons ou EDX - Energy Dispersive X-ray), que permite analisar a composição elementar e estrutural de materiais, a microscopia eletrônica (como o microscópio eletrônico de varredura, SEM), que permite observar estruturas em escalas nanométricas e ainda temos os detectores de radiação que utilizam elétrons que são fundamentais para a medição de radiação em ambientes científicos e médicos (Okuno, 2013).

### **3.9 Interação das partículas alfa com a matéria**

É um tópico central na física nuclear e na física de partículas, e tem várias implicações em áreas como a radiação nuclear, a radioterapia, e a física de materiais. As partículas alfa são um tipo de radiação emitida por certos elementos radioativos, como o urânio, o rádio e o polônio. Essas partículas são núcleos de hélio ( $\text{He}^{2+}$ ) compostos por dois prótons e dois nêutrons. Devido à sua carga positiva (+2) e sua massa relativamente alta, têm propriedades bastante distintas quando interagem com a matéria (Xavier et al., 2006). São uma forma de radiação ionizante, ou seja, têm uma alta capacidade de causar ionização nas substâncias com as quais entram em contato.

Quando uma partícula alfa se move através de um material, ela perde energia principalmente por meio de interações com os átomos e moléculas desse material. Assim como outras interações citadas anteriormente, a principal forma de interação das partículas alfa com a matéria é a ionização e a excitação (Xavier et al., 2006).

Devido à sua carga e massa terem valores altos, as partículas alfa têm uma grande capacidade de interagir com os elétrons da camada mais externa dos átomos do material. Quando uma partícula alfa se aproxima de um átomo, ela exerce uma força de atração sobre os elétrons, o que pode resultar na remoção de um elétron da órbita do átomo. Isso cria um íon positivo no átomo e um elétron livre. Elas também podem excitar os átomos do material. A excitação ocorre quando a partícula alfa transfere energia para um átomo, fazendo com que um de seus elétrons seja movido para um nível de energia mais alto (excitação). Embora a excitação não resulte diretamente em ionização, ela pode levar à emissão de radiação de fluorescência ou à criação de radicais livres no material. Após a interação, a partícula alfa, continua se propagando no meio com uma velocidade ligeiramente menor e irá “interagir com outros elétrons até que toda a sua energia seja dissipada” (Knoche, 1991, p. 80).

Esses processos de interação ocorrem quando, ao passar por um material, as partículas alfa perdem energia por meio de colisões com os elétrons dos átomos do material. Como a partícula alfa é maior e mais pesada do que as partículas beta (elétrons), ela perde rapidamente energia nas primeiras interações. Isso significa que, em comparação com outras formas de radiação, as partículas alfa têm um poder de penetração baixo. Elas não conseguem atravessar materiais densos, como papel ou a camada externa da pele humana (Costa, 2017).

Com relação aos efeitos biológicos das partículas alfa, embora elas tenham um poder de penetração baixo, elas são danosas quando estão dentro do corpo, como no caso da inalação ou ingestão de material radioativo. A principal razão para isso é sua alta taxa de ionização (CBR, 2014).

Dados os seus danos ao corpo humano, citamos: danos as (1) *células*: se as partículas alfas atingirem células ou estruturas dentro do corpo, elas podem causar danos severos ao DNA das células. A ionização pode quebrar as cadeias de DNA, levando a mutações ou até morte celular. Pode aumentar o risco de câncer se não for reparado adequadamente; (2) *radicais livres*: além dos danos diretos ao DNA, a ionização gerada pelas partículas alfa pode produzir radicais livres, que são moléculas instáveis muito reativas. Tais radicais podem danificar outros componentes celulares, como lipídios e proteínas, contribuindo para efeitos adversos biológicos; (3) *efeitos localizados*: como as partículas alfa têm um alcance muito curto, os danos tendem a ser localizados e concentrados em uma área pequena (Tauhata et al., 2014). Isso

pode ser vantajoso em tratamentos como a radioterapia, onde as partículas alfa podem ser usadas para destruir células cancerígenas de maneira localizada.

Alguns dados importantes sobre as aplicações das interações das partículas alfa, a Radioterapia é uma delas, têm sido estudadas para uso em terapias de radiação, especialmente em tratamentos de câncer, onde a alta taxa de ionização pode ser usada para destruir células tumorais de forma eficaz. Outra é o Rastreamento de Poluentes Radioativos, em que devido à sua capacidade de interagir fortemente com a matéria, para monitorar fontes radioativas e garantir a segurança em ambientes (Tauhata et al., 2014).

Apesar de seu poder de penetração ser baixo, devido à sua alta carga e massa, as partículas alfa têm a capacidade de causar danos, especialmente quando estão no interior do corpo humano. Apesar, de aplicações importantes, como na radioterapia para tratar cânceres, elas podem representar riscos se inaladas ou ingeridas, podendo causar danos biológicos sérios (CBR, 2014). Por essas razões, o estudo das partículas alfa e suas interações com a matéria continua sendo uma área relevante na física nuclear e na medicina.

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo descrevemos o percurso metodológico usado para o desenvolvimento da pesquisa, que teve como objetivo, apresentar uma Sequência de Ensino (SE) baseada nos 3MP, com o intuito de explorar o espectro eletromagnético, discutindo a natureza da onda eletromagnética e suas aplicações.

A SE que propomos tem como ponto de partida a avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes por meio de uma atividade diagnóstica. Na sequência, introduzimos o tema de forma problematizadora, utilizando um texto de apoio e simulações interativas do Phet, que estimulam a curiosidade e a formulação de hipóteses pelos estudantes. As aulas expositivas e dialogadas com os estudantes, com o apoio de recursos visuais, tentam organizar o conteúdo de forma clara e objetiva. Para acompanhar o aprendizado dos estudantes, foram aplicados questionários avaliativos ao longo do processo. Finalizamos a SE com uma discussão aprofundada sobre o tema, integrando os conhecimentos adquiridos nas diferentes etapas e culminando em uma atividade avaliativa final, que permite avaliar a compreensão global dos estudantes sobre o conteúdo.

### 4.1 Descrição da pesquisa

Não existe nenhum método de pesquisa melhor do que o outro. Considerando a necessidade de uma compreensão profunda e contextualizada do objeto de estudo – uma turma escolar –, optou-se pela pesquisa qualitativa com abordagem translacional. A pesquisa qualitativa permite uma investigação aprofundada dos fenômenos, possibilitando a coleta de dados ricos e detalhados sobre as experiências e percepções dos participantes. A abordagem translacional, por sua vez, vai além da mera descrição dos fenômenos, buscando aplicar os resultados da pesquisa para a transformação da realidade, no caso, a prática pedagógica

A abordagem qualitativa parte do fundamento de que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o(s) sujeito(s). Já a pesquisa translacional, ao conectar teoria e prática, tem se mostrado um caminho promissor para a inovação na educação. Originária da medicina, essa abordagem tem sido adaptada para o contexto educacional, com o objetivo de transformar os resultados de pesquisa em soluções

concretas para os desafios da sala de aula (Cabral Filho et al., 2013). Como afirmam Silva; Frant e Chaves (2022), a pesquisa translacional encontra um terreno fértil na educação, ao permitir a incorporação de novos conhecimentos à prática pedagógica. Ao adotar essa perspectiva, os educadores podem promover um ambiente de aprendizagem relevante para os estudantes, como defende Moreira (2018).

Ela busca construir pontes entre conhecimentos acadêmicos gerados em educação e ensino, para sua aplicação em produtos e processos educativos na sociedade (CAPES, 2016). Além disso, a pesquisa translacional:

[...] conversa no campo, com o campo e é para o campo, articulando os sujeitos, objetos de estudo com contribuições de suas práticas e levando a reflexões e estratégias de ensino como fonte (Pisacco, Ferreira e Emiliano, 2023, p. 77).

Num documento anterior a CAPES aponta que a pesquisa translacional gera “tecnologias, produtos e processos educativos e sociais (...) a partir da aplicação e da mediação do conhecimento acadêmico, retroalimentando-o” (CAPES, 2013, p. 52). Portando ela deve “construir pontes entre conhecimentos acadêmicos gerados em educação e ensino para aplicação em produtos e processos educativos na sociedade” (CAPES, 2013, p. 1 e CAPES, 2016, p. 3). Ela pode ser aproveitada como ferramenta de apoio ao professor, junto com os 3MP para que descrever o processo de ensino e aprendizagem. Pois, acredita-se que os 3MP pode tornar o ambiente de sala de aula dinâmico, interessante e atrativo para o estudante.

A pesquisa translacional na sala de aula como a abordagem dos 3MP, pode ser entendida como o processo de transformar descobertas e conceitos teóricos em experiências práticas e relevante para os estudantes. É como se a sala de aula se tornasse um pequeno laboratório, onde se investigam fenômenos, formulam hipóteses e chegam as conclusões – um pequeno processo científico.

Tendo vista o objetivo do trabalho a pesquisa foi exploratória, pois se desejou compreender um determinado fato, seja suas nuances e complexidades de um determinado fenômeno. Enfim, a pesquisa exploratória permitiu uma imersão no assunto.

Como a metodologia de pesquisa que utilizaremos e os 3MP, que deve ter o envolvimento de todos os atores, potencializando a construção reflexiva, que pode resultar na construção de saberes associados às relações entre conhecimento tecnológico, pedagógico e didáticos. A perspectiva interdisciplinar é um pilar da pesquisa translacional, pois a diversidade de pesquisas que podem ser utilizadas em

educação, pode potencialmente promover um grande número de práticas educativas para as diversas fases do ensino/aprendizagem no país.

A educação básica, em particular, sofre com uma desconexão entre o conhecimento produzido nas Instituições de Ensino Superior (IES) e as necessidades reais das escolas. A expansão e a implementação da pesquisa que desenvolvemos visou estreitar essa lacuna, pois tentaremos promover na sala de aula uma abordagem para uma formação qualificada do professor.

## **4.2 A aplicação da sequência de ensino**

### **4.2.1 Localização**

A pesquisa foi realizada na Escola de Referência em Ensino Médio de Arcoverde -EREMA, escola da rede pública estadual, com turno integral, manhã e tarde.

A escola dispõe de uma estrutura, com vinte e três (23) salas de aula. Além das salas de aula, a escola possui espaços administrativos, como uma sala de direção, uma gráfica, uma sala de coordenação e oito banheiros. Para as atividades práticas, a escola conta com laboratórios de química, física, biologia e informática, além de uma biblioteca. Possui uma quadra de esportes e um auditório, que são os espaços versáteis para a realização de atividades físicas, culturais e eventos escolares.

### **4.2.2 Público-alvo**

Para a aplicação SE, selecionamos uma turma de 3º ano do ensino médio composta por 26 estudantes. A turma foi dividida cinco em grupos, com cerca de cinco estudantes em cada um. Essa organização em grupos foi pensada para favorecer a interação e a colaboração entre os estudantes, além de permitir uma participação ativa nas diversas atividades propostas pela SE, que envolveram trabalhos em grupo em diferentes momentos.

### 4.3 A abordagem didática dos três momentos pedagógicos

Tendo em vista esta abordagem metodológica, 3MP, estabelecemos parâmetros para organizar situações de aprendizagem em Física (Santini e Terrazzan, 2006). Para que os estudantes vivenciassem momentos de vinculação entre conhecimentos práticos e as suas necessidades no cotidiano, usamos como recurso didático uma SE, com várias atividades sucessivas, com base nos 3MP.

As Orientações Curriculares do Ensino Médio (Brasil, 2006) defendem que o ensino de Ciências da Natureza, especialmente a Física, deve despertar o espírito investigativo dos estudantes, incentivando-os a questionar o mundo ao seu redor. Ao invés de apenas fornecer respostas prontas, o ensino de Física deve estimular a curiosidade dos estudantes, promovendo a construção do conhecimento por meio da formulação de perguntas e da busca por respostas em situações que façam sentido para eles. Em virtude desses ideais, buscou-se com a abordagem metodológica dos 3MP um meio de contribuir com o diálogo entre professor e estudante, valorizando as suas concepções espontâneas, problematizando e contextualizando situações com objetivo de ampliar sua visão do mundo.

A escolha da abordagem dos 3MP para esta pesquisa justificou-se por sua versatilidade e dinamismo na promoção de um ambiente de aprendizagem. A possibilidade de adaptar os 3MP a diferentes áreas do conhecimento, aliada à sua capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento, torna essa metodologia uma ferramenta valiosa para o ensino de Física.

A contextualização é um fator fundamental no processo ensino-aprendizagem, segundo os PCN. A contextualização dos conteúdos aproxima os conhecimentos estudados em sala de aula com os acontecimentos do dia a dia dos estudantes, e despertando o interesse destes pelo conhecimento físico e a sua curiosidade, tornando a aula prazerosa e interessante.

Segundo os PCNEM (Brasil, 1999), com a utilização das vivências dos estudantes, os fatos do cotidiano, a mídia, a tradição cultural, dentre outros, é possível reconstruir conhecimentos físicos com significados, que permitem fazer interpretações do mundo físico com base nas ciências a fim de se alcançar mudanças conceituais.

A experimentação e a simulação, em consonância com a LDB, os PCN e a BNCC, podem promover uma aprendizagem ativa, pois permite a investigação

científica e a construção do conhecimento. Ao realizar experimentos e simulações, os estudantes têm a oportunidade de explorar fenômenos naturais, testar hipóteses e desenvolver habilidades práticas e científicas, tornando o conhecimento interessante e até eficaz

Nesse contexto, a SE foi composta por oito (8) encontros, com o total de dezesseis (16) hora-aulas, distribuídos da seguinte maneira quatro (4), oito (8) e quatro (4) hora-aulas para o primeiro, segundo e terceiro momentos dos 3MP, em uma turma de 3° ano do ensino médio. Os momentos foram: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento (Quadro 4).

**Quadro 4** - Cronograma da aplicação da Sequência de Ensino referente ao espectro eletromagnético usando a abordagem dos 3MP.

ETAPAS	NÚMERO DE ENCONTROS	TEMPO EM AULAS	ATIVIDADES PROPOSTAS
<b>PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Verificação dos conhecimentos prévios;</li> <li>♦ Identificação dos fenômenos;</li> <li>♦ Leitura de texto de apoio e apresentação dos simuladores.</li> </ul>
<b>ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Apresentação sistemática dos conceitos e definições;</li> <li>♦ Fixação dos conceitos e definições;</li> <li>♦ Assistir vídeos correlacionados. (casa)</li> </ul>
<b>APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Aplicação dos conhecimentos na discriminação das ondas;</li> <li>♦ Descrição dos conceitos de maneira crítica.</li> </ul>
<b>TOTAL</b>	<b>8 ENCONTROS</b>	<b>16 AULAS</b>	<b>8 SEMANAS</b>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

#### **4.3.1 Problematização inicial**

Apresentação do tema “Explorando o espectro eletromagnético: tipos de radiações e medidas de proteção”, foi criada uma componente curricular eletiva, no segundo semestre do ano letivo de 2024, justamente para esse fim, com o título do tema.

Para dar início à nossa SE, introduzimos uma situação-problema desafiadora “Pessoas sensíveis a ondas eletromagnéticas fogem de celulares e wi-fi?”. Houve algumas discussões sobre o tema, por parte dos estudantes, em grupo. Logo em seguida apresentou um texto de apoio com o mesmo nome em folhas impressas para cada estudantes; além do uso do computador e de um projetor pelo professor, para apresentar a notícia direto da página do jornal (Figura 13). Em seguida aplicamos um questionário (Figura 14) para verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema. Depois, em outro momento, apresentamos simulações interativas do Phet (Quadro 5).

**Figura 13 - Recorte da página do Jornal Estadão.**



**Fonte:** Site do Jornal Estadão.

**Figura 14 – Questionário aplicado para verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.**

Exercício 1	
<p><b>Instruções:</b> Responda às perguntas a seguir de acordo com o seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas; essas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.</p> <p>_____</p> <p><b>1. O que são ondas eletromagnéticas?</b> Descreva, com suas palavras, o que você entende por ondas eletromagnéticas. Dê exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?</b> Liste os diferentes tipos de ondas que você acha que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>3. Qual é a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética?</b> Você sabe como a frequência de uma onda está relacionada à sua energia? Tente explicar essa relação.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>4. Como as ondas de rádio são diferentes das micro-ondas?</b> Você consegue identificar alguma diferença entre ondas de rádio e micro-ondas? Pense em características como comprimento de onda, frequência ou aplicações tecnológicas.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>5. A luz visível é uma onda eletromagnética?</b> Explique se a luz visível faz parte do espectro eletromagnético e, se sim, como ela se relaciona com outras ondas no espectro.</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p><b>6. O que você sabe sobre a radiação ultravioleta (UV)?</b> Quais são as características que você conhece sobre a radiação ultravioleta? Ela é boa ou prejudicial? Em que situações do cotidiano ela aparece?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>7. As ondas infravermelhas podem ser vistas pelos nossos olhos?</b> Na sua opinião, o infravermelho faz parte das ondas que podemos ver? Por que você acha isso?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>8. Qual a importância das ondas eletromagnéticas para as telecomunicações?</b> Explique como você acredita que as ondas eletromagnéticas são usadas em sistemas de comunicação, como televisão, rádio ou celulares.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>9. Como as ondas eletromagnéticas se propagam no espaço?</b> As ondas eletromagnéticas precisam de um meio material (como o ar ou a água) para se propagar? Justifique sua resposta com base no que você já ouviu ou leu sobre o assunto.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>10. As ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos?</b> Na sua opinião, todas as ondas eletromagnéticas podem ser prejudiciais à saúde? Se sim, quais delas? Se não, por quê?</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

**Quadro 5 –** Simulações computacionais que foram utilizadas na sequência de ensino.

SIMULADOR	DESCRIÇÃO	LINK
1	Monte um Núcleo – Decaimento Nuclear	<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-nucleus/latest/build-a-nucleus_all.html?locale=pt_BR">https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-nucleus/latest/build-a-nucleus_all.html?locale=pt_BR</a>
2	Ondas: Intro – Frequência Amplitude e Velocidade de Onda	<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_all.html?locale=pt_BR">https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_all.html?locale=pt_BR</a>
3	Espectro de Corpo Negro - Corpo Negro, Lei de Planck; Lei de Wien e densidade de potência	<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_all.html?locale=pt_BR">https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_all.html?locale=pt_BR</a>
4	Interferência de Onda - Interferência, Fenda Dupla e Difração	<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt">https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt</a>
5	Espalhamento de Rutherford - Núcleos Atômicos, Estrutura Atômica e Mecânica Quântica	<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=pt_BR">https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=pt_BR</a>

**Fonte:** <https://phet.colorado.edu/>.

Neste primeiro momento, em vez de fornecermos respostas, incentivamos a formulação de hipóteses, conduzindo a uma discussão aberta e a conclusões próprias. Pois, o objetivo como professor foi criar um ambiente de investigação, em que os estudantes puderam explorar o tema e formular suas próprias hipóteses. A partir das discussões em grupo e da análise das informações, esperávamos que eles buscassem por evidências que as confirmassem ou refutassem.

Ainda nesse primeiro momento, tivemos a formação de grupos para os trabalhos com as simulações computacionais. Elas serviram para aprofundar os conhecimentos sobre o tema, os estudantes realizaram estas atividades práticas no laboratório de informática (com os simuladores do Phet). Nesses simuladores, foi possível “visualizar” a constituição dos átomos, as emissões radioativas, as propriedades das ondas eletromagnéticas e a organização do espectro eletromagnético, o que permitiu uma visão mais clara das aplicações dessas radiações em diversas áreas do conhecimento, ou pensar na aplicação relacionada à sua energia. Nesta ocasião discutimos o corpo negro, analisando a densidade de potência e sua temperatura.

Após a utilização dos simuladores computacionais, os estudantes foram convidados a compartilhar suas observações e reflexões sobre os conceitos abordados. Através de um processo de questionamento e discussão, buscamos identificar seus conhecimentos prévios, suas dúvidas e suas hipóteses, conduzindo-os a uma compreensão dos conceitos abordados (lapidar as informações, para os estudantes terem uma criticidade mais acertada com o tema).

### 4.3.2 Organização do conhecimento

A lapidação foi realizada no segundo momento pedagógico dos 3MP. Ao longo de quatro encontros, as aulas ministradas aos estudantes foram com o intuito de organizar o conhecimento; em que uma atividade avaliativa que foi cobrada deles ao final de cada dois encontros consecutivos (Figura 15) para que os estudantes possam expressar o que pensam sobre os temas abordados. As aulas foram uma sequência de aulas dialogadas e expositivas em slides (Figuras 16, 17 e 18) e vídeos (Quadro 6), acompanhadas dos questionários avaliativos e por fim, uma discussão sobre o tema, permitindo que os estudantes compartilhem suas ideias, confrontem diferentes pontos de vista e construam um conhecimento sólido.

**Figura 15** - Atividades avaliativas foram cobradas dos estudantes ao final de cada dois encontros consecutivos do segundo momento pedagógico dos 3MP.

EXERCÍCIO 1	EXERCÍCIO 2
Busque responder as questões a seguir com base na aula anterior.	Busque responder as questões a seguir com base na aula anterior.
1- Cite pelo menos três tipos de radiações presentes no espectro eletromagnético, em ordem crescente de comprimento de onda.	1- Quais são as principais aplicações das micro-ondas em comunicações e em aplicações domésticas?
_____	_____
_____	_____
2- Qual a propriedade da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determina o nível de energia da onda?	2- Como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético são utilizados em telescópios para estudar o universo? Dê exemplos de observações em diferentes faixas do espectro.
_____	_____
_____	_____
3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.	3- Compare as radiações infravermelha e visível em termos de comprimento de onda, energia e aplicações práticas. Cite exemplos de dispositivos que utilizam cada uma dessas radiações.
_____	_____
_____	_____
4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no Brasil é de 700 MHz (MHz = 10 <sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.	4- Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?
_____	_____
_____	_____
5- Considere três tipos de onda eletromagnéticas: vermelho, azul e verde. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.	5- Como a radiação gama é utilizada para melhorar a segurança alimentar? Explique o processo de irradiação de alimentos e quais são os benefícios dessa técnica.
_____	_____
_____	_____
6- Observando o espectro eletromagnético apresentado na aula, podemos afirmar que as ondas cujo comprimento é de 470 nm, 550 nm e 780nm (nm = 10 <sup>-9</sup> m) são todas, ondas visíveis? Se sim, indique qual e a possível cor.	_____
_____	_____
_____	_____

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

**Figura 16** – Alguns slides usados durante as aulas expositivas referente ao primeiro encontro do segundo momento pedagógico dos 3MP<sup>3</sup>.

O que é radiação?  
Quais os tipos de radiações?  
O espectro eletromagnético.  
Frequência e velocidade de propagação  
Relação frequência e energia de uma onda eletromagnética.

O QUE É RADIAÇÃO?

É a propagação de ENERGIA através de forma de onda ou partícula. Cardoso e Barroso (2005).

É uma forma de ENERGIA, emitida por uma fonte e TRANSMITIDA através do VÁCUO, DO AR OU OUTROS MEIOS MATERIAIS. Okuno e Yoshimura (2010).

É o transporte de ENERGIA de um ponto a outro do espaço conduzida através de onda ou partícula. Pereira (2014).

\*Okuno e Yoshimura (2010) \*\* \*\*\*Pereira (2014)

TIPOS DE RADIAÇÃO

Radiações ondulatórias (ondas eletromagnéticas)  
Raio X, Raio Gama, visível

Radiações corpusculares (Partículas nucleares)  
Partícula alfa, beta

Fig. 1.1

Fig. 1.2

Fig. 1.3

Fig. 1.4

Fig. 1.5

Fig. 1.6

Referências Bibliográficas

Fig. 1.1 - Electromagnetic wave 3D  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Electromagnetic\\_wave3D.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Electromagnetic_wave3D.gif). Acesso: 4/04/2024

Fig. 1.2 - Átomo de Lítio - [https://pt.wikipedia.org/wiki/Átomo\\_de\\_Lítio#/media/Átomo\\_de\\_Lítio](https://pt.wikipedia.org/wiki/Átomo_de_Lítio#/media/Átomo_de_Lítio). Acesso: 04/04/2024

Fig. 1.3  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Átomo\\_de\\_Lítio#/media/Átomo\\_de\\_Lítio](https://pt.wikipedia.org/wiki/Átomo_de_Lítio#/media/Átomo_de_Lítio). Acesso: 05/04/2024

Fig. 1.4 - [https://www.repositorio.ufpb.br/jsp/bitstream/15105220/5776061\\_3/1/15105220.pdf](https://www.repositorio.ufpb.br/jsp/bitstream/15105220/5776061_3/1/15105220.pdf). Acesso: 05/04/2024

Fig. 1.5 - Placa de pare - [https://www.fapesp.br/pt/imagens-produtos/104548/placa\\_de\\_regulamentacao\\_pare\\_r\\_1\\_515\\_135300015444403926671117947940.jpg](https://www.fapesp.br/pt/imagens-produtos/104548/placa_de_regulamentacao_pare_r_1_515_135300015444403926671117947940.jpg). Acesso: 4/4/2024

Fig. 1.6 - Placa de sentido único - [https://www.repositorio.ufpb.br/jsp/bitstream/15105220/5776061\\_3/1/15105220.pdf](https://www.repositorio.ufpb.br/jsp/bitstream/15105220/5776061_3/1/15105220.pdf). Acesso: 4/4/2024

Frequência  $\propto$  Energia

Alta frequência  $\propto$  Alta Energia

Baixa frequência  $\propto$  Baixa Energia

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

<sup>3</sup> Slides contendo gifs e vídeos.

Figura 17 – Slides usados durante as aulas expositivas referente ao segundo encontro do segundo momento pedagógico dos 3MP<sup>4</sup>.

The figure consists of 24 individual slides arranged in a grid. The slides cover the following topics:

- Slide 1:** Title slide: "O ESPECTRO DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA. A COMPOSIÇÃO DO ESPECTRO. APLICAÇÃO DAS RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS".
- Slide 2:** Diagram of the electromagnetic spectrum with icons for various types of radiation: Ondas Brancas, Rádio, Microondas, Infravermelho, Luz Visível, Ultravioleta, Raios-X, and Raios Gama.
- Slide 3:** Similar diagram to Slide 2, but with a sine wave representing a radio wave.
- Slide 4:** Similar diagram to Slide 2, but with a sine wave representing an infrared wave.
- Slide 5:** Similar diagram to Slide 2, but with a sine wave representing a visible light wave.
- Slide 6:** Similar diagram to Slide 2, but with a sine wave representing an ultraviolet wave.
- Slide 7:** Similar diagram to Slide 2, but with a sine wave representing an X-ray wave.
- Slide 8:** Similar diagram to Slide 2, but with a sine wave representing a gamma ray wave.
- Slide 9:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 10:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 11:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 12:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 13:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 14:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 15:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 16:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 17:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 18:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 19:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 20:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 21:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 22:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 23:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.
- Slide 24:** Diagram showing the visible spectrum and the visible light spectrum.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

<sup>4</sup> Slides contendo gifs e vídeos.

**Figura 18** – Alguns slides usados durante as aulas expositivas referente ao terceiro encontro do segundo momento pedagógico dos 3MP<sup>5</sup>.

**RADIAÇÃO CORPUSCULAR**  
TIPOS DE RADIAÇÃO NUCLEAR  
BARREIRAS DE PROTEÇÃO CONTRA ESSAS RADIAÇÕES

**TIPOS DE RADIAÇÃO**

Radiações ondulatórias (ondas eletromagnéticas)  
Raio X, Raio Gama, visível

Radiações corpusculares (Partículas nucleares)  
Partícula alfa, beta

DECAIMENTO ESPONTANEO DAPARTÍCULA ALFA EM UM ÁTOMO DE PLUTÔNIO, COM A LIBERAÇÃO DE RAIOS GAMA

**$\alpha$  (Alpha) Particle and Gamma Rays Are Released**

$^{235}\text{U}$

$^{226}_{88}\text{Ra}$   $\rightarrow$   $^4_2\text{He}^{2+}$   $^{222}_{86}\text{Rn}$

**Beta Particle Emission**

● Proton  
● Neutron  
● Electron

LOJ (02/2001)

Gamma ( $\gamma$ ) decay

**BARREIRAS DE PROTEÇÃO CONTRA ESSAS RADIAÇÕES**

$\alpha$   
 $\beta$   
 $\gamma$

Paper Aluminum Lead

**Radiação, radioatividade e cotidiano?**

**Pergunta?**

Você considera que os alimentos expostos à radiação...

Ficam radioativos? Sim Não

São prejudiciais à saúde? Sim Não

Por quê?

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

<sup>5</sup> Slides contendo gifs e vídeos.

**Quadro 6** – Títulos e endereços eletrônicos dos vídeos utilizados sobre o espectro eletromagnético durante a Sequência de Ensino com 3MP.

TÍTULO DO VÍDEO	ENDEREÇO ELETRÔNICO:
O guia completo do espectro eletromagnético parte 1	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=EKBlli5GcKc">https://www.youtube.com/watch?v=EKBlli5GcKc</a>
O guia completo das ondas de rádio O espectro eletromagnético parte 2	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=iPsfXXFIYQc">https://www.youtube.com/watch?v=iPsfXXFIYQc</a>
O guia completo das ondas de micro-ondas O espectro eletromagnético parte 3	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Z0D-x4BHMJo">https://www.youtube.com/watch?v=Z0D-x4BHMJo</a>
O guia completo das ondas de infravermelho O espectro eletromagnético parte 4	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=t6J56Bec1a4">https://www.youtube.com/watch?v=t6J56Bec1a4</a>
O guia completo da luz visível O espectro eletromagnético parte 5	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=cSofBYkukA4">https://www.youtube.com/watch?v=cSofBYkukA4</a>
O guia completo do ultravioleta. O espectro eletromagnético parte 6	<a href="http://www.youtube.com/@canal_cienciamais">www.youtube.com/@canal_cienciamais</a>
O guia completo dos Raio X O espectro eletromagnético parte 7	<a href="http://www.youtube.com/@canal_cienciamais">www.youtube.com/@canal_cienciamais</a>
O guia completo dos raios gama O espectro eletromagnético parte 8	<a href="http://www.youtube.com/@canal_cienciamais">www.youtube.com/@canal_cienciamais</a>

Fonte: [www.youtube.com/@canal\\_cienciamais](http://www.youtube.com/@canal_cienciamais)

#### 4.3.3 Aplicação do conhecimento

Para finalizar a sequência de atividades, ou seja, a SE, os estudantes foram convidados a sintetizar os conteúdos adquiridos, compartilhando suas percepções e conclusões sobre as atividades realizadas. Nesta sistematização da aplicação do conhecimento, pode permitir um debate, para a compreensão dos conceitos em que se identificou possíveis lacunas. Deve-se dizer que o debate sobre as considerações dos estudantes, pode ter levado os seus pensamentos a pontos de criticidades à cerca do tema. Ao final, foi aplicado um questionário avaliativo (Figura 19) e depois uma pergunta oral e respondida pelos grupos, foi ela: “Quais as medidas de proteção que vocês sabem sobre os tipos de radiação?”, para verificar a evolução de novos entendimentos, ou seja, se estavam mais elaborados quando comparados com os momentos anteriores e para verificar a efetividade da estratégia utilizada, permitindo, uma análise e até ajustes em aplicações futuras da SE.

Deve-se dizer que optou - se por realizar a pergunta sobre as medidas de proteção oralmente e em grupos no terceiro momento pedagógico para promover uma discussão colaborativa e uma articulação do conhecimento construído ao longo da SE.

**Figura 19** - Questionário avaliativo para verificar a evolução de novos entendimentos pelos estudantes no terceiro momento dos 3MP.

ATIVIDADE DE CONCLUSÃO	
Questões temáticas	
1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnéticos	<hr/> <hr/>
2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.	<hr/> <hr/> <hr/>
3. Uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 550 nm ( $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) é uma onda visível? Se sim, indique a possível cor.	<hr/> <hr/>
4. Considere três tipos de onda eletromagnéticas: ultravioleta, micro-ondas e raios gama. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.	<hr/> <hr/>
5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz ( $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.	<hr/> <hr/> <hr/>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação da SE aconteceu com a turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede estadual no município de Arcoverde, Pernambuco, Brasil. Nessa turma, os estudantes tiveram contato com a Física em uma aula semanal (Novo Ensino Médio) e em uma componente curricular eletiva, à qual demos o mesmo nome do tema desta dissertação, com duas aulas semanais. A turma era constituída por 26 estudantes.

Para desenvolver o conteúdo específico sobre o espectro de ondas eletromagnéticas, em consonância com a utilização e proteção relacionadas a elas, e tendo como base os 3MP, as atividades planejadas e desenvolvidas em sala de aula foram sistematizadas conforme o Quadro 4 apresentado no capítulo anterior.

Inicialmente, procurou-se relacionar o conteúdo com situações reais do cotidiano, compreender a posição dos estudantes frente ao tema e realizar um levantamento de questões relacionadas. Posteriormente, com a apresentação dos conceitos relacionados e das atividades propostas, procurou-se realizar a sistematização do conhecimento e, por fim, analisar de forma qualitativa os argumentos construídos pelos estudantes ao longo das etapas de Organização e Aplicação do Conhecimento.

A análise dos resultados, em vez de seguir uma discussão questão por questão, foi estruturada em três partes correspondentes aos 3MP. Essa forma de apresentação foi adotada, pois acreditamos que facilitou a compreensão sobre como cada etapa da SE influenciou os argumentos dos estudantes. Assim, a análise subsequente foi dividida em seções que refletem a aplicação da problematização inicial, da organização do conhecimento e da aplicação do conhecimento.

A análise dos dados obtidos por meio dos questionários, das produções escritas dos estudantes, foi conduzida de forma indutiva. Dessa forma, as generalizações foram estabelecidas a partir das observações do professor, em conformidade com a definição de Gil (2008, p. 10) de uma análise que considera “exclusivamente a experiência, sem levar em consideração princípios preestabelecidos”. Assim, os resultados utilizam dados das respostas dos estudantes nos questionários como base para fundamentar as ideias e observações do professor.

Estas produções escritas dos estudantes, obtidas por meio dos questionários, que constituíram a fonte de dados para esta análise, estão no (Apêndice B).

Consequentemente, os resultados e as observações do professor foram sustentados por citações diretas extraídas das respostas dos estudantes.

### **1º Momento Pedagógico: Problematização inicial**

Os encontros iniciais da componente curricular eletiva tiveram como objetivos principais a verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre radiações, a identificação dos fenômenos relacionados, a leitura de um texto de apoio introdutório e a apresentação de simuladores que seriam utilizados nas atividades subsequentes.

No primeiro encontro, informamos de que as atividades fariam parte de uma dissertação de mestrado, o que gerou uma inibição inicial em alguns estudantes. Contudo, essa timidez foi superada, e eles demonstraram engajamento nas atividades propostas.

A etapa de verificação dos conhecimentos prévios foi iniciada com um problema “Pessoas sensíveis a ondas eletromagnéticas fogem de celulares e wi-fi?” e em seguida com a leitura do texto problematizador de mesmo título e aplicação de um questionário para verificação dos conhecimentos prévios à cerca do tema.

As discussões que se seguiram à leitura revelaram que o tema, embora presente no cotidiano dos estudantes, como evidenciado pela menção a um acidente ocorrido em sua infância, em que uma estudante engoliu um parafuso e teve que se submeter a um exame de raio-X. Também se teve informações sobre a radioatividade de bananas, que apresentava lacunas conceituais.

Durante a discussão, os estudantes compartilharam experiências pessoais e informações que possuíam sobre o tema, indicando uma conexão inicial com o assunto, mas também a presença de informações equivocadas ou mal compreendidas.

As respostas ao questionário, cujos trechos (recortes) evidenciam a falta de clareza em alguns conceitos e a dificuldade em fornecer informações precisas, reforçaram essa observação (Figura 20).

**Figura 20** - Recortes de duas respostas de quatro estudantes ao questionário de verificação dos conhecimentos prévios.

(A)

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com o seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas; essas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
 Descreva, com suas palavras, o que você entende por ondas eletromagnéticas. Dê exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas.  
*São partículas de energia elétrica que se propagam através do movimento de cargas.*

2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
 Liste os diferentes tipos de ondas que você acha que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*ultravioleta, sonora, Infravermelha.*

(B)

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com o seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas; essas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
 Descreva, com suas palavras, o que você entende por ondas eletromagnéticas. Dê exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas.  
*São fenômenos ondulatórios que transportam energia como a energia luminosa e as radiações (luz, raios X, ondas de rádio).*

2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
 Liste os diferentes tipos de ondas que você acha que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*Raios X, gama, ondas de rádio, de calor, partículas onda como luz.*

(C)

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com o seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas; essas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
 Descreva, com suas palavras, o que você entende por ondas eletromagnéticas. Dê exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas.  
*NÃO SEI.*

2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
 Liste os diferentes tipos de ondas que você acha que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*NÃO SEI.*

(D)

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com o seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas; essas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
 Descreva, com suas palavras, o que você entende por ondas eletromagnéticas. Dê exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas.  
*eu sei que é mais não sei explicar*

2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
 Liste os diferentes tipos de ondas que você acha que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Apesar do engajamento na discussão, a análise das respostas do questionário de verificação dos conhecimentos prévios, sinaliza a necessidade de abordar os conceitos fundamentais de forma explícita e direcionada nas próximas etapas, a fim

de construir uma base formal de conhecimento dos assuntos antes da exploração dos simuladores.

Como citado por (Gil, 2002), fizemos uma seleção das questões de forma aleatória, das respondidas para a sondagem, denominamos os Estudantes com as letras A, B, C, D e E como forma de preservar suas identidades. O porquê de não utilizarmos todos os questionários foi a grande quantidade de ausências nas aulas, apenas onze destes foram os únicos não se ausentaram em todos os momentos pedagógicos, ou seja, que tiveram 100% de frequência.

A dificuldade de acompanhamento por parte dos estudantes, manifestada na baixa frequência em algumas aulas, pode ter sido motivada por diversos fatores. Embora não se possa afirmar com certeza, um ano letivo atípico, marcado por eleições municipais com o envolvimento direto de alguns alunos, e as necessidades financeiras que levam outros a trabalhar, podem ter contribuído. Adicionalmente, atividades escolares como jogos interclasses e interescolares, durante os quais os estudantes da zona rural frequentemente se ausentavam, impactaram a frequência. Outro ponto relevante é a natureza da aplicação da SE com os 3MP, realizada em uma componente curricular eletiva sem atribuição de nota, o que pode ter gerado desinteresse em alguns estudantes, justificando a menor participação.

Embora o número de atividades analisadas dos estudantes elegíveis possa parecer modesto, acreditamos que ele oferece um panorama representativo do desenvolvimento dos 3MP ao longo da aplicação.

A participação dos estudantes nas discussões iniciais, evidenciada no questionário prévio, constatou que muitos conceitos fundamentais sobre o tema precisavam de clareza. Dando continuidade à aplicação da sequência, além do texto motivador, eles foram conduzidos ao laboratório de informática, onde formaram duplas por computador e tiveram acesso aos simuladores do PhET, seguindo as instruções que os guiaram nas simulações, conforme descrito no Apêndice A do Produto Educacional. Ainda no laboratório de informática, surgiram diversas questões, das quais três chamaram a atenção do pesquisador, foram elas:

Como as operadoras de celular separam as linhas? Tipo, TIM, Oi, Vivo, Claro etc.?

Por que o infravermelho é utilizado pra vermos corpos quentes ou frios se o que queima a gente é o ultravioleta?

Como funciona as roupas que protegem do UV?

As três questões levantadas pelos estudantes durante a atividade com os simuladores foram reveladoras. A primeira revelou uma tentativa de conectar o conceito abstrato de ondas eletromagnéticas com uma tecnologia cotidiana, indicando uma busca por relevância, como a curiosidade sobre o uso de diferentes faixas de frequência. Sobre a segunda questão, pode-se dizer que se constatou uma confusão comum sobre os efeitos de diferentes tipos de radiação e suas aplicações. Uma necessidade de diferenciar os efeitos térmicos do infravermelho dos efeitos químicos do ultravioleta, o que já aponta para a importância de discutir os diferentes níveis de energia e seus impactos. E a terceira questão é diretamente relacionada à SE, ou seja, “medidas de proteção”, e demonstra que os estudantes estavam pensando nas aplicações práticas do conhecimento e em como se proteger de radiações específicas.

As questões demonstram que o texto de apoio e os simuladores computacionais com um roteiro de utilização, juntamente com a mediação do professor no laboratório de informática, serviram como recursos motivadores para despertar a curiosidade e desenvolver as aulas (Delizoicov e Angotti, 1990), sendo capazes de gerar dúvidas e curiosidade nos estudantes, constituindo um ponto de partida para a construção do conhecimento nos momentos seguintes.

Percebeu-se que alguns estudantes relacionaram situações reais do seu cotidiano com o tema de estudo. Essa afirmação se sustenta no fato de que uma estudante trouxe seu exame de raio-X para o encontro seguinte, apresentando-o a todos e exibindo o parafuso em seu intestino (Figura 21).

**Figura 21** – Uma Estudante segurando um exame de raio X, apresentando um parafuso em seu intestino.



Um aspecto crucial da aplicação dos 3MP é a capacidade de fomentar a interação e a aproximação entre professor e estudante, gerando entusiasmo e satisfação. Esse fato foi observado no primeiro momento, quando a estudante compartilha com entusiasmo seu exame de raios-x. Essa atitude espontânea ilustra como a metodologia permite que as vivências dos estudantes se tornem ponto de partida para a exploração do conteúdo, evidenciando a potencialidade dos 3MP em criar conexões entre o aprendizado e a realidade dos estudantes (Gehlen, Maldaner e Delizoicov, 2012; Araújo e Muenchen, 2018).

Assim, a Problematização Inicial, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), tem como finalidade levar os estudantes a expressarem suas explicações, mesmo que contraditórias, para que se possam identificar as possíveis limitações de seu conhecimento ao confrontá-lo com o conhecimento científico selecionado. Para isso, o papel do professor é diagnosticar as concepções dos estudantes sobre a situação, organizando a discussão de modo a estimular o questionamento de suas próprias interpretações, abstendo-se de oferecer explicações prontas. Delizoicov (2001) sugere que essa etapa se desenvolva inicialmente em pequenos grupos, culminando na socialização das ideias com toda a turma, e foi o que ocorreu na aplicação da SE.

A análise das respostas do questionário de verificação (Figura 20) revelou um panorama diversificado na compreensão do conceito de ondas eletromagnéticas pelos estudantes. Enquanto a resposta do Estudante B demonstra uma familiaridade razoável com o tema, o Estudante A apresenta uma confusão conceitual, misturando ondas sonoras e eletromagnéticas. O Estudante C, por sua vez, não ofereceu resposta, sugerindo desconhecimento ou falta de engajamento, e o Estudante D expressou dúvida sobre o conceito. Diante desse cenário, o papel do professor como mediador na construção do conhecimento torna-se central (Vygotsky, 2001). Segundo o autor, a mediação pedagógica é crucial para auxiliar os estudantes a superar suas dificuldades conceituais. Nesse sentido, o professor atuou organizando as questões elaboradas pelos estudantes, problematizando suas ideias com novas perguntas pertinentes ao tema (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002), e redirecionando as aulas expositivas para atender às necessidades identificadas.

Com base neste momento pedagógico, as Orientações Curriculares do Ensino Médio (Brasil, 2006) propõem que:

Os conhecimentos prévios dos alunos, e a exploração de suas contradições e limitações pelo professor, exigem que este elabore situações e problemas que o aluno não faria sozinho e que tenham o potencial de levar à aquisição de um conhecimento que o educando ainda não possui, mas que passará a ter significância dentro dos esquemas conceituais do aluno (Brasil, 2006, p. 51).

Após esses questionamentos, alguns estudantes perceberam que o tema envolve o estudo das ondas eletromagnéticas e, conseqüentemente, do espectro eletromagnético. Durante a discussão, alguns relataram nunca terem se interessado pelo funcionamento dos exames de raio-X, enquanto outros mencionaram os comentários dos pais sobre a proteção contra raios UV. Assim, a limitação do conhecimento prévio sobre o tema tornou-se evidente. Diante disso, o segundo momento, com o objetivo de sistematizar os conceitos e definições, representou um desafio. Nele, o professor buscou enriquecer as concepções espontâneas dos estudantes, elucidando noções equivocadas e direcionando o senso comum para a sistematização científica. A fase inicial, ao procurar relacionar o conteúdo com situações reais do cotidiano, mostrou-se fundamental para engajar os estudantes e ativar seus conhecimentos prévios, preparando o terreno para os momentos posteriores: Organização e Aplicação do Conhecimento.

## **2º Momento Pedagógico: Organização do conhecimento**

Nesse momento, os conhecimentos científicos do tema foram apresentados por meio de atividades previamente elaboradas a partir dos dados do primeiro momento dos 3MP, conforme preconiza Delizoicov (2001). A proposta deste momento foi a organização dos conhecimentos, visando responder de forma clara e objetiva às questões levantadas pelos estudantes. Para isso, foram realizadas aulas dialogadas e expositivas com apresentação em slides e videoaulas sobre cada “divisão” do espectro eletromagnético. Estes vídeos tinham duração média de 15 minutos e, devido à dificuldade de frequência por parte dos estudantes, sugeriu-se que os assistissem em casa. Quando necessário, alguns trechos eram exibidos em sala de aula, sendo estes exemplos passíveis de modificação pelo professor, conforme sua necessidade. Adicionalmente, realizamos rodas de discussão e a apresentação do vídeo “Eletromagnetismo – espectro eletromagnético”, desenvolvido pela Vunesp – USP, São Paulo (2015). A seguir, a Figura 22 apresenta alguns momentos das discussões e da exposição do conteúdo pelo professor.

**Figura 22** - Momentos de discussões e resolução de questões referentes as aulas do 3MP.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Conforme preconizam os 3MP, este momento de discussão e interação em grupo é fundamental para que os estudantes elaborem suas respostas, confrontem-nas com seus pares e formulem novas hipóteses a partir do conteúdo apresentado nas aulas. Essa dinâmica dialógica, como defendem Araújo e Muenchen (2018, p. 55-56), “possibilita que o educando sinta-se desafiado, inquieto, instigado em expor suas ideias e dúvidas na busca de um pensar crítico que possibilite a mudança, a partir dos temas significativos que estão sendo trabalhados”. Paralelamente, o professor atua expondo o conteúdo com o objetivo de organizar os conceitos e ideias, além de ampliar o repertório de informações sobre o tema, conforme ilustrado na Figura 23. Neste segundo momento pedagógico dos 3MP, cada faixa do espectro eletromagnético foi apresentada, detalhando suas características e aplicações. Adicionalmente, promoveu-se a discussão sobre os limites seguros de exposição a essas radiações. Quando pertinente, equipamentos do cotidiano foram apresentados para demonstrações, como controles remotos, lasers pointers, micro-ondas, rádios e celulares. Durante este momento, aplicamos dois questionários contextualizados sobre o tema, ambos com o objetivo de observar e analisar a apropriação dos conhecimentos científicos pelos estudantes ao longo da aplicação da SE. É importante ressaltar que o questionário representou apenas um dos instrumentos de observação dos sinais de aprendizagem, complementando a percepção que o professor pôde obter durante as aulas por meio das falas, colocações e relatos dos estudantes,

formando um conjunto de instrumentos de verificação. Nessas atividades de verificação da aprendizagem, foi possível constatar indícios de aprendizagem por parte dos estudantes (Figura 24).

**Figura 23** - Momento de apresentação do conteúdo por parte do professor.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

**Figura 24** - Estudantes resolvendo as atividades propostas no segundo momento dos 3MP.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Em geral, alguns estudantes demonstraram dificuldades na interpretação do enunciado das questões abertas, não conseguindo organizar as ideias. Logo, foi necessária a intervenção do professor para que conseguissem estruturar o raciocínio e chegar a uma solução. Por outro lado, a maioria conseguiu, de alguma forma, responder às questões; outros apresentaram dificuldades com as operações matemáticas e ainda houve aqueles que tiveram problemas com a conversão de unidades de medida. Dessa forma, houve a necessidade de uma atenção especial quanto a esses aspectos em determinado momento.

As causas de tais dificuldades podem ser multifatoriais. Em conversas com os estudantes, emergiram fatores como o período de ensino remoto durante a pandemia (quando cursavam o 8º e 9º ano do ensino fundamental), a necessidade de alguns contribuírem para a renda familiar e o uso de dispositivos móveis.

Deve-se relatar que embora aplicados no segundo momento pedagógico dos 3MP, os questionários podem não ter explorado situações contextuais tão profundamente quanto preconizam Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), que enfatizam a importância da contextualização para engajar os estudantes e conectar o conhecimento científico com suas vivências.

Mesmo com a observação do parágrafo anterior e apesar das dificuldades iniciais dos estudantes, as atividades propostas no segundo momento pedagógico evidenciaram os primeiros indícios de aprendizagem conceitual sobre o tema abordado, possibilitando a gradual incorporação dos conceitos científicos pelos estudantes. Essa progressão pode ser corroborada pela análise das respostas apresentadas na Figura 25. Nela, observa-se que os estudantes foram capazes de demonstrar uma relação compreensiva entre frequência e energia (questão 3) e, por meio de operações matemáticas, determinar a grandeza física comprimento de onda a partir de um dado do cotidiano: a frequência da banda de uma operadora de telefonia celular.

Além disso, deve-se levar em consideração a natureza abstrata e a complexidade inerente ao conceito de espectro eletromagnético, com seus diversos tipos de radiação e as nuances das medidas de proteção, não é trivial para os estudantes do ensino médio desenvolverem uma compreensão aprofundada, especialmente ao expressarem seus conhecimentos em questões abertas. Autores como Antonowiski, Alencar e Rocha (2017), já destacaram as dificuldades em internalizar modelos científicos não intuitivos como os da física moderna.

Reconhecendo esses desafios de internalização, em suma, embora alguns estudantes, como B e E, ainda apresentem dificuldades com operações matemáticas – possivelmente um efeito residual do período de ensino remoto durante a pandemia de Covid-19 –, a compreensão das discriminações das ondas, suas posições no espectro eletromagnético e a relação entre frequência e energia foi satisfatória. Esse resultado confirma a expectativa de indícios de aprendizagem conceitual após a etapa de Organização do Conhecimento.

A passagem do conhecimento prévio para organização do conteúdo, muitas vezes intuitivo e baseado em experiências superficiais, para a compreensão de modelos científicos abstratos requer mais tempo e estratégias pedagógicas mais bem planejadas.

Figura 25 - Recortes de respostas dos estudantes, referentes as relações entre grandezas e suas determinações.

(A)

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

*Undas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raio X e raio gama.*

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$        $3 \times 10^8 = 300 \times 10^6$

$C = \lambda \cdot f$   
 $\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{7 \times 10^8 \text{ Hz}} = 0,43 \text{ m}$

(B)

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

*ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raios X e Raio gama.*

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

*O comprimento de onda dessa faixa é de 700 MHz aproximadamente 42,86 cm.*

(C)

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

*Undas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raio X, raio gama.*

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$\lambda = \frac{3}{7}$

(D)

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

*ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raio X e raio gama.*

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$\frac{300.000.000}{700.000.000} = 0,42857 \text{ m}$        $700 \text{ MHz} = 700 \times 10^6 \text{ Hz}$

*portanto, o comprimento da onda nessa faixa de frequência é  $7 \times 10^8 \text{ Hz}$  aproximadamente 0,43 metros.*

(E)

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

*ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raio X e raio gama*

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$V = \lambda \cdot f = 3 \times 10^8 = \lambda \cdot 7 \times 10^8 = \lambda \cdot 7 \times 10^8 = 3 \times 10^8 = \lambda = \frac{3 \times 10^8}{7 \times 10^8} = 2,32 \times 10^0$

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

### **3º Momento Pedagógico: Aplicação do conhecimento**

Finalizando a aplicação da SE, chegamos à etapa final, a qual, desenvolveu-se por meio de rodas de conversa. Essa dinâmica possibilitou a discussão aprofundada sobre o tema central da SE, retomando inclusive o texto motivacional inicial. Interessantemente, a grande maioria dos estudantes relatou ter revisado sua compreensão inicial, concluindo que as ondas mencionadas no texto pertenciam à faixa das não ionizantes.

Durante as discussões, revisitamos os conteúdos apresentados nos momentos anteriores, explorando as possíveis aplicações do conhecimento adquirido em atividades tanto intraescolares quanto extraescolares. Surgiram diversas sugestões criativas, como a elaboração de anúncios de prevenção contra o câncer de pele para serem veiculados em pontos de ônibus e a organização de uma campanha de conscientização em praça pública sobre os riscos da exposição solar. Outra proposta relevante foi a inclusão do tema na tradicional “aula show” anual da escola, realizada em parceria com a Gerência Regional de Ensino (GRE), o SESC (Serviço Social do Comércio) de Arcoverde e a Autarquia de Ensino Superior de Arcoverde (AESA), durante o qual se procedeu à resolução e discussão de questões concernentes às ondas eletromagnéticas, acrescido de um experimento com lentes e espelhos que possibilitou a livre manipulação por parte dos estudantes. Para enriquecer essa ocasião, contamos com a participação do professor de física do SESC, Alexsandro (Figura 26). Em relação à campanha de conscientização sobre a exposição solar foi definida como um projeto a ser desenvolvido pelas turmas futuras em uma nova componente curricular eletiva.

**Figura 26** - Apresentação na “aula show”, na EREM- Arcoverde, com a presença do professor de física do SESC, Aleksandro.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Na análise final da produção dos estudantes, tanto nas discussões quanto na avaliação conclusiva, observou-se que alguns associaram de forma pertinente a proposta do estudo do espectro eletromagnético como ferramenta para a discussão do tema. Embora a incorporação plena dos conhecimentos científicos na argumentação discursiva ainda não tenha se manifestado de maneira inequívoca, notou-se, em consonância com os indícios de aprendizagem percebidos ao longo da SE, que na resolução das questões os estudantes, em geral, recorreram ao conhecimento científico, aplicando a formulação matemática da velocidade da onda.

Adicionalmente, demonstraram domínio na conversão de unidades, o que possibilitou a obtenção de conclusões plausíveis para as situações propostas. Em suma, a aplicação do conhecimento científico mostrou-se presente de forma sistematizada e satisfatória, assim como a utilização de fórmulas matemáticas (Figura 27), corroborando as expectativas de aprendizagem estabelecidas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Brasil, 2017, s/n. art. 35) e alinhando-se aos métodos de pesquisa e avaliações analíticas (Gil, 2002).

Figura 27 - Recorte de respostas dos estudantes à atividade de conclusão.

ATIVIDADE DE CONCLUSÃO  
Questões temáticas

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnéticos

(A) Comprimento de onda e frequência.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

maior: raio X  
menor: ondas de rádio

---

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnéticos

(B) frequência e comprimento de onda.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

MAIOR FREQUENCIA RAIOS X e MENOR FREQUENCIA é a ONDA de RÁDIO.

---

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnéticos

(C) Frequência e comprimento de onda.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

maior: Raio X  
menor: Ondas de rádio

---

5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz (MHz =  $10^6$  Hz). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.

(D)

$$c = \lambda_1 \cdot f_1 \qquad c = \lambda_2 \cdot f_2$$

$$3 \times 10^8 = \lambda_1 \cdot 88 \times 10^6 \qquad 3 \times 10^8 = \lambda_2 \cdot 108 \times 10^6$$

$$\lambda_1 = \frac{3 \times 10^8}{88 \times 10^6} = 0,34 \times 10^2 = 0,34 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \frac{3 \times 10^8}{108 \times 10^6} = 0,27 \text{ m}$$


---

5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz (MHz =  $10^6$  Hz). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.

(E)

$$c = \lambda_1 \cdot f_1 \qquad c = \lambda_2 \cdot f_2$$

$$3 \times 10^8 = \lambda_1 \cdot 88 \cdot 10^6 \qquad 3 \times 10^8 = \lambda_2 \cdot 108 \cdot 10^6$$

$$\lambda_1 = \frac{3 \times 10^8}{88 \cdot 10^6} \qquad \lambda_2 = \frac{3 \times 10^8}{108 \cdot 10^6}$$

$$\lambda_1 = 0,34 \times 10^2 \qquad \lambda_2 = 0,27 \times 10^2$$

$$\Delta \lambda = 0,34 \times 10^2 - 0,27 \times 10^2 = 0,07 \times 10^2 = 7 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,34 \times 10^2 \text{ m} \qquad \lambda = 0,27 \times 10^2 \text{ m}$$

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Apresenta-se algumas respostas dos estudantes no primeiro momento pedagógico referentes à questão 10 que foi: “As ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos? Na sua opinião, todas as ondas eletromagnéticas podem ser prejudiciais à saúde? Se sim, quais delas? Se não, por quê?”

Estudante A: “Elas seriam perigosas para os humanos fossem ondas maiores, no entanto são minúsculas”

Estudante B: Acho que não, por que ela é de baixa intensidade, e não causa nem um dano nos seres humanos

Estudante C: Sim aquelas que tem voltagem maior, que pode gerar riscos à saúde.

Estudante D: Não sei.

As respostas revelam concepções ingênuas e falta de conhecimento científico sobre a natureza e os efeitos das ondas eletromagnéticas. As ideias de “ondas maiores” (Estudante A), “baixa intensidade” (Estudante B) e “voltagem maior” (Estudante C) demonstram uma dificuldade em relacionar ondas eletromagnéticas com energia e potenciais danos à saúde. A resposta “Não sei” (Estudante D) indica desconhecimento.

Para o segundo momento pedagógico com relação à questão de número 3 do primeiro questionário que foi: “Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia, apresentamos três *respostas dos estudantes, foram elas:*

Estudante A: Ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raio x e raio gama.

Estudante B: Ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raios x e raio gama.

Estudante C: Ondas de rádio, infravermelho, raios x, raio gama, ultravioleta.

Após a exploração das propriedades do espectro, espera-se que os estudantes conseguissem ordenar as ondas corretamente em ordem crescente de energia, ou seja, ondas de rádio < micro-ondas < infravermelho < luz visível < ultravioleta < raios x < raios gama.

No entanto, as respostas dos Estudantes A e B mostram uma ordenação correta das ondas em ordem crescente de energia. O Estudante C comete um erro ao posicionar o ultravioleta após o raio gama. Isso sugere que alguns estudantes começaram a internalizar a ordem do espectro em termos de energia nesta atividade, ou seja, no primeiro questionário, do segundo momento pedagógico.

No segundo questionário para questão de número 4, ou seja, “Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?” apresentamos duas respostas dadas pelos estudantes, foram elas:

Estudante A: Os raios x são emitidos quando elétrons de alta energia colidem com um alvo metálico, como tungstênio.

Estudante B: São utilizados para diagnósticos ósseos na ortopedia. Suas vantagens estão relacionadas a verificação interior do corpo humano.

Esperava-se que os estudantes conseguissem descrever o processo de emissão de raios X e suas aplicações médicas, além de citar vantagens e a capacidade de visualizar estruturas internas densas. As respostas dos Estudantes A e B indicam uma compreensão básica sobre a emissão e o uso dos raios X em diagnósticos médicos, mencionando a colisão de elétrons e a visualização interna do corpo, especialmente ossos.

Para a questão 4 do questionário do terceiro momento pedagógico, ou seja, “Considere três tipos de onda eletromagnéticas: ultravioleta, micro-ondas e raios gama. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda”, as respostas dadas de dois estudantes foram:

Estudante A: Mais fraca a mais forte: ondas de rádio, infravermelho, raio “X”.

Estudante B: Ondas de rádio é a que tem menor frequência, seguindo do infravermelho e por último raios x.

As respostas dos Estudantes A e B demonstram confusão na relação entre frequência, energia e comprimento de onda. O Estudante A associa “mais fraca” a ondas de rádio e “mais forte” a raios X, mas não ordena pelo comprimento de onda. O Estudante B associa corretamente menor frequência a ondas de rádio, mas erra ao ordenar infravermelho e raios X em termos de frequência (e, conseqüentemente, em termos do comprimento de onda).

Ao final do terceiro momento pedagógico esperava-se que os estudantes conseguissem relacionar a frequência e comprimento de onda (relação inversa) e ordenar as ondas pelo comprimento de onda: raios gama (menor) < ultravioleta < micro-ondas (maior). As respostas indicam que essa compreensão ainda não foi totalmente consolidada para esses estudantes.

Quanto à pergunta aberta feita depois da aplicação do questionário do terceiro momento pedagógico “Quais as medidas de proteção que vocês sabem sobre os tipos de radiação?” e respondidas oralmente. Cada grupo ficou responsável por uma faixa de frequência do espectro eletromagnético. Grupo 1 ficou com ondas de rádio, televisão e wi-fi, Grupo 2 com a radiação infravermelha (IV), Grupo 3 com raios x, Grupo 4 ficou com raios gama e o Grupo 5 com radiação ultravioleta (UV). As respostas dos grupos foram:

Grupo 1: transmissões de rádio, televisão, Wi-Fi, as ondas de rádio são consideradas de baixa energia e não representam risco à saúde, pois são radiações não ionizantes.

Grupo 2: Evitar a exposição prolongada ao sol ajuda a reduzir a exposição à radiação IV, que contribui para o aquecimento da pele. A IV é não ionizante.

Grupo 3: Como são radiação ionizante devemos usar os protetores de chumbo, com os aventais para exames médicos ou dentários. Assim, como também para os tratamentos.

Grupo 4: São radiação ionizantes, como os raios x. São piores que os raios x. Pode penetrar mais, e sua proteção, é preciso de matérias mais espesso como chumbo ou concreto.

Grupo 5: Ela é não ionizante. Mas, deve usar filtro ou protetor solar com um fator adequado ao tipo de pele, impedindo que ela penetre mais profundas na pele e cause danos ou evite até o câncer de pele. No caso da causa de câncer ela passa a ser ionizante, por que tem um risco a saúde, no caso a pele.

O Grupo 1 identifica corretamente a baixa energia e a natureza não ionizante, concluindo pela ausência de risco significativo em níveis cotidianos. Grupo 2 reconhecem a principal fonte (Sol) e o efeito (aquecimento), além de classificá-la como não ionizante e indicar a prevenção pela limitação da exposição solar. Grupo 3 identifica corretamente os raios x como radiação ionizante e mencionam a proteção por blindagem de chumbo em contextos médicos.

Grupo 4 classifica corretamente como radiação ionizante, reconhecem seu alto poder de penetração e a necessidade de materiais densos como chumbo ou concreto para proteção. O Grupo 5 descreve o uso de filtro solar como fator de proteção adequado para impedir a penetração e prevenir danos, incluindo o câncer de pele. A tentativa de conectar o câncer à natureza “ionizante” da UV, embora imprecisa, pois ela é geralmente não ionizante; mas causa danos fotoquímicos ao DNA (Ácido Desoxirribonucleico ou em inglês, Deoxyribonucleic Acid), ou material genético, indica

uma compreensão da sua capacidade de causar danos biológicos (A radiação ultravioleta é não ionizante, mas possui energia que pode causar danos às moléculas biológicas).

Ao se fazer comparação entre as respostas do primeiro momento pedagógico e as respostas orais do terceiro momento pedagógico revela uma evolução na compreensão dos estudantes. Eles passaram de concepções equivocadas e genéricas sobre o perigo das ondas eletromagnéticas para um conhecimento específico sobre os diferentes tipos de radiação, suas características (ionizantes e não ionizantes com seus efeitos) e as medidas de proteção adequadas para cada caso. A organização em grupos por faixa do espectro parece ter facilitado uma discussão aprofundada sobre as medidas de proteção específicas, permitiu respostas com melhor clareza.

Considerando os dados apresentados nos Quadros 7, 8 e 9, como pontos negativos e positivos da aplicação dos 3MP, a progressão observada ao longo dos três momentos pedagógicos da SE, o terceiro momento, embora retome conceitos fundamentais e avance na aplicação prática, revela nuances importantes para a reflexão sobre a SE em alcançar integralmente seus objetivos.

**Quadro 7 – Aspectos positivos e negativos do primeiro momento pedagógico dos 3MP.**

	ASPECTOS	
	POSITIVOS	NEGATIVOS
PRIMEIRO MOMENTO	As questões iniciam a exploração do tema partindo do conhecimento prévio dos alunos. Isso foi crucial para ativar seus esquemas mentais existentes e identificar suas concepções iniciais sobre ondas eletromagnéticas.	Por ser um momento inicial, as respostas podem apresentar muitas imprecisões ou lacunas conceituais, o que é esperado. O ponto negativo aqui seria não utilizar essas informações para direcionar o ensino de forma eficaz nos momentos seguintes.
	A variedade de perguntas abrange desde a definição básica até aplicações e características específicas de diferentes tipos de ondas, permitindo um panorama geral do entendimento inicial da turma.	Algumas perguntas, como a 3 (relação entre frequência e energia) e a 9 (propagação no espaço), podem ser abstratas para alguns alunos sem uma base conceitual prévia sólida. As respostas podem ser superficiais ou baseadas em intuições incorretas.
	A instrução de não se preocupar em não saber todas as respostas cria um ambiente seguro para a participação e honestidade nas respostas, o que foi importante para o diagnóstico.	A ausência de questões sobre medidas de proteção neste momento inicial pode ser vista como uma oportunidade perdida para sondar o conhecimento prévio dos alunos sobre esse aspecto específico.
	Questões como a 6 (sobre radiação UV) e a 10 (sobre perigos das ondas) já introduzem a noção de aplicações e potenciais riscos, alinhando-se parcialmente com o subtítulo sobre medidas de proteção.	-----

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

**Quadro 8 – Aspectos positivos e negativos do segundo momento pedagógico dos 3MP.**

	ASPECTOS	
	POSITIVOS	NEGATIVOS
SEGUNDO MOMENTO: 1º QUESTIONÁRIO	As questões focam na consolidação de conceitos fundamentais como a ordem do espectro pelo comprimento de onda, a relação entre propriedades da onda e energia, e a aplicação de fórmulas básicas (cálculo do comprimento de onda).	A ordem crescente de comprimento de onda (questão 1) pode ser memorística se não houver uma compreensão conceitual da relação entre comprimento de onda, frequência e energia.
	A introdução de unidades como MHz e nm prepara os alunos para a linguagem científica e para a manipulação de grandezas físicas relacionadas às ondas eletromagnéticas.	A questão 2, embora importante, pode não explorar a fundo o porquê dessa relação entre a propriedade e a energia.
	A questão sobre as cores da luz visível (questão 6) conecta o espectro eletromagnético a um fenômeno cotidiano e familiar aos alunos.	A aplicação direta de fórmulas (questão 4) pode se tornar mecânica se não estiver contextualizada e relacionada aos conceitos aprendidos.
SEGUNDO MOMENTO: 2º QUESTIONÁRIO	Este questionário avança para as aplicações práticas das ondas eletromagnéticas em diversas áreas (comunicações, astronomia, medicina, segurança alimentar). Isso ajuda a contextualizar o conhecimento e demonstrar a relevância do tema.	As respostas podem se tornar descritivas e superficiais se os alunos não tiverem internalizado os conceitos fundamentais do primeiro questionário.
	As perguntas incentivam a descrição de processos (emissão de raios X, irradiação de alimentos) e a comparação entre diferentes tipos de radiação, promovendo um melhor entendimento.	A ausência de questões que conectem diretamente essas aplicações com as medidas de proteção pode fragmentar o aprendizado em relação ao objetivo geral.
	A questão sobre telescópios (questão 2) introduz uma aplicação científica sofisticada, mostrando a versatilidade do espectro eletromagnético.	-----

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

**Quadro 9 – Aspectos positivos e negativos do terceiro momento pedagógico dos 3MP.**

	ASPECTOS	
	POSITIVOS	NEGATIVOS
TERCEIRO MOMENTO	As questões retomam conceitos chave como as propriedades que determinam a posição no espectro (questão 1) e a relação entre frequência e posição (questão 2).	A ausência de questões focadas diretamente nas medidas de proteção foi uma lacuna neste momento final, considerando o objetivo da SE. A avaliação parece se concentrou mais nas propriedades e aplicações do espectro.
	A repetição da questão sobre a luz visível (questão 3, similar à questão 6 do Questionário 1) permite verificar a evolução do entendimento dos alunos sobre esse aspecto.	Embora haja questões sobre frequência e comprimento de onda, poderia haver uma questão que relacionasse esses parâmetros com os riscos e as medidas de proteção associadas a diferentes faixas do espectro.
	A questão sobre o intervalo de comprimentos de onda da faixa FM (questão 5) exige a aplicação da fórmula de forma contextualizada em uma situação real de telecomunicações.	A avaliação poderia se beneficiar de questões mais abertas ou de resolução de problemas que exigissem dos alunos a integração de diferentes conceitos aprendidos ao longo da sequência.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

É preciso considerar o tempo de assimilação, pois a aprendizagem conceitual leva tempo. É possível que alguns alunos precisem de mais oportunidades para internalizar e aplicar os conceitos apresentados no segundo momento. O terceiro

momento pedagógico teve um papel crucial nesse processo. A teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget oferece uma compreensão de como os estudantes constroem o conhecimento e superam desequilíbrios cognitivos ao confrontar suas ideias com novas informações (Piaget, 1976)

A teoria sociocultural de Vygotsky (2001) destaca o papel da interação social e da mediação na aprendizagem, de como o professor pode auxiliar os estudantes a superar suas dificuldades conceituais.

Ao analisar a transição entre os momentos pedagógicos, foi preciso por parte do professor observar em sala de aula quais as dificuldades que persistiram e quais indícios de aprendizagem surgiram. Os indícios de aprendizagem parecem terem surgido no final dos segundo e terceiros momentos pedagógicos, superação dos desequilíbrios cognitivos (Vygotsky, 2003) e o da interação entre os grupos.

Assim, a avaliação do terceiro momento aponta para a possível necessidade de oferecer oportunidades, um tempo maior, para que os alunos internalizem e apliquem efetivamente o aprendido.

Tendo em vista a progressão com temas de física moderna no terceiro ano do ensino médio, a aplicação dos 3MP foi satisfatória. Mesmo, apresentado avanços com relação ao primeiro momento pedagógico, ainda indica uma demanda de tempo maior, particularmente aquela iniciada no segundo momento, indicando a possível necessidade de oportunidades para que alguns estudantes consolidarem seu entendimento.

Diante do panorama dos três momentos pedagógicos da SE, e reconhecendo tanto os sucessos quanto os desafios encontrados, a implementação pode ser avaliada como aceitável, proporcionando, adicionalmente, valiosos insights e aprendizado para o pesquisador, para o seu desenvolvimento profissional, que certamente influenciarão em futuras práticas pedagógicas e em investigações com relação à sua postura de professor-pesquisador.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em contraposição à abordagem tradicional e superficial do estudo de ondas eletromagnéticas, a implementação da dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos demonstrou um potencial para ampliar a compreensão conceitual dos estudantes, partindo de suas concepções iniciais. A metodologia transformou a aula em um espaço de questionamento ativo e reflexão, transcendendo a mera mecanização de cálculos e conectando o conteúdo com aplicações práticas e cotidianas, como o uso do protetor solar e o funcionamento de tecnologias diversas.

O uso de simuladores e recursos visuais, aliado à valorização da voz e da interação entre os estudantes, promoveu um ambiente de aprendizagem dinâmico, engajador e rico para os envolvidos. A avaliação qualitativa dos argumentos dos estudantes ao longo das atividades evidenciou o desenvolvimento de uma postura crítica e reflexiva sobre a relevância do espectro eletromagnético em suas vidas.

O uso dos Três Momentos Pedagógicos proporcionou uma progressão desde a exploração de suas concepções iniciais até a organização do conhecimento científico, culminando em uma capacidade de argumentação e aplicação prática dos conceitos aprendidos. A possibilidade de realizar cálculos pertinentes e discutir reflexivamente as questões levantadas demonstrou o potencial da Física para além da memorização, configurando-se como um estudo de fenômenos presentes no cotidiano dos estudantes.

Pode-se afirmar que a Sequência de Ensino fundamentada nos Três Momentos Pedagógicos se mostrou uma abordagem satisfatória para ampliar a compreensão do espectro eletromagnético por estudantes do ensino médio, transformando a dinâmica da sala de aula em um espaço de diálogo, investigação e reflexão crítica.

Apesar de limitações na abrangência de alguns tópicos, a abordagem de ensino demonstrou ser uma ferramenta para engajar os estudantes, conectar a teoria com a prática e fomentar uma postura ativa no processo de aprendizagem. Ademais, esta experiência representou um aprendizado para o pesquisador - oferecendo insights para futuras intervenções pedagógicas e aprimoramento das práticas de ensino em Física.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, K. B; SANTOS, P. J. S E FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de óptica no ensino médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461-482, 2015.
- ALVES, RUBEM. **A ALEGRIA DE ENSINAR**. ars poetica editora ltda, 1994.
- ANTONOWISKI R.; ALENCAR M. V.; ROCHA L. C. T. Dificuldades encontradas para aprender e ensinar física moderna. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 4, 2017.
- ARAÚJO, L. B. de; MUENCHENA, C. Os Três Momentos Pedagógicos como estruturantes de currículos: Algumas Potencialidades. **Alexandria: R. Educ. Ci. Tec.**, v. 11, n. 1, p. 51-69, 2018.
- AULETE, Caldas. **Dicionário contemporâneo da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Delta, 1958.
- BARROSO, D. E. G. **A Física dos Explosivos Nucleares**. São Paulo: Livraria da física, 2009.
- BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais, Ensino Médio, Parte I**, Bases Legais, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Brasília, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2017.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações curriculares do ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF, 2006.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio**. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). Brasília, 1999.
- CAPES. Diretoria de Avaliação. **Documento de área 2013. Área de avaliação: Ensino**. 2013.
- CAPES. Diretoria de Avaliação. **Documento de área. Área de avaliação: Ensino**. 2016.
- CBR. Bases Físicas e Tecnológicas em Diagnóstico por Imagem. **Física Médica para Residentes e Colégio Brasileiro de Radiologia**, 2014.
- CIDESP. **Aplicações da Radioatividade: Usos e Benefícios Reais - Cidesp**, 2025.
- COSTA, D. F. S. **Os princípios físicos do tratamento de câncer por radioterapia**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Licenciatura em Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Parnaíba – PI, 2017.
- COSTA, P. R. **Interação da radiação  $\gamma$  com a matéria**. DFN/IFUSP, 2019.

- COTINGUIBA, J. R. R.O. **O efeito fotoelétrico: uma demonstração de que a experiência não leva ao conhecimento da “verdade”**. Vitória da Conquista, 2022. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, Polo 62) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2022.
- DELIZOICOV, D. **Problemas e problematizações**. In: PIETROCOLA, M. (Org.). Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, p. 125-150, 2002.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2ª Edição, 2007.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1992.
- DIMENSTEIN. R.; HORNOS, Y. M. M. **Manual de Proteção Radiológica Aplicada ao Diagnóstico**. Ed. Senac, 2001.
- ECHER, E. SOUZA, M. P. SCHUCH, N. J. A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 276-283, 2001.
- EISBERG, R; RESNICK, R. **Física Quântica Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro. Campos, 1979.
- FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C.; SOARES, P. T.; TORRES, C. M. **Física: ciência e tecnologia. Volume único**. São Paulo: Moderna, 2001.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa / Paulo Freire**. – São Paulo: Paz e Terra, Coleção Leitura, 1996.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17ª Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.
- GEHLEN, S. T., MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a Educação em Ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2012.
- GIACOMINI, A.; MUENCHEN, C. Os três momentos pedagógicos como organizadores de um processo formativo: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 2, 2015.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GREENE, B. **O Universo elegante**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

GRIFFITHS, D. **Eletrodinâmica**, São Paulo: Pearson Education, 3 ed. 2010.

GUIO, T. C. C, DORSCH. G. C. Física de partículas no ensino médio Parte II: Física Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, e20230067, 2023.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 10 Ed, v.4, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. **Fundamentos da Física, volume 3: Eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HALLIDAY, d.; RESNICK, J. W. **Fundamentos da Física, volume 4: Óptica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 2: 8. Ed**, LTC, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 3: 8. Ed.**, LTC, 2009.

INCA. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**, Rio de Janeiro: INCA, 2021.

KESMINIENE, A.; SCHÜZ, J. **Radiation: ionizing, ultraviolet, and electromagnetic**. *In: International Agency for Research on Cancer. World cancer report 2014*. Lyon, France: IARC, p. 143-150, 2014.

KNOCHE, H. W. **Radio isotopic methods for biological and medical research**. Ed. Oxford University Press, 1991.

LIBANEO, J. **Didática**. 1. ed., São Paulo: Ed. Papirus, 1990.

MACEDO, C. C.; SILVA, L. F. Os processos de contextualização e a formação inicial de professores de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 1, p. 55-75, 2014.

MACHADO, A. C. B; FORTES, E. C. F. S., TIJERO, M. C. A física da terapia de captura de nêutrons pelo boro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, 2010.

MACHADO, K. D. **Teoria do eletromagnetismo, volume II**. Ponta Grossa, Editora UEPG, 2002.

MARTINS, R. A. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 4, p.373-391, 1998.

MARTINS, T. A. **A Importância da Segurança do Submarino Nuclear**, Universidade Federal de São Paulo. Santos, 2023.

MENEZES, K. K. **Interação da Radiação com a Matéria - Aceleradores e Proteção Radiológica**. 2008. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física – UFRGS. Porto Alegre, 2008.

MOREIRA, M. A. **Grandes desafios para o ensino da física na educação Contemporânea**. Ciclo de palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 2014.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**. v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

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

OKUNO, E., YOSHIMURA E.; **Física das Radiações**, São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OLIVEIRA, O. A. FERNANDES, J. D. G. **Quantização de energia e o modelo de Bohr**. – Natal (RN): EDUFRN – Editora da UFRN, 2006.

PARENTE. F. A. G.; SANTOS, A. C. F. dos; TORTA. C. Os 100 anos do átomo de Bohr. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 2013.

PEREIRA, M. O. **Metodologia de obtenção do coeficiente de atenuação de massa em matrizes biológicas**. 2011. Tese de Doutorado (Tese em Engenharia Nuclear) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas: Problema central do desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PRSYBYCIEM, M. M. **A experimentação investigativa em um enfoque CTS no ensino das funções químicas inorgânicas de ácidos e óxidos na temática ambiental**. 2015, Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. 2015.

QUARTUCCIO J. T. **O problema da radiação de corpo negro: da catástrofe do ultravioleta à teoria quântica**. Instituto de Pesquisas Científicas, 2016.

RODRIGUES, T. T. **Interação da radiação com a matéria no radiodiagnóstico– Parte 2**. Departamento de física da USP, GEFIM, dezembro de 2010

SAGAN, C. **As ligações cósmicas: uma perspectiva extra terrestre**, Ed. Gradiva, Lisboa, 2001.

SANTINI, N. D.; TERRAZZAN, E. A. Ensino de Física com equipamentos agrícolas numa escola agrotécnica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 2, p. 50-61, 2006.

SANTOS, W. L. P; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 4ª ed., Editora Unijuí, 2010.

SCHABERLE, F. A. SILVA, N. C. **Introdução à física da radioterapia**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SILVA, A. M DA; FRANT, J. B.; CHAVES, R. Uma Pesquisa Translacional em Educação Matemática em Perspectiva. **Boletim GEPEM**, [S. l.], n.80, p.249-272, 2022

SILVA, A. P. B.; OLIVEIRA, R. A. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 4603, 2014.

SILVA, E. L.; MARCONDES, M. E. R. Visões de contextualização de professores de Química na elaboração de seus próprios materiais didáticos. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 1, p. 101-118, 2010.

TAUHATA, L., SALATI, I. P. A., DI PRINZIO, R., DI PRINZIO, M. A. R. R. **Radioproteção e dosimetria: Fundamentos**. 10 ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014.

TERINI, R. A. A História da física médica na formação do físico médico. **Revista Brasileira de Física Médica**. v. 12, n. 3, p. 2-6, 2018.

TIPLER, P. A.; LLEWELLY, R. A. **Física moderna**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 6ª Ed., 2017.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**, V. 2, 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2009.

VX Medical Innovation. **Tipos de radiação utilizados nos exames de imagem**, 2009. Disponível em: <https://vx.med.br/tipos-de-radiacao-2>.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **Desenvolvimento da percepção e da atenção**. 6ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L. da; BEJARANO, N. R. Cotidiano e contextualização no ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 84-89, 2013.

XAVIER, A. M. MORO, J. T. HEILBRON, P. F. **Princípios básicos de segurança e proteção radiológica**. UFRGS. Setembro de 2006.

YOSHIMURA, E. M. Física das Radiações: Interação da radiação com a matéria. **Revista Brasileira de Física Médica**. 2009; v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009.

**APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL**

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CAMPUS CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

# **O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO: RADIAÇÕES E MEDIDAS DE PROTEÇÃO**

## **PRODUTO EDUCACIONAL**

**Armando Alves de Menezes**

**Morgana Lígia de Farias Freire**

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



# **O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO: RADIAÇÕES E MEDIDAS DE PROTEÇÃO**



**PRODUTO EDUCACIONAL**

**Armando Alves de Menezes**

**Morgana Lígia de Farias Freire**

CAMPINA GRANDE

2025

# ÍNDICE

- 1** APRESENTAÇÃO
- 2** A SEQUÊNCIA DE ENSINO
- 3** UM CRONOGRAMA
- 4** ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS
- 5** OS SIMULADORES PROPOSTOS
- 6** CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS

# 1. APRESENTAÇÃO

## **Caro professor,**

Este material didático foi elaborado a partir da pesquisa realizada em uma dissertação, cujo tema central foi Ondas Eletromagnéticas e sua interação com a matéria, podendo ser abordado tanto no 2º quanto no 3º ano do Ensino Médio. O material didático constituído foi uma Sequência de Ensino, a qual tem como base os Três Momentos Pedagógicos (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2007).

Diante das transformações sociais e tecnológicas que demandam abordagens pedagógicas, a metodologia ativa dos Três Momentos Pedagógicos emerge como inovadora. Centralizada no protagonismo do aluno como construtor ativo do conhecimento (Moreira, 2021) a partir de suas experiências.

A nossa **Sequência de Ensino** possui uma primeira atividade de verificação dos conhecimentos prévios que os estudantes possuem ou não sobre o tema. Para a Problematização Inicial, sugerimos um texto de apoio e um conjunto de simuladores do site PhET, onde podem ser levantadas hipóteses sobre o que está sendo apresentado. Posteriormente, temos uma sequência de aulas dialogadas e expositivas em slides, que têm como objetivo a Organização do

Conhecimento, neste segundo momento pedagógico, acompanhadas de questionários avaliativos e, por fim, uma discussão temática sobre o que se pode abordar nos simuladores e nas aulas, as relações entre o que foi apresentado e uma atividade avaliativa final.

A abordagem, pode estimular as habilidades exigidas do século XXI, contrapondo ao ensino passivo e mecanicista (Freire, 1996). Caracterizada por Problematização inicial, Organização do conhecimento e Aplicação do conhecimento (Delizoicov e Angotti, 1990), os Três Momentos Pedagógicos visam uma aprendizagem contextualizada, na qual o aluno é desafiado a expor suas concepções, estudar o conhecimento necessário e aplicá-lo para analisar as situações expostas (Giacomini e Muenchen, 2015; Albuquerque, Santos e Ferreira, 2015).

## 2. SEQUÊNCIA DE ENSINO

**Este material educacional é composto por uma Sequência de Ensino para ser trabalhada pelo professor de Física do ensino médio.**

**Metodologia de Ensino: Três Momentos Pedagógicos.**

**Objeto do conhecimento: Definição de ondas eletromagnéticas, radiações e o espectro eletromagnético.**

**Duração: 16 aulas de 1 tempo cada (1 tempo = 50 min).**

## 2. SEQUÊNCIA DE ENSINO

**Para a Sequência de Ensino desenvolvida com relação ao tema “Explorando o Espectro Eletromagnético”, foi criada uma Componente Curricular Eletiva com o mesmo nome.**

## 3. UM CRONOGRAMA

**Apresentamos abaixo um Quadro A que resume a Sequência de Ensino em seus Três Momentos Pedagógicos.**

**Quadro A- Sugestão de cronograma da aplicação da sequência de ensino referente ao espectro eletromagnético usando a abordagem dos 3MP.**

MOMENTOS	NÚMERO DE ENCONTROS	TEMPO EM AULAS	ATIVIDADES PROPOSTAS
PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	2	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Verificação dos conhecimentos prévios;</li> <li>◆ Identificação dos fenômenos;</li> <li>◆ Leitura de texto de apoio e apresentação dos simuladores.</li> </ul>
ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO	4	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Apresentação sistemática dos conceitos e definições;</li> <li>◆ Fixação dos conceitos e definições;</li> <li>◆ Assistir vídeos correlacionados (em sala ou casa)</li> </ul>
APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO	2	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Aplicação dos conhecimentos na discriminação das ondas;</li> <li>◆ Discussão sobre o tema.</li> </ul>
<b>TOTAL</b>	<b>8 ENCONTROS</b>	<b>16 AULAS</b>	<b>8 SEMANAS</b>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

1

### PRIMEIRO MOMENTO: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

No primeiro momento, sugerimos que o professor peça aos alunos que leiam e respondam a um pequeno questionário, com duração prevista de 20 a 30 minutos. Esta atividade de leitura e resposta ao questionário, denominada Primeira Atividade de Verificação (Figura I), tem a finalidade de despertar no aluno a necessidade de adquirir outros conhecimentos que eles ainda não possuem em relação ao conteúdo abordado. Assim, o questionário desta atividade deve servir como ponto inicial para o professor ter ferramentas para o segundo encontro.

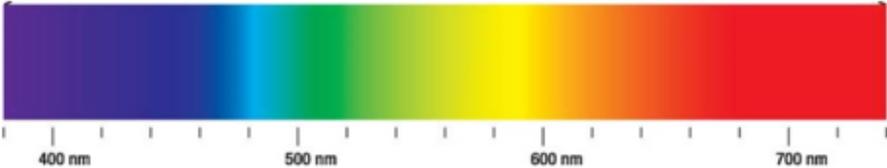
Sem dizer as respostas corretas aos alunos, o professor deve conduzir a turma para uma discussão, promovendo diálogos com o intuito de localizar os percalços no conhecimento dos estudantes e que os levem ao segundo momento da aula. Para tanto, o professor poderá lançar mão de questões sobre o que é e como se organiza o espectro eletromagnético, as aplicações contextualizadas das radiações, além das exposições cotidianas a vários tipos de radiação. Aqui, o papel do professor é estimular, mediar e orientar os alunos, que, por sua vez, elencarão as respostas e atribuirão exemplos possíveis para o questionamento oferecido. Essa atividade tem o intuito de verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a importância do espectro eletromagnético para a física. O professor pode sugerir um texto de apoio tal como “Radiações não ionizantes” do site do INCA ou “Exposição solar excessiva pode causar danos à saúde” do Interclínicas Curitiba – ICC, site G1.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Figura I – Primeira atividade de verificação.

**Atividade de sondagem**

1 – Você já ouviu falar sobre espectro eletromagnético?  
 Sim.                     Não.

2 – Você sabe o que representa essa imagem?  


Sim.                     Não.

3 – Você sabe o significado de comprimento de onda?  
 Sim.                     Não.

4 – Você sabe o significado de frequência?  
 Sim.                     Não.

5 – Você já ouviu falar sobre radiação?  
 Sim.                     Não.

6 – Você sabe a diferença entre radiação ionizante e não ionizante?  
 Sim.                     Não.

7 – Todas as radiações causam o mesmo efeito ao entrar em contato com o ser humano?  
 Sim.                     Não.

8 – Em poucas palavras, descreva onde é aplicada algum tipo de radiação.  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

9 – Descreva alguma forma de proteção contra radiação. E se possível, quais danos causados por essa radiação.  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

1

### PRIMEIRO MOMENTO: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

Para o segundo encontro, ainda dentro do primeiro momento pedagógico, e tendo como base Moreira (2014), que propõe ambientes online para guiar os alunos em experimentos virtuais apropriados aos seus conhecimentos prévios e estágios de desenvolvimento cognitivo, sugerimos ao professor que organize a sala em grupos de alunos com a intenção de realizarem as atividades de simulação na plataforma PhET (Physics Education Technology), da Universidade do Colorado em Boulder. Esta plataforma cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências, incluindo física, e foi fundada em 2002 pelo ganhador do Prêmio Nobel Carl Wieman. O link para acesso é [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/) (Figuras II, III, IV, V e VI).

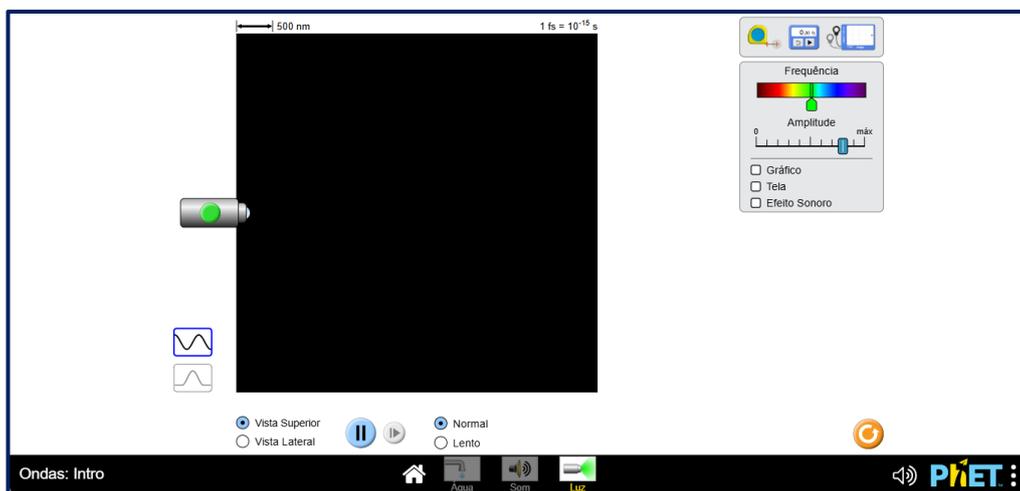
Figura II – Apresentação da simulação da plataforma PhET referente ao núcleo.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>.

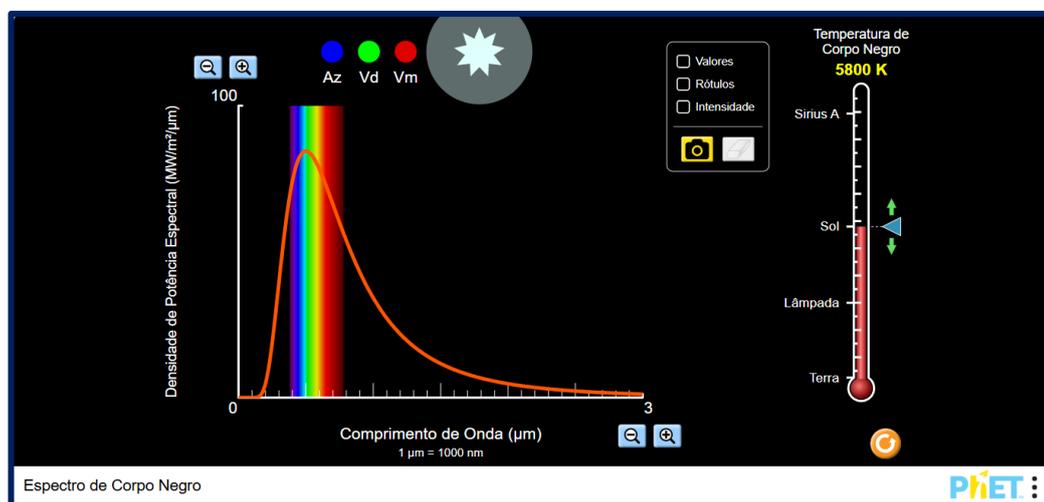
## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Figura III – Apresentação da simulação da plataforma PheT referente a ondas.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>.

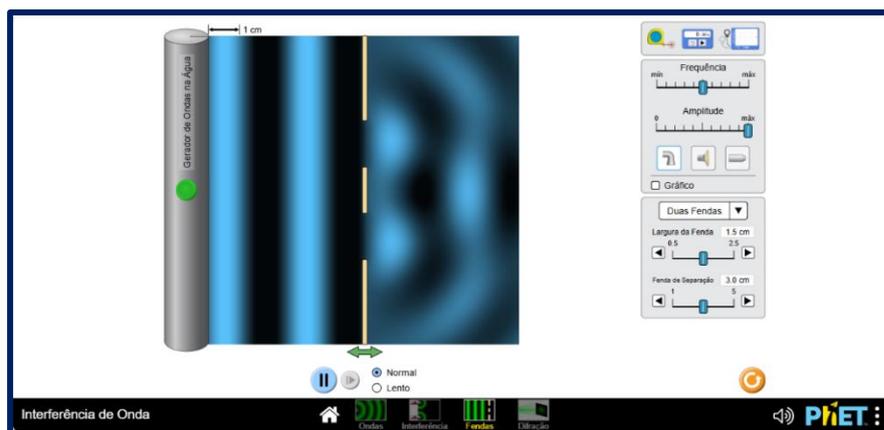
Figura IV – Apresentação da simulação da plataforma PheT referente ao espectro de radiação de um corpo negro.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>.

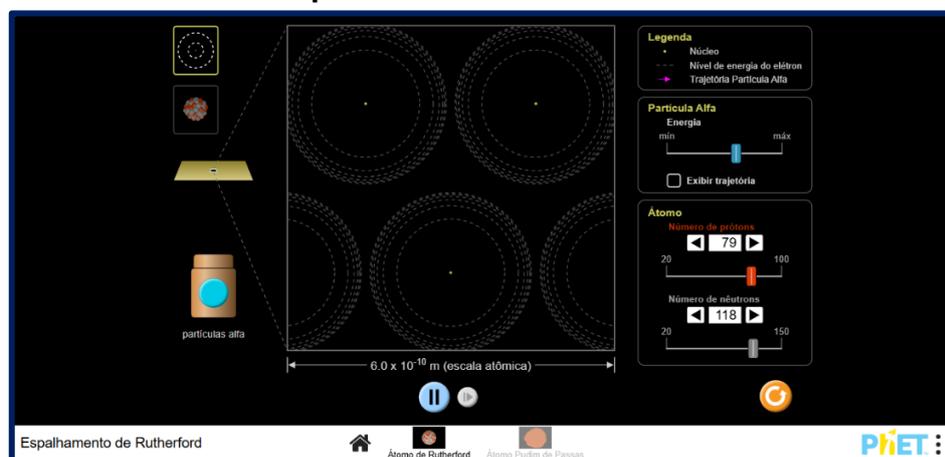
## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Figura V – Apresentação da simulação de interferência de ondas na plataforma Phet.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>.

Figura VI – Apresentação da simulação do espalhamento de Rutherford na plataforma PhET.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>.

[Monte um Núcleo - Física Nuclear](#) | [Decaimento Nuclear](#) | [Isótopo](#) - [Simulações Interativas PhET \(colorado.edu\)](#)

[Ondas: Intro](#) - [Frequência](#) | [Amplitude](#) | [Velocidade de Onda](#) - [Simulações Interativas PhET \(colorado.edu\)](#)

[Espectro de Corpo Negro](#) - [Corpo Negro](#) | [Lei de Planck](#) | [Lei de Wien](#) - [Simulações Interativas PhET \(colorado.edu\)](#)

[Interferência de Onda](#) - [Interferência](#) | [Fenda Dupla](#) | [Difração](#) - [Simulações Interativas PhET \(colorado.edu\)](#)

[Espalhamento de Rutherford](#) - [Núcleos Atômicos](#) | [Estrutura Atômica](#) | [Mecânica Quântica](#) - [Simulações Interativas PhET \(colorado.edu\)](#)

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

2

### SEGUNDO MOMENTO: ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

Estas atividades dos simuladores estão ordenadas em uma sequência tal que o objetivo seja destacar algumas das características das radiações, de forma a aproximar cada vez mais o estudante com o tema. No entanto, o professor pode retirar ou acrescentar ou ainda modificar a sequência de acordo com as suas necessidades em sala de aula. A duração prevista para essa atividade é de 4 horas aulas do primeiro momento pedagógico, sendo em média 160 a 170 minutos (Quadro A).

No segundo momento pedagógico, Organização do Conhecimento, devem ser trabalhados os tópicos de Física necessários para a compreensão dos temas e das questões introduzidas na problematização inicial. São introduzidas definições, conceitos, relações, leis, enfim, tudo o que é necessário para o entendimento do conteúdo, de forma dialogada e participativa por parte dos alunos, como descrito anteriormente.

Durante a apresentação dos conteúdos, o professor pode apresentar os slides com as aulas, correlacionando com o que os estudantes viram nos simuladores de tal forma que eles possam responder as atividades propostas com perguntas do tipo: O que é espectro eletromagnético? Como o espectro eletromagnético está organizado? Por que o espectro eletromagnético é importante? Quem descobriu o espectro eletromagnético? Por que o espectro eletromagnético é útil? (Quadros B e C). Assim, como também, propor exercícios de forma a aprofundar as abordagens além de questões com múltiplas escolhas, tipo vestibular, e, a avaliação do conhecimento deve ser de forma contínua, em que o professor observa a participação, a interação, a desenvoltura e a cognição dos estudantes em enfrentar cada fase da sequência.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**Quadro B – Alguns temas sugeridos para os slides para correlacionar com os simuladores “Ondas” e o “Espectro do corpo negro” do Phet de acordo com a aula 1 do segundo momento.**

TEMA DA AULA	NÚM. DOS SLIDES E TEMAS	CONTEÚDOS DOS SLIDES
Radiação e Espectro Eletromagnético	1: Introdução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Título: O que é radiação?</li> <li>• Breve introdução ao conceito de radiação e sua importância nos estudos científicos e na tecnologia moderna.</li> </ul>
	2: Definição de Radiação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição de radiação: o processo pelo qual a energia é transmitida através do espaço em forma de ondas ou partículas.</li> <li>• Explicação de que a radiação pode ser eletromagnética ou de partículas.</li> </ul>
	3: Tipos de Radiação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classificação dos tipos de radiação:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Radiação eletromagnética (ondas eletromagnéticas)</li> <li>▸ Radiação corpuscular (partículas subatômicas)</li> </ul> </li> </ul>
	4: Radiação Eletromagnética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalhamento da radiação eletromagnética:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Composição: campo elétrico e campo magnético oscilantes perpendicularmente entre si.</li> <li>▸ Características: não necessita de meio material para se propagar; velocidade no vácuo é de aproximadamente <math>3 \times 10^8</math> m/s (velocidade da luz).</li> </ul> </li> </ul>
	5: O Espectro Eletromagnético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação do espectro eletromagnético:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Definição: gama completa de todas as possíveis frequências de radiação eletromagnética.</li> <li>▸ Bandas do espectro: rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama</li> </ul> </li> </ul>
	6: Frequência e Velocidade de Propagação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relação entre frequência e comprimento de onda:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Fórmula: <math>c = \lambda \cdot f</math>, onde <math>c</math> é a velocidade da luz, <math>\lambda</math> é o comprimento de onda e <math>f</math> é a frequência.</li> <li>▸ Inversamente proporcionais: frequências maiores correspondem a comprimentos de onda menores e vice-versa.</li> </ul> </li> </ul>
	7: Relação Frequência e Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicação da relação entre frequência e energia das ondas eletromagnéticas:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Maior frequência implica maior energia dos fótons.</li> <li>▸ Energia é diretamente proporcional à frequência: <math>E = h \cdot f</math>, onde <math>E</math> é a energia, <math>h</math> é a constante de Planck e <math>f</math> é a frequência.</li> </ul> </li> </ul>
	8: Exemplos de Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicações das diferentes faixas do espectro eletromagnético:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Rádio: comunicações sem fio.</li> <li>▸ Infravermelho: câmeras termográficas.</li> <li>▸ Raios X: diagnósticos médicos.</li> <li>▸ Outros exemplos conforme a faixa do espectro.</li> </ul> </li> </ul>
	9: Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recapitulação dos principais pontos abordados na aula:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Definição de radiação e tipos.</li> <li>▸ Espectro eletromagnético e suas faixas.</li> <li>▸ Relação entre frequência, comprimento de onda e energia.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**Quadro C – Alguns temas sugeridos para os slides para correlacionar com os simuladores “Espectro do corpo negro”, o “Espalhamento de Rutherford” de acordo com a aula 2 do segundo momento.**

TEMA DA AULA	NÚM. DOS SLIDES E TEMAS	CONTEÚDOS DOS SLIDES
O Espectro de Radiação Eletromagnética e suas Aplicações	1: Introdução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Título: O Espectro de Radiação Eletromagnética</li> <li>• Breve introdução sobre a radiação eletromagnética e sua importância em diversas áreas da ciência e tecnologia.</li> </ul>
	2: Definição de Espectro Eletromagnético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição: O espectro eletromagnético é a gama completa de todas as possíveis frequências de radiação eletromagnética.</li> <li>• Explicação das diferentes faixas de frequência e suas características principais.</li> </ul>
	3: Composição do Espectro Eletromagnético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação das principais faixas do espectro eletromagnético:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Rádio</li> <li>▸ Micro-ondas</li> <li>▸ Infravermelho</li> <li>▸ Luz visível (espectro colorido)</li> <li>▸ Ultravioleta</li> <li>▸ Raios X</li> <li>▸ Raios gama</li> </ul> </li> </ul>
	4: Faixa de Rádio e Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição das ondas de rádio:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: baixa energia, longo comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: comunicações de rádio AM/FM, telecomunicações, radar.</li> </ul> </li> </ul>
	5: Micro-ondas e suas Utilizações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição das micro-ondas:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: média energia, médio comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: fornos de micro-ondas, comunicações via satélite, radar meteorológico.</li> </ul> </li> </ul>
	6: Infravermelho e Tecnologias de Imagem Térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição do infravermelho:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: média energia, curto comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: câmeras termográficas, controle remoto, sensores de movimento.</li> </ul> </li> </ul>
	7: Luz Visível e suas Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição da luz visível:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: alta energia, curto comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: iluminação, tecnologias de exibição (telas LCD, OLED), fotossíntese em plantas.</li> </ul> </li> </ul>
	8: Ultravioleta e seus Efeitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição do ultravioleta:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: alta energia, muito curto comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: esterilização, bronzamento artificial, detecção de falsificações</li> </ul> </li> </ul>
	9: Raios X e Aplicações em Medicina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição dos raios X:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: muito alta energia, muito curto comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: diagnóstico médico por imagem, radioterapia, inspeção de bagagens</li> </ul> </li> </ul>
	10: Raios Gama e Utilizações Industriais.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição dos raios gama:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Características: altíssima energia, muito curto comprimento de onda.</li> <li>▸ Aplicações: esterilização de equipamentos médicos, inspeção de soldas, tratamento de alimentos</li> </ul> </li> </ul>
	11: Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recapitulação dos principais pontos abordados na aula:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Composição do espectro eletromagnético.</li> <li>▸ Características e aplicações de cada faixa do espectro.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

No Quadro D, apresentamos modelos dos slides, referentes a essa primeira organização do conhecimento, ou seja, 3º encontro do segundo momento, como forma de referência para o professor que queira desenvolver os seus próprios slides, lembrando que essa sequência de ensino é apenas um suporte a mais para o professor e que a partir daí, ele possa desenvolver toda sua criatividade e preparar sua própria sequência.

Em termos de conceitos básicos sobre radiação eletromagnética, os estudantes devem entender que a radiação eletromagnética é uma forma de energia que se propaga através do espaço na forma de ondas eletromagnéticas. É composta por campos elétricos e magnéticos oscilantes que se propagam perpendicularmente um ao outro e à direção de propagação.

São na realidade ondas que não requerem um meio material para se propagarem, o que significa que podem se mover através do vácuo. A velocidade de propagação da radiação eletromagnética no vácuo é constante e é denominada velocidade da luz, aproximadamente 299.792.458 metros por segundo (m/s) no vácuo.

Quanto à estrutura e propriedades do espectro eletromagnético, o espectro eletromagnético é a gama completa de todas as frequências possíveis de radiação eletromagnética. É dividido em diferentes regiões com base nas frequências ou comprimentos de onda, incluindo ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios-X e raios gama. Assim, dada região do espectro eletromagnético tem características distintas de interação com a matéria e aplicações específicas.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Para as aplicações práticas das diferentes faixas do espectro temos: (1) Ondas de Rádio: Usadas em comunicações sem fio, como rádio AM/FM, televisão, comunicações via satélite e telecomunicações móveis; (2) Micro-ondas: Aplicadas em comunicações de curto alcance, fornos de micro-ondas, tecnologia de radar, comunicações por satélite e transmissão de dados; (3) Infravermelho: Utilizado em sistemas de visão noturna, controle remoto, termografia, comunicação sem fio de curto alcance e detecção de movimento; (4) Luz Visível: Permite a visão humana e é essencial para diversas aplicações, como iluminação artificial, fotografia, tecnologia de tela e lasers; (5) Ultravioleta: Usado em esterilização, fluorescência, fototerapia médica, detecção de falsificação e cura de materiais; (6) Raios-X: Amplamente utilizado em medicina para imagens médicas, inspeção de bagagens em aeroportos, radiografia industrial e pesquisa científica; e, (7) Raios Gama: Aplicados em esterilização de alimentos e equipamentos médicos, terapia de câncer, inspeção de soldas e detecção de materiais radioativos. Dentre outras inúmeras aplicações que estão presentes no cotidiano dos estudantes e muitas das vezes eles não conseguem correlacionar com o conteúdo abordado em sala de aula. Esse segundo momento tem uma duração de 400 minutos, onde a cada 100 minutos o professor apresenta uma etapa através dos slides e aplica um questionário referente a aula.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**Quadro D – Modelos de slides para organização do conteúdo dos tipos de radiações correlacionados com os simuladores “Monte um núcleo” e o “Espalhamento de Rutherford”, ou seja, aula 3 do segundo momento.**

TEMA DA AULA	NÚM. DOS SLIDES E TEMAS	CONTEÚDOS DOS SLIDES
Radiação Corpuscular, Tipos de Radiação Nuclear e Barreiras de Proteção	1: Introdução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Título: Radiação Corpuscular e Tipos de Radiação Nuclear</li> <li>• Breve introdução sobre o conceito de radiação corpuscular e sua relação com a radiação nuclear.</li> </ul>
	2: Radiação Corpuscular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição de radiação corpuscular:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Radiação composta por partículas subatômicas (nêutrons, prótons, elétrons, partículas alfa etc.).</li> <li>▸ Diferença entre radiação corpuscular e radiação eletromagnética.</li> </ul> </li> </ul>
	3: Tipos de Radiação Nuclear	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação dos principais tipos de radiação nuclear:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Radiação alfa (<math>\alpha</math>)</li> <li>▸ Radiação beta (<math>\beta</math>)</li> <li>▸ Radiação gama (<math>\gamma</math>)</li> <li>▸ Nêutrons (nêutrons)</li> </ul> </li> </ul>
	4: Radiação Alfa ( $\alpha$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características da radiação alfa:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Composição: núcleo de hélio (2 prótons e 2 nêutrons).</li> <li>▸ Penetração: baixa, pode ser bloqueada por uma folha de papel ou pela pele humana.</li> <li>▸ Fontes naturais e artificiais.</li> </ul> </li> </ul>
	5: Radiação Beta ( $\beta$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características da radiação beta:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Composição: elétrons (<math>\beta^-</math>) ou pósitrons (<math>\beta^+</math>).</li> <li>▸ Penetração: maior que a radiação alfa, bloqueada por materiais como alumínio ou vidro.</li> <li>▸ Fontes naturais e artificiais.</li> </ul> </li> </ul>
	6: Radiação Gama ( $\gamma$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características da radiação gama:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Composição: ondas eletromagnéticas de alta energia.</li> <li>▸ Penetração: muito alta, requer barreiras densas como chumbo ou concreto para bloqueio.</li> <li>▸ Fontes naturais e artificiais.</li> </ul> </li> </ul>
	7: Nêutrons	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características dos nêutrons:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Composição: partículas sem carga elétrica.</li> <li>▸ Penetração: alta, requer materiais específicos como parafina ou água para atenuação.</li> <li>▸ Fontes naturais e artificiais.</li> </ul> </li> </ul>
	8: Efeitos Biológicos das Radiações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discussão sobre os efeitos das radiações ionizantes no corpo humano:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Dano celular e riscos à saúde.</li> <li>▸ Importância da dosimetria e da proteção radiológica.</li> </ul> </li> </ul>
	9: Barreiras de Proteção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicação das medidas de proteção contra radiações ionizantes:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Barreiras estruturais: espessuras de materiais como chumbo, concreto ou água.</li> <li>▸ Equipamentos de proteção individual (EPIs): aventais de chumbo, luvas, óculos de proteção</li> </ul> </li> </ul>
	10: Normas de Segurança e Legislação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visão geral das normas de segurança radiológica:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Regulamentações nacionais e internacionais.</li> <li>▸ Responsabilidades dos profissionais e das instituições.</li> </ul> </li> </ul>
	11: Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recapitulação dos principais pontos abordados na aula:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Radiação corpuscular e tipos de radiação nuclear.</li> <li>▸ Efeitos biológicos e barreiras de proteção.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**3**

### TERCEIRO MOMENTO: APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

No terceiro momento pedagógico, avaliação, é sugerido ao professor que o mesmo conduza os estudantes a resolver os exercícios, de forma clara e objetiva, em que essas respostas devem condizer com o que foi apresentado e discutido nas aulas.

Para o terceiro momento pedagógico, avaliação, pensamos em uma discussão à cerca do que foi trabalhado nos dois primeiros momentos e também elaboramos uma série de exercícios de fixação dos temas discutidos em cada uma das aulas apresentadas anteriormente, e que devem ser avaliados e analisados pelo professor, com o intuito de ter uma referência no que diz respeito ao processo de ensino-aprendizagem dos estudantes. Onde poderemos organizar as conclusões afim de enriquecer o conhecimento de todos os envolvidos, debater as considerações, tornando-os mais críticos à cerca do tema. Este questionário avaliativo visará retificar se os novos entendimentos estarão melhor elaborados quando comparados aos anteriores. Esses exercícios, seguem um grau aumentativo de dificuldade, processo já aplicado em diversos vestibulares, inclusive o Enem, o mesmo deve auxiliar na análise feita pelo professor. Vale salientar que este trabalho não é um produto acabado, e que pode e deve ser modificado, dependendo das necessidades e especificidades de cada processo, tais como: turma, local, disponibilidade de materiais etc.

Esses exercícios podem ser aplicados ao final de cada aula (Figuras VII, VIII e IX), fazendo com que os dois últimos encontros sejam incorporados na contagem, sem distinção de 2° e 3° dos 3MP, por parte dos estudantes, como também, pode ser aplicado apenas no 3° MP, já que o processo avaliativo é dinâmico, a depender de como o professor vai fazer a sua conclusão.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Figura VII – Exercício ser aplicado no terceiro momento dos 3MP.

**ATIVIDADE DE CONCLUSÃO**

1 - Quais são as relações entre a frequência, o comprimento de onda e a energia de uma onda eletromagnética e como essas propriedades determinam a ordem dos diferentes tipos de radiação no espectro eletromagnético?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2 - Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência, justificando sua resposta com base na posição delas no espectro e na relação entre frequência e energia.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3 - Uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 550 nm é uma onda visível? Se sim, indique a possível cor e explique como essa onda se relaciona com outras ondas no espectro visível em termos de comprimento de onda e energia.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4 - Relacione os seguintes tipos de radiação com as medidas de proteção adequadas e explique brevemente o princípio por trás de cada medida: (a) Radiação Ultravioleta, (b) Raios X, (c) Raios Gama.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5 - Classifique as seguintes ondas eletromagnéticas como ionizantes ou não ionizantes e explique a principal diferença entre esses dois tipos de radiação em termos de seus efeitos nos átomos e moléculas: ondas de rádio, raios X, luz visível, raios gama, ultravioleta.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6 - Imagine que você está trabalhando em um laboratório que utiliza fontes de radiação gama para esterilização de equipamentos. Quais riscos você enfrentaria e quais medidas de proteção individual e coletiva seriam necessárias?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**Figura VIII - Exercício denotado 2 para ser aplicado no terceiro momento pedagógico dos 3MP.**

**EXERCÍCIO 2**

1- Quais são as principais aplicações das micro-ondas em comunicações e em aplicações domésticas?

---

2- Como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético são utilizados em telescópios para estudar o universo? Dê exemplos de observações em diferentes faixas do espectro.

---

3- Compare as radiações infravermelha e visível em termos de comprimento de onda, energia e aplicações práticas. Cite exemplos de dispositivos que utilizam cada uma dessas radiações.

---

4- Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?

---

5- Como a radiação gama é utilizada para melhorar a segurança alimentar? Explique o processo de irradiação de alimentos e quais são os benefícios dessa técnica.

---

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**Figura IX - Exercício denotado 3 para ser aplicado no terceiro momento pedagógico dos 3MP.**

**EXERCÍCIO 3**

1- (Enem – 2022) O elemento iodo (I) tem função biológica e é acumulado na tireoide. Nos acidentes nucleares de Chernobyl e Fukushima, ocorreu a liberação para a atmosfera do radioisótopo  $^{131}\text{I}$ , responsável por enfermidades nas pessoas que foram expostas a ele. O decaimento de uma massa de 12 microgramas do isótopo  $^{131}\text{I}$  foi monitorado por 14 dias, conforme o quadro.

Tempo (dia)	Massa residual de $^{131}\text{I}$ ( $\mu\text{g}$ )
0	12,0
2	10,1
4	8,5
5	7,8
6	7,2
8	6,0
14	3,6

Após o período de 40 dias, a massa residual desse isótopo é mais próxima de  
 A 24 $\mu\text{g}$ .    B 1,5 $\mu\text{g}$ .    C 0,8 $\mu\text{g}$ .    D 0,4 $\mu\text{g}$ .    E 0,2 $\mu\text{g}$ .

2- (Enem – 2018) O elemento radioativo tório (Th) pode substituir os combustíveis fósseis e baterias. Pequenas quantidades desse elemento seriam suficientes para gerar grande quantidade de energia. A partícula liberada em seu decaimento poderia ser bloqueada utilizando-se uma caixa de aço inoxidável. A equação nuclear para o decaimento do  $^{230}_{90}\text{Th}$  é:

$$^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{226}_{88}\text{Ra} + \text{partícula} + \text{energia}$$

Considerando a equação de decaimento nuclear, a partícula que fica bloqueada na caixa de aço inoxidável é o(a)  
 A alfa.    B beta.    C próton.    D nêutron.    E pósitron.

3- Discuta os efeitos da radiação ultravioleta na pele humana e como os filtros solares protegem contra esses efeitos. Explique a diferença entre os tipos de radiação UV (UV-A, UV-B e UV-C) em termos de penetração na atmosfera e impacto biológico.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4- Compare a tomografia computadorizada com raios X com outros métodos de imagem médica, como a radiografia simples e a ressonância magnética. Quais são as vantagens específicas da tomografia computadorizada em diferentes situações clínicas?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5- Compare a tomografia computadorizada com raios X com outros métodos de imagem médica, como a radiografia simples e a ressonância magnética. Quais são as vantagens específicas da tomografia computadorizada em diferentes situações clínicas?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6- Explique os processos físicos e químicos envolvidos na irradiação de alimentos com radiação gama para conservação. Quais são os benefícios e as preocupações associadas ao uso dessa técnica?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 4. ESTRUTURA DOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

**C**omo sugestão de uma leitura complementar, pode se pedir aos estudantes para fazer um “tour” na plataforma da NASA - Espectro Eletromagnético, Universo Invisível: O Espectro Eletromagnético de Ondas de Rádio a Raios Gama e Luz: O Espectro Visível e Além, link: [O que é Espectro Eletromagnético?](#) - Gaia Ciência | Divulgação Científica ([gaiaciencia.com.br](http://gaiaciencia.com.br)).

## 5. OS SIMULADORES PROPOSTOS

### SIMULADOR "ONDAS INTRO"

O simulador "**Ondas Intro**" do **PhET** é uma ferramenta para explorar conceitos fundamentais sobre **ondas mecânicas** e **ondas sonoras**, que pode facilitar a compreensão de propriedades como **frequência**, **amplitude**, **comprimento de onda** e **velocidade de propagação**. A seguir está uma sequência de passos para orientar os estudantes no uso do simulador, além de uma lista de conceitos físicos que podem ser discutidos durante a atividade.

#### **Objetivo da Atividade:**

Fazer com que os alunos compreendam as propriedades das ondas e como variáveis como frequência, amplitude e meio afetam sua propagação.

## A SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA O SIMULADOR "ONDAS INTRO"

### Passo 1: Introdução ao Conceito de Ondas

**Conceito discutido:** O que é uma onda?

Inicie a atividade discutindo o conceito de **ondas**, explicando que são perturbações que se propagam em um meio, transportando energia sem transportar matéria.

Use o simulador para mostrar uma onda gerada numa corda, focando em sua forma e propagação.

**Pergunta inicial para os alunos:** O que você entende por uma "onda"? Onde você observa ondas no dia a dia (por exemplo, em água, som, luz)?

### Passo 2: Exploração da Amplitude da Onda

**Conceito discutido:** Amplitude.

Peça aos alunos para ajustarem a **amplitude** da onda no simulador, observando como a altura da onda (distância máxima em relação ao ponto de equilíbrio) muda.

Explique que a **amplitude** está relacionada à quantidade de energia que a onda transporta, sendo maior em ondas mais "altas".

**Exemplo prático:** Ajustar a amplitude para diferentes valores e observar o impacto no visual da onda.

**Pergunta orientadora:** O que acontece com a onda quando aumentamos a amplitude? Como isso afeta a energia que a onda transporta?

### Passo 3: Investigação da Frequência da Onda

**Conceito discutido:** Frequência.

Utilize o simulador para ajustar a **frequência** da onda, que é o número de oscilações por segundo. Discuta como a frequência está relacionada à **velocidade de oscilação** da onda.

Aponte que a frequência afeta sons no caso de ondas sonoras, com frequências mais altas gerando sons mais agudos.

**Exemplo prático:** Ajustar a frequência da onda no simulador e observar como a "rapidez" das oscilações muda.

**Pergunta orientadora:** O que acontece quando aumentamos a frequência da onda? Como isso afeta o som ou a repetição da onda?

### Passo 4: Relação entre Comprimento de Onda e Frequência

**Conceito discutido:** Comprimento de onda e relação com a frequência.

Mostre como, ao aumentar a frequência, o **comprimento de onda** (a distância entre dois picos consecutivos da onda) diminui.

Discuta a relação inversa entre frequência e comprimento de onda, enfatizando que ondas de alta frequência têm comprimentos de onda menores.

**Exemplo prático:** Ajuste a frequência e observe a mudança no comprimento de onda.

**Pergunta orientadora:** Quando aumentamos a frequência, o que acontece com o comprimento de onda? Como podemos descrever a relação entre essas duas propriedades?

### Passo 5: Exploração da Velocidade da Onda

**Conceito discutido:** Velocidade de propagação da onda.

No simulador, explore como a **velocidade da onda** depende do meio em que ela se propaga. Mostre que a velocidade não é alterada diretamente pela amplitude ou frequência, mas sim pelo meio de propagação.

Explique a fórmula da velocidade da onda:  $v = \lambda \cdot f$  onde  $v$  é a velocidade,  $\lambda$  é o comprimento de onda, e  $f$  é a frequência.

**Exemplo prático:** Ajuste o simulador para ondas em diferentes meios e observe a velocidade da propagação.

**Pergunta orientadora:** O que determina a velocidade da onda? Como a velocidade da onda se relaciona com o comprimento de onda e a frequência?

### Passo 6: Reflexão e Interferência de Ondas

**Conceito discutido:** Reflexão e interferência.

Mostre no simulador como as ondas podem **se refletir** quando encontram barreiras, e introduza o conceito de **interferência** de ondas quando duas ondas se encontram.

Explique que a **interferência construtiva** ocorre quando duas ondas se somam, formando uma onda maior, enquanto a **interferência destrutiva** ocorre quando uma onda cancela a outra.

**Exemplo prático:** Use o simulador para criar interferências entre duas ondas.

**Pergunta orientadora:** O que acontece quando duas ondas se encontram? Como você descreveria os fenômenos de interferência construtiva e destrutiva?

### Passo 7: Ondas Sonoras

**Conceito discutido:** Som como onda longitudinal.

Mude o simulador para **ondas sonoras** e mostre como essas ondas são diferentes das ondas em uma corda, já que o som se propaga por compressões e rarefações do ar.

Discuta como a frequência das ondas sonoras determina o **tom** (agudo ou grave) e a amplitude está relacionada ao **volume** (mais alto ou mais baixo).

**Exemplo prático:** Ajustar a frequência e a amplitude de uma onda sonora no simulador para observar como afeta o som.

**Pergunta orientadora:** Como o som que ouvimos está relacionado à frequência e à amplitude das ondas? Como isso explica sons graves e agudos, ou sons altos e baixos?

**CONCEITOS FÍSICOS QUE PODEM SER DISCUTIDOS COM O SIMULADOR "ONDAS INTRO"**

1. **Amplitude:**  
A altura da onda e sua relação com a energia transportada pela onda.
2. **Frequência:**  
O número de oscilações por segundo e sua relação com o som (no caso das ondas sonoras) ou a repetição da onda em uma corda.
3. **Comprimento de Onda:**  
A distância entre dois picos consecutivos e sua relação inversa com a frequência.
4. **Velocidade de Propagação:**  
A rapidez com que a onda se move através de um meio, que depende da natureza do meio e da relação  $v = \lambda \cdot f$
5. **Reflexão e Interferência de Ondas:**  
O comportamento das ondas ao encontrar barreiras ou ao se encontrarem, levando a fenômenos de interferência construtiva e destrutiva.
6. **Ondas Sonoras:**  
Ondas longitudinais que se propagam por compressão e rarefação, com a frequência determinando o tom e a amplitude o volume.
7. **Ondas em Diferentes Meios:**  
Como a natureza do meio afeta a velocidade e a forma de propagação das ondas.

Essa sequência de passos é projetada para envolver os alunos de forma ativa, permitindo-lhes **explorar interativamente** os conceitos de **ondas** enquanto visualizam diretamente os efeitos das variáveis no comportamento ondulatório. Com essa abordagem investigativa, eles poderão construir uma compreensão mais sólida e conectada das propriedades e comportamentos das ondas.

## SIMULADOR "INTERFERÊNCIA DE ONDA"

O simulador "**Interferência de Onda**" do PhET é uma ferramenta excelente para visualizar e explorar os fenômenos de **interferência** e **difração** de ondas, tanto **mecânicas** (como as ondas em água) quanto **eletromagnéticas** (como ondas de luz). Ele permite que os estudantes compreendam conceitos fundamentais como **interferência construtiva** e **destrutiva**, a natureza das **ondas senoidais** e o impacto de **fatores geométricos** e de **frequência** na propagação de ondas. Abaixo está uma sequência de passos para guiar os estudantes na utilização do simulador, juntamente com os conceitos físicos que podem ser discutidos

### **Objetivo da Atividade:**

Permitir que os alunos explorem o comportamento de ondas em diferentes cenários, observando como a interferência e a difração ocorrem em ondas de água, som e luz, e relacionar essas observações com as leis da física ondulatória.

## A SEQUÊNCIA DE PASSOS O SIMULADOR "INTERFERÊNCIA DE ONDA"

### Passo 1: Introdução ao Conceito de Ondas e Interferência

**Conceito discutido:** O que são ondas e interferência?

Comece explicando que ondas são perturbações que se propagam em um meio, transportando energia sem transporte de matéria.

Introduza o conceito de **interferência**: quando duas ou mais ondas se encontram, elas podem se somar ou se anular, resultando em **interferência construtiva** ou **destrutiva**.

**Pergunta inicial para os alunos:** O que você imagina que acontece quando duas ondas colidem? Elas se somam, se anulam, ou algo mais?

### Passo 2: Exploração da Interferência em Ondas de Água

**Conceito discutido:** Interferência construtiva e destrutiva.

Use o simulador para gerar **ondas em água** com duas fontes e observe o padrão resultante quando as ondas se encontram.

Discuta a **interferência construtiva**, que ocorre quando as cristas de duas ondas se encontram, resultando em uma onda maior, e a **interferência destrutiva**, quando uma crista encontra um vale, resultando em uma anulação.

**Exemplo prático:** Ajuste as fontes de ondas no simulador para observar padrões de interferência, como as regiões de cristas reforçadas e as zonas de anulação.

**Pergunta orientadora:** Onde você observa áreas de reforço e áreas de anulação no padrão de interferência das ondas? O que causa essas regiões?

### Passo 3: Introdução ao Princípio de Superposição

**Conceito discutido:** Princípio da superposição.

Explique o **princípio da superposição**, que afirma que quando duas ou mais ondas se encontram, o deslocamento resultante em qualquer ponto é a soma dos deslocamentos individuais das ondas naquele ponto.

**Exemplo prático:** Use o simulador para gerar ondas com diferentes amplitudes e fases, mostrando como a soma das ondas resulta em padrões complexos.

**Pergunta orientadora:** Como o padrão de ondas resultante muda quando alteramos a amplitude ou a fase das ondas? O que isso nos diz sobre como as ondas interagem?

### Passo 4: Investigação da Difração de Ondas

**Conceito discutido:** Difração de ondas.

No simulador, ajuste as **aberturas** ou **barreiras** no caminho das ondas para explorar a **difração**, que é o fenômeno em que uma onda se espalha ao passar por uma abertura ou contornar um obstáculo.

Explique que a difração é mais pronunciada quando o comprimento de onda é comparável ao tamanho da abertura.

**Exemplo prático:** Insira barreiras com uma ou duas aberturas e observe como as ondas se espalham ao passar pelas aberturas.

**Pergunta orientadora:** O que você observa quando as ondas passam por uma abertura estreita? E quando a abertura é mais larga? Como a difração depende do comprimento de onda?

### Passo 5: Exploração da Interferência em Ondas de Luz

**Conceito discutido:** Interferência em ondas de luz (experimento de fenda dupla).

Mude o simulador para **ondas de luz** e configure duas fontes, criando um cenário similar ao **experimento da fenda dupla** de Young. Explique que, assim como as ondas em água, a luz também sofre **interferência construtiva** e **destrutiva**, formando padrões de **máximos** (luz brilhante) e **mínimos** (escuridão).

Discuta como a interferência de luz é a base de muitos fenômenos ópticos, como o padrão de interferência em filmes finos ou em redes de difração.

**Exemplo prático:** Ajustar a distância entre as fendas no simulador para ver como o padrão de interferência muda.

**Pergunta orientadora:** O que acontece quando a luz passa por duas fendas? Como o padrão de interferência muda quando ajustamos a distância entre as fendas?

### Passo 6: Relação entre Comprimento de Onda, Frequência e Interferência

**Conceito discutido:** Comprimento de onda e interferência.

Discuta como o **comprimento de onda** da radiação afeta o padrão de interferência. Ondas de diferentes comprimentos de onda produzem diferentes espaçamentos entre os máximos de interferência.

Use o simulador para ajustar a **frequência** (ou comprimento de onda) das ondas e observe como o padrão de interferência se altera.

**Exemplo prático:** Mudar a frequência das ondas e observar o impacto no espaçamento entre os máximos e mínimos de interferência.

**Pergunta orientadora:** Como o padrão de interferência muda quando aumentamos ou diminuímos o comprimento de onda das ondas? O que isso nos diz sobre a relação entre comprimento de onda e interferência?

### Passo 7: Interferência e Som

**Conceito discutido:** Interferência em ondas sonoras.

Explore como a **interferência de ondas sonoras** resulta em **batimentos** ou **zonas de silêncio**, quando ondas com frequências próximas ou iguais interferem entre si. Discuta aplicações práticas, como cancelamento de ruído e acústica de ambientes.

**Exemplo prático:** Use o simulador para gerar duas fontes de som e observe o padrão de interferência resultante.

**Pergunta orientadora:** Como o padrão de interferência se manifesta em ondas sonoras? Como podemos usar esse princípio para controlar o som em nosso ambiente?

### Passo 8: Interferência em Redes de Difração

**Conceito discutido:** Redes de difração.

Introduza o conceito de **redes de difração**, que contêm múltiplas fendas e podem ser usadas para separar diferentes comprimentos de onda de luz, criando padrões detalhados de interferência.

**Exemplo prático:** Ajuste o simulador para gerar um padrão de interferência com múltiplas fendas e observe como o padrão se torna mais complexo.

**Pergunta orientadora:** O que acontece quando passamos a luz por várias fendas? Como isso afeta o padrão de interferência?

**CONCEITOS FÍSICOS QUE PODEM SER DISCUTIDOS COM O SIMULADOR "INTERFERÊNCIA DE ONDA"****1. Interferência Construtiva e Destrutiva:**

Interação entre ondas, resultando em reforço ou anulação dependendo da fase.

**2. Princípio de Superposição:**

A onda resultante é a soma das ondas individuais em cada ponto do espaço.

**3. Difração de Ondas:**

O espalhamento de ondas ao passar por uma abertura ou contornar obstáculos, mais evidente quando o comprimento de onda é comparável ao tamanho da abertura.

**4. Interferência em Ondas de Luz (Experimento de Fenda Dupla):**

O fenômeno de interferência com ondas de luz, levando a padrões de franjas de máximos e mínimos.

**5. Comprimento de Onda e Frequência:**

A relação entre o comprimento de onda e a interferência, com ondas de diferentes comprimentos de onda gerando diferentes padrões de interferência.

**6. Interferência de Ondas Sonoras:**

O fenômeno de interferência aplicado ao som, resultando em batimentos ou zonas de silêncio.

**7. Redes de Difração:**

Múltiplas fendas criando padrões de interferência mais complexos, usadas para separar diferentes comprimentos de onda de luz.

Essa sequência de passos permite aos alunos explorar de forma ativa e visual os conceitos de **interferência e difração** de ondas em diferentes contextos, ajudando a construir uma compreensão profunda de como esses fenômenos se aplicam tanto às ondas mecânicas quanto às ondas eletromagnéticas.

## SIMULADOR "MONTE UM NÚCLEO"

O simulador "**Monte um Núcleo**" do **PhET** é uma ferramenta útil para explorar conceitos de **física nuclear**, especialmente no que diz respeito à estrutura atômica e às interações nucleares. Para aproveitar este recurso, podemos seguir uma sequência de passos que facilita o processo de aprendizado dos alunos enquanto eles utilizam o simulador.

A seguir, está uma proposta de sequência de aplicação e os conceitos físicos que podem ser discutidos com base no simulador, juntamente com os conceitos físicos que podem ser discutidos durante a atividade.

### **Objetivo da Atividade:**

Levar os alunos a compreender a estrutura dos átomos, a composição dos núcleos, a diferença entre isótopos e elementos, além de introduzir conceitos de estabilidade nuclear e forças fundamentais no núcleo.

## A SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA O SIMULADOR "MONTE UM NÚCLEO"

### Passo 1: Introdução Conceitual

**Conceito discutido:** Estrutura do átomo.

O professor pode introduzir a **estrutura do átomo**, explicando que ele é composto por um núcleo central formado por prótons e nêutrons, e que os elétrons orbitam em torno desse núcleo.

**Pergunta inicial para os alunos:** O que você já sabe sobre o que constitui o núcleo de um átomo? Que partículas existem no núcleo?

### Passo 2: Montagem de Núcleos Simples

**Conceito discutido:** Prótons, nêutrons e número atômico

Solicite aos alunos que utilizem o simulador para **construir o núcleo de átomos simples**, como o hidrogênio e o hélio, e observem as partículas que compõem esses núcleos: prótons e nêutrons.

Destaque a relação entre o **número de prótons** e o **número atômico** (que define o elemento químico).

**Pergunta orientadora:** Qual a diferença entre um átomo de hidrogênio e de hélio? Como os números de prótons e nêutrons influenciam essa diferença?

### Passo 3: Exploração de Isótopos

**Conceito discutido:** Isótopos.

Após montar átomos como o hidrogênio e o hélio, oriente os alunos a adicionar ou remover nêutrons para gerar **isótopos**.

Explique que isótopos são átomos de um mesmo elemento que possuem o mesmo número de prótons, mas **diferente número de nêutrons**.

**Exemplo prático:** Peça aos alunos que construam o isótopo **Hidrogênio-2 (Deutério)** e comparem com o **Hidrogênio-1 (Prótio)**.

**Pergunta orientadora:** Como a adição de nêutrons altera a identidade do átomo? O que muda entre o Hidrogênio-1 e o Hidrogênio-2?

### Passo 4: Investigação da Estabilidade Nuclear

**Conceito discutido:** Estabilidade nuclear.

Use o simulador para mostrar que alguns núcleos são estáveis enquanto outros são instáveis, dependendo da relação entre o número de prótons e nêutrons.

Explique o conceito de **força nuclear forte**, que mantém o núcleo unido, e a **força eletromagnética**, que tende a repelir os prótons.

**Exemplo prático:** Peça aos alunos para montar átomos com diferentes números de nêutrons e identificar quais são estáveis e quais não são.

**Pergunta orientadora:** O que acontece se colocarmos muitos nêutrons ou poucos nêutrons no núcleo? Como isso afeta a estabilidade do átomo?

### Passo 5: Decaimento Radioativo

**Conceito discutido:** Decaimento radioativo.

Utilize o simulador para explorar núcleos que são **radioativos** e que podem sofrer **decaimento**, transformando-se em outros elementos.

Explique que o decaimento ocorre para alcançar uma configuração mais estável e que existem diferentes tipos de decaimento, como **alfa**, **beta** e **gama**.

**Exemplo prático:** Monte um núcleo instável (como Carbono-14) e discuta o que acontece durante o decaimento.

**Pergunta orientadora:** Por que alguns átomos se transformam em outros ao longo do tempo? Qual o papel da radioatividade nesse processo?

### Passo 6: Relação Entre Massa e Energia

**Conceito discutido:** Equivalência massa-energia ( $E = m.c^2$ ).

Introduza o conceito de que a **massa nuclear** não é simplesmente a soma das massas dos prótons e nêutrons, pois uma parte da massa é convertida em **energia de ligação nuclear**.

Explique a relação entre **massa e energia** utilizando a fórmula de Einstein ( $E = m.c^2$ ).

**Exemplo prático:** Use o simulador para montar um núcleo e comparar a massa total com a soma das massas das partículas constituintes.

**Pergunta orientadora:** Por que a massa do núcleo é um pouco menor que a soma das massas dos prótons e nêutrons individuais?

**CONCEITOS FÍSICOS QUE PODEM SER DISCUTIDOS COM O SIMULADOR "MONTE UM NÚCLEO"****1. Estrutura do Átomo:**

Prótons, nêutrons e o conceito de número atômico e número de massa.

**2. Isótopos:**

Diferença entre átomos de um mesmo elemento que têm números de nêutrons diferentes.

**3. Força Nuclear Forte:**

A força que mantém os prótons e nêutrons unidos dentro do núcleo.

**4. Força Eletromagnética:**

A força de repulsão entre prótons no núcleo e seu papel na estabilidade nuclear.

**5. Estabilidade Nuclear:**

Relação entre o número de prótons e nêutrons, explicando por que alguns núcleos são estáveis e outros são radioativos.

**6. Decaimento Radioativo:**

Processos pelos quais núcleos instáveis se transformam em núcleos mais estáveis, liberando energia.

**7. Equivalência Massa-Energia ( $E = m.c^2$ ):**

A energia de ligação nuclear e como ela se relaciona com a massa do núcleo.

Essa sequência de passos permite aos alunos explorar ativamente os **conceitos de física nuclear**, fazendo conexões entre o que eles observam no simulador e os princípios teóricos apresentados em sala. Além disso, promove um ambiente investigativo, em que os alunos podem formular hipóteses, testar suas ideias e refletir sobre os resultados que obtêm.

## SIMULADOR "ESPECTRO DO CORPO NEGRO"

O simulador "Espectro do Corpo Negro" do PhET permite que os alunos explorem o conceito de **radiação de corpo negro** e a relação entre **temperatura**, **energia emitida** e o **espectro eletromagnético**. Ele é uma excelente ferramenta para introduzir conceitos de **física moderna**, como a **quantização da radiação** e as ideias centrais da **mecânica quântica** relacionadas à emissão e absorção de energia.

A seguir, está uma sequência de passos para guiar os estudantes na utilização do simulador, juntamente com os conceitos físicos que podem ser discutidos durante a atividade.

### **Objetivo da Atividade:**

Explorar a radiação de corpo negro, compreender como a temperatura afeta o espectro de emissão e introduzir a quantização da radiação, que levou ao desenvolvimento da mecânica quântica.

## SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR "ESPECTRO DO CORPO NEGRO"

### Passo 1: Introdução à Radiação de Corpo Negro

**Conceito discutido:** O que é radiação de corpo negro?

Comece explicando o conceito de um **corpo negro**, um objeto ideal que absorve toda a radiação incidente e emite radiação de acordo com sua temperatura.

No simulador, mostre a curva de radiação para diferentes temperaturas e introduza o conceito de emissão térmica.

**Pergunta inicial para os alunos:** O que você acha que influencia a cor ou o tipo de luz emitida por um objeto quente, como o Sol ou um pedaço de metal aquecido?

### Passo 2: Exploração da Relação entre Temperatura e Cor da Radiação

**Conceito discutido:** Lei de Wien e mudança de cor com a temperatura.

Utilize o simulador para ajustar a temperatura do corpo negro e observar a mudança no **espectro de emissão**. Mostre que, à medida que a temperatura aumenta, o **comprimento de onda de pico** da radiação emitida se desloca para valores menores (mais azul no espectro visível).

Introduza a **Lei de Deslocamento de Wien**, que relaciona a temperatura ao comprimento de onda de máxima emissão:  $\lambda_{\text{máx}} = T b$  onde  $b$  é a constante de Wien e  $T$  é a temperatura em Kelvin.

**Exemplo prático:** Aumente gradualmente a temperatura e observe a mudança na cor emitida pelo corpo negro no simulador.

**Pergunta orientadora:** O que acontece com a cor da radiação emitida à medida que a temperatura aumenta? Como a temperatura afeta o comprimento de onda de pico?

### Passo 3: Investigação do Espectro Eletromagnético

**Conceito discutido:** Espectro eletromagnético.

Explore o simulador para mostrar que a radiação emitida por um corpo negro não se limita ao **espectro visível**, mas se estende a outras regiões do espectro eletromagnético, como **infravermelho** e **ultravioleta**.

Discuta como diferentes temperaturas de um corpo negro emitem radiação em diferentes faixas do espectro.

**Exemplo prático:** Ajustar a temperatura para valores muito baixos (emitindo principalmente no infravermelho) e para valores muito altos (emitindo principalmente no ultravioleta).

**Pergunta orientadora:** O corpo negro emite apenas luz visível? O que acontece com a radiação quando aumentamos ou diminuímos a temperatura?

### Passo 4: Relação entre Temperatura e Energia Emitida

**Conceito discutido:** Lei de Stefan-Boltzmann.

Explique que a **energia total emitida** por um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura, de acordo com a **Lei de Stefan-Boltzmann**:  $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$  onde  $P$  é a potência emitida,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann,  $A$  é a área da superfície emissora, e  $T$  é a temperatura. Use o simulador para mostrar que, ao aumentar a temperatura, o corpo negro emite **muito mais energia**, não apenas mudando o comprimento de onda de pico, mas também aumentando a intensidade da radiação em todas as frequências.

**Exemplo prático:** Aumente a temperatura no simulador e observe o crescimento exponencial da energia emitida.

**Pergunta orientadora:** O que acontece com a energia total emitida pelo corpo negro à medida que a temperatura aumenta? Como a Lei de Stefan-Boltzmann explica essa relação?

### Passo 5: Introdução ao Conceito de Quantização da Energia

**Conceito discutido:** Quantização da radiação (Planck).

Explique que o modelo clássico da física falhava em explicar o espectro de corpo negro, resultando na **catástrofe do ultravioleta**. Foi Max Planck quem introduziu a ideia de que a energia da radiação é **quantizada**, ou seja, emitida em pacotes discretos chamados **quanta**.

Discuta a relação entre a energia e a frequência da radiação, dada pela equação:  $E = h \cdot f$  onde  $E$  é a energia,  $h$  é a constante de Planck, e  $f$  é a frequência.

**Exemplo prático:** Use o simulador para observar que o aumento da frequência (com aumento de temperatura) está relacionado a radiações com energias mais elevadas.

**Pergunta orientadora:** O que significa dizer que a energia é quantizada? Como a teoria de Planck explica o espectro de radiação de um corpo negro?

### Passo 6: Aplicações na Astrofísica e na Vida Cotidiana

**Conceito discutido:** Aplicações da radiação de corpo negro.

Discuta com os alunos como o conceito de **radiação de corpo negro** se aplica à **astrofísica**, como na determinação da **temperatura das estrelas** com base em sua cor.

Relacione também com situações cotidianas, como o **funcionamento de lâmpadas incandescentes** e a emissão de radiação por objetos quentes.

**Exemplo prático:** No simulador, simule a temperatura de corpos negros que se aproximam da temperatura de diferentes estrelas, como o Sol, e compare com o espectro emitido.

**Pergunta orientadora:** Como podemos usar o espectro de um corpo negro para determinar a temperatura de uma estrela? Que outras aplicações da radiação de corpo negro podemos ver em nosso dia a dia?

**CONCEITOS FÍSICOS QUE PODEM SER DISCUTIDOS COM O SIMULADOR "ESPECTRO DO CORPO NEGRO"****1. Radiação de Corpo Negro:**

Um corpo ideal que emite radiação baseada exclusivamente em sua temperatura.

**2. Lei de Wien:**

O comprimento de onda de pico da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à temperatura.

**3. Espectro Eletromagnético:**

A radiação emitida por um corpo negro se estende por todo o espectro eletromagnético, desde o infravermelho até o ultravioleta.

**4. Lei de Stefan-Boltzmann:**

A potência total emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta.

**5. Quantização da Energia:**

A energia emitida por um corpo negro é quantizada em pacotes discretos, chamados quanta, de acordo com a teoria de Planck.

**6. Aplicações Astrofísicas:**

Uso da radiação de corpo negro para estimar a temperatura de estrelas e outros corpos astronômicos.

**7. Catástrofe do Ultravioleta:**

O 'fracasso' da física clássica em explicar a radiação emitida por um corpo negro, levando ao desenvolvimento da teoria quântica.

Essa sequência de passos permite aos alunos explorar e visualizar **conceitos complexos de forma intuitiva**, enquanto fazem conexões entre a radiação de corpo negro e a física quântica, além de discutir suas aplicações no mundo real.

## SIMULADOR "ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD"

O simulador "**Espalhamento de Rutherford**" do PhET é uma ferramenta para visualizar o experimento histórico de Rutherford, que revelou a estrutura do átomo. Esse simulador permite que os alunos observem como as partículas alfa interagem ao colidir com o núcleo de um átomo, fornecendo uma compreensão da estrutura atômica e dos conceitos fundamentais de **forças eletrostáticas** e **modelo atômico nuclear**.

Aqui está uma sequência de passos para ser aplicada com os alunos, explorando conceitos físicos discutidos durante o uso do simulador.

### **Objetivo da Atividade:**

Permitir que os estudantes visualizem o experimento de Rutherford, compreendendo a descoberta do núcleo atômico e a natureza do átomo, além das forças eletrostáticas que governam a interação entre partículas carregadas.

## SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR “ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD”

### Passo 1: Introdução ao Modelo Atômico e ao Experimento de Rutherford

**Conceitos discutidos:** Modelos atômicos (Thomson e Rutherford) e a descoberta do núcleo atômico.

Inicie com uma explicação dos modelos atômicos anteriores, como o modelo de **pudding de passas** de Thomson, que imaginava o átomo como uma esfera de carga positiva contendo elétrons dispersos.

Explique como o experimento de **Rutherford** usou partículas alfa para bombardear uma folha de ouro muito fina, revelando que a maioria das partículas passava direto, enquanto algumas eram desviadas, sugerindo que o átomo tem um pequeno núcleo denso e carregado positivamente.

**Pergunta inicial para os alunos:** Como você imagina que são distribuídas as cargas dentro de um átomo? O que você esperaria que acontecesse se lançássemos partículas carregadas contra ele?

### Passo 2: Exploração do Simulador – Observando o Comportamento das Partículas Alfa

**Conceitos discutidos:** Espalhamento de partículas alfa e forças eletrostáticas.

No simulador, configure a simulação com uma folha de ouro e um feixe de **partículas alfa** (núcleos de hélio, que são carregados positivamente) para mostrar como essas partículas se comportam ao se aproximar do núcleo de um átomo.

Explique que as partículas alfa são desviadas devido à **repulsão eletrostática** entre a carga positiva do núcleo do átomo e a carga positiva das partículas alfa.

**Exemplo prático:** Ajuste o número de partículas alfa disparadas contra a folha de ouro e observe quantas passam direto e quantas são desviadas em diferentes ângulos.

**Pergunta orientadora:** O que acontece com a trajetória das partículas alfa quando elas se aproximam do núcleo do átomo? Por que algumas partículas são desviadas em grandes ângulos enquanto outras passam quase reto?

### Passo 3: Investigação da Tamanho e Carga do Núcleo

**Conceitos discutidos:** Tamanho do núcleo e distribuição de carga no átomo.

Use o simulador para alterar o tamanho do núcleo e a carga nuclear, mostrando como essas mudanças afetam o espalhamento das partículas alfa.

Explique que, devido ao núcleo ser muito pequeno e denso, a maioria das partículas alfa passa pelo átomo sem ser desviada, mas aquelas que se aproximam bastante do núcleo sofrem desvios significativos devido à força eletrostática.

**Exemplo prático:** Aumentar a carga nuclear no simulador e observar como as partículas alfas são mais fortemente desviadas.

**Pergunta orientadora:** Como o comportamento das partículas alfa muda quando o núcleo atômico tem uma carga maior? E quando o tamanho do núcleo é alterado?

### Passo 4: Comparação com o Modelo de Thomson

**Conceitos discutidos:** Diferenças entre os modelos de Thomson e Rutherford.

Discuta como o experimento de Rutherford refutou o modelo de Thomson, mostrando que o átomo não é uma massa homogênea de carga positiva, mas sim tem uma estrutura com um pequeno núcleo central onde reside a maior parte da massa e da carga positiva.

**Exemplo prático:** Compare o comportamento das partículas alfa no simulador com a descrição do modelo de Thomson, destacando as diferenças.

**Pergunta orientadora:** Como os resultados do experimento de Rutherford contradizem a ideia do modelo de Thomson? O que esses resultados sugerem sobre a estrutura do átomo?

### Passo 5: Analisando a Energia Cinética das Partículas Alfa

**Conceitos discutidos:** Energia cinética e espalhamento.

Ajuste o simulador para alterar a **energia cinética** das partículas alfa e observe como isso afeta sua capacidade de se aproximar do núcleo e a intensidade do espalhamento.

Explique que partículas com maior energia cinética são desviadas menos, pois conseguem se aproximar mais do núcleo antes de serem repelidas pela força eletrostática.

**Exemplo prático:** Aumente ou diminua a energia das partículas alfa no simulador e observe como isso muda os ângulos de espalhamento.

**Pergunta orientadora:** Como o aumento da energia cinética das partículas alfa afeta o espalhamento? Por que as partículas mais rápidas se aproximam mais do núcleo antes de serem desviadas?

### Passo 6: Relação com as Forças Eletrostáticas

**Conceitos discutidos:** Lei de Coulomb e interação entre cargas.

Explique como a **Lei de Coulomb** descreve a força eletrostática entre duas cargas. A força é diretamente proporcional à magnitude das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

Discuta como essa força se manifesta no espalhamento das partículas alfa ao se aproximarem do núcleo.

**Exemplo prático:** Observe no simulador como a força de repulsão entre a partícula alfa e o núcleo aumenta à medida que elas se aproximam.

**Pergunta orientadora:** Como a força de repulsão entre o núcleo e a partícula alfa varia com a distância? Como isso se relaciona com o conceito de força eletrostática?

### Passo 7: Impacto Histórico do Experimento de Rutherford

**Conceitos discutidos:** Importância histórica do experimento.

Conclua explicando que o experimento de Rutherford foi crucial para a evolução da física atômica. Ele não apenas refutou o modelo de Thomson, mas também pavimentou o caminho para o desenvolvimento do **modelo de Bohr** e a compreensão moderna da estrutura atômica.

**Exemplo prático:** Peça aos alunos que reflitam sobre a importância do experimento de Rutherford no contexto da física e da química.

**Pergunta final:** Como você acha que o experimento de Rutherford influenciou nossa compreensão atual do átomo?

**CONCEITOS FÍSICOS QUE PODEM SER DISCUTIDOS COM O SIMULADOR "ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD"****1. Forças Eletrostáticas:**

Interações de repulsão entre cargas positivas (partículas alfa e núcleo) baseadas na Lei de Coulomb.

**2. Estrutura Atômica:**

O átomo é composto de um pequeno núcleo denso, onde está concentrada a maior parte da massa, circundado por elétrons em uma região maior e praticamente vazia.

**3. Modelo Atômico de Rutherford:**

O modelo que substituiu o de Thomson, mostrando a existência de um núcleo compacto e central no átomo.

**4. Espalhamento de Partículas:**

O desvio das partículas alfa ao se aproximar do núcleo devido à força eletrostática.

**5. Energia Cinética e Espalhamento:**

A relação entre a energia das partículas alfa e a distância que podem alcançar antes de serem desviadas pela força eletrostática do núcleo.

**6. Lei de Coulomb:**

A força entre duas cargas é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, o que explica a força de repulsão entre partículas alfa e o núcleo.

Essa sequência de passos permite que os alunos façam uma análise profunda do **experimento de Rutherford** e de seus resultados, compreendendo as bases da física atômica moderna e as interações eletrostáticas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

**A** superação da abordagem superficial, com o ensino tradicional de ondas eletromagnéticas em sala de aula pode ser alcançada através da dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos.

A exploração do espectro eletromagnético, enriquecida pelas concepções iniciais dos alunos, amplia a compreensão dos conceitos. Diferentemente de aulas centradas na aplicação mecânica de fórmulas, a dinâmica incentivou a reflexão sobre o propósito dos cálculos matemáticos.

O uso de simuladores desempenha um bom papel ao facilitar a visualização e a manipulação de grandezas físicas, tornando o comportamento de ondas e partículas tangível. A utilização dessa metodologia pode promover um ambiente de aprendizado dinâmico para os alunos.

Além disso, as aulas dialógicas e expositivas, acompanhadas de vídeos educativos, contribuiu para a formação do ambiente acolhedor e possível estimulador de aprendizagem, corroborando com a abordagem dos 3MP utilizada em nossa sequência de ensino.

Por fim, a aplicação do conhecimento, não se deu apenas no último momento de SE, mas em cada um dos 3MP.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, K. B; SANTOS, P. J. S E FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461-482, 2015.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2ª Edição, 2007.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa / Paulo Freire**. São Paulo: Paz e Terra, Coleção Leitura, 1996.

GIACOMINI, A.; MUENCHEN, C. Os três momentos pedagógicos como organizadores de um processo formativo: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 2, 2015.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 43, supl. 1, e20200451, 2021.

## APÊNDICE B – ALGUNS QUESTIONÁRIOS E SUAS RESPOSTAS<sup>6</sup>

### PRIMEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas, estas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
Ondas, com suas próprias, que são emitidas por ondas eletromagnéticas. Exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas:  
*DS, partícula de energia elétrica que se propaga através de ondas de rádio e luz.*
2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
Luz visível, ondas de rádio, ondas que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*Micro-ondas, ondas de rádio, ondas de energia.*
3. Qual é a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética?  
Quanto maior a frequência de uma onda está relacionada à sua energia? Explique essa relação.  
*Quanto maior a frequência, por isso, maior a energia. Quanto maior a frequência, maior a energia.*
4. Como as ondas de rádio são diferentes das micro-ondas?  
Você consegue identificar alguma diferença entre ondas de rádio e micro-ondas? Pense em características como comprimento de onda, frequência ou velocidade de propagação.  
*Micro-ondas que se propagam mais rápido do que as ondas de rádio.*
5. A luz visível é uma onda eletromagnética?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a luz visível se relaciona com outras ondas no espectro eletromagnético? Explique sua resposta.  
*Sim, a luz visível é uma onda eletromagnética, porém, é um tipo de onda visível que se propaga através de ondas eletromagnéticas, porém, é um tipo de onda visível que se propaga através de ondas eletromagnéticas.*
6. O que você sabe sobre a radiação ultravioleta (UV)?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a radiação ultravioleta é visível ou invisível? Em que situações do cotidiano acontece?  
*A radiação ultravioleta é uma onda de luz que não é visível, porém, é visível para os olhos humanos. Ela é visível para os olhos humanos, porém, é invisível para os olhos humanos. Ela é visível para os olhos humanos, porém, é invisível para os olhos humanos.*
7. As ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células?  
Nas suas células, o eletromagnetismo faz parte de como elas podem se propagar? Por que você acha isso?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células.*
8. Qual é a importância das ondas eletromagnéticas para as telecomunicações?  
Explique como você acredita que as ondas eletromagnéticas são usadas em sistemas de comunicação, como televisão, rádio ou celular.  
*As ondas de rádio transmitem dados e informações para os celulares, computadores e outros dispositivos eletrônicos.*
9. Como as ondas eletromagnéticas se propagam no espaço?  
As ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar? Justifique sua resposta com base no que você sabe sobre a matéria.  
*Sim, as ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar.*
10. As ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos?  
Na sua opinião, todas as ondas eletromagnéticas podem ser prejudiciais à saúde? Se sim, quais delas? Se não, por quê?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos.*

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas, estas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
Ondas, com suas próprias, que são emitidas por ondas eletromagnéticas. Exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas:  
*DS, partícula de energia elétrica que se propaga através de ondas de rádio e luz.*
2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
Luz visível, ondas de rádio, ondas que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*Micro-ondas, ondas de rádio, ondas de energia.*
3. Qual é a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética?  
Quanto maior a frequência de uma onda está relacionada à sua energia? Explique essa relação.  
*Quanto maior a frequência, por isso, maior a energia. Quanto maior a frequência, maior a energia.*
4. Como as ondas de rádio são diferentes das micro-ondas?  
Você consegue identificar alguma diferença entre ondas de rádio e micro-ondas? Pense em características como comprimento de onda, frequência ou velocidade de propagação.  
*Micro-ondas que se propagam mais rápido do que as ondas de rádio.*
5. A luz visível é uma onda eletromagnética?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a luz visível se relaciona com outras ondas no espectro eletromagnético? Explique sua resposta.  
*Sim, a luz visível é uma onda eletromagnética, porém, é um tipo de onda visível que se propaga através de ondas eletromagnéticas.*
6. O que você sabe sobre a radiação ultravioleta (UV)?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a radiação ultravioleta é visível ou invisível? Em que situações do cotidiano acontece?  
*A radiação ultravioleta é uma onda de luz que não é visível, porém, é visível para os olhos humanos. Ela é visível para os olhos humanos, porém, é invisível para os olhos humanos.*
7. As ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células?  
Nas suas células, o eletromagnetismo faz parte de como elas podem se propagar? Por que você acha isso?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células.*
8. Qual é a importância das ondas eletromagnéticas para as telecomunicações?  
Explique como você acredita que as ondas eletromagnéticas são usadas em sistemas de comunicação, como televisão, rádio ou celular.  
*As ondas de rádio transmitem dados e informações para os celulares, computadores e outros dispositivos eletrônicos.*
9. Como as ondas eletromagnéticas se propagam no espaço?  
As ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar? Justifique sua resposta com base no que você sabe sobre a matéria.  
*Sim, as ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar.*
10. As ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos?  
Na sua opinião, todas as ondas eletromagnéticas podem ser prejudiciais à saúde? Se sim, quais delas? Se não, por quê?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos.*

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas, estas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
Ondas, com suas próprias, que são emitidas por ondas eletromagnéticas. Exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas:  
*DS, partícula de energia elétrica que se propaga através de ondas de rádio e luz.*
2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
Luz visível, ondas de rádio, ondas que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*Micro-ondas, ondas de rádio, ondas de energia.*
3. Qual é a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética?  
Quanto maior a frequência de uma onda está relacionada à sua energia? Explique essa relação.  
*Quanto maior a frequência, por isso, maior a energia. Quanto maior a frequência, maior a energia.*
4. Como as ondas de rádio são diferentes das micro-ondas?  
Você consegue identificar alguma diferença entre ondas de rádio e micro-ondas? Pense em características como comprimento de onda, frequência ou velocidade de propagação.  
*Micro-ondas que se propagam mais rápido do que as ondas de rádio.*
5. A luz visível é uma onda eletromagnética?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a luz visível se relaciona com outras ondas no espectro eletromagnético? Explique sua resposta.  
*Sim, a luz visível é uma onda eletromagnética, porém, é um tipo de onda visível que se propaga através de ondas eletromagnéticas.*
6. O que você sabe sobre a radiação ultravioleta (UV)?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a radiação ultravioleta é visível ou invisível? Em que situações do cotidiano acontece?  
*A radiação ultravioleta é uma onda de luz que não é visível, porém, é visível para os olhos humanos. Ela é visível para os olhos humanos, porém, é invisível para os olhos humanos.*
7. As ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células?  
Nas suas células, o eletromagnetismo faz parte de como elas podem se propagar? Por que você acha isso?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células.*
8. Qual é a importância das ondas eletromagnéticas para as telecomunicações?  
Explique como você acredita que as ondas eletromagnéticas são usadas em sistemas de comunicação, como televisão, rádio ou celular.  
*As ondas de rádio transmitem dados e informações para os celulares, computadores e outros dispositivos eletrônicos.*
9. Como as ondas eletromagnéticas se propagam no espaço?  
As ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar? Justifique sua resposta com base no que você sabe sobre a matéria.  
*Sim, as ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar.*
10. As ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos?  
Na sua opinião, todas as ondas eletromagnéticas podem ser prejudiciais à saúde? Se sim, quais delas? Se não, por quê?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos.*

**Exercício 1**

Instruções: Responda às perguntas a seguir de acordo com seu conhecimento prévio sobre o tema. Não se preocupe se não souber todas as respostas, estas perguntas são um ponto de partida para a nossa discussão e estudo.

1. O que são ondas eletromagnéticas?  
Ondas, com suas próprias, que são emitidas por ondas eletromagnéticas. Exemplos de ondas que você acredita serem eletromagnéticas:  
*DS, partícula de energia elétrica que se propaga através de ondas de rádio e luz.*
2. Quais são os tipos de ondas que compõem o espectro eletromagnético?  
Luz visível, ondas de rádio, ondas que fazem parte do espectro eletromagnético (por exemplo, luz visível, micro-ondas etc.).  
*Micro-ondas, ondas de rádio, ondas de energia.*
3. Qual é a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética?  
Quanto maior a frequência de uma onda está relacionada à sua energia? Explique essa relação.  
*Quanto maior a frequência, por isso, maior a energia. Quanto maior a frequência, maior a energia.*
4. Como as ondas de rádio são diferentes das micro-ondas?  
Você consegue identificar alguma diferença entre ondas de rádio e micro-ondas? Pense em características como comprimento de onda, frequência ou velocidade de propagação.  
*Micro-ondas que se propagam mais rápido do que as ondas de rádio.*
5. A luz visível é uma onda eletromagnética?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a luz visível se relaciona com outras ondas no espectro eletromagnético? Explique sua resposta.  
*Sim, a luz visível é uma onda eletromagnética, porém, é um tipo de onda visível que se propaga através de ondas eletromagnéticas.*
6. O que você sabe sobre a radiação ultravioleta (UV)?  
Quanto ao seu comprimento de onda, a radiação ultravioleta é visível ou invisível? Em que situações do cotidiano acontece?  
*A radiação ultravioleta é uma onda de luz que não é visível, porém, é visível para os olhos humanos. Ela é visível para os olhos humanos, porém, é invisível para os olhos humanos.*
7. As ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células?  
Nas suas células, o eletromagnetismo faz parte de como elas podem se propagar? Por que você acha isso?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas podem ser vistas pelas nossas células.*
8. Qual é a importância das ondas eletromagnéticas para as telecomunicações?  
Explique como você acredita que as ondas eletromagnéticas são usadas em sistemas de comunicação, como televisão, rádio ou celular.  
*As ondas de rádio transmitem dados e informações para os celulares, computadores e outros dispositivos eletrônicos.*
9. Como as ondas eletromagnéticas se propagam no espaço?  
As ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar? Justifique sua resposta com base no que você sabe sobre a matéria.  
*Sim, as ondas eletromagnéticas precisam de um meio material para se propagar.*
10. As ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos?  
Na sua opinião, todas as ondas eletromagnéticas podem ser prejudiciais à saúde? Se sim, quais delas? Se não, por quê?  
*Sim, as ondas eletromagnéticas são perigosas para os seres humanos.*

<sup>6</sup> Quatro escolhidos aleatoriamente

# SEGUNDO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

## 1º Questionário

1- Cite pelo menos três tipos de radiações presentes no espectro eletromagnético, em ordem crescente de comprimento de onda.

Raios gama, Raio X e ultravioleta

2- Qual a propriedade da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determina o nível de energia da onda?

a energia da onda eletromagnética e dela depende da frequência.

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

Ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raios X, raio gama

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no Brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$\lambda = \frac{3}{7}$

5- Considere três tipos de onda eletromagnéticas: vermelho, azul e verde. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

vermelho maior comprimento de onda e azul menor comprimento

6- Observando o espectro eletromagnético apresentado na aula, podemos afirmar que as ondas cujo comprimento é de 470 nm, 550 nm e 780 nm (nm = 10<sup>-9</sup> m) são todas, ondas visíveis? Se sim, indique qual e a possível cor.

Sim, todas essas ondas estão na faixa das ondas visíveis.

1- Cite pelo menos três tipos de radiações presentes no espectro eletromagnético, em ordem crescente de comprimento de onda.

raio gama, raio X e ultravioleta

2- Qual a propriedade da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determina o nível de energia da onda?

a frequência determina o nível de energia de uma onda eletromagnética quanto maior a frequência maior a energia da onda.

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raios X e raio gama

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no Brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000.000 \text{ m/s}}{700 \times 10^6 \text{ Hz}}$

$\lambda = \frac{300.000.000}{700 \times 10^6} = 0,42857 \text{ m}$

5- Considere três tipos de onda eletromagnéticas: vermelho, azul e verde. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

vermelho maior comprimento de onda e azul menor comprimento de onda.

6- Observando o espectro eletromagnético apresentado na aula, podemos afirmar que as ondas cujo comprimento é de 470 nm, 550 nm e 780 nm (nm = 10<sup>-9</sup> m) são todas, ondas visíveis? Se sim, indique qual e a possível cor.

Sim, todas essas ondas estão na faixa das ondas visíveis.

1- Cite pelo menos três tipos de radiações presentes no espectro eletromagnético, em ordem crescente de comprimento de onda.

ultravioleta, raios X e raios gama

2- Qual a propriedade da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determina o nível de energia da onda?

frequência, pois depende diretamente da energia da onda eletromagnética.

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raios X e raio gama

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no Brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000.000}{700 \times 10^6} = 0,42857 \text{ m}$

5- Considere três tipos de onda eletromagnéticas: vermelho, azul e verde. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

vermelho, maior e azul

6- Observando o espectro eletromagnético apresentado na aula, podemos afirmar que as ondas cujo comprimento é de 470 nm, 550 nm e 780 nm (nm = 10<sup>-9</sup> m) são todas, ondas visíveis? Se sim, indique qual e a possível cor.

470 nm: azul (visível)  
550 nm: verde (visível)  
780 nm: infravermelho (não visível)

1- Cite pelo menos três tipos de radiações presentes no espectro eletromagnético, em ordem crescente de comprimento de onda.

ultravioleta, raios X e raios gama

2- Qual a propriedade da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determina o nível de energia da onda?

Frequência

3- Considere os tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, ondas de rádio, infravermelho, raios X e raio gama. Coloque-as em ordem crescente de energia.

Ondas de rádio, infravermelho, ultravioleta, raios X e raios gama

4- Sabe-se que a banda de frequência da TIM no Brasil é de 700 MHz (MHz = 10<sup>6</sup> Hz) utilizada pelas estações emissoras para transmissão. Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas é 300.000.000 m/s, calcule o comprimento de onda dessa faixa.

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 \times 10^6}{700 \times 10^6} = 0,42857 \text{ m}$

5- Considere três tipos de onda eletromagnéticas: vermelho, azul e verde. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

vermelho tem o maior comprimento e azul tem o menor comprimento.

6- Observando o espectro eletromagnético apresentado na aula, podemos afirmar que as ondas cujo comprimento é de 470 nm, 550 nm e 780 nm (nm = 10<sup>-9</sup> m) são todas, ondas visíveis? Se sim, indique qual e a possível cor.

Sim, todas essas ondas são visíveis.  
Temos as duas primeiras cores visíveis.

## SEGUNDO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

### 2º Questionário

1- Quais são as principais aplicações das micro-ondas em comunicações e em aplicações domésticas?

Vol de emissão de sinais e também de aquecimento em fornos domésticos

2- Como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético são utilizados em telescópios para estudar o universo? Dê exemplos de observações em diferentes faixas do espectro.

Para verificar sua radiatividade usamos os raios de raios X e gama onde que por meio de estudos podemos que fare de a matéria do ferro

3- Compare as radiações infravermelha e visível em termos de comprimento de onda, energia e aplicações práticas. Cite exemplos de dispositivos que utilizam cada uma dessas radiações.

Dispositivos de visão noturna, infravermelho  
A radiação infravermelha tem um comprimento de onda maior que a da luz visível.  
lig. visíveis: lã de fibra, LED, câmeras

4- Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?

São utilizados para diagnósticos desde as articulações. Sua vantagem está relacionada a utilização interior do corpo humano.

5- Como a radiação gama é utilizada para melhorar a segurança alimentar? Explique o processo de irradiação de alimentos e quais são os benefícios dessa técnica.

Para destruir bactérias, como os raios gama não penetram para combater e eliminar bactérias e permitir agentes causadores de doenças presentes no alimentos

1- Quais são as principais aplicações das micro-ondas em comunicações e em aplicações domésticas?

Em micro-ondas usamos para aquecer alimentos e em aplicações domésticas

2- Como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético são utilizados em telescópios para estudar o universo? Dê exemplos de observações em diferentes faixas do espectro.

O comprimento de onda é a distância que uma onda percorre até que a sua amplitude se repita uma vez, como exemplo o comprimento de onda

3- Compare as radiações infravermelha e visível em termos de comprimento de onda, energia e aplicações práticas. Cite exemplos de dispositivos que utilizam cada uma dessas radiações.

As radiações visíveis tem um comprimento que vai de 400 a 800 nanômetros. A radiação infravermelha tem diversas aplicações, como sensores noturnos e dermatologia.

4- Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?

Os raios X são raios penetrantes, trazendo imagens com maior definição e são menos prejudiciais que os outros raios.

5- Como a radiação gama é utilizada para melhorar a segurança alimentar? Explique o processo de irradiação de alimentos e quais são os benefícios dessa técnica.

A radiação gama é utilizada para esterilizar o alimento e reduzir a vida útil dele.

1- Quais são as principais aplicações das micro-ondas em comunicações e em aplicações domésticas?

Vol de aquecimento de alimentos e emissão de sinais

2- Como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético são utilizados em telescópios para estudar o universo? Dê exemplos de observações em diferentes faixas do espectro.

Para verificar sua radiatividade usamos os raios de raios X e gama onde que por meio de estudos podemos que fare de a matéria do ferro

3- Compare as radiações infravermelha e visível em termos de comprimento de onda, energia e aplicações práticas. Cite exemplos de dispositivos que utilizam cada uma dessas radiações.

No uso de controle remoto e dispositivos de visão noturna

4- Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?

Quando elétrons em alta velocidade colidem com superfícies metálicas para tirar fotos de interior corporal. Sua vantagem é a emissão de raios X, que não é prejudicial aos seres humanos.

5- Como a radiação gama é utilizada para melhorar a segurança alimentar? Explique o processo de irradiação de alimentos e quais são os benefícios dessa técnica.

Para destruir bactérias. Os raios gama não são emitidos pela combustão bacteriana e permitem agentes causadores de doenças presentes em alimentos

1- Quais são as principais aplicações das micro-ondas em comunicações e em aplicações domésticas?

As comunicações principais é telecomunicações, radiação, comunicação de dados, aplicações domésticas e aquecimento de alimentos

2- Como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético são utilizados em telescópios para estudar o universo? Dê exemplos de observações em diferentes faixas do espectro.

usam diferentes comprimentos de onda eletromagnéticas para estudar diferentes tipos de objetos, como gama, raios X, ultravioleta, visível, infravermelho

3- Compare as radiações infravermelha e visível em termos de comprimento de onda, energia e aplicações práticas. Cite exemplos de dispositivos que utilizam cada uma dessas radiações.

radiação infravermelha, radiação visível

4- Descreva como os raios X são emitidos e como são utilizados em diagnósticos médicos. Quais são as vantagens dos raios X em comparação com outras formas de imagem médica?

São emitidos quando elétrons de alta energia colidem com átomos metálicos como o tungstênio

5- Como a radiação gama é utilizada para melhorar a segurança alimentar? Explique o processo de irradiação de alimentos e quais são os benefícios dessa técnica.

Elimina micro organismos, reduz a vida e reduz contaminação

## TERCEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnético?

Frequência e comprimento de onda, já que a velocidade é constante.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

ondas de rádio e a que tem menor frequência; seguida do infravermelho e por último raios X.

3. Uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 550 nm ( $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) é uma onda visível? Se sim, indique a possível cor.

Sim, ela está dentro do espectro visível.

4. Considere três tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, micro-ondas e raios gama. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

Raios gama, ultravioleta e micro-ondas, respectivamente.

5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz ( $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.

$c = \lambda \cdot f$   
 $3 \times 10^8 = \lambda_1 \cdot 88 \times 10^6$   
 $\lambda_1 = \frac{3 \times 10^8}{88 \times 10^6}$   
 $\lambda_1 = 0,34 \times 10^3 \text{ m}$   
 $\lambda_1 = 340 \text{ m}$

$c = \lambda_2 \cdot f_2$   
 $3 \times 10^8 = \lambda_2 \cdot 108 \times 10^6$   
 $\lambda_2 = \frac{3 \times 10^8}{108 \times 10^6}$   
 $\lambda_2 = 0,277 \text{ m}$   
 $\lambda_2 = 277 \text{ m}$

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnético?

Frequência e comprimento de onda.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

maior frequência raios X, menor frequência e a ondas de rádio.

3. Uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 550 nm ( $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) é uma onda visível? Se sim, indique a possível cor.

Sim, amarelo.

4. Considere três tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, micro-ondas e raios gama. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

maior comprimento de onda - micro-ondas  
menor comprimento - raios gama

5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz ( $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.

$c = \lambda_1 \cdot f_1$   
 $3 \times 10^8 = \lambda_1 \cdot 88 \cdot 10^6$   
 $\lambda_1 = \frac{3 \times 10^8}{88 \cdot 10^6}$   
 $\lambda_1 = 3,4 \cdot 10^2 \text{ m}$

$c = \lambda_2 \cdot f_2$   
 $3 \times 10^8 = \lambda_2 \cdot 108 \cdot 10^6$   
 $\lambda_2 = \frac{3 \times 10^8}{108 \cdot 10^6}$   
 $\lambda_2 = 0,277 \text{ m}$

$\Delta \lambda = 3,4 \cdot 10^2 - 0,277 \text{ m}$   
 $\Delta \lambda = 339,723 \text{ m}$

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnético?

Frequência e comprimento de onda.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

raios X tem a maior frequência e as ondas de rádio tem a menor frequência.

3. Uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 550 nm ( $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) é uma onda visível? Se sim, indique a possível cor.

Sim, é uma onda visível, situa entre amarelo e verde.

4. Considere três tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, micro-ondas e raios gama. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

micro-ondas tem o maior comprimento de onda e os raios gama tem o menor.

5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz ( $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.

$c = \lambda_1 \cdot f_1$   
 $3 \cdot 10^8 = \lambda_1 \cdot 88 \cdot 10^6$   
 $\lambda_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{88 \cdot 10^6}$   
 $\lambda_1 = 3,4 \cdot 10^2 \text{ m}$

$c = \lambda_2 \cdot f_2$   
 $3 \cdot 10^8 = \lambda_2 \cdot 108 \cdot 10^6$   
 $\lambda_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{108 \cdot 10^6}$   
 $\lambda_2 = 0,277 \text{ m}$

1. Quais são as propriedades da onda eletromagnética (velocidade, comprimento de onda e frequência) que determinam sua posição no espectro eletromagnético?

Comprimento de onda e frequência.

2. Considere três tipos de onda eletromagnética: ondas de rádio, raios X e infravermelho. Indique qual dessas três ondas apresenta a maior e a menor frequência.

raios X  
menor ondas de rádio.

3. Uma onda eletromagnética cujo comprimento é de 550 nm ( $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) é uma onda visível? Se sim, indique a possível cor.

sim, verde.

4. Considere três tipos de onda eletromagnética: ultravioleta, micro-ondas e raios gama. Indique qual dessas três ondas apresenta o maior e o menor comprimento de onda.

micro-ondas  
menor raios gama

5. A transmissão FM é utilizada pelas estações emissoras para transmissão de rádio FM. Essa faixa compreende ondas de cerca de 88 MHz a 108 MHz ( $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ). Considerando que a velocidade de propagação dessas ondas é 300.000.000 m/s, calcule o intervalo dos comprimentos de onda da faixa do FM.

$f = 88 \text{ MHz}$   
 $f_2 = 108 \text{ MHz}$   
 $c = \lambda_1 \cdot f_1$   
 $3 \cdot 10^8 = \lambda_1 \cdot 88 \cdot 10^6$   
 $\lambda_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{88 \cdot 10^6}$   
 $\lambda_1 = 3,4 \cdot 10^2 \text{ m}$

$c = \lambda_2 \cdot f_2$   
 $3 \cdot 10^8 = \lambda_2 \cdot 108 \cdot 10^6$   
 $\lambda_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{108 \cdot 10^6}$   
 $\lambda_2 = 0,277 \text{ m}$