



**UESB**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO SUDOESTE DA BAHIA



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

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ABORDAGEM DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NOS ANOS FINAIS**  
**DO ENSINO FUNDAMENTAL COM O USO DE UMA UNIDADE DE ENSINO**  
**POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PAULO GOMES BATISTA**

**Vitória da Conquista – Bahia**  
**Março de 2022**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ABORDAGEM DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NOS ANOS FINAIS DO**  
**ENSINO FUNDAMENTAL COM O USO DE UMA UNIDADE DE ENSINO**  
**POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

**PAULO GOMES BATISTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como parte das exigências do Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Cristina Porto Gonçalves.  
Coorientador: Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro.

**Vitória da Conquista – Bahia**  
**Março de 2022**

B336a

Batista, Paulo Gomes.

Abordagem de conceitos de física moderna nos anos finais do ensino fundamental com o uso de uma unidade de ensino potencialmente significativa. / Paulo Gomes Batista, 2022.

168f. il.

Orientador (a): Dr<sup>a</sup>. Cristina Porto Gonçalves.

Dissertação (mestrado) – 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.

Inclui referência F. 167 - 168.

1. Ensino de física. 2. Aprendizagem significativa. 3. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – Física moderna. 4. Mapas conceituais. I. Gonçalves, Cristina Porto. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. IV. T.

CDD 530.7

**Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista -BA



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional  
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF  
Área de concentração: Ensino de Física



### ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos quatro dias do mês de março de 2022, às 9h00, através de plataforma virtual, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada *"Abordagem de Conceitos de Física Moderna nos Anos Finais do Ensino Fundamental com o Uso de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa"*, de autoria de Paulo Gomes Batista, discente do Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pela professora Dra. Cristina Porto Gonçalves, orientadora do mestrando e contou com a participação dos professores Dr. Benedito Gonçalves Eugenio, Dra. Sandra Cristina Ramos e Dra. Silvana Perez, na condição de examinadores; tendo sido APROVADA. Entretanto, para que o respectivo título possa ser concedido, com as prerrogativas legais dele advindas, o exemplar definitivo da referida dissertação deverá ser entregue(enviada), na(para) secretaria do mestrado, em um prazo máximo de 60 (sessenta) dias, com as alterações e/ou correções sugeridas pelos membros da banca, para que possa ser homologado pelas instâncias competentes da UESB.

Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves  
Presidente da Banca Examinadora/Orientadora

Prof. Dr. Benedito Gonçalves Eugenio  
Examinador externo

Profa. Dra. Sandra Cristina Ramos  
Examinadora interna

Profa. Dra. Silvana Perez  
Examinadora externa

Paulo Gomes Batista  
Discente

Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves  
Coordenadora do PPG-MNPEF



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB  
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA  
CEP: 45031-300





UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional  
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF  
Área de concentração: Ensino de Física



**Abordagem de Conceitos de Física Moderna nos Anos Finais do Ensino Fundamental  
com o Uso de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**

AUTOR: PAULO GOMES BATISTA

DATA DE APROVAÇÃO: 04 DE MARÇO DE 2022

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.


Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA

  
Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves  
Presidente da Banca Examinadora/Orientadora

  
Prof. Dr. Benedito Gonçalves Eugenio  
Examinador externo

  
Profa. Dra. Sandra Cristina Ramos  
Examinadora interna

  
Profa. Dra. Silvana Perez  
Examinadora externa

2022

## DEDICATÓRIA

À minha adorada esposa Mary Elionay, que com muito amor, cumplicidade e sabedoria tornou mais um sonho possível.

Aos meus amados filhos Giovanna, Bernardo e Isadora pelos maravilhosos momentos repletos de alegria e por tanto amor.

Aos meus pais Antônio Batista (*in memoriam*) e Maria do Nascimento, que com seus exemplos me tornaram o homem que sou.

Ao meu Amigo Luizdarcy, que compartilhou bons momentos da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter concedido o dom da Vida.

A minha esposa, pelo apoio e incentivo incondicional ao longo de toda trajetória.

Aos meus filhos pela compreensão da ausência durante a “batalha”.

Ao meu filho Bernardo, pelo apoio e socorro na área de TI.

A minha filha Isadora, que tanto ajudou na digitação com os seus dedinhos rápidos.

Aos meus pais, Antônio (in memoriam) e Maria, por suas orações.

Aos meus amigos orientadores, Cristina Porto Gonçalves & Luizdarcy de Matos Castro, que tanto me ajudaram, apoiaram, incentivaram e orientaram com tanto zelo.

Aos professores do MNPEF: Jorge Anderson Paiva Ramos & Sandra Cristina Ramos, Wagner Duarte José, Ferdinand Martins da Silva, Valmir Henrique de Araújo e Silvanio Bezerra de Oliveira, que tanto contribuíram na minha formação.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela Excelência no ensino e por proporcionar mais uma etapa na minha formação.

Aos meus alunos, que aceitaram prontamente participar e colaborar para a realização dessa pesquisa.

Ao Colégio Padrão Internacional, pelo apoio e pela oportunidade de realizar a pesquisa.

À Capes, pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o ensino de noções da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Fundamental Anos Finais (EFAF), através da elaboração e implementação de uma sequência didática nos moldes da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), tendo como fundamento a Aprendizagem Significativa de David Ausubel e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira. A pesquisa foi realizada em uma turma do Nono Ano do EFAF, em um colégio privado, no município de Montes Claros – MG, com a finalidade de despertar nos alunos o interesse em compreender alguns fenômenos relacionados à FMC, tão presentes no cotidiano. A questão da pesquisa é verificar quais alterações podem ser identificadas no processo ensino-aprendizagem de estudantes do nono ano do ensino fundamental anos finais, após a aplicação de uma sequência didática baseada na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o ensino dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea. O referencial teórico teve como base a Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira, com objetivo principal em elaborar e execução de uma UEPS. Nesta perspectiva, foram utilizados os mais variados recursos didáticos, como por exemplo, a apresentação de slides e vídeo, leitura, simulações interativas, experimentos reais, situações problema e a aplicação da UEPS. Ao longo da intervenção foram apresentadas várias evidências de aprendizagem, suficientes para considerar o exitoso o trabalho, como por exemplos, confecção de mapas conceituais, participação de aulas práticas, realização de atividades somativas ou não e com fechamento participando de uma jornada científica. Concluindo, portanto, a eficácia da implementação e da aplicação da sequência didática para turmas do nono ano ensino fundamental anos finais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Física; Aprendizagem Significativa; Unidade de Ensino Potencialmente Significativa; Física Moderna; Mapas Conceituais.



## **ABSTRACT**

This paper aims to contribute to the teaching of notions of Modern and Contemporary Physics (MCP) in the Fundamental Education Final Years (EFAF), through the development and implementation of a didactic sequence along the lines of the Potentially Significant Teaching Unit (PSU), based on the Significant Learning of David Ausubel and the Critical Significant Learning Theory in the view of Marco Antônio Moreira. The research was conducted in a ninth-grade class of EFAF, in a private school, in the city of Montes Claros - MG, with the purpose of awakening in students the interest in understanding some phenomena related to FMC, so present in everyday life. The research question is to verify which changes can be identified in the teaching-learning process of ninth grade students of the final year of elementary school, after the application of a didactic sequence based on the Potentially Significant Teaching Unit for the teaching of Modern and Contemporary Physics concepts. The theoretical framework was based on Ausubel's Meaningful Learning and Marco Antônio Moreira's Critical Significant Learning Theory, with the main objective of elaborating and executing a UEPS. In this perspective, the most varied didactic resources were used, such as, for example, the presentation of slides and video, reading, interactive simulations, real experiments, problem situations and the application of the UEPS. Throughout the intervention several learning evidence were presented, enough to consider the work successful, as for example, making conceptual maps, participating in practical classes, performing summative activities or not, and with closure participating in a scientific journey. Concluding, therefore, the effectiveness of the implementation and application of the didactic sequence for classes of ninth grade of elementary school final years.

**KEY WORDS:** Physics Teaching; Meaningful Learning; Potentially Meaningful Teaching Unit; Modern Physics; Concept Maps.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> O experimento.....	16
<b>Figura 2:</b> Mapa conceitual sobre força. ....	17
<b>Figura 3:</b> História da bomba atômica. ....	20
<b>Figura 4:</b> Aplicações da Física Nuclear.....	21
<b>Figura 5:</b> Modelos atômicos. ....	22
<b>Figura 6:</b> Simulador PHET.....	23
<b>Figura 7:</b> Utilização do simulador PHET. ....	24
<b>Figura 8:</b> Propagação de uma onda. ....	43
<b>Figura 9:</b> Representação de um corpo negro .....	47
<b>Figura 10:</b> Distribuição de energia na radiação de corpo negro.....	48
<b>Figura 11:</b> Modelo clássico e quântico de energia. ....	49
<b>Figura 12:</b> Esquema de um aparelho de efeito fotoelétrico.....	50
<b>Figura 13:</b> O modelo clássico.....	53
<b>Figura 14:</b> O modelo quântico.....	53
<b>Figura 15:</b> Intensidade do raio X espalhado em função do comprimento de onda. ....	54
<b>Figura 16:</b> Onda idealizada com uma frequência determinada. ....	56
<b>Figura 17:</b> Batimento das ondas 1 e 2. ....	56
<b>Figura 18:</b> Pacote de ondas.....	57
<b>Figura 19:</b> Densidade de probabilidade.....	63
<b>Figura 20:</b> Experimento raios catódicos de Thomson. ....	66
<b>Figura 21:</b> Espalhamento de partículas alfas no núcleo do ouro.....	67
<b>Figura 22:</b> Espectro de linhas do hidrogênio.....	68
<b>Figura 23:</b> Representação do átomo no modelo de Bohr. ....	70
<b>Figura 24:</b> Níveis de Energia do nuclídeo $^{28}\text{Al}$ . ....	76
<b>Figura 25:</b> Separação das radiações.....	77
<b>Figura 26:</b> Lei do decaimento para núcleos radioativos.....	79
<b>Figura 27:</b> Fissão nuclear do urânio .....	83
<b>Figura 28:</b> Fusão nuclear do Sol.....	84
<b>Figura 29:</b> Vídeo 02 sobre a construção de Mapas Conceituais.....	85
<b>Figura 30:</b> Mapa conceitual sobre Força .....	86
<b>Figura 31:</b> modelos atômicos .....	87
<b>Figura 32:</b> Modelos atômicos .....	87

<b>Figura 33:</b> Modelos atômicos .....	88
<b>Figura 34:</b> Órbitas de Bohr .....	89
<b>Figura 35:</b> Tirinha de modelos atômico.....	91
<b>Figura 36:</b> Charge 01.....	92
<b>Figura 37:</b> Charge 02.....	93
<b>Figura 38:</b> Charge 03.....	94
<b>Figura 39:</b> O vídeo documentário.....	96
<b>Figura 40:</b> A leitura .....	97
<b>Figura 41:</b> Aplicações de Física Nuclear 2.....	98
<b>Figura 42:</b> Simulador PHET .....	104
<b>Figura 43:</b> Demonstração do efeito fotoelétrico.....	104
<b>Figura 44:</b> prática do efeito fotoelétrico.....	105
<b>Figura 45:</b> Jornada científica.....	106
<b>Figura 46:</b> Atividade avaliativa 01.....	115
<b>Figura 47:</b> Atividade avaliativa 02.....	116
<b>Figura 48:</b> Termo de consentimento do gestor.....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
SD	Sequência Didática
SI	Sistema Internacional de Unidades
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EFAF	Ensino Fundamental Anos Finais
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FC	Física Clássica
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
LDR	Light dependente Resistor
MC	Mapas Conceituais
PhET	Physics educacional Technology

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Caracterizações da Pesquisa.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2.</b>	<b>Público-alvo.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.3.</b>	<b>Descrição da proposta .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.4.</b>	<b>Preparação para a aplicação da UEPS.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.5.</b>	<b>Aspectos Sequenciais da UEPS .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.6.</b>	<b>Definição do Conteúdo Abordado.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.7.</b>	<b>Levantamento de Conhecimentos Prévios – Teste de Sondagem.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.8.</b>	<b>Situações-problema Em Nível Introdutório.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.9.</b>	<b>Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.10.</b>	<b>Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido .....</b>	<b>22</b>
<b>1.1.11.</b>	<b>Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.12.</b>	<b>Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido .....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.13.</b>	<b>Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.14.</b>	<b>Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido .....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.15.</b>	<b>Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1.16.</b>	<b>Concluir a Unidade (Participação em Jornada científica) .....</b>	<b>25</b>
<b>1.1.17.</b>	<b>Avaliação da Aprendizagem através da UEPS.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1.18.</b>	<b>Análise do Êxito da aplicação da UEPS .....</b>	<b>26</b>
<b>1.1.19.</b>	<b>Cronograma de aplicação da UEPS.....</b>	<b>26</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.</b>	<b>Tipos de Aprendizagem Significativa .....</b>	<b>34</b>

<b>3.3.</b>	<b>A Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira. ....</b>	<b>35</b>
3.3.2.	Unidades de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS .....	36
<b>4.</b>	<b>FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.</b>	<b>Equações de Maxwell. ....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.</b>	<b>Ondas Eletromagnéticas .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3.</b>	<b>A Radiação de Corpo Negro e a Teoria de Planck.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4.</b>	<b>O Efeito Fotoelétrico .....</b>	<b>50</b>
<b>4.5.</b>	<b>A Teoria do Fóton Proposta por Einstein .....</b>	<b>51</b>
<b>4.6.</b>	<b>O Efeito Compton.....</b>	<b>52</b>
<b>4.7.</b>	<b>Fótons e Ondas Eletromagnéticas.....</b>	<b>54</b>
<b>4.8.</b>	<b>Ondas de Matéria (Onda de De Broglie).....</b>	<b>55</b>
<b>4.9.</b>	<b>A Partícula Quântica.....</b>	<b>56</b>
<b>4.10.</b>	<b>O Princípio da Incerteza.....</b>	<b>59</b>
<b>4.11.</b>	<b>Uma Interpretação da Mecânica Quântica.....</b>	<b>61</b>
<b>4.12.</b>	<b>Modelos atômicos .....</b>	<b>64</b>
4.12.1.	Modelo Atômico de Dalton.....	65
4.12.2.	Modelo Atômico de Thomson .....	65
4.12.3.	Modelo de Rutherford .....	66
4.12.4.	Espectro Atômico .....	68
4.12.5.	Modelo de Bohr.....	69
<b>4.13.</b>	<b>Física Nuclear .....</b>	<b>72</b>
4.13.1.	Propriedades do Núcleo Atômico.....	73
4.13.2.	Carga e Massa .....	73
4.13.3.	O Tamanho do Núcleo .....	74
4.13.4.	Densidade do Núcleo.....	75
4.13.5.	Energia de Ligação dos Núcleos. ....	75
4.13.6.	Níveis de Energia dos Núcleos.....	75

4.13.7. Spin e Magnetismo dos Núcleos .....	76
4.13.8. A Força Nuclear. ....	76
4.13.9. Radioatividade.....	77
<b>4.14. Fissão Nuclear.....</b>	<b>82</b>
<b>4.15. Fissão Nuclear.....</b>	<b>83</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>5.1. Atividade de Introdução sobre Mapas Conceituais .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2. Concluir a Unidade (Participação em Jornada científica) .....</b>	<b>106</b>
<b>5.3. Avaliação da Aprendizagem através da UEPS.....</b>	<b>106</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE 2 .....</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE 3 .....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE 4 .....</b>	<b>118</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho, é apresentada uma proposta educacional para abordar noções da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no nono ano do ensino fundamental anos finais (EFAF). Segundo Moreira (2021), em seu artigo “Desafios no ensino da física” publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, o ensino da física é muito focado na aprendizagem mecânica, na preparação para as provas, mas deveria se ocupar da aprendizagem significativa da Física, Moreira alerta que, no ensino da física é mais importante dar atenção aos conceitos físicos do que às fórmulas. As fórmulas contêm conceitos. Não tem sentido decorar fórmulas sem entender os conceitos que as constituem. O ensino da Física, praticado em sala de aula, não proporciona o resultado desejado em virtude da utilização de práticas pedagógicas que não asseguram a compreensão dos fenômenos estudados e a compreensão dos conceitos da Física. Para a proposta da sequência didática desenvolvida, foi utilizada como ferramenta pedagógica a unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), que conforme Moreira (2011), é uma sequência de ensino fundamentada teoricamente, voltada para a aprendizagem significativa, direcionada ao Nono Ano dos anos finais do ensino fundamental para ensinar noções de Física Moderna.

As aplicações da teoria quântica não são novas. É muito comum nos depararmos no dia-a-dia com assuntos que envolvam a Física Quântica, e graças a ela foi possível aperfeiçoar e inovar diversas tecnologias que utilizamos hoje, como por exemplo: sensores de temperatura, mostradores de relógios que brilham no escuro após serem iluminados, o funcionamento de lâmpadas fluorescentes a abertura e fechamento automático de portas, sistemas de alarmes e sensores de presença, lâmpadas em postes acendendo “sozinhas”; células fotovoltaicas para produção de energia; o laser; em músicas, como na música, “Quanta” do cantor Gilberto Gil; e em cenas de filmes como, por exemplo, o filme Interestelar, são cenas que intrigam muitas pessoas.

Portanto, o referencial teórico estudado neste trabalho faz uma reflexão sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea, no Ensino Fundamental Anos Finais com concepções de ensino baseadas no enfoque Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) e na experimentação, que tem como perspectiva a formação para o exercício da cidadania a partir da aplicação do conhecimento científico em situações que envolvam o contexto social dos alunos. A metodologia se fundamenta numa pesquisa qualitativa, a partir do desenvolvimento de uma UEPS baseada na utilização de estratégias de ensino diversificadas, que serão aplicados no nono



ano do ensino fundamental anos finais, de um colégio particular, localizado na cidade de Montes Claros no Estado de Minas Gerais (MG).

Segundo Moreira (2005), em seu artigo “Desafios no ensino da física” o autor relata que o ensino da Física é muito focado na aprendizagem mecânica, na preparação para as provas, mas deveria se ocupar da aprendizagem significativa da Física. Moreira apresenta doze (12) desafios no ensino da Física inferidos em tópicos, não necessariamente em ordem prioritária.

1. Dar mais atenção a conceitos do que fórmulas; há conceitos que são estruturantes da Física; conceitos estão na base da compreensão humana; a conceitualização é o núcleo do desenvolvimento cognitivo.
2. Usar situações que façam sentido para os alunos; são as situações que dão sentido aos conceitos; as primeiras situações devem ser do entorno do aluno; as situações devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade e abstrações, mas devem fazer sentido para quem está aprendendo.
3. Levar em conta o conhecimento prévio dos alunos o máximo possível; é uma variável fundamental para a aprendizagem de novos conhecimentos; pode funcionar como “ancoradouro” de novos conhecimentos ou como obstáculo epistemológico.
4. Dar atenção a modelos e modelagem; as teorias físicas começam com modelos conceituais; modelos físicos contêm aproximações, não são exatos.
5. Não ensinar as teorias físicas como definitivas e os princípios físicos como verdades; a Física é uma ciência em permanente construção; conceitos, princípios, modelos e teorias atuais são excelentes construções da Física, mas podem evoluir ou, eventualmente, serem abandonadas.
6. Estimular o desenvolvimento de competências científicas como modelagem científica, argumentação baseada em evidências, comunicação de resultados, perguntar e questionar cientificamente. É muito mais importante desenvolver competências científicas do que decorar fórmulas e aplicá-las em situações conhecidas.
7. Buscar um ensino híbrido com participação ativa dos alunos e do professor, centrado nos alunos e no professor; no processo ensino-aprendizagem educador e educando são igualmente importantes; não existe ensino sem aprendizagem.
8. Incorporar as tecnologias digitais de informação e comunicação no ensino sem abandonar atividades presenciais, mantendo a interação social, a negociação de significados.
9. Utilizar laboratórios virtuais; computadores e celulares fazem parte do entorno dos alunos; laboratórios virtuais podem ser usados em simulações, modelos computacionais, experimentos virtuais; a experimentação deve fazer parte do ensino da Física.
10. Procurar sempre promover a aprendizagem significativa dos alunos; independente das estratégias didáticas e dos materiais instrucionais, considerar aprendizagem significativa como um paradigma.

11. Na avaliação, buscar evidências de aprendizagem significativa; testes de múltipla escolha não avaliam, apenas medem a quantidade de respostas certas.

12. *Despertar o interesse dos alunos pela Física.* Este é o maior de todos os desafios no ensino da Física. O ensino focado na preparação para a testagem, no aplicacionismo de fórmulas, na memorização de respostas corretas, provoca desinteresse dos alunos. É uma perda de tempo (MOREIRA, 2021).

Segundo Moreira é um grande desafio para o ensino da Física, mas vale a pena enfrentá-lo, pois a Física é importante na cidadania, está na base das tecnologias e é uma ciência exemplar. Revista Brasileira de Ensino de Física-2021 (MOREIRA, 2021).

É sabido que na maioria das escolas de Ensino Fundamental, o Ensino de Física é trabalhado a partir do 9º ano na disciplina de Ciências, quase sempre mediante a exposição de definições, leis e fórmulas centradas num raciocínio matemático que não permite a aprendizagem dos conceitos físicos e suas aplicações (MORETZSONHN; NOBRE; DIEB, 2003). Ao simplesmente expor a física de forma mecânica e matemática, o professor acaba distanciando os alunos dos fenômenos físicos cotidianos e, dessa forma, não propicia um ambiente adequado para uma aprendizagem contextualizada e significativa.

Muitos fatores contribuem para o ensino inadequado da disciplina de Física no Ensino Fundamental e Médio, dentre eles, a falta de uma formação de professores em quantidade e qualidade, estrutura física ruim e currículo distante da realidade do aluno, ausência de uma política educacional voltada para o incentivo do ensino da disciplina de Ciências, metodologias didáticas ultrapassadas que levam os estudantes a um distanciamento dos conceitos físicos inseridos nas Ciências Naturais (COSTA, 2015).

Neste trabalho, será abordada uma experiência em que os principais aspectos da interação luz-matéria servirão de base para a discussão dos conceitos físicos como radiação de um corpo aquecido, efeito fotoelétrico, a teoria quântica da luz, quantização e a estrutura atômica de Bohr. O objetivo é desenvolver uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino dos principais conceitos da Física Moderna a partir de alguns fenômenos do cotidiano.

A utilização de estratégias de ensino voltadas para a compreensão da física a partir de fenômenos do cotidiano pode criar um ambiente favorável para aprendizagem significativa. Ao explicar os princípios físicos envolvidos, por exemplo, uma porta de um restaurante que se abre ao nos aproximarmos dela, as luzes dos postes acenderem ao escurecer, o aluno terá maior interesse em aprender os conceitos físicos, uma vez que este fenômeno natural é vivenciado.

Segundo Moreira (2000), o conhecimento prévio é o fator que mais influencia na aprendizagem, por isso é possível aprender a partir daquilo que é conhecido. Nesse sentido, a utilização de sequências de ensino baseadas em situações-problemas contextualizadas e organizadas a partir de atividades diversificadas, podem auxiliar os professores que atuam na docência de Física a trabalhar com conceitos físicos e associá-los aos fenômenos naturais e tecnológicos presentes na vida do estudante. As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS constituem uma ferramenta pedagógica importante para a melhoria da qualidade do ensino na Educação Básica e, sobretudo, para a introdução de conceitos físicos a partir da disciplina de Física no Ensino Fundamental Anos Finais.

Trabalhar com a UEPS é uma alternativa para um aperfeiçoamento no ensino de Física oferecendo melhores condições para a construção do conhecimento de forma diferenciada e de maneira a contribuir para a autonomia dos estudantes, oferecendo a eles várias possibilidades de recursos, tais como leituras, apresentação de vídeos, projeção de imagens com *data show*, atividades experimentais e com simulações computacionais do simulador *PhET* e não somente com a reprodução do que está nos livros didáticos.

O objetivo principal deste trabalho é produzir uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que possa ser utilizada como apoio didático no ensino de noções básica de Física Moderna no Ensino Fundamental II. Para isso, foi necessário verificar as seguintes especificidades:

- A existência de conhecimentos prévios sobre noções básica de Física Moderna, na estrutura cognitiva do estudante;
- Propor situações-problema por meio de leitura, vídeos, simulações computacionais, experimentos, que possam funcionar também como organizadores prévios;
- Promover atividades contextualizadas e participação em jornada científica visando motivar a participação dos discentes;
- Verificar a potencialidade da UEPS, a partir das evidências de aprendizagem significativa do conteúdo estudado.

A aplicação desta proposta de ensino foi realizada em um colégio da rede privada, na cidade de Montes Claros, no estado de Minas Gerais, nos meses de outubro e novembro de 2019.

A elaboração desta dissertação está estruturada com uma introdução, cinco capítulos e as considerações finais: o primeiro capítulo aborda a intervenção em sala de aula, mostrando os procedimentos didáticos e metodológicos com a aplicação dos mapas conceituais (MC) e da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS); o segundo capítulo apresenta as revisões bibliográficas e seus respectivos resultados de dissertações referentes à proposta de ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC); o terceiro capítulo é composto pelo

referencial teórico, que foi dividido em dois tópicos: o primeiro sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e o segundo em relação à Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira; o quarto é um capítulo sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC); o quinto capítulo apresenta os resultados e discussões da aplicação em que são justificadas as evidências em relação a aprendizagem significativa que foram observadas durante todo o processo de ensino-aprendizagem; o sétimo capítulo apresenta as considerações finais, valorizando a importância da construção do material produzido, da implementação da sequência didática (SD), da UEPS para o ensino de FMC e dos resultados encontrados.

## **1.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.**

### 1.1.1 Caracterizações da Pesquisa

A implementação desta pesquisa foi realizada durante as aulas de Física, e conduzida pelo autor desta dissertação e professor da turma, no período de outubro e novembro de 2019, em um colégio privado da cidade de Montes Claros no estado de Minas Gerais.

O colégio foi fundado em 1980, que atende alunos do Ensino Infantil, do Ensino Fundamental Anos Iniciais, do Ensino Fundamental Anos Finais e do Ensino Médio.

A pesquisa foi qualitativa do tipo investigativa, em uma turma do nono ano dos EFAF sobre os conceitos de FMC, baseada nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Marco Antônio Moreira. De acordo com o Moreira (2009) esse tipo de pesquisa tem como interesse central a interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos diante de suas ações. É um processo investigativo, no qual o pesquisador está inserido e participando ativamente da análise dos dados obtidos.

### 1.1.2. Público-alvo

A intervenção foi desenvolvida em uma turma do nono ano do EFAF de um colégio privado na cidade de Montes Claros - MG a aproximadamente 420 km de Belo Horizonte e a 470 km de Vitória da Conquista. A turma tem uma faixa etária entre treze e quinze anos, estudam no turno matutino, composta por trinta e sete (37) alunos.

### 1.1.3. Descrição da proposta

Neste trabalho desenvolve-se uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS a partir de fenômenos do cotidiano. A pesquisa interventiva foi aplicada em 18 aulas nos meses de outubro e novembro de 2019 com a finalidade de facilitar a aquisição dos conceitos inerentes ao estudo dos conceitos de Física Moderna, onde foi valorizada a Aprendizagem Significativa, que visa estimular a efetiva participação dos estudantes. Foram utilizadas estratégias pedagógicas diferenciadas como vídeo, poema, imagens, questionários, simulação computacional e experimentos didáticos, a partir de várias fontes como, por exemplo, o livro texto adotado pelo colégio (Física: 9º ano: EFAF: Caderno 4), *data show*, computador para o simulador e o experimento do efeito fotoelétrico.

Os experimentos escolhidos para compor a UEPS têm por finalidade demonstrar o fenômeno efeito fotoelétrico e, ao mesmo tempo, discutir os conceitos da Física Moderna. O experimental é composto por uma lâmpada, uma tomada, um relé fotoelétrico que é um fotoresistor LDR (*light dependent resistor*), um madeirite (MDF), fios e parafusos apresentados na figura 1.



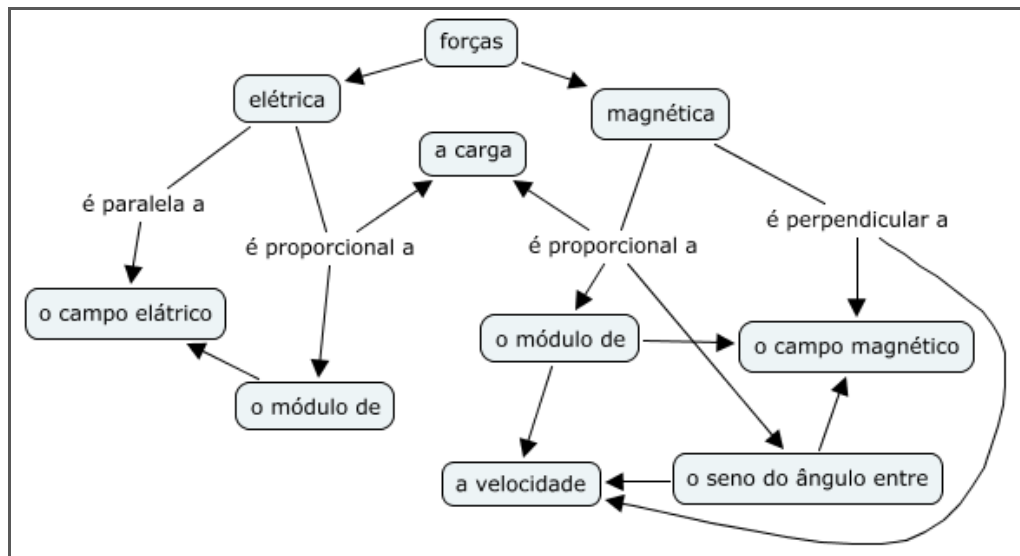
**Figura 1:** O experimento.  
**Fonte:** O autor (2019)

A utilização do experimento torna possível a visualização do fenômeno, seduzindo o aluno a interagir mais efetivamente com a aula, o que resulta em um maior rendimento por parte do aluno.

#### 1.1.4. Preparação para a aplicação da UEPS

Uma aula introdutória foi destinada à abordagem simplificada do conceito de Mapa Conceitual (MC) com a apresentação de um vídeo aula apresentada pelo professor de ciências da Natureza (Godoy, 2015). O MC, por definição, é um diagrama que representa visualmente relações entre conceitos e ideias. O MC tem uma estruturação hierárquica conectados com linhas ou setas, possui relações significativas, podem ser feitos com figuras geométricas, caixas ou círculos. Os conceitos mais importantes devem estar claros em relação aos secundários, as linhas são rotuladas com palavras ou frases chaves que ajudam a explicar as conexões entre os conceitos. Foi indicado para os alunos, se possível, a utilizar o software de mapeamento de conceito desenvolvido pelo *Florida Institute for Human and Machine Cognition*, o *CmapTools* disponível em <https://cmaptools.br.uptodown.com/windows>.

Ainda neste momento inicial foram apresentados alguns modelos de MC, como por exemplo, o da figura 2, sobre força:



**Figura 2:** Mapa conceitual sobre força.

**Fonte:** <http://www.if.ufrgs.br> (2021).

Em seguida, foi feita uma sondagem/conversa com os alunos sobre assuntos de Física Moderna. Em uma das conversas o aluno A01 relatou que adorava física e que já tinha visto alguns documentários sobre a vida de Einstein e Stephen Hawking, Teoria das Cordas entre outros documentários e filmes de ficção científica. Para finalizar a aula, foi proposto, como aula invertida e tarefa, a elaboração de mapas conceituais sobre a evolução dos modelos atômicos que se encontra no caderno C4, nas páginas 54 e 55, do livro Pitágoras. Em tempo, ressaltando

aqui, que Mapas Conceituais são uma ferramenta bastante utilizada pelo colégio desde as séries iniciais, o que facilitou o seu uso.

Na aula seguinte, na conclusão desta atividade introdutória, houve apresentação dos MC elaborados pelos alunos.

#### 1.1.5. Aspectos Sequenciais da UEPS

De acordo com Moreira (2011), o objetivo da construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) é desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental. Nessa perspectiva, os oito (08) passos sequenciais apresentados seguem os princípios propostos para aquisição significativa de conhecimento.

#### 1.1.6. Definição do Conteúdo Abordado

Nessa etapa foi definido o tópico específico que seria abordado, levando em consideração, a sequência do livro didático do colégio, que foi a unidade 02 do caderno C4 da Rede Pitágoras, que aborda a evolução dos principais modelos atômicos desenvolvidos pelos cientistas ao longo de mais de um século e alguns conceitos iniciais de Física Moderna (FM).

O tema escolhido para a UEPS foi FM, e durante a aplicação da proposta foram abordadas inicialmente, através de aula invertida em que os alunos confeccionaram um MC sobre a evolução dos modelos atômicos, seguindo da apresentação dos mesmos pelos alunos. Em seguida, o professor fez um apanhado detalhado dos modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e Schrodinger com a comparação entre eles, deixando bastante claro que, a cada novo modelo proposto, mais elementos dos átomos foram adicionados, como partículas (cargas positivas e negativas), órbitas ao redor do núcleo, quantização das órbitas até o modelo de Schrodinger que é o modelo aceito até hoje pelos cientistas.

A partir dessa abordagem geral, foi possível inserir os conceitos de radiação eletromagnética, radiação térmica, corpo negro, efeito fotoelétrico, elétron-volt e noções de física nuclear (fusão e fissão nuclear).

### 1.1.7. Levantamento de Conhecimentos Prévios – Teste de Sondagem

Nesta etapa, o objetivo foi criar situações em que os alunos pudessem expor os conhecimentos que possuíam sobre o tema de estudo, chamados pela teoria da aprendizagem significativa de subsunções. Foi elaborado um teste de sondagem (apêndice 01) com seis questões, com a intenção de fazer com que os estudantes “apresentassem” o que sabiam sobre o tema.

A aplicação do questionário aconteceu, em princípio, de forma individual, para que fosse possível detectar se o aluno possuía algum conhecimento preexistente sobre o tema, o que seria relevante para a aprendizagem significativa.

Após este momento, os alunos foram convidados, de forma espontânea, a compartilhar suas respostas, passo importante para a preparação da próxima etapa da sequência.

### 1.1.8. Situações-problema Em Nível Introdutório

Esta etapa da UEPS foi destinada a retornar a situações-problemas em nível bem introdutório, de acordo com a sequência proposta por Moreira (2011), considerando os conhecimentos prévios que os alunos demonstraram na atividade anterior, e preparando-os para a introdução do conhecimento que se deve ensinar.

Diante desta proposta deve-se mostrar, primeiramente, um vídeo documentário do programa Fantástico da rede Globo de televisão, História da Bomba Atômica.





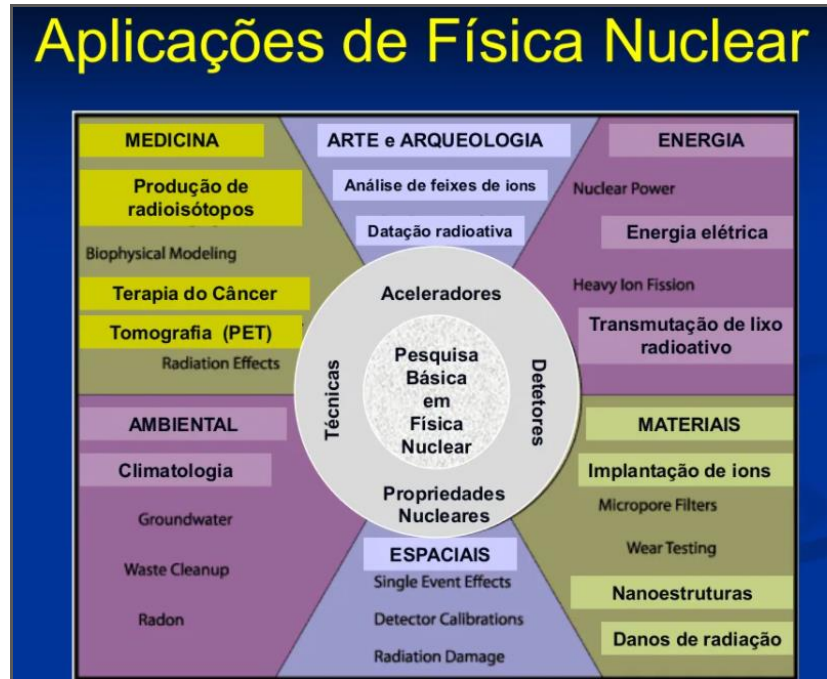
**Figura 3:** *História da bomba atômica.*  
**Fonte:** <https://youtu.be/Yvo0dyW1vTE>

O vídeo da figura 3 é um documentário que mostra o bombardeio nuclear dos Estados Unidos da América contra as cidades japonesas. A primeira, em 06 de agosto de 1945 com uma bomba de urânio, Hiroshima foi alvejada morrendo instantaneamente 70 mil pessoas totalizando cerca de 140 mil mortes nos dias e semanas após a explosão. Três dias depois, em 09 de agosto de 1945 Nagasaki tornou-se o alvo, morrendo mais 74 mil pessoas. O documentário relata o horror vivido pelos japoneses durante os estágios finais da Segunda Guerra Mundial. (<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/08/09/nagasaki-recorda-os-75-anos-do-lancamento-da-bomba-atmica.ghtml>).

Em seguida, deve-se pedir um(a) aluno(a), previamente preparado(a), para ler as poesias de Vinicius de Moraes “A Bomba Atômica I” (Anexo 1) e “A Rosa de Hiroshima” (Anexo 2), ambas do ano de 1954, que explora especificamente o tema da bomba atômica lançada sobre a cidade japonesa de Hiroshima. Disponíveis em <https://www.viniciusdemoraes.com.br>.

Após a exibição do documentário e da leitura das poesias, deve-se gerar bastante discussão facilitando ao professor fazer algumas questões, como por exemplo: Os átomos existem? Como são os átomos? De que eles são feitos? Para que servem os átomos? Se não enxergamos os átomos, como sabemos como eles são? O que é fissão atômica? O que é fusão atômica? A Física atômica pode ser usada para o bem da população? que serviriam de base para apresentação do conteúdo propriamente dito, em nível introdutório.

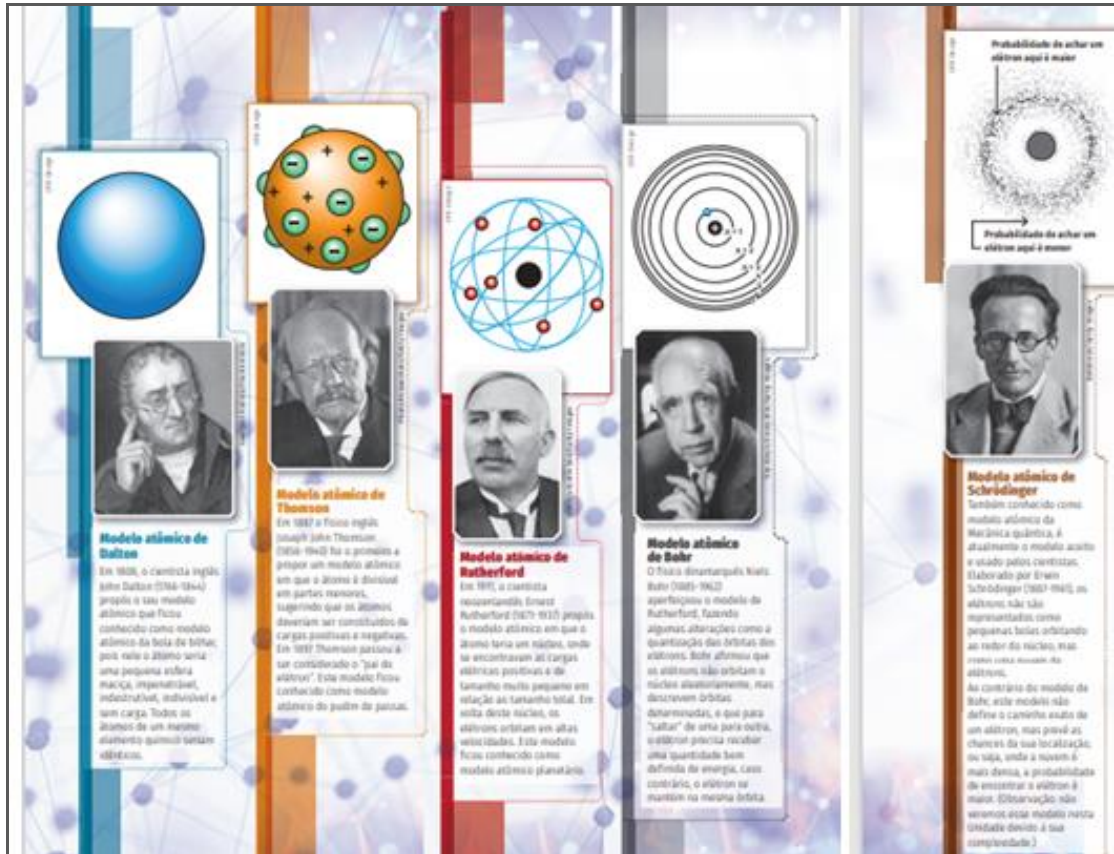
Foi mostrado através de um projetor de slide, o Slide do professor GOMES, Paulo Roberto da Silveira do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, o slide com aplicações da Física Nuclear, de acordo com a figura 4.



**Figura 4:** Aplicações da Física Nuclear.  
**Fonte:** <https://image.slidesharecdn.com>

#### 1.1.9. Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade

Foi abordado nesta aula, através de um projetor de slide e do caderno C4 da Rede Pitágoras, a evolução dos modelos atômicos ilustrada na figura 5 abaixo.



**Figura 5: Modelos atômicos.**  
**Fonte: Livro Pitágoras C4**

Foi feito um apanhado, pelo professor, sobre a evolução atômica mostrando que, com a evolução das teorias houve a evolução dos modelos atômicos, sendo que em determinado ponto os modelos propostos pela Física Clássica já não conseguiam responder algumas perguntas. Com isso, novos modelos foram desenvolvidos, e com eles a chegada da Física Moderna.

#### 1.1.10. Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido

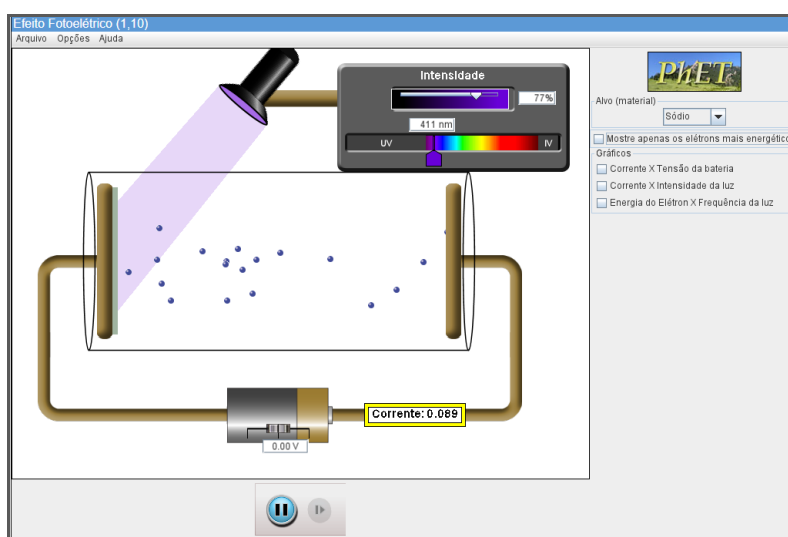
Nesta etapa foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada, os conceitos de radiação eletromagnética, radiação térmica e corpo negro. Começando com os aspectos mais gerais, que vão sendo progressivamente aprofundados, objetivando a abordagem específica do conteúdo, expandindo a estrutura cognitiva a partir dos subsunçores que serviram de base para novos conhecimentos.

### 1.1.11. Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade

Buscou-se neste passo o aprofundamento do modelo das radiações eletromagnéticas de Maxwell, destacando os aspectos da absorção e da radiação do corpo negro. Momento em que se buscou estabelecer relações entre os conceitos, ideias, proposições, para que o conhecimento ganhe mais significado na estrutura cognitiva do estudante.

### 1.1.12. Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido

Nesta etapa foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada, o conceito do modelo corpuscular da luz utilizando o simulador <https://phet.colorado.edu>, mostrado na figura 6 abaixo.

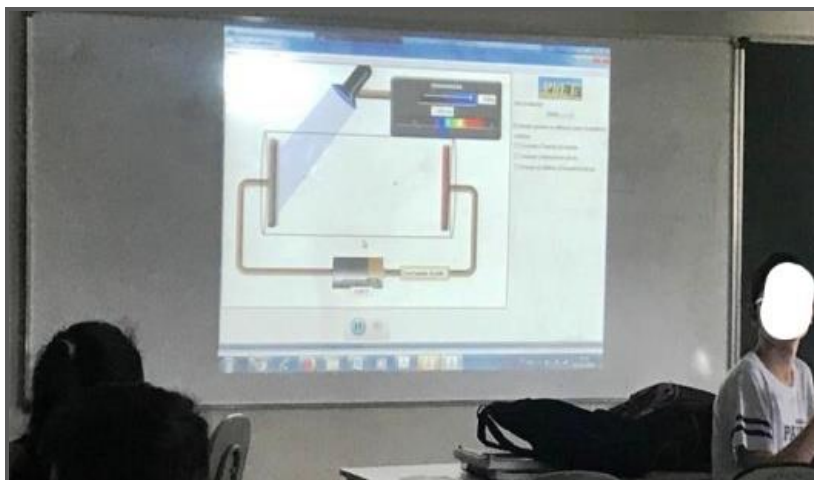


**Figura 6:** Simulador PHET

**Fonte:** <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html>

Foi mostrado que, ao irradiar uma placa metálica com luz de baixa frequência, luz vermelha por exemplo, ela não consegue arrancar elétrons da placa. Quando a placa metálica era irradiada com luz de alta frequência, a partir da luz azul, elétrons foram arrancados da placa.

A foto abaixo (figura 7) destaca a utilização do simulador phet colorado projetado em uma tela branca. Em que foi alterado a frequência da luz incidida sobre uma placa de sódio e observado o que acontecia a medida que se aumentava a frequência. Alterou-se também a intensidade luminosa, para frequências as quais não se arrancava elétrons e para frequências as quais se arrancavam elétrons, observado o que acontecia a medida em que se aumentava a intensidade luminosa.



**Figura 7:** Utilização do simulador PHET.  
**Fonte:** Autor (novembro – 2019).

#### 1.1.13. Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade

Buscou-se neste passo o aprofundamento do conceito de efeito fotoelétrico, destacando conceitos como o modelo corpuscular para a luz, função trabalho e a dualidade da luz. Nesse momento buscou-se estabelecer Interação e discussão do simulador do efeito fotoelétrico, relações entre os conceitos, ideias, proposições, para que o conhecimento ganhe mais significado na estrutura cognitiva do estudante.

Foi mostrada a utilização do experimento o que tornou possível a comprovação do fenômeno. O experimento seduz o aluno a se interagir mais efetivamente com a aula, resultando em um maior rendimento por parte deles.

#### 1.1.14. Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido

Nesta etapa foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada, noções e conceitos de fissão e fusão nuclear. Começando com os aspectos mais gerais, que vão sendo progressivamente aprofundados, objetivando a abordagem específica do conteúdo, expandindo a estrutura cognitiva a partir das subsunções que serviram de base para novos conhecimentos.

#### 1.1.15. Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade

Buscou-se neste passo o aprofundamento dos conceitos de Física nuclear, destacando reações de fissão e fusão nucleares, além de algumas aplicações importantes. Nesse momento buscou-se estabelecer discussão sobre a fissão e a fusão nuclear. Uma aplicação da fissão em cadeia, controlada, em reatores nucleares para aquecer grandes porções de água, e o vapor gerado é utilizado para impulsionar turbinas responsáveis pela produção de energia elétrica, uma aplicação bélica é a produção de bombas atômicas. Já na fusão, foi citado o exemplo do Sol, onde a união entre dois núcleos forma um núcleo mais pesado liberando uma enorme quantidade de energia, relações entre os conceitos, ideias, proposições, para que o conhecimento ganhe mais significado na estrutura cognitiva do estudante.

#### 1.1.16. Concluir a Unidade (Participação em Jornada científica)

Buscou-se neste passo estabelecer interação, discussão e a socialização da FMC. Anualmente é realizada uma Jornada Científica pelo colégio, onde todos os alunos, desde as séries iniciais do ensino fundamental, têm a oportunidade de apresentar trabalhos científicos. Nesta etapa, os alunos do Nono Ano do EFAF foram divididos em equipes, e cada equipe apresentou na jornada científica um tópico de FMC ao demais alunos do colégio.

#### 1.1.17. Avaliação da Aprendizagem através da UEPS

No decorrer de todo o processo de aplicação da UEPS foram realizados registros que buscavam evidências da aprendizagem significativa. Para finalizar a intervenção realizou-se, para avaliar a UEPS, um questionário com duas (02) questões discursivas e cinco (05) questões de múltipla escolha. Esse questionário foi individual para uma melhor avaliação da captação e da transferência de significados para os alunos.

Cada aluno recebeu seu questionário (Apêndice 1 e 2), para que eles pudessem responder de forma espontânea e pessoal sobre o conteúdo estudado.

### 1.1.18. Análise do Êxito da aplicação da UEPS

O êxito da UEPS está diretamente relacionado ao desempenho dos alunos, pois estes fornecem evidências da aprendizagem significativa. A avaliação da aprendizagem e do desempenho dos alunos se deu ao longo de toda a implementação da UEPS, como sugerido por Moreira, considerando as participações dos alunos em cada atividade realizada.

Em algumas etapas foram feitas atividades que foram entregues ao professor, e estes materiais serviram como parte dos elementos que favoreceram a busca de evidências da aprendizagem. As atividades apresentadas para que as aulas fossem mais dinâmicas e interativas como por exemplo a exibição de vídeos e poemas, execução de mapas conceituais, exercícios, simulações, realização de experimentos, análise de situações-problemas, participação em jornada científica que envolveu todo o colégio, ocorrendo uma avaliação somativa (Apêndices 1 e 2) para compor a nota da etapa escolar.

### 1.1.19. Cronograma de aplicação da UEPS

A tabela 01 abaixo apresenta a cronologia juntamente com os passos realizados.

Aula	Data	Descrição das atividades
00	14/09/2019	Defesa de Projeto - Qualificação
01	02/10/2019	Preparação para aplicação da UEPS Abordagem do conceito de Mapa Conceitual: Exibição do vídeo: “Como fazer Mapas Conceituais” – Cmap Tools. Apresentação de modelos de mapas conceituais; Sondagem/conversa com a turma.
02	04/10/2019	Situações-problema em nível introdutório Aula invertida (Flipped Classroom) – Mapas Conceituais – Evolução dos modelos atômicos.
03	16/10/2019	Situações-problema em nível introdutório Conclusão da aula invertida; Apresentação dos Mapas Conceituais pelos alunos; Apanhado sobre a evolução dos modelos atômicos pelo professor.
04	18/10/2019	Levantamento dos conhecimentos prévios – Teste de Sondagem

		Aplicação do teste de sondagem.; Compartilhamento do teste de sondagem.
05	23/10/2019	Situações-problema em nível introdutório Exibição do vídeo: “História da Bomba Atômica”; Leitura do poema: “A Rosa de Hiroshima”; Leitura do poema: “A Bomba Atômica I”; Discussão do vídeo: “História da Bomba Atômica”;
06	25/10/2019	Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido Aula expositiva e dialogada: Radiação eletromagnética, radiação térmica e radiação de corpo negro;
07	30/10/2019	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade Aula expositiva e dialogada: Radiação eletromagnética, radiação térmica e radiação de corpo negro;
08	01/11/2019	Avaliação da Aprendizagem Realização da atividade avaliativa 1 <sup>a</sup> , individual e somativa, sobre noções de Física Moderna (Modelos atômicos).
09	06/11/2019	Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido Aula expositiva e dialogada: Efeito fotoelétrico. Simulação: <a href="https://phet.colorado.edu/">https://phet.colorado.edu/</a> do efeito fotoelétrico; Aula prática: Demonstração do efeito fotoelétrico.
10	08/11/2019	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade Interação e discussão do simulador do efeito fotoelétrico.
11	13/11/2019	Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido Aula expositiva e dialogada: Noções de Física Nuclear: Fusão nuclear e fissão nuclear.
12	20/11/2019	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade Interação e discussão sobre a Física Nuclear: Aplicações nas áreas de produção de energia, medicinal e tecnológicas.



13	22/11/2019	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade Interação e discussão do simulador do efeito fotoelétrico.
14-15-16-17	27/11/2019	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade Realização/participação da jornada científica.
18	29/11/2019	Avaliação da Aprendizagem através da UEPS Realização da atividade final avaliativa, individual, sobre noções de Física Moderna.
		Análise do Êxito da aplicação da UEPS realizada durante todo o processo de aplicação do produto e de escrita da dissertação.

**Tabela 01:** Cronograma da UEPS.

**Fonte:** Autor.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica iniciou-se com o mapeamento de dissertações sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea, utilizando como base principal o Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física (<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=defesas>). Primeiramente foi feita uma busca em todos os polos do Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física e a seguir foi feita uma busca no polo 62 UESB, sobre Física Moderna e Contemporânea para todas as modalidades de ensino-aprendizagem. No período de 2015 a 2020 foram encontradas dose dissertações sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea.

De acordo com a tabela representada abaixo, foram encontradas dissertações sobre o tema da pesquisa. Embora a maioria de suas abordagens sejam compostas por outras teorias de aprendizagem, isso não impediu que fossem utilizadas como referencial para a obtenção do conhecimento, por meio da aplicação dos conceitos da Física Moderna no Ensino Fundamental Anos Finais, no Ensino Médio, utilizando, basicamente, como base o Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física. Desta forma, foram procuradas as dissertações sobre o ensino de FMC no EFAF e no EM em algumas dissertações não abordando a UEPS, abordando outras teorias de aprendizagem, mas de muito valor como referencial. A seguir são apresentados, na tabela 01, os trabalhos encontrados.

Tabela 02: artigos localizados no mapeamento da bibliografia

	Título	Autor	Defesa
1	Proposta de Uma Unidade Didática Para a Aprendizagem Significativa De Conceitos de Física Moderna e Contemporânea	Thiago Oliveira Sebastião Coleho Polo 02 - UFG	Dezembro de 2015
2	PROBLEMATIZANDO o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma Proposta Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos Utilizando a Astronomia Como Temática Central	Robson Leone Evangelista Polo 12 - UFES	Mai de 2016
3	Abordagem de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na Escola Básica por meio de processo Avaliativo Progressivo	Eliúde Maia Xavier Polo 09 - UFERSA	Agosto de 2016
4	História da Ciência na Abordagem de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea: Evolução de Modelos Atômicos.	Luana Cristina da Cruz Polo 45 - UFGD	Novembro de 2016

5	Uma Proposta de Sequência Didática sobre o Efeito Fotoelétrico Para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica.	Jânio de Souza Leal Polo 44 – UESC	Agosto de 2017
6	Associação da luz com Ondas Eletromagnéticas em uma Abordagem dos Três Momentos Pedagógicos	Robson Cesar Cardoso Polo 17 – UFABC	Agosto de 2017
7	Física Moderna e Contemporânea: Intervenção didática Por Meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) no Ensino Médio	Adriana Barreto de Oliveira Siqueira Polo 34 - IFF	Agosto de 2017
8	Experimentos Potencialmente Significativos Para a Aprendizagem de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio Profissionalizante Utilizando Arduino Para a Aquisição de Dados	Sergilanio Lima Bandeira Polo 09 - UFERSA	Dezembro de 2017
9	Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Uma Sequência de Ensino Para Abordar o Efeito Fotoelétrico	Jocival Santos Souza Polo 44 - UESC	Março de 2018
10	Uma Proposta de Introdução à Física Moderna no Ensino Médio do Fenômeno de Tunelamento Quântico	Alípio Dias dos Santos Correia Polo 62 - UESB	Setembro de 2018
11	Interação das Radiações Eletromagnéticas com a Matéria Conceitos Clássicos da Física Moderna Propelidos por Jogos Pedagógicos em um Pano de Fundo Clássico	Renatto Barbosa de Souza Polo 62 - UESB	Mai de 2019
12	Sequência de Ensino Investigativa Para o Estudo do Efeito Fotovoltaico em uma Abordagem Experimental na Perspectiva da Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud	Djamilton Foicinha Campelo Polo 47 - UFMA	Setembro de 2019
13	Uma Estratégia de Ensino Diferenciada Para o Estudo de Tópicos de Física Moderna	Robson Cesar Costa Vilar Polo 62 - UESB	Agosto de 2020

Coelho (2015) estimula o interesse e a curiosidade para turmas do EM aproximando o conteúdo às experiências cotidianas dos alunos, tendo como finalidade a elaboração de um material didático de forma a contemplar conceitos como grandezas físicas contínuas e quantizadas, dualidade onda-partícula, além de diferentes processos físicos “modernos” como o efeito fotoelétrico e fotovoltaico, e a emissão estimulada aplicada ao LASER, LED e OLED de forma significativa e crítica.

Evangelista (2016) apresenta uma proposta didática de abordagem de FMC no EM, baseada nos três momentos pedagógicos utilizando assuntos associados a exoplanetas e a constituição de estrelas, como temática central motivadora para abordar e discutir conteúdos relacionados a fotometria, espectroscopia e estrutura da matéria.

Xavier (2016) propõe diferentes formas de abordagens da FMC de maneira que evidenciem uma maior dinamização do processo de ensino-aprendizagem, através da apresentação de seminários, banners biográficos, debates em mesas redondas e do uso de Tecnologias da Informação e Comunicação, propondo a utilização de alguns recursos educacionais para o ensino de FM, visando a melhoria da qualidade desse ensino.

Cruz (2016) apresenta uma proposta didática para trabalhar conteúdos de FMC no EM com o auxílio da história e da filosofia da ciência na descrição do desenvolvimento das investigações acerca da estrutura da matéria entre o final do século XIX e o início do século XX, período em que ocorreram intensas mudanças conceituais na Física e na ciência como um todo.

Leal (2017) baseado nos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov apresenta uma proposta de material didático, que permite abordar a FMC, o efeito fotoelétrico, de forma contextualizada, articulando-se o efeito fotoelétrico com aplicações práticas e tecnológicas de maneira que o aluno possa vivenciar os fenômenos relacionando-os com o seu cotidiano.

Cardoso (2017) também baseado nos Três Momentos Pedagógicos sugeridos por Delizoicov, apresentou uma sequência didática para o ensino de ondas eletromagnéticas para alunos do terceiro ano do ensino médio.

Siqueira (2017) investigou as potencialidades das UEPS para a facilitação do ensino de conteúdos de FMC em nível médio apoiando-se no referencial teórico da epistemologia da prática docente, no modelo de ensino de Gowin e nos princípios da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel que servem de base para a elaboração de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), resultando, na elaboração de um Produto Educacional, constituído pelas UEPS elaboradas sobre os temas Cosmologia e Radioatividade.

Bandeira (2017) ao invés de uma sequência didática propõe oficinas práticas nas quais são realizados experimentos, com o uso do Arduino, visando introduzir tópicos como: o efeito fotoelétrico, a emissão de radiação pelos corpos, o comportamento dual da luz e a discussão sobre materiais semicondutores para alunos do EM.

Souza (2018) autor apresenta uma sequência investigativa pautada nas cinco etapas propostas por Carvalho (2013) para ensinar noções do efeito fotoelétrico para alunos do terceiro ano do EM.

Correia (2018) apresenta uma SD baseada na Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira uma proposta educacional, baseada na analogia, estabelece a correlação do tunelamento quântico com a reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica de introdução para alunos do EM.

Souza (2019) tece considerações a respeito da forma pela qual conceitos de FMC podem ser tratados no EM com a implementação de uma SD com a finalidade de despertar o interesse dos alunos sobre o tema da interação das radiações eletromagnéticas com a matéria e conceitos de FMC por meio de jogos pedagógicos.

Campelo (2019) tem como objetivo a construção de um produto educacional para auxiliar professores, oferecendo leituras complementares e atividades práticas que abordam a geração da energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. aborda uma desenvolvido para promover o ensino do efeito fotovoltaico.

Vilar (2020) apresenta estratégias pedagógicas e tecnológicas por meio de uma sequência de ensino de física no EM com a utilização mapas conceituais, leitura e discussão de textos, aplicativos de celular e simulações interativas no computador.

## **2.1. Contribuição da Revisão Bibliográfica.**

A revisão bibliográfica foi de fundamental importância na elaboração da UEPS uma vez que, entendendo o conceito de Aprendizagem Significativa Crítica e conhecendo suas premissas, seus princípios programáticos, suas estratégias facilitadoras como os organizadores prévios e o mapa conceitual foi possível elaborar essa UEPS de FMC. A revisão possibilitou, também, comparar as visões de vários pesquisadores sobre um mesmo tema, percebendo que cada um teve um enfoque diferente, mas todos buscando novas formas de intervenções educacionais mais eficazes no processo ensino-aprendizagem.

Também, foi verificado há não existência de trabalhos mais abrangente sobre o ensino dos conceitos básicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino de ciências no ensino fundamental II, portanto, o produto educacional desta dissertação tem a pretensão de contribuir e incentivar a inserção da FMC no EFAF, uma vez que, com o avanço das tecnologias não faz mais sentido oferecer somente conteúdos que abordam a Física Clássica (FC) em tal segmento.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Paul Ausubel, formado em medicina, psicologia e psiquiatria, foi anunciada pela primeira vez na publicação *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, de 1963, tendo como autor D. P. Ausubel, sendo mais tarde confirmada pela publicação *A Cognitive Viewem*, em 1968, de autoria de D. P. Ausubel, J. D. Novak e H. Henesian (MENDONÇA, 2012).

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel pertence a corrente construtivista sendo classificada como cognitiva, pois trata, especialmente, de processos mentais encarregados da atribuição de significados àquilo que é aprendido, tornando possível a compreensão e transformação de informações armazenadas na estrutura mental do indivíduo - estrutura cognitiva - a qual ordena e integra as mesmas em determinadas áreas de conhecimento (MOREIRA, 2011a). A aprendizagem cognitiva ocorre quando os significados a serem assimilados, ou o conhecimento a ser aprendido, é guardado como informação organizada na memória do indivíduo que aprende.

Segundo Ausubel *et al.* (1980), o requisito mais importante para que a aprendizagem aconteça é aquilo que o aluno já conhece (uma imagem, um conceito, uma proposição, um modelo mental, entre outros, já significativos) visto que cada novo conhecimento a ser assimilado necessita interagir com um conhecimento preexistente em sua estrutura cognitiva. Ausubel *et al.* (1980) chamaram esse conhecimento prévio de subsunçor. Dessa forma, para que a aprendizagem significativa ocorra, uma nova informação necessita se relacionar de forma substantiva e não arbitrária com um subsunçor relevante, dando significado a novos conhecimentos na estrutura cognitiva do aprendiz (AUSUBEL *et al.*, 1980 MOREIRA, 2012)

No cérebro humano, novas informações são armazenadas e organizadas, formando uma hierarquia conceitual, na qual conceitos mais específicos são relacionados e assimilados àqueles mais gerais. Segundo Ausubel (2003), a assimilação é o encadeamento pelo qual novas informações, potencialmente significativas passam desde a sua aquisição, organização, retenção e/ou esquecimento na estrutura cognitiva do aprendiz.

O desenrolar dos processos de assimilação durante a aprendizagem se inicia quando novas informações, potencialmente significativas, se relacionam de modo seletivo com conhecimentos relevantes, mais gerais, inclusivos e mais estáveis, ancorados na estrutura cognitiva do aprendiz. O resultado principal dessa interação é a promoção de significados

dessas novas informações introduzidas. Esses significados são, posteriormente, armazenados (ligados) e organizados na memória com subsunçores correspondentes na estrutura cognitiva do aprendiz (AUSUBEL, 2003).

No processo de assimilação, ou acomodação, um conhecimento potencialmente significativo é assimilado quando se acomoda a um subsunçor de tal forma que, tanto a nova informação como o conceito subsunçor relacionado são modificados pela interação: o conhecimento novo passa a ter significados para o aprendiz e o conhecimento prévio adquire novos significados. Quando a interação entre esses dois fatores é fraca ou não ocorre, a aprendizagem é mecânica e instável.

Por meio de sucessivas interações, um determinado subsunçor vai progressivamente adquirindo novos significados, e quando ocorre a aprendizagem significativa esse é modificado, tornando-se mais elaborado, mais inclusivo e mais capaz de servir de ancoradouro para novas informações, esse processo é nomeado de diferenciação progressiva do conceito subsunçor. Contudo, quando as novas informações, ao interagir com os subsunçores, causam uma reorganização e alteração dos mesmos, então falamos que houve uma reconciliação integrativa (AUSUBEL *et al.*, 1980).

É verificado que a mente tende a reter conceitos mais gerais e estáveis do que conhecimentos novos e por isso ela torna as novas informações cada vez menos separadas dos subsunçores. Para Ausubel (1982, p. 4, *apud* MOREIRA; MASINI, 2012, p. 1),

Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retiradas, na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às novas ideias e conceitos.

Em suma, essas informações são assimiladas e posteriormente reduzidas. Esse segundo momento do processo de assimilação é denominado de assimilação obliteradora (AUSUBEL *et al.*, 1980). Após a obliteração, o subsunçor modificado com significado residual fica retido na estrutura cognitiva.

### **3.2. Tipos de Aprendizagem Significativa**

Para Ausubel *et al.* (1980), a Aprendizagem Significativa pode ocorrer de três tipos diferentes: Representacional, Conceitual e Proposicional.

A Aprendizagem Significativa Representacional é a forma mais simples de todas, sendo basicamente a aprendizagem do significado de determinados símbolos ou o que eles representam, de forma unitária. Ela ocorre quando novas palavras passam a representar para o aprendiz as ideias ou objetos equivalentes aos quais elas se referem.

A Aprendizagem Significativa Conceitual é similar à Aprendizagem Representacional, porém em uma condição mais abrangente e abstrata. Nesse tipo de aprendizagem, o conhecimento adquirido advém da combinação de símbolos distintos, podendo formar sentenças e resultando na representação de um conceito.

A Aprendizagem Significativa Proposicional é a mais complexa das três. Segundo Ausubel *et al.* (1980, p. 40):

Na Aprendizagem Proposicional, a tarefa de aprendizagem significativa não se reduz ao aprendizado do que representam as palavras isoladamente [aprendizado representacional] ou a combinação delas [aprendizado de conceitos]; refere-se antes de tudo, ao aprendizado do significado de novas ideias expressas de forma proposicional.

O objetivo desse tipo de aprendizagem significativa é, portanto, aprimorar a capacidade do aprendiz de expressar verbalmente um novo significado ou de novas ideias, por meio da combinação de símbolos que formam proposições verbais.

### **3.3. A Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira.**

A teoria de David Ausubel foca a aprendizagem cognitiva, baseia-se na premissa de que existe uma estrutura na qual organização e integração de aprendizagem se processam. Para ele, aprender significativamente é reconfigurar e ampliar as ideias já existentes na estrutura mental sendo capaz de acessar e relacionar novos conteúdos.

Na Aprendizagem Significativa Crítica, o aluno faz parte da sua cultura e, ao mesmo tempo, não é dominado pela mesma, permitindo a formação de um sujeito crítico. Nesse sentido, Moreira (2000) propõe alguns princípios, ideias ou estratégias facilitadoras da Aprendizagem Significativa Crítica:

- Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos. Para ser crítico de algum conhecimento, primeiramente tem que aprendê-lo significativamente;
- Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas;
- Princípio da não centralidade do livro texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais;



- Princípio do aprendiz como preceptor/representador (somos preceptores e representadores do mundo);
- Princípio do conhecimento como linguagem (aprender que a linguagem está totalmente implicada em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade);
- Princípio da consciência semântica (aprender que o significado está nas pessoas, mas não nas palavras);
- Princípio da aprendizagem pelo erro (aprender que os seres humanos aprendem corrigindo os seus erros);
- Princípio da desaprendizagem (aprender a desaprender e não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência);
- Princípio da incerteza do conhecimento (aprender que as perguntas são instrumentos de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para pensar);
- Princípio da “não utilização do quadro de giz” (aprender a partir de distintas estratégias de ensino);
- Princípio do abandono da narrativa (aprender que simplesmente repetir a narrativa de outra pessoa não estimula a compreensão), (MOREIRA E MASSONI, p. 28, 2015).

### 3.3.2. Unidades de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS

A construção da UEPS parte do princípio de que o ensino e a aprendizagem não são indissociáveis, dessa forma, não se pode dizer que o ensino ocorre se não se verifica a aprendizagem significativa. Neste contexto, todo o trabalho pedagógico deve ser subsidiado por materiais didáticos potencialmente significativos (MOREIRA, 2011).

Para Masini (2010), a aprendizagem significativa só é verificada quando o indivíduo é entendido em sua totalidade enquanto ser social e cultural. Por mais que a aprendizagem seja individual, as relações presentes entre o sujeito e o objeto de conhecimento e as interações entre professor e aluno são condições para a aprendizagem significativa.

A ocorrência de aprendizagem significativa depende de duas condições, a primeira se refere ao material a ser utilizado e a sua organização didática, a segunda depende da estrutura cognitiva do educando, de seus conhecimentos prévios e de sua disponibilidade para aprender (MOREIRA, 2012).

Com o objetivo de criar um ambiente adequado para a aprendizagem significativa, Moreira (2011) propôs a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) que são sequências de ensino voltadas para subsidiar a prática docente no sentido da promoção da aprendizagem significativa abrindo caminho para a pesquisa em ensino. Em outras palavras, a sequência didática elaborada pelo professor precisa considerar em sua estrutura o apreço pela Teoria da Aprendizagem Significativa. Contudo, Moreira (2011) considera, nos fundamentos da UEPS, características de outras teorias relacionadas à aprendizagem cognitiva, como as propostas por Novak, Vergound, Vygotsky, Gowin, Johnson-Laird e Moreira.

De acordo com Moreira e Massoni (2015), é proposto na Aprendizagem Significativa Crítica uma série de princípios, com ideias e estratégias subjacentes e facilitadoras, apresentados a seguir:

- *Princípio da interação social e do questionamento*: aprender/ensinar perguntas em lugar de respostas.
- *Princípio da não centralidade do livro de texto*: aprender a partir de distintos materiais educativos.
- *Princípio da consciência semântica*: aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras, nas coisas.
- *Princípio da aprendizagem pelo erro*: aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros.
- *Princípio da desaprendizagem*: aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes, ou obstaculizadores de novas aprendizagens.
- *Princípio da incerteza do conhecimento*: aprender que perguntas são instrumentos de percepção, constituem o principal instrumento intelectual disponível para os seres humanos. O conhecimento humano depende das definições, perguntas e metáforas utilizadas para construí-lo.
- *Princípio do abandono do quadro de giz (lousa)*: aprender a partir de diferentes estratégias de ensino. Abandono da narrativa do professor como única estratégia, (MOREIRA E MASSONI, p. 28, 2015).

Esses princípios propostos por Moreira são metafóricos, visto que, o aluno deve aprender a perguntar, mesmo tendo acesso as respostas, pois com isso este passa a duvidar e questionar o conteúdo. O livro texto é apenas mais um recurso, não um manual estabelecido. O aprendiz precisa ter consciência de que os significados não são permanentes e que aprender pelo erro é ter a oportunidade de corrigir e dar sequência a aprendizagem.

Os oito passos para a construção de uma UEPS segundo Moreira (2011, p.47) são:

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. Criar/propor situação(situações) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos,

problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;

4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;

6. Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Segundo Moreira (2010), a aprendizagem significativa decorre da interação entre os conhecimentos prévios e os conhecimentos novos de maneira substantiva (não ao “pé-da-letra”) e não-arbitrária (apenas conhecimentos relevantes presentes na estrutura cognitiva do aprendiz).

Segundo Moreira, o ensino da Física é muito focado na aprendizagem mecânica, na preparação para as provas, mas deveria se ocupar da aprendizagem significativa da Física. Moreira apresenta doze (12) desafios no ensino da Física inferidos em tópicos abordados ao longo do texto, não necessariamente em ordem prioritária:

- Dar mais atenção a conceitos do que fórmulas; há conceitos que são estruturantes da Física; conceitos estão na base da compreensão humana; a conceitualização é o núcleo do desenvolvimento cognitivo.
- Usar situações que façam sentido para os alunos; são as situações que dão sentido aos conceitos; as primeiras situações devem ser do entorno do aluno; as situações devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade e abstrações, mas devem fazer sentido para quem está aprendendo.
- Levar em conta o conhecimento prévio dos alunos o máximo possível; é uma variável fundamental para a aprendizagem de novos conhecimentos; pode funcionar como “ancoradouro” de novos conhecimentos ou como obstáculo epistemológico.
- Dar atenção a modelos e modelagem; as teorias físicas começam com modelos conceituais; modelos físicos contêm aproximações, não são exatos.
- Não ensinar as teorias físicas como definitivas e os princípios físicos como verdades; a Física é uma ciência em permanente construção; conceitos, princípios, modelos e teorias atuais são excelentes construções da Física, mas podem evoluir ou, eventualmente, serem abandonadas.
- Estimular o desenvolvimento de competências científicas como modelagem científica, argumentação baseada em evidências, comunicação de resultados, perguntar e questionar cientificamente. É muito mais importante desenvolver competências científicas do que decorar fórmulas e aplicá-las em situações conhecidas.
- Buscar um ensino híbrido com participação ativa dos alunos e do professor, centrado nos alunos e no professor; no processo ensino-aprendizagem educador e educando são igualmente importantes; não existe ensino sem aprendizagem.
- Incorporar as tecnologias digitais de informação e comunicação no ensino sem abandonar atividades presenciais, mantendo a interação social, a negociação de significados.

- Utilizar laboratórios virtuais; computadores e celulares fazem parte do entorno dos alunos; laboratórios virtuais podem ser usados em simulações, modelos computacionais, experimentos virtuais; a experimentação deve fazer parte do ensino da Física.
- Procurar sempre promover a aprendizagem significativa dos alunos; independente das estratégias didáticas e dos materiais instrucionais, considerar aprendizagem significativa como um paradigma.
- Na avaliação, buscar evidências de aprendizagem significativa; testes de múltipla escolha não avaliam, apenas medem a quantidade de respostas certas.
- *Despertar o interesse dos alunos pela Física.* Este é o maior de todos os desafios no ensino da Física. O ensino focado na preparação para a testagem, no aplicacionismo de fórmulas, na memorização de respostas corretas, provoca desinteresse dos alunos. É uma perda de tempo.
- Segundo Moreira é um grande desafio para o ensino da Física, mas vale a pena enfrentá-lo, pois a Física é importante na cidadania, está na base das tecnologias, é uma ciência exemplar. Moreira, Marco Antônio. Desafios no ensino da física (MOREIRA, 2021).

## 4. FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Este capítulo aborda os fundamentos de Física Moderna e Contemporânea, presentes no cotidiano, partindo das Equações de Maxwell até as aplicações destas ondas. A referência básica utilizada aqui são as notas de aula dos professores da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física: Professora doutora Cristina Porto Gonçalves e do Professor doutor Luizdarcy de Matos Castro. As bibliografias utilizadas pelos professores na produção deste material foram: Sears e Zemansky (2003); Halliday, Resnick, Walker (1996); Tipler (2000); Alonso e Finn (2014); Lopes J. Leite; Gasiorowicz, Stephen (1996); Caruso, Francisco e Oguri, Vitor (2006); Eisberg, R.; Resnick R. Física Quântica. Átomos, Moléculas, Núcleos e Partículas. Editora Campus (1998); Lima, Carlos R. A., Notas de Aulas de Física Moderna, Cap. 5, 2014, UFJF. [http://www.fisica.ufjf.br/~cralima/index\\_arquivos/FisicaModerna/capitulo4.pdf](http://www.fisica.ufjf.br/~cralima/index_arquivos/FisicaModerna/capitulo4.pdf)

### 4.1. Equações de Maxwell.

Nesta seção são apresentadas quatro equações consideradas como base para todos os fenômenos elétricos e magnéticos. Essas equações são denominadas equações de Maxwell em homenagem a James Clerk Maxwell, “essas equações são tão fundamentais para fenômenos eletromagnéticos quanto as leis de Newton para fenômenos mecânicos” (Raymond 2005). Maxwell (1831–1879), físico teórico escocês, desenvolveu a teoria eletromagnética da luz, a teoria cinética dos gases e explicou a natureza da visão em cores e dos anéis de Saturno. Maxwell possuía uma formidável habilidade matemática combinada com grande intuição, o que o capacitou a liderar o caminho no estudo do eletromagnetismo.

A representação dos fenômenos eletromagnéticos de forma completa foi introduzida por Maxwell, baseadas em quatro equações denominadas “Equações de Maxwell”.

A equação (1) é a lei de Gauss, que estabelece o fluxo elétrico através de qualquer superfície fechada é igual à carga líquida dentro dessa superfície dividida por  $\epsilon_0$ .

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (4.1.1)$$

A equação (2) é considerada a lei de Gauss para o magnetismo, onde é sempre nulo o fluxo magnético resultante através de uma superfície fechada porque a superfície não pode

envolver uma “carga magnética” (monopolo magnético) já que essa entidade não existe. Assim, o fluxo para fora da superfície (o número de linhas de campo magnético que saem em um volume fechado) é igual ao fluxo para dentro (número de linhas que entram desse volume) e o fluxo total é zero.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (4.1.2)$$

A equação (3) é a lei da indução de Faraday, que descreve como um campo magnético variável cria um campo elétrico. Estabelece que a integral de linha de um campo elétrico em torno de qualquer trajetória fechada é igual a taxa de variação do fluxo magnético através de qualquer superfície limitada por essa trajetória.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4.1.3)$$

A equação (4) é a forma generalizada da lei de Ampère, que descreve como uma corrente elétrica campo elétrico variável cria um campo magnético. Estabelece que a integral de linha de um campo magnético em torno de qualquer trajetória fechada é igual a taxa de variação do fluxo elétrico através de qualquer superfície limitada por essa trajetória.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (4.1.4)$$

## 4.2. Ondas Eletromagnéticas

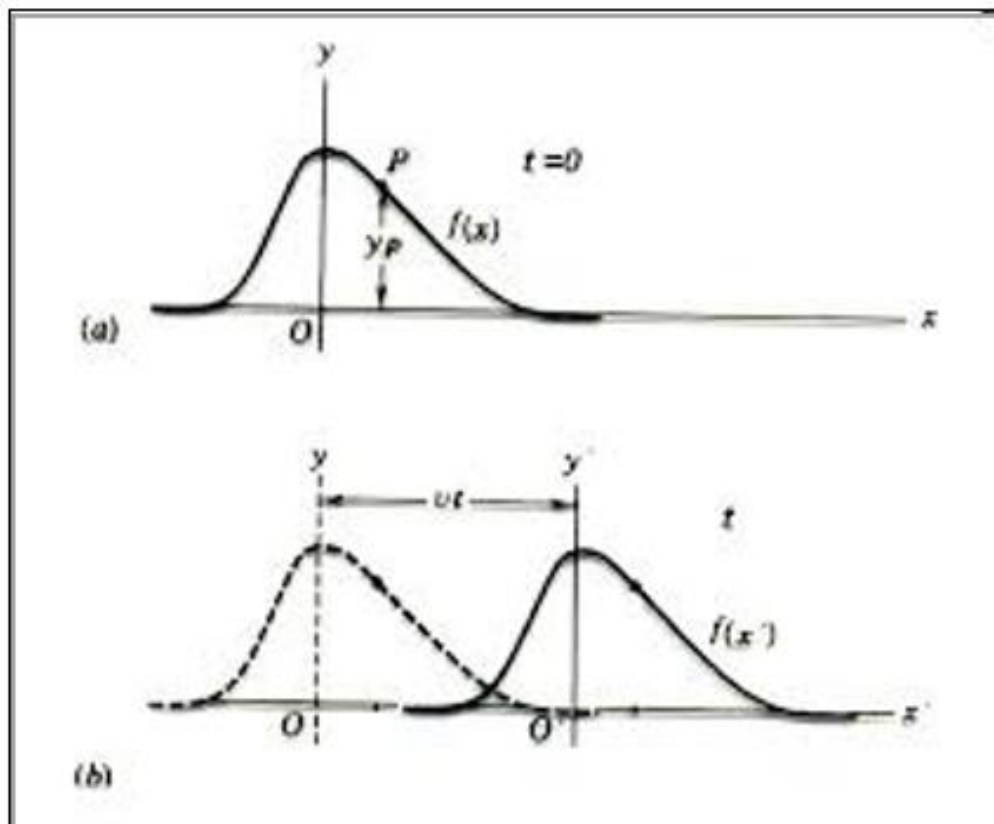
Maxwell demonstrou que uma onda eletromagnética consiste em campos elétricos e magnéticos oscilantes dependentes do tempo. Uma grande contribuição de Maxwell foi mostrar que um raio luminoso nada mais é que a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, ou seja, que a luz é uma onda eletromagnética.

No século XIX as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas eram a luz visível e os raios infravermelho e ultravioleta, mas utilizando as previsões de Maxwell, Heinrich Hertz descobriu as ondas de rádio, e que elas se propagam com a mesma velocidade da luz visível (HALLIDAY, 2012).

Utilizando as equações de Maxwell na forma diferencial é possível demonstrar que campos magnéticos e elétricos variáveis podem gerar ondas eletromagnéticas. Para isso é considerada a propagação da onda eletromagnética no vácuo para simplificar a resolução da equação de onda.

A propagação de uma onda é descrita por uma equação da onda que é representada por uma equação diferencial parcial.

Considerando a figura 08, em que no tempo  $t = 0$ , um pulso seja descrito por uma função no espaço como  $y = f(x)$ :



**Figura 8:** Propagação de uma onda.

Fonte: <http://lilith.fisica.ufmg.br/>

Uma Onda Progressiva com o pulso propagando da esquerda para direita em  $x$ , com velocidade constante  $v$ , após um determinado tempo  $t$  a sua amplitude  $y$  dada pela seguinte equação

$$y(x, t) = f(x - vt) \quad (4.2.1)$$

Mas se o pulso viajar da direita para a esquerda a velocidade muda e a onda será retrógrada:



$$y(x, t) = f(x + vt) \quad (4.2.2)$$

Considerando a expressão para uma onda progressiva, é necessário encontrar a equação diferencial, cuja solução seja esta função a derivada de uma função do tempo:

$$\frac{df(r(x))}{dx} = \frac{df dr}{dr dt} \quad (4.2.3)$$

Onde:  $f = f(r)$  e  $r = r(x)$

Para uma onda progressiva,  $r$  e  $f$  é uma função de duas variáveis:

$$r = (x - vt) \quad (4.2.4)$$

Escrevendo  $r$  e  $f$  em função do tempo:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{df \partial r}{dr \partial t} \quad (4.2.5)$$

Considerando  $x$  constante:

$$\frac{\partial r}{\partial x} = 1 \quad e \quad \frac{\partial r}{\partial t} = -v, \quad (4.2.6)$$

obtem-se:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{df \partial r}{dr \partial x} = \frac{df}{dr} \quad e \quad \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{df \partial r}{dr \partial t} = -v \frac{df}{dr} \quad (4.2.7)$$

Derivando a primeira em relação a  $x$  e a segunda em relação a  $t$ , e eliminando a derivada segunda em relação a  $r$ , nas equações encontra-se a equação de onda em uma dimensão, assim:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \quad ou \quad \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} \quad (4.2.8)$$

Desse modo, qualquer função de  $x$  e  $t$  satisfazendo a esta equação diferencial é uma onda em propagação com velocidade  $v$  ao longo do eixo  $x$ .

Para uma onda se propagando no espaço tridimensional, tem-se:

$$\vec{\nabla}^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}, \quad (4.2.9)$$

que é representado pelo laplaciano de  $f$ , sendo  $f$  uma função de  $x$ ,  $y$  e  $z$ , além do tempo:

$$\vec{\nabla}^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}. \quad (4.2.10)$$

Consideramos as equações de Maxwell na forma diferencial, para uma onda eletromagnética no vácuo, onde os valores das densidades de carga  $\rho$  e de corrente  $J$  são nulos, ficando as equações mais simplificadas:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad e \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad e \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4.2.11)$$

Aplicando o rotacional do lado esquerdo da terceira equação e sabendo que o divergente do campo elétrico no vácuo é nulo, tem-se:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla} \times \left( -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}). \quad (4.2.12)$$

Utilizando a lei de Ampère:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (4.2.13)$$

obtem-se:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}. \quad (4.2.14)$$

Como:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\vec{\nabla}^2 \vec{E}, \quad (4.2.15)$$

obtém-se a equação de onda do campo elétrico:

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (4.2.16)$$

O laplaciano do campo elétrico é:

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} \quad (4.2.17)$$

Então o campo elétrico é função de  $x$ ,  $y$  e  $z$ , além do tempo, sendo a medida da velocidade da luz no vácuo, encontrada quando substitui os valores da permissividade elétrica e da permeabilidade magnética:

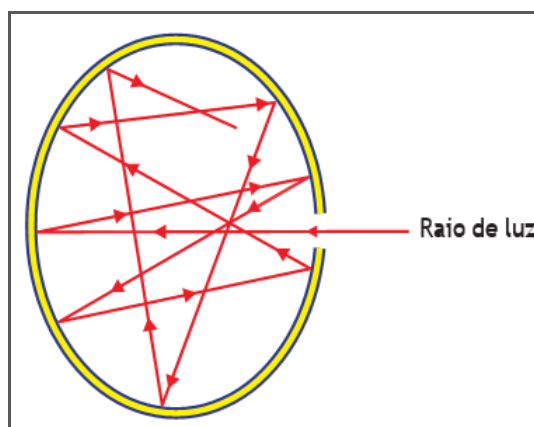
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2,997295 \times 10^8 \frac{m}{s} \quad (4.2.18)$$

Maxwell demonstrou através de uma teoria unificada, que as ondas eletromagnéticas são geradas sempre que as cargas elétricas forem aceleradas, e que consiste em campos elétricos e magnéticos oscilantes dependentes do tempo. Assim explicou o fato que as ondas eletromagnéticas eram radiadas por circuitos de corrente alternadas, o que foi confirmado por Hertz, em 1887. Provando que um raio luminoso nada mais é que a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, ou seja, que a luz é uma onda eletromagnética.

### 4.3. A Radiação de Corpo Negro e a Teoria de Planck

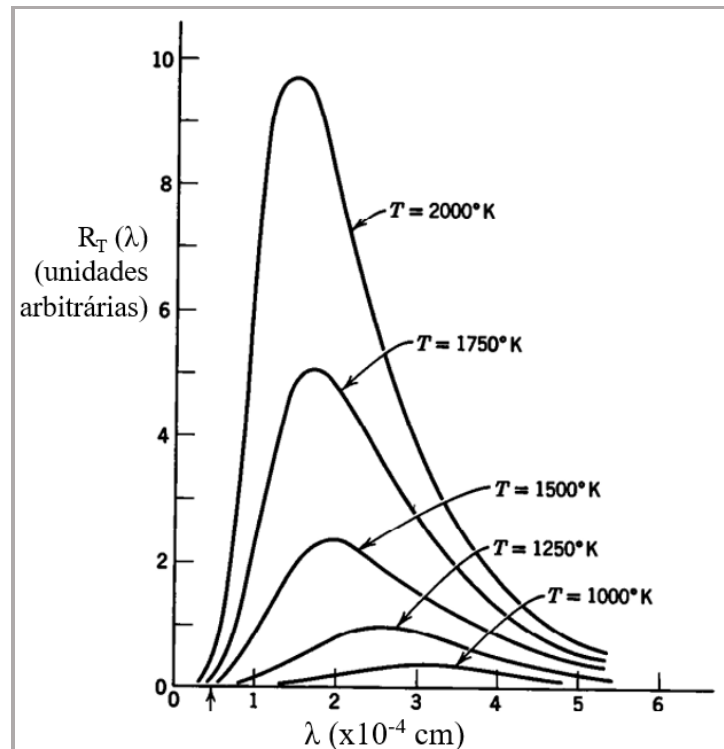
Um corpo em qualquer temperatura emite energia na forma de radiação térmica. As características dessa radiação dependem da temperatura e das propriedades do corpo. Na temperatura ambiente, os comprimentos de onda da radiação térmica estão principalmente na região infravermelha, e, portanto, não são observadas pelo olho humano. Quando sobe a temperatura do corpo, ele começa eventualmente a brilhar com coloração vermelha. A temperatura suficientemente elevada, o corpo parece ser branco, como o filamento quente de tungstênio de uma lâmpada. A radiação consiste em uma distribuição contínua de comprimentos de onda compreendendo todas as partes do espectro eletromagnético.

Um corpo negro é um corpo ideal, cujo espectro de radiação depende somente da sua temperatura; em outras palavras, todos os corpos negros a mesma temperatura  $T$  emitem radiação térmica com o mesmo espectro, independentemente de suas características individuais (Perez 2016). Um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda radiação eletromagnética que nele incide: nenhuma luz o atravessa e nem é refletida. A figura 09 representa a luz entrando em um objeto por uma cavidade incidindo na parede oposta, onde uma parte é absorvida, e outra é refletida em um ângulo aleatório. A luz continua ser refletida e, a cada vez que é refletida, parte dela é absorvida pela parede da cavidade. Após muitas reflexões, essencialmente toda energia incidente é absorvida.



**Figura 9:** Representação de um corpo negro  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Na figura 10 são mostrados dados experimentais para a distribuição de energia na radiação de corpo negro em cinco temperaturas.



**Figura 10:** Distribuição de energia na radiação de corpo negro  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

A distribuição da energia irradiada varia com o comprimento de onda e com a temperatura. Foram observadas duas características regulares da distribuição:

- **Característica 1.** A potência total da radiação emitida aumenta com a quarta potência da temperatura de acordo com a lei de Stefan, conforme a equação (4.3.1)

$$P = \sigma A e T^4 \quad \text{Lei de Stefan} \quad (4.3.1)$$

Para um corpo negro, a emissividade é exatamente,  $e = 1$ .

- **Característica 2.** O pico da distribuição dos comprimentos de onda se desloca para os comprimentos de onda menores à medida que a temperatura se eleva. Descobriu-se que esse deslocamento obedece à lei do deslocamento de Win:

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = 2,898 \times 10^{-3}$$

onde  $\lambda_{m\acute{a}x}$  é o comprimento de onda em que a curva tem o pico e T é a temperatura absoluta do corpo emitindo a radiação.

Em 1900, Max Planck desenvolveu um modelo estrutural para radiação do corpo negro que levou a uma equação teórica para a distribuição do comprimento de onda que concorda completamente com os resultados experimentais em todos os comprimentos de onda. Planck imaginou que existem osciladores na superfície do corpo negro, relacionada às cargas dentro das moléculas. Fez duas suposições audaciosas e controversas sobre a natureza desses osciladores:

- A energia do oscilador é quantizada – isto é, pode ter somente certos valores discretos de energia  $E_n$  dados por:

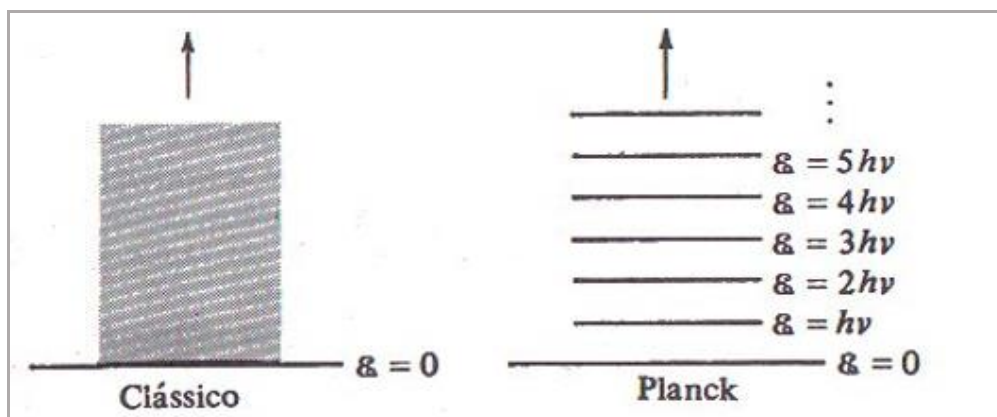
$$E_n = nhf \quad (4.3.2)$$

onde  $n$  é um número inteiro positivo chamado de número quântico,  $f$  é a frequência de oscilação do oscilador e  $h$  é a constante de Planck.

- Os osciladores emitem ou absorvem energia em unidades discretas. Eles emitem ou absorvem essas unidades de energia realizando uma transição de estado quântico para outro, de maneira similar às transições no modelo de Bohr. A equação abaixo mostra que a quantidade de energia emitida pelo oscilador é;

$$E = hf \quad (4.3.3)$$

Um oscilador emite ou absorve energia apenas quando muda de estados quânticos se permanecem em um estado quântico, nenhuma energia é absorvida ou emitida. A figura 11 mostra o modelo clássico e modelo quântico proposto por Planck.

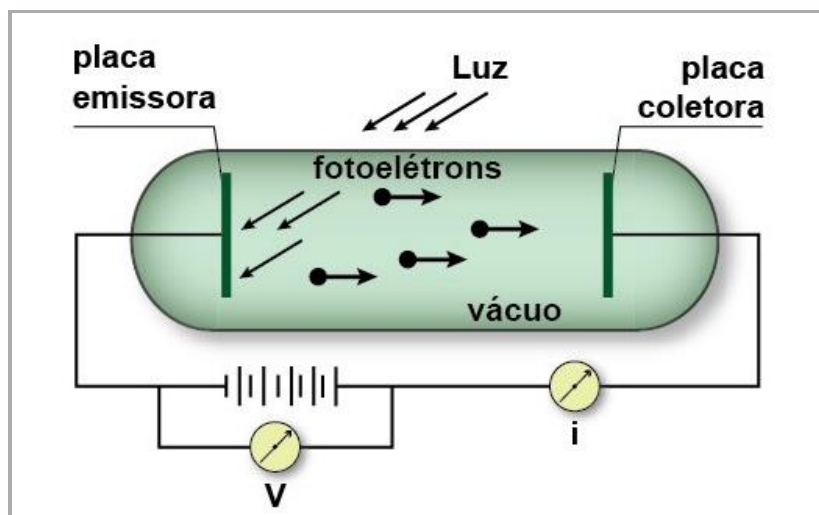


**Figura 11:** Modelo clássico e quântico de energia.  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018)

À esquerda são representadas as energias possíveis para um sistema clássico que são distribuídas continuamente. À direita estão os níveis de energia, possíveis, quantizados e as transições permitidas, propostas por Planck.

#### 4.4. O Efeito Fotoelétrico

No final do século XIX, experiências mostravam que a luz incidente sobre certas superfícies metálicas fazia que os elétrons fossem emitidos das superfícies. Esse fenômeno descoberto inicialmente por Hertz, é conhecido como efeito fotoelétrico. Os elétrons emitidos são chamados de fotoelétrons. A figura 12 é um esquema de um aparelho para o efeito fotoelétrico: um tubo de vidro evacuado contém uma placa metálica emissora (E) conectada ao terminal negativo de uma bateria. Uma outra placa metálica coletora (C) é mantida em um potencial positivo pela bateria. Quando o tubo é mantido no escuro, a leitura do perímetro é nula, contudo, quando a luz de um comprimento de onda apropriado incide sobre a placa E, é detectado uma corrente pelo perímetro indicando um fluxo de carga através do espaço ente E e C. Essa corrente surge dos elétrons emitidos pela placa negativa E e coletada na placa positiva C.



*Figura 12: Esquema de um aparelho de efeito fotoelétrico.*

Fonte: <[https://cdn-images-1.medium.com/max/1200/1\\*JtO-wIn2eyqc8TIKpzAxNA.jpeg](https://cdn-images-1.medium.com/max/1200/1*JtO-wIn2eyqc8TIKpzAxNA.jpeg)>

O efeito fotoelétrico foi investigado em detalhes pelos físicos alemães Wilhelm Hallwachs e Philipp Lenard durante os anos 1886-1900. Hallwachs e Lenard verificaram que, quando a luz monocromática incide sobre o catodo, nenhum elétron é emitido se a frequência

da luz incidente é menor que a chamada frequência de corte. Essa frequência mínima, abaixo da qual não ocorre emissão de elétrons é uma característica do material do catodo. Para a maioria dos metais, a frequência de corte está na região do ultravioleta, entre 200nm e 300nm; porém, para óxidos de potássio e de césio ela está na região visível do espectro, entre 400nm e 700nm.

Quando a frequência  $f$  é maior que a frequência de corte, alguns elétrons são emitidos do catodo com velocidade inicial elevada. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos pode ser obtida usando a equação, abaixo, do teorema trabalho-energia,

$$W_{total} = -eV_0 = \Delta K = 0 - K_{max} \quad (4.4.1)$$

ou seja;

$$K_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} m v_{m\acute{a}x}^2 \quad (4.4.2)$$

onde  $K_{m\acute{a}x}$  é a energia cinética máxima dos fotoelétrons.

#### 4.5. A Teoria do Fóton Proposta por Einstein

A análise correta do efeito fotoelétrico foi feita por Albert Einstein em 1905 (SEARS, ZEMANSKY, 2009). Desenvolvendo a hipótese apresentada 5 anos antes por Max Planck, Einstein postulou que um feixe de luz era constituído por pequenos pacotes de energia, chamados fótons ou *quanta*. A energia  $E$  de um fóton é igual a uma constante  $h$  vezes a frequência  $f$ . De acordo com a relação  $f = \frac{c}{\lambda}$  para ondas eletromagnéticas no vácuo, temos a equação

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}, \quad (4.5.1)$$

onde  $E$  é a energia de um fóton e  $h$  é a constante universal chamada constante Plank o valor numérico dessa constante é  $h = 6,6260693 \times 10^{-34}$  J.s.

Um fóton que atinge uma superfície é absorvido por um elétron. Essa transferência de energia é um processo do tipo “tudo ou nada”, ou seja, ou o elétron ganha a energia total do fóton ou não absorve nenhuma energia. Quando essa energia é maior que a função trabalho  $\Phi$ , o elétron pode escapar da superfície. Uma intensidade maior para a mesma frequência corresponde ao número proporcionalmente maior de fótons por segundo absorvido, portanto o



número de elétrons emitidos por segundo é proporcionalmente maior e a corrente é proporcionalmente maior.

A função trabalho  $\Phi$  é a energia mínima necessária para remover um elétron da superfície. Então Einstein aplicou a lei da conservação da energia e mostrou que a energia cinética máxima  $K_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} m v_{m\acute{a}x}^2$  de um elétron emitido pela diferença entre a função trabalho  $\Phi$  e a energia  $hf$  que o elétron ganhou do fóton e dado pela equação:

$$K_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} m v_{m\acute{a}x}^2 = hf - \Phi. \quad (4.5.2)$$

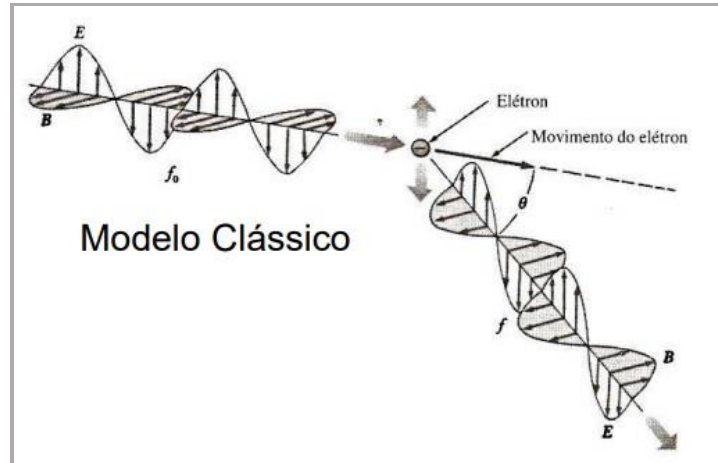
A função trabalho e as energias dos elétrons são geralmente expressas em elétron-volt (eV),  $1eV = 1,602 \times 10^{-19} J$ , a constante de Planck  $h = 6,626 \times 10^{-34} J \cdot s = 4,136 \times 10^{-15} eV \cdot s$ . Portanto, quanto maior for a função trabalho, maior deverá ser a frequência mínima necessária para a emissão de fotoelétrons.

#### 4.6. O Efeito Compton

Em 1919, Einstein propôs que o fóton de energia  $E$  transporta um momento (SEARS, ZEMANSKY, 2009). Antes de 1922, Artur Holly Compton e seus colaboradores já haviam acumulado evidências que mostravam que a teoria ondulatória clássica da luz falhava ao explicar o espalhamento dos raios X por elétrons (SEARS, ZEMANSKY, 2009). De acordo com a teoria clássica, das ondas eletromagnéticas incidentes de frequência  $f_0$  deveriam ter dois efeitos:

- (1) os elétrons deveriam acelerar na direção de propagação do raio X pela pressão da radiação, e
- (2) o campo elétrico oscilante deveria colocar os elétrons em oscilação na frequência aparente da radiação como detectada pelo elétron em movimento.

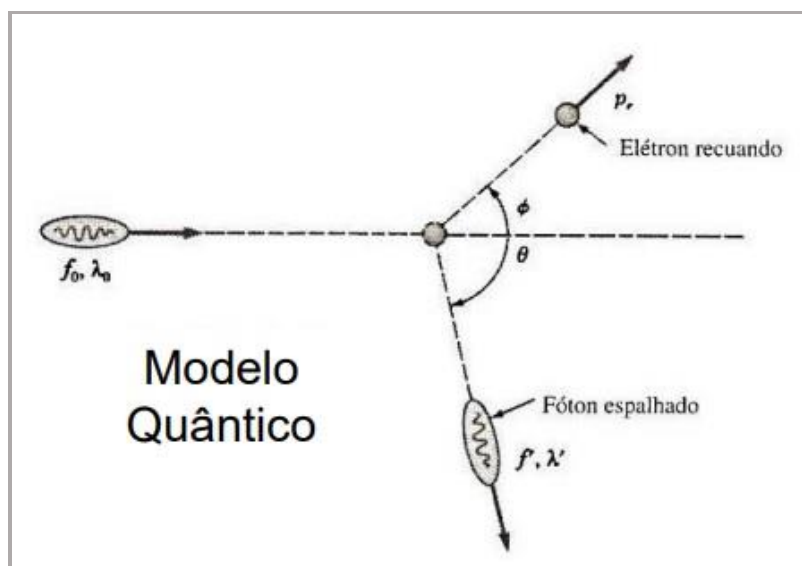
Esses dois efeitos estão mostrados na figura 13 abaixo, conforme a expectativa clássica.



**Figura 13:** O modelo clássico  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

Contrariamente com a previsão clássica, a experiência de Compton mostrou que, em um ângulo dado, era observada apenas uma frequência da radiação que era diferente da frequência da radiação incidente. Compton e seus colaboradores perceberam que o espalhamento dos fótons de raio X por elétrons podia ser explicado ao se tratar fótons como partículas pontuais com energia  $hf$  e momento  $\frac{hf}{c}$  e supondo-se que a energia e o momento do sistema isolado do fóton e do elétron são conservados em uma colisão (SEARS, ZEMANSKY, 2009).

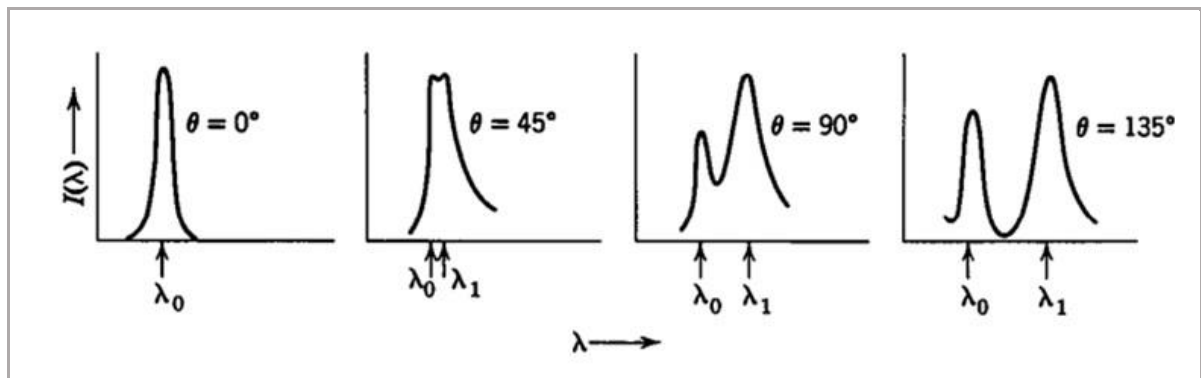
A figura 14 mostra a visão quântica da troca de momento e de energia entre um fóton individual de raio X e um elétron.



**Figura 14:** O modelo quântico.  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

A grande diferença entre esses modelos é que, no modelo clássico, o elétron é empurrado ao longo da direção de propagação dos raios X incidentes pela pressão de radiação. Já no modelo quântico, o elétron é espalhado por um ângulo  $\phi$  em relação a essa direção, como se fosse uma colisão do tipo bolas de bilhar.

Na figura 15, abaixo, Compton mediu a intensidade do raio X espalhado dependendo do comprimento de onda para quatro ângulos de espalhamento.



*Figura 15: Intensidade do raio X espalhado em função do comprimento de onda.*

Fonte: SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

O feixe incidente consistia em raios X monocromáticos com comprimento de onda  $\lambda_0 = 0,071 \text{ nm}$ .

Em sua análise, Compton previu que o pico deslocado deveria depender do ângulo de espalhamento  $\theta$  como:

$$\lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta), \quad (4.6.1)$$

expressão conhecida como equação do deslocamento Compton, onde  $m_e$  é a massa do elétron,  $\frac{h}{m_e c}$  é chamada de comprimento de onda Compton e  $\lambda_c$  do elétron tem um valor de  $\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 0,00243 \text{ nm}$ .

#### 4.7. Fótons e Ondas Eletromagnéticas

Onda ou partícula? Essa pergunta incomodou muito os físicos. Segundo a teoria quântica; a resposta depende do fenômeno que está sendo observado. Temos que aceitar os dois comportamentos e admitir que a natureza da luz não pode ser descrita a partir de uma visão clássica, a luz tem uma natureza dual: possui tanto características ondulatórias quanto

corpúsculares. Os comportamentos corpúsculares e o ondulatório da luz complementam-se mutuamente.

#### 4.8. Ondas de Matéria (Onda de De Broglie)

Além das ondas que algumas vezes se comportam como partículas, a mecânica quântica estendeu o conceito da dualidade onda-partícula a partículas que apresentam um comportamento ondulatório. Em 1923, Louis Victor de Broglie postulou que, como os fótons têm características corpúsculares e ondulatórias, talvez todas as formas de matéria tenham propriedades ondulatórias assim como corpúsculares. Essa era uma ideia altamente revolucionária sem confirmação experimental na época. De acordo com De Broglie, um elétron em movimento exibe tanto características ondulatórias quanto corpúsculares (SEARS, ZEMANSKY, 2009).

De acordo com as equações do momento  $\mathbf{p} = \frac{E}{c}$  e da energia de um fóton  $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ , o momento de um fóton pode ser expresso como;

$$\mathbf{p} = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{hc}{c\lambda} = \frac{h}{\lambda}.$$

De Broglie sugeriu que as partículas materiais de momento  $\mathbf{p}$  também devem ter propriedades ondulatórias e comprimento de onda correspondente. O comprimento de onda de De Broglie de uma partícula é

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}. \quad (4.8.1)$$

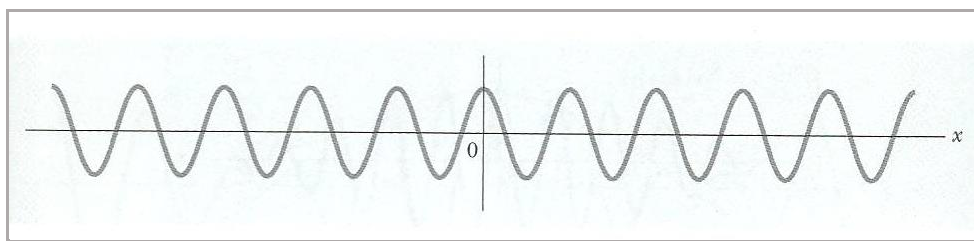
As hipóteses de De Broglie sobre o comportamento ondulatório dos elétrons se confirmaram em 1927, quando Davisson e Germer observaram o padrão de interferência em feixes de elétrons (Perez 2016).

#### 4.9. A Partícula Quântica

No passado, os modelos corpusculares e ondulatórios para os objetos clássicos eram distintos. A noção de que tanto a luz quanto as partículas materiais têm propriedades corpusculares e ondulatórias não se ajusta a essa distinção.

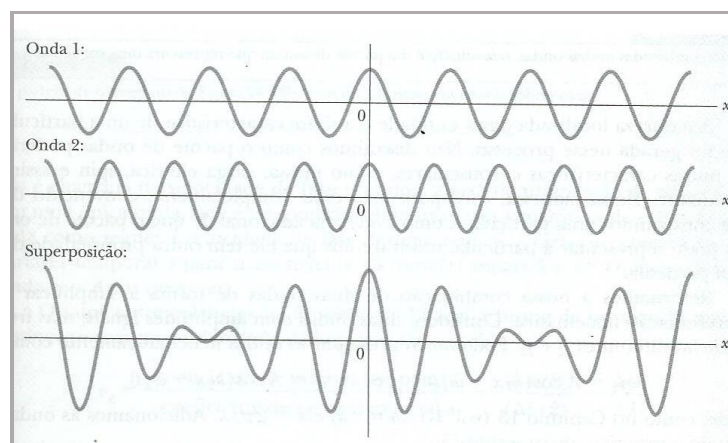
O reconhecimento da natureza dual leva a um novo modelo de simplificação, a objeto quântico. Nesse modelo, entidades têm características corpusculares e ondulatórias, é preciso escolher um comportamento adequado – corpuscular ou ondulatório – para compreender um fenômeno particular.

Considere uma onda ao longo do eixo  $x$ , com uma de suas cristas localizadas em  $x = 0$ , como mostra na figura abaixo.



**Figura 16:** Onda idealizada com uma frequência determinada.  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

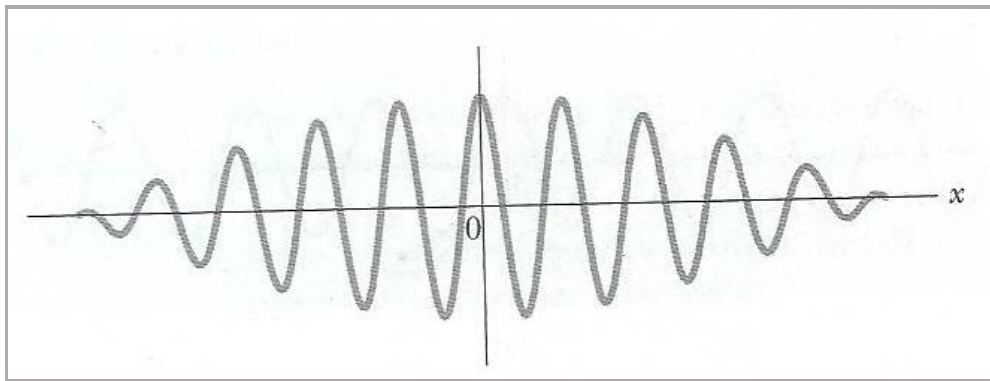
Considere agora traçar uma segunda onda, de mesma amplitude, mas com frequência diferente, com uma de suas cristas localizadas em  $x = 0$ . O resultado da superposição das duas ondas é um batimento, pois as ondas estão alternadamente em fase e fora de fase conforme na figura abaixo.



**Figura 17:** Batimento das ondas 1 e 2.  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

A figura 17 mostra duas ondas ideais com frequências ligeiramente diferentes, a superposição dessas duas ondas resulta em batimentos. As regiões do espaço onde ocorre interferência construtiva são diferentes das regiões onde ocorre a interferência destrutiva.

Considere agora que são adicionadas cada vez mais ondas a nossas duas ondas originais, com cada onda nova tendo uma nova frequência. Cada onda nova é adicionada de tal forma que uma de suas cristas ocorra em  $x = 0$ . O resultado em  $x = 0$  é que todas as ondas se adicionam construtivamente. Quando consideramos muitas ondas, a probabilidade de um valor positivo de uma função de onda em qualquer ponto  $x$  é igual à probabilidade de um valor negativo, e ocorre interferência destrutiva por toda parte, exceto em  $x = 0$ , onde fizemos a superposição de todas as cristas conforme a figura abaixo.



**Figura 18:** Pacote de ondas.

**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

A figura 18, representa a combinação de muitas ondas, o resultado é um pacote de ondas, que representa um objeto quântico. A pequena região de interferências construtivas é denominada pacote de ondas. Essa é uma região localizada do espaço que é diferente de todas as outras regiões. Podemos identificar o pacote de ondas como uma partícula – ele tem a natureza de uma partícula.

Para simplificar matematicamente foi combinado somente duas ondas. Considere duas ondas com amplitudes iguais, mas frequências diferentes  $f_1$  e  $f_2$ . Podemos expressar as ondas matematicamente como:

$$y_1 = A \cos(k_1 x - \omega_1 t) \quad e \quad y_2 = A \cos(k_2 x - \omega_2 t),$$

onde  $\omega = 2\pi f$  e  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  que é adicionado as ondas usando o princípio de superposição:

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(k_1 x - \omega_1 t) + A \cos(k_2 x - \omega_2 t) .$$

É conveniente escrever essa equação em uma forma de identidade trigonométrica, usando:

$$\cos a + \cos b = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \cos\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

Sendo  $a = k_1x - \omega_1t$  e  $b = k_2x - \omega_2t$ , encontramos:

$$\begin{aligned} y &= 2A \cos\left[\frac{(k_1x - \omega_1t) - (k_2x - \omega_2t)}{2}\right] \cos\left[\frac{(k_1x - \omega_1t) + (k_2x - \omega_2t)}{2}\right] \\ &= \left[2A \cos\left(\frac{\Delta k}{2}x - \frac{\Delta\omega}{2}t\right)\right] \cos\left(\frac{k_1+k_2}{2}x - \frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right). \end{aligned} \quad (4.9.1)$$

O fator entre colchetes representa a evolutória da onda. Observe que esse fator também tem a forma matemática de uma onda. Essa evolutória da combinação pode deslocar-se através do espaço com uma velocidade diferente da velocidade das ondas individuais.

Como estamos explorando a probabilidade de que a evolutória das ondas combinadas represente a partícula, considere uma partícula livre deslocando-se com a velocidade  $u$  que é pequena comparada com a velocidade da luz. A energia da partícula é sua energia cinética:

$$E = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{p^2}{2m}$$

Diferenciando esta equação em relação a  $p$ , obtem-se:

$$v_g = \frac{dE}{dp} = \frac{d}{dp}\left(\frac{p^2}{2m}\right) = \frac{1}{2m}(2p) = u \quad (4.9.2)$$

Assim, a velocidade de um grupo do pacote de ondas que foi modelado para representar a partícula é idêntica à velocidade dessa partícula. Isso nos dá confiança adicional de que o pacote de ondas é uma maneira razoável de construir uma partícula quântica.

#### 4.10. O Princípio da Incerteza

Werner Heisenberg (1901 – 1976), físico teórico alemão, contribuiu significativamente para a física, incluindo o seu princípio da incerteza, pelo qual recebeu o Prêmio Nobel de física em 1932; o desenvolvimento de um modelo abstrato da mecânica quântica das matrizes; a previsão de duas formas do hidrogênio molecular e modelos teóricos do núcleo (SEARS, ZEMANSKY, 2009).

A descoberta que a matéria possui uma natureza dual onda-partícula forçou uma avaliação da linguagem cinemática usada para descrever a posição e o momento linear de uma partícula. Quando observado uma partícula em escala suficientemente pequena, existem limitações fundamentais que impedem a exata determinação da sua posição e sua velocidade. Muitos aspectos de uma partícula só podem ser descritos em termos de probabilidades.

Sempre que se mede a posição ou a velocidade de uma partícula em certo instante, incertezas experimentais estão incluídas nas medidas. A teoria quântica prevê que é fundamentalmente impossível medir simultaneamente a posição e o momento de uma partícula com exatidão infinita. Em 1920, Heisenberg introduziu essa noção, que é conhecida hoje em dia como princípio da incerteza de Heisenberg.

Se são feita uma medida da posição de uma partícula com uma incerteza  $\Delta x$  e a medida simultânea do seu momento com uma incerteza  $\Delta p_x$ , o produto das duas incertezas nunca pode ser menor que  $\frac{\hbar}{2}$ , conforme a equação (4.10.1).

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}, \quad (4.10.1)$$

onde  $\hbar$  é a constante de Planck normalizada, usado para simplificar  $\frac{h}{2\pi}$ .

Isto é, é fisicamente impossível medir simultaneamente a posição exata e o momento exato de uma partícula. Para detectar uma partícula, o detector teria de interagir com ela, e essa interação produziria inevitáveis perturbações (espalhamentos) no movimento da partícula, introduzindo uma incerteza em seu estado inicial. Incidindo sobre a partícula fótons com comprimentos de onda muito curtos para localizá-la melhor, o momento linear mais elevado  $h/\lambda$  faria a partícula sofrer um espalhamento maior, produzindo maior incerteza no momento linear. Portanto o processo de observação é sempre um processo de espalhamento.

Outra forma do princípio da incerteza são as variáveis correspondentes à frequência e o tempo.



Para o caso de uma partícula livre podemos deduzir da equação (4.10.1) para chegar em:

$$\Delta p_x \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (4.10.2)$$

Considere um elétron movendo-se ao longo do eixo  $x$  com energia:

$$E = \frac{p_x^2}{2m} \quad (4.10.3)$$

Se  $p_x$  tem uma incerteza  $\Delta p_x$ , então a incerteza em  $E$  é dada por:

$$\Delta E = \frac{2p_x \cdot \Delta p_x}{2m} = \frac{p_x \cdot \Delta p_x}{m} = v_x \cdot \Delta p_x \quad (4.10.4)$$

Onde  $v_x$  pode ser interpretado como a velocidade de recuo ao longo de  $x$  do elétron que é iluminado em uma medida da posição.

Se o intervalo de tempo necessário para a medida é  $\Delta t$ , então a incerteza em sua posição  $x$  para uma partícula quântica com velocidade conhecida é dada por:

$$\Delta x = v_x \cdot \Delta t \quad (4.10.5)$$

Combinando as duas equações temos:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v_x} \quad \text{e} \quad \Delta E = v_x \Delta p_x, \quad (4.10.6)$$

$$\Delta E \cdot \Delta t = \Delta p_x \cdot \Delta x. \quad (4.10.7)$$

Mas

$$\Delta p_x \Delta x \geq \frac{\hbar}{2} \quad (4.10.8)$$

Portanto:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (4.10.9)$$

A aplicação da relação de incerteza acima é para estados instáveis, tal como um estado excitado de um átomo, ou um núcleo instável. Neste caso identifica-se  $\Delta t$  com o tempo de vida médio do estado (SEARS, ZEMANSKY, 2009). Concluimos, então, que a precisão da definição da energia de um estado é limitada a nível fundamental pelo tempo de vida do estado.

#### 4.11. Uma Interpretação da Mecânica Quântica.

A probabilidade, por unidade de volume, de encontrar um fóton em uma certa região do espaço em um certo instante de tempo é proporcional ao número de fótons por unidade de volume nesse instante:

$$\frac{\textit{probabilidade}}{V} \propto \frac{N}{V} \quad (4.11.1)$$

O número de fótons por unidade de volume é proporcional à intensidade da radiação:

$$\frac{N}{V} \propto I \quad (4.11.2)$$

Que é a ponte com modelo ondulatório, lembrando que a intensidade da radiação eletromagnética é proporcional ao quadrado da amplitude do campo eletro para a onda eletromagnética:

$$I \propto E^2 \quad (4.11.3)$$

Relacionando o início e o fim desta cadeia de proporcionalidades, temos:

$$\frac{\textit{probabilidade}}{V} \propto E^2 \quad (4.11.4)$$

O resultado disso é chamado simplesmente a amplitude da onda associada à partícula de amplitude de probabilidade, ou de função de onda, e lhes damos o símbolo de  $\Psi$ . Em geral, a função de onda  $\Psi$  é uma função variável complexa. O quadrado absoluto  $|\psi|^2 = \Psi^* \Psi$ , onde  $\Psi^*$  é o complexo conjugado de  $\Psi$ , sempre será um número real positivo e é proporcional à probabilidade por unidade de volume de encontrar uma partícula em um certo ponto em algum instante.

A equação de De Broglie relaciona o momento de uma partícula com seu comprimento de onda através da relação  $\mathbf{p} = \frac{h}{\lambda}$ . Se uma partícula livre ideal tem um momento  $\mathbf{p}_x$  conhecido com precisão, sua função de onda é uma onda senoidal com comprimento de onda  $\lambda = \frac{h}{p_x}$ , e a partícula tem probabilidade igual de estar em qualquer ponto ao longo do eixo  $x$ . A função de onda para tal partícula livre deslocando-se ao longo do eixo  $x$  pode ser escrita como:

$$\Psi(x)A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) = A \sin(kx) \quad (4.11.5)$$

Onde  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  é o número de onda angular e  $A$  é uma amplitude constante. Embora não se possa medir  $\Psi$ , pode medir a grandeza  $|\psi|^2$ , que pode ser interpretado como segue. Se  $\Psi$  representa uma única partícula, então  $|\psi|^2$  – denominada densidade probabilidade – é a probabilidade relativa por unidade volume que a partícula será encontrada em qualquer ponto no volume.

Nesta seção é lidado apenas com sistemas unidimensionais, nos quais a partícula tem que estar localizada ao longo do eixo  $x$  e, assim, é substituído  $dV$  por  $dx$ . Neste caso a probabilidade  $P_{(x)}dx$  de que a partícula seja encontrada em um intervalo infinitesimal  $dx$  ao redor do ponto  $x$  é:

$$P_{(x)}dx = |\psi|^2 dx \quad (4.11.6)$$

Como a partícula tende estar em algum lugar ao longo do eixo  $x$ , a soma das probabilidades sobre todos os valores de  $x$  tem de ser 1:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi|^2 dx = 1 \quad (4.11.7)$$

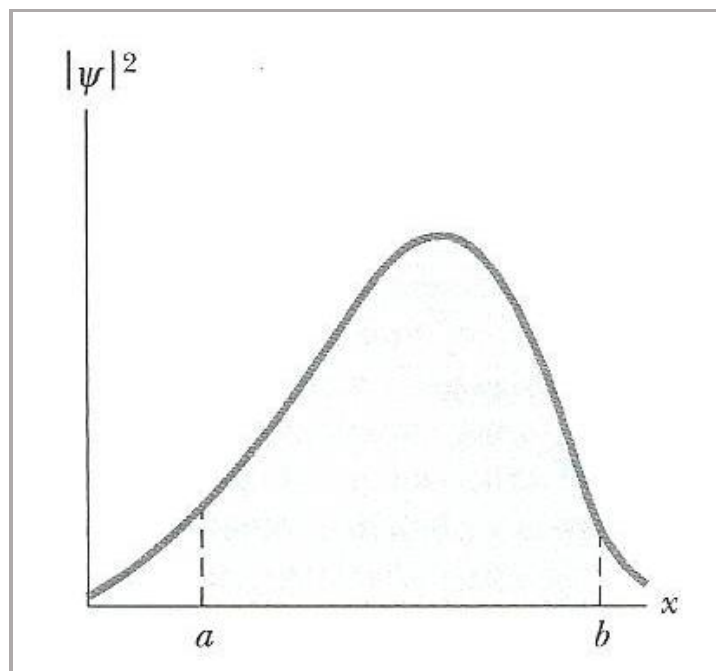
Diz-se que está normalizada qualquer função de onda que satisfaça à equação 38. A normalização é simples uma afirmação de que a partícula existe em algum ponto em todos os instantes.

Embora não seja possível especificar a posição de uma partícula com certeza, é possível, através de  $|\psi|^2$ , especificar a probabilidade de observá-la em uma pequena região ao redor de

um certo ponto. A probabilidade de encontrar a partícula no intervalo de tamanho arbitrário  $a \leq x \leq b$  é:

$$P_{ab} = \int_a^b |\Psi|^2 dx \quad (4.11.8)$$

A probabilidade  $P_{ab}$  é a área sob a curva de  $|\Psi|^2 dx$  em função de  $x$  entre os pontos  $x = a$  e  $x = b$  conforme o gráfico da figura 19, abaixo.



*Figura 19: Densidade de probabilidade.*

Fonte: SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2018).

A área sob a curva da função densidade de probabilidade  $|\Psi(x)|^2$ , no gráfico acima representa a probabilidade de uma partícula estar no intervalo  $a \leq x \leq b$ .

Embora  $\psi$  não seja uma grandeza mensurável, todas as grandezas mensuráveis de uma partícula, tais como sua energia e momento, podem ser derivadas de um conhecimento  $\psi$ . Por exemplo, uma vez que é conhecida a função de onda para uma partícula é possível calcular a posição média onde você encontraria a partícula após várias medidas. Essa posição média é chamada de valor esperado de  $x$ , sendo definida pela equação

$$\langle x \rangle \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* x \Psi dx \quad (4.11.9)$$

São usados os símbolos  $\langle \ \rangle$  para designar valores esperados. Além disso, pode-se encontrar o valor esperado de qualquer função  $f(x)$  associada à partícula usando-se a seguinte equação:

$$\langle f(x) \rangle \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* f(x) \Psi dx \quad (4.11.10)$$

#### 4.12. Modelos atômicos

Neste tópico, é abordada a evolução atômica e os principais modelos atômicos relevantes para o estudo da estrutura da matéria. Os conceitos básicos serão introduzidos para o átomo de hidrogênio como um modelo quântico completo, o que permite compreender os espectros de absorção e de emissão dos átomos. Embora o átomo de hidrogênio seja o sistema atômico mais simples, é um sistema especialmente importante para ser compreendido por vários motivos (SERWAY, Raymond; JEWTT, John, 2018):

- Muito do que aprendemos sobre o átomo de hidrogênio, com o seu único elétron, pode ser estendido a íons monoeletrônicos como  $\text{He}^+$   $\text{Li}^{2+}$ .
- O átomo de hidrogênio é um sistema ideal para fazer testes precisos da teoria comparados com a experiência e para melhorar a compreensão global da estrutura atômica.
- Os números quânticos utilizados para caracterizar os estados permitidos do hidrogênio podem ser utilizados para descrever qualitativamente os estados permitidos de átomos mais complexos. Essa caracterização nos permite compreender a tabela periódica dos elementos, que é um dos maiores triunfos da física quântica.
- As ideias básicas da estrutura atômica precisam ser bem compreendidas antes de tentarmos lidar com as complexidades das estruturas moleculares e com as estruturas dos sólidos.

O átomo é uma ideia relativamente recente. No entanto, palavra átomo, foi utilizada pela primeira vez na Grécia antiga, por volta de 400 aC. Demócrito, filósofo grego, acreditava que todo tipo de matéria fosse formado por diminutas partículas que denominou átomos, sem divisão. Acreditava-se que tais partículas representavam a menor porção de matéria possível, ou seja, eram indivisíveis. Como esta ideia não pôde ser comprovada por Demócrito e seus contemporâneos, ela ficou conhecida como 1º modelo atômico, mas meramente filosófico.

#### 4.12.1. Modelo Atômico de Dalton

As ideias de Demócrito permaneceram inalteradas por aproximadamente 2200 anos. Em 1808, Dalton, retomou estas ideias sob uma nova perspectiva: A experimentação. Baseado em reações químicas e pesagens minuciosas, chegou à conclusão de que os átomos realmente existiam e que possuíam algumas características:

➤ Toda matéria é formada por diminutas partículas esféricas, maciças, neutras e indivisíveis chamadas átomos.

➤ Existe um número finito de tipos de átomos na natureza.

A combinação de iguais ou diferentes tipos de átomos originam os diferentes materiais.

Do início do século XIX até próximo a 1900 o átomo era tratado como algo indivisível.

#### 4.12.2. Modelo Atômico de Thomson

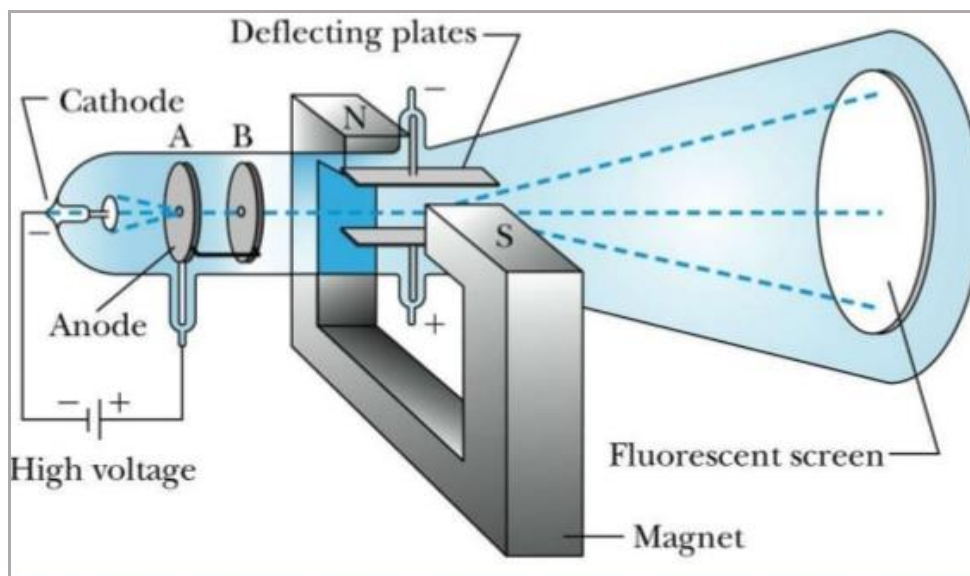
Joseph J. Thomson, físico inglês, propôs um modelo conhecido como “Pudim de Passas”, era composto por uma esfera de carga positiva entremeada com elétrons. O elétron é uma das partículas carregadas de maior relevância para a formação da estrutura da matéria, sendo descoberto em 1897. Mesmo antes da estrutura atômica ter sido confirmada por experiências, suspeitava-se que os átomos tinham uma estrutura interna formada por elétrons. Várias evidências foram observadas antes de 1900 que levaram a esta convicção:

➤ A experiência de Faraday sobre eletrólise, que detectava a presença de partículas carregadas, ou íons em soluções;

➤ Emissão de radiação pela matéria, indicando a existência de alguns tipos de oscilações de cargas no interior de sistemas atômicos;

➤ Fenômenos radioativos, que demonstravam a habilidade de alguns elementos em mudar certos espectros de suas composições internas.

O elétron ficou definitivamente caracterizado em 1897 por Thomson por meio de medidas precisas da razão entre sua carga e sua massa  $\frac{e}{m}$ , Thomson descobriu o elétron observando feixes de partículas carregadas submetidos a campos elétrico e magnético num tubo de raios catódicos mostrado na figura 20 abaixo.



**Figura 20:** Experimento raios catódicos de Thomson.  
**Fonte:** EISBERG, Robert; RESNICK Robert (1995).

A experiência consistiu na passagem de um feixe de elétrons entre dois campos, um elétrico e outro magnético. A carga negativa do elétron foi identificada observando a deflexão do feixe quando submetido aos campos elétrico e magnético transversais. Thomson determinou a razão  $\frac{e}{m}$  atuando no valor do campo elétrico aplicado, até que as forças elétrica e magnética fossem equilibradas. Essa condição é alcançada quando a deflexão do feixe deixa de ser observada numa tela fosforescente (SERWAY, JEWETT, 2018).

Como a massa do elétron é muito menor que a massa do átomo, praticamente toda a massa do átomo deveria estar associada à massa das cargas positivas.

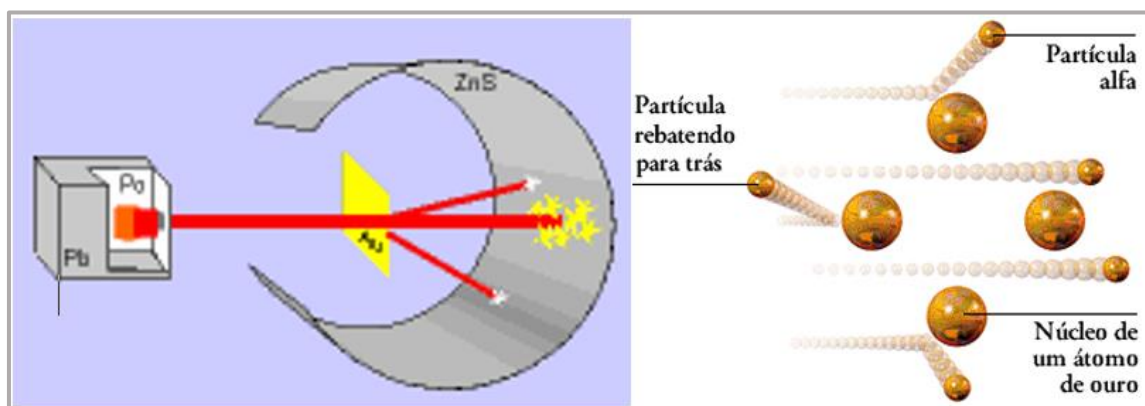
Com a descoberta dos prótons e elétrons, Thomson propôs um modelo de átomo no qual os elétrons e os prótons, estariam uniformemente distribuídos, garantindo o equilíbrio elétrico entre as cargas positiva dos prótons e negativa dos elétrons. Mas esse modelo caiu em descrédito em 1911 quando Rutherford publicou um novo modelo.

#### 4.12.3. Modelo de Rutherford

Ernest Rutherford já tinha ganhado o prêmio Nobel de Química em 1908 pela investigação do decaimento de substâncias radioativas. Entretanto, seu maior desejo, como um físico, era dar uma contribuição relevante para a física. A análise de Rutherford mostrou que, em vez de estar espalhada por todo o átomo, a carga positiva está concentrada em uma região muito

pequena, ou *núcleo*, no centro do átomo. Este foi um dos mais importantes progressos da física atômica e foi a base da física nuclear (SERWAY, JEWETT, 2018).

Rutherford sabia que as partículas  $\alpha$  eram átomos de Hélio duplamente ionizados, isto é, átomos de He com dois elétrons retirados. Rutherford estudou o espalhamento de partículas  $\alpha$  por películas delgadas de diferentes elementos metálicos, usando a montagem experimental ilustrada na figura 21.



**Figura 21:** Espalhamento de partículas alfas no núcleo do ouro.

Fonte: EISBERG, Robert; RESNICK Robert (1995).

Usando uma tela sulfeto de zinco (ZnS), que emite um clarão ao ser atingida por uma partícula  $\alpha$ , Rutherford e seus colaboradores observaram que algumas partículas  $\alpha$  sofriam grandes desvios ao atravessar a folha de ouro; alguns chegavam a inverter o sentido do movimento. Nas palavras de Rutherford, “É quase como se você desse um tiro de canhão em uma folha de papel e a bala ricocheteasse”. Com base nos resultados desses experimentos, Rutherford concluiu que a carga positiva, em vez de estar distribuída uniformemente em todo átomo, estava concentrada em uma pequena região que chamou de núcleo

Observando as cintilações na tela de ZnS, Rutherford verificou que muitas partículas "alfa" atravessavam a lâmina de ouro, sem sofrerem desvio, e poucas partículas "alfa" sofriam desvio. Como as partículas "alfa" têm carga elétrica positiva, o desvio seria provocado por um choque com outra carga positiva, isto é, com o núcleo do átomo, constituído por prótons.

Em síntese, no modelo de Rutherford, os elétrons giravam em órbitas análogas às dos planetas no sistema solar. Esse modelo era inconsistente uma vez que o átomo não possuía estabilidade, pois ao girarem, de acordo com a teoria eletromagnética, os elétrons perdiam energia, o que provocaria um colapso, tornando o átomo instável.

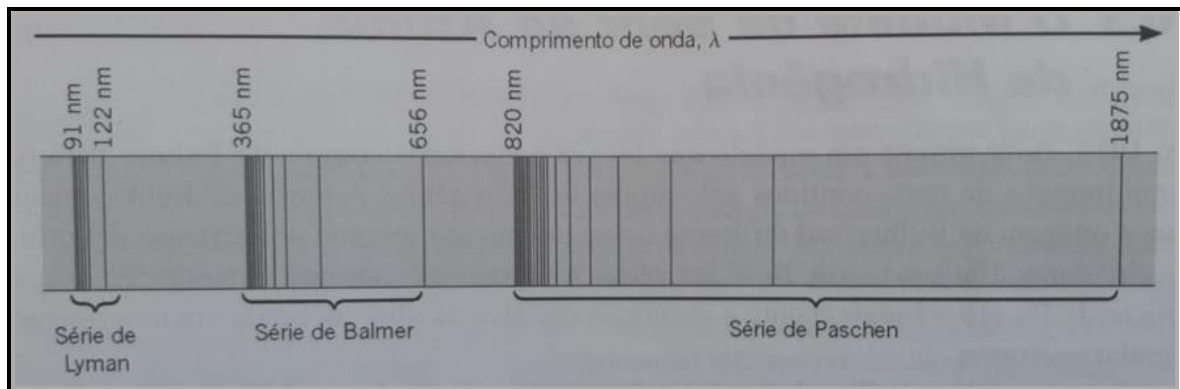


#### 4.12.4. Espectro Atômico

Antes de iniciar o estudo do modelo de Bohr é interessante falar um pouco sobre o espectro de linhas pois os sistemas atômicos podem ser investigados observando as ondas eletromagnéticas emitidas pelo átomo. O espectro de linhas mais simples é o do hidrogênio, estudado exhaustivamente os comprimentos de onda deste espectro.

Suponha que um tubo de vidro sem ar seja preenchido com hidrogênio (ou outro gás). Se uma diferença de potencial elétrico (ddp) aplicada entre os eletrodos metálicos no tubo é grande o suficiente para produzir uma corrente elétrica no gás, o tubo emite luz com cores que são características do hidrogênio (ou do outro gás). Quando a luz é observada em um espectroscópio, uma série de raias espectrais são observadas, cada linha correspondendo a um comprimento de onda (ou cor) diferente da luz. Uma série de raias espectrais é chamada de espectro de emissão, o que é característico de cada elemento.

A figura 22 a seguir, mostra, de forma esquemática, alguns grupos ou séries de linhas do espectro do hidrogênio.



**Figura 22:** Espectro de linhas do hidrogênio.

**Fonte:** CUTNELL, John D; JOHNSON, Kenneth W (2006).

Na figura 15 acima, grupo de linhas na região do visível é conhecido como série de Balmer, nome dado em homenagem a um professor suíço do EM que descobriu a equação empírica para a série. A série de Lyman, envolve os comprimentos de ondas menores do que o da luz e a série de Paschen, que envolve os comprimentos de ondas maiores do que a série de Balmer.

As respectivas equações são:

$$\text{Série de Lyman } \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (4.12.4.1)$$

$$\text{Série de Balmer} \quad \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (4.12.4.2)$$

$$\text{Série de Paschen} \quad \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 4, 5, 6, \dots \quad (4.12.4.3)$$

Nestas equações, a constante R tem o valor  $R=1,097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$  e é chamada de constante de Rydberg. Uma característica importante de cada grupo de linhas é o fato de que existe um comprimento de onda máximo e um comprimento de onda mínimo para cada grupo e as linhas vão ficando cada vez mais juntas nas proximidades do limite mínimo.

#### 4.12.5. Modelo de Bohr

Em 1913, Bohr propôs um modelo que levava a equações como a de Balmer para os comprimentos de onda emitidos pelo ato de hidrogênio. Em sua teoria, Bohr fez várias hipóteses e combinou as novas ideias quânticas de Planck e Einstein com a descrição clássica de uma partícula em movimento circular uniforme.

Adotando a ideia de Planck de níveis de energia quantizados, Bohr propôs que um átomo de hidrogênio poderia possuir apenas certos valores de energia total. Estes níveis de energias permitidos correspondem a diferentes orbitas para o elétron, com as orbitas maiores associadas a maiores energias. Bohr postulou que um elétron em uma destas orbitas não irradia ondas eletromagnéticas. Por essa razão, essas orbitas são chamadas de orbitas estacionárias ou estados estacionários.

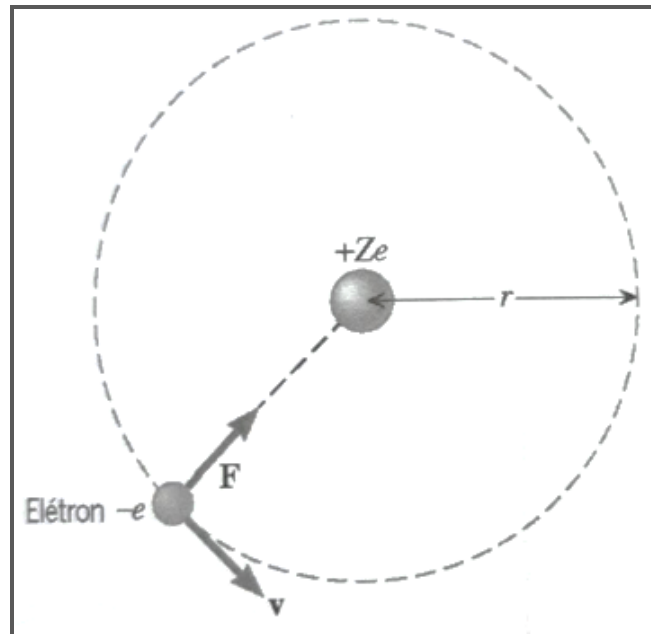
Para incorporar a sua teoria com conceito de fóton proposto por Einstein, Bohr propôs que um fóton era emitido apenas quando um elétron mudava de orbita, passando de uma orbita de raio maior e maior energia para uma orbita de raio menor e menor energia.

Quando um elétron em orbita inicial com uma energia maior  $E_i$  passa para uma orbita final com uma energia menor  $E_f$ , o fóton emitido tem uma energia  $E_f - E_i$ , o que está de acordo com a lei da conservação da energia, assim;

$$E_f - E_i = hf. \quad (4.12.5.1)$$

Como a frequência de uma onda eletromagnética está relacionada ao comprimento de onda através da equação  $f = \frac{c}{\lambda}$ , Bohr podia usar a equação anterior para determinar os comprimentos de ondas irradiados pelo átomo de hidrogênio, porém, era preciso encontrar expressões para energia  $E_i$  e  $E_f$ . Para chegar a uma expressão para os níveis de energia quantizados Bohr combinou a velha física clássica com a física moderna.

Bohr usou os conceitos que aparecem na figura 23 abaixo para chegar ao resultado.



**Figura 23:** Representação do átomo no modelo de Bohr.  
**Fonte:** CUTNELL, John D; JOHNSON, Kenneth W. (2006).

De acordo com a figura 23, para um elétron de massa  $m$  e velocidade  $v$  em uma órbita de raio  $r$ , a energia total ( $E$ ) é a soma da energia cinética  $E_c = mv^2$  com a energia potencial elétrica  $E_{PE} = V \cdot e$ , assim:

$$E = E_c + E_{PE} \quad (4.12.5.2)$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - KZe^2 \quad (4.12.5.3)$$

Toda a partícula em movimento circular uniforme (MCU) está sujeita a uma força centrípeta cujo módulo é  $\frac{mv^2}{r}$  que é o resultado da força de atração eletrostática, logo:

$$mv^2 = \frac{KZe^2}{r} \quad (4.12.5.4)$$

Usando essa relação para eliminar o termo  $mv^2$  da equação 49:

$$E = \frac{1}{2} \left( \frac{KZe^2}{r} \right) - \frac{KZe^2}{r} \quad (4.12.5.5)$$

$$E = -\frac{KZe^2}{2r} \quad (4.12.5.6)$$

A energia total do átomo é negativa porque a energia potencial elétrica, que é negativa, é maior em valor absoluto que a energia cinética que é positiva.

Para determinar o valor de  $r$ , Bohr recorreu ao momento angular ( $L$ ) orbital do elétron.  $L = I\omega$ , onde  $I = mr^2$  é o momento de inércia do elétron e  $\omega = \frac{v}{r}$  é sua velocidade angular, logo:

$$L = (mr^2) \cdot \left( \frac{v}{r} \right) = mvr \quad (4.12.5.7)$$

Bohr presumiu que o momento angular ( $L$ ) do elétron só pudesse assumir certos valores, ou seja,  $L$  fosse quantizado.

Propôs que os valores permitidos de  $L$  fossem múltiplos inteiros da constante de Planck dividida por  $2\pi$ .

$$L_n = mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4.12.5.8)$$

Explicitando  $v_n$  e substituindo o resultado na equação 50 é obtido a expressão para o  $r_n$  da  $n$ ésima órbita de Bohr:

$$r_n = \left( \frac{h^2}{4\pi^2 m K e^2} \right) \frac{n^2}{Z} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.12.5.9)$$

Como  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ;  $m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}$  e  $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ , essa expressão se reduz a:

$$r_n = (5,29 \times 10^{-11} \text{m}) \frac{n^2}{z} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4.12.5.10)$$

que representa os raios, em metros, das órbitas de Bohr.

Assim os valores correspondentes de energia para a enésima órbita são:

$$E_n = - \left( \frac{2\pi m K^2 e^4}{h^2} \right) \frac{z^2}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4.12.5.11)$$

Substituindo os valores de  $h$ ,  $m$  e  $e$  obtém-se

$$E_n = -(2,18 \times 10^{-18} \text{J}) \frac{z^2}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4.12.5.12)$$

Como as energias atômicas são expressos em elétrons-volts em vez de joules. Como  $1 \text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{J}$ , a equação se torna

$E_n = -(13,6 \text{eV}) \frac{z^2}{n^2}$ , onde  $n = 1, 2, 3, \dots$  expressão que representa os níveis de energia de Bohr em elétrons volts.

#### 4.13. Física Nuclear

Henri Becquerel (1852 – 1908), físico francês foi um dos primeiros cientistas nucleares. Trabalhava em Paris, onde junto com a física francesa, Marie Curie, e seu marido Pierre, descobriu a radioatividade no urânio. Ele procurou, então, descobrir outros elementos radioativos. Becquerel desenvolveu os trabalhos do físico alemão Wilhelm Röntgen (1845 – 1923) que descobriu os raios X. Em 1903 Becquerel dividiu o Prêmio Nobel de Física com Marie e Pierre Curie.

Em 1896, ano em que marcou o nascimento da Física Nuclear, Becquerel apresentou ao mundo da ciência a radioatividade nos compostos de urânio ao descobrir acidentalmente que os cristais de sulfato de potássio uranilo emitiam uma radiação invisível que podia sensibilizar uma chapa fotográfica quando a chapa fotográfica estava coberta para excluir a luz. Após uma série de experiências, ele concluiu que a radiação emitida pelos cristais era de um tipo novo, um tipo que não necessitava de estimulação externa, era tão penetrante que podia sensibilizar chapas fotográficas protegidas e ionizar gases.

#### 4.13.1. Propriedades do Núcleo Atômico

O núcleo atômico é formado por nêutrons e prótons, que são coletivamente chamados de *núcleons*. O nêutron, descoberto em 1932 pelo físico inglês James Chadwick (1891 – 1974), não possuía carga elétrica e tem uma massa ligeiramente maior que a do próton.

O número de prótons do núcleo varia de elemento para elemento e é dado pelo *número atômico*  $Z$ . Em um átomo eletricamente neutro, o número de prótons do núcleo é igual ao número de elétrons em órbita em torno do núcleo. O número de nêutrons do núcleo é representado pela letra  $N$ . A soma do número de prótons com o número nêutrons é chamado de *número de massa atômica*  $A$ .

$$A = Z + N \quad (4.13.1.1)$$

Ao representar os núcleos, é conveniente ter uma representação simbólica que mostre quantos prótons e nêutrons estão presentes. O símbolo usado é  ${}^A_ZX$ , onde  $X$  representa o elemento químico para o elemento.

#### 4.13.2. Carga e Massa

O próton tem carga positiva  $+e$ , e o elétron tem carga negativa  $-e$ , onde  $e = 1,60 \times 10^{-19}C$  e o nêutron é eletricamente neutro, não interagindo assim, com as outras partículas e é difícil ser detectado. O próton e o nêutron têm, cada um, aproximadamente  $1u$ , sendo  $u$  a unidade de massa atômica. O elétron tem uma massa que é apenas pequena fração de uma unidade de massa atômica.

$$\textit{Massa do próton} = 1,007276 u \quad (4.13.2.1)$$

$$\textit{Massa do nêutron} = 1,008665 u \quad (4.13.2.2)$$

$$\textit{Massa do elétron} = 0,000549 u \quad (4.13.2.3)$$

#### 4.13.3. O Tamanho do Núcleo

O tamanho e a estrutura dos núcleos foram investigados pela primeira vez nas experiências de espalhamento de Rutherford. Utilizando o princípio da conservação da energia, Rutherford encontrou uma expressão para a distância mínima de aproximação de uma partícula alfa deslocando-se diretamente em direção ao núcleo, antes de se afastar do núcleo devido à repulsão de Coulomb.

Considere um sistema composto pela partícula alfa incidente e pelo núcleo, aplicando a versão da energia do modelo de sistema isolado em uma colisão frontal, a energia cinética da partícula alfa incidente (como o núcleo tem uma massa muito maior do que a partícula alfa, consideramos essa energia cinética como sendo a energia cinética do sistema) é convertida completamente em energia potencial elétrica do sistema quando a partícula está momentaneamente parada (Figura 30.1). Igualando a energia cinética inicial da partícula alfa ( $Z = 2$ ) com a energia potencial elétrica do sistema quando a partícula alfa é parada, temos;

$$\frac{1}{2}mv^2 = K_e \frac{q_1 q_2}{r} = K_e \frac{(2e)(2Z)}{d} \quad (4.13.3.1)$$

Onde  $d$  é a distância de maior aproximação,  $Z$  é o número atômico do núcleo do alvo, e usamos uma expressão não relativística para a energia cinética, pois as velocidades das partículas alfa vindo decaimento radioativo são pequenas comparadas com  $c$ .

Resolvendo esta equação para  $d$ , encontramos;

$$d = \frac{4K_e Z e^2}{mv^2} \quad (4.13.3.2)$$

Rutherford descobriu, a partir dessa expressão, que as partículas alfas se aproximavam do núcleo até uma distância de  $3,2 \times 10^{-14}$  m quando a lâmina era de ouro, com isso, concluiu que o núcleo atômico tem que ser menor do que esse valor, concluiu também que a carga positiva em um átomo está centrada no núcleo.

Desde a época das experiências do espalhamento de Rutherford, uma grande quantidade de outras experiências tem mostrado que a maioria dos núcleos pode ser modelada geometricamente como sendo aproximadamente esférica e com um raio médio de;

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}}. \quad (4.13.3.3)$$

onde  $r_0$  é uma constante e possui um valor igual a  $1,2 \times 10^{-15}$  m.

#### 4.13.4. Densidade do Núcleo.

Como o volume da esfera é proporcional ao cubo do raio, segue-se, da equação (4.13.3.3) que o volume de um núcleo (que se supõe esférico) é diretamente proporcional a A, o número total de núcleos. Isso sugere que todos os núcleos têm aproximadamente a mesma densidade. Os núcleos combinam-se para formar um núcleo como fossem esferas compactamente agrupadas.

#### 4.13.5. Energia de Ligação dos Núcleos.

A massa M de um núcleo é menor que a massa total  $\sum m$  das partículas que o compõem. Isso significa que a energia de repouso  $Mc^2$  de um núcleo é menor que a energia de repouso total  $\sum(mc^2)$  dos prótons e nêutrons que fazem parte do núcleo. A diferença entre as das energias é chamada de energia de ligação ( $E_l$ ) do núcleo:

$$E_l(\text{MeV}) = [ZM(H) + Nm_n - M({}_Z^AX)] \times 931,494 \text{ MeV}/u \quad (4.13.5.1)$$

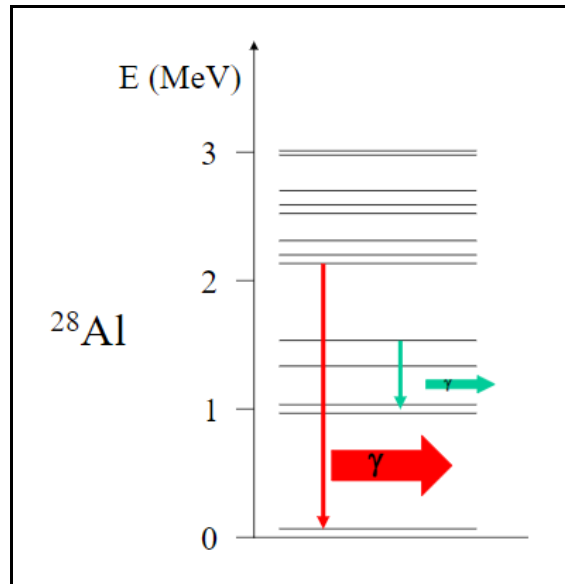
A energia de ligação não é uma energia existente no núcleo e sim a **diferença** entre a energia de repouso do núcleo e a soma das energias de repouso das partículas existentes no núcleo. Para separar as partículas que compõem o núcleo, teríamos que fornecer ao núcleo uma energia  $\Delta E_{el}$  durante o processo de separação. Embora um núcleo não possa ser desintegrado desta forma, a energia de ligação é uma medida conveniente da estabilidade de um núcleo.

#### 4.13.6. Níveis de Energia dos Núcleos.

A energia dos núcleos, como a dos átomos, é quantizada. Em outras palavras, os núcleos só podem existir em estados quânticos discretos, cada um com uma energia bem definida. A figura 24 mostra alguns desses níveis para o  ${}^{28}\text{Al}$ , um nuclídeo leve típico. Observe que a escala de energia está em milhões de elétrons-volts, como no caso dos átomos. Quando um núcleo



sobre uma transição para um estado de menor energia, o fóton emitido quase sempre está na região dos raios gama do espectro eletromagnético.



**Figura 24:** Níveis de Energia do nuclídeo  $^{28}\text{Al}$ .  
**Fonte:** <https://slideplayer.com.br/slide/359082/>

#### 4.13.7. Spin e Magnetismo dos Núcleos

Muitos nuclídeos possuem um momento angular nuclear intrínseco, ou **spin nuclear**, e **um momento magnético nuclear** associado. Embora os momentos angulares nucleares sejam da mesma ordem de grandeza os momentos angulares dos elétrons, os momentos magnéticos nucleares são muito menores que os momentos magnéticos eletrônicos.

#### 4.13.8. A Força Nuclear.

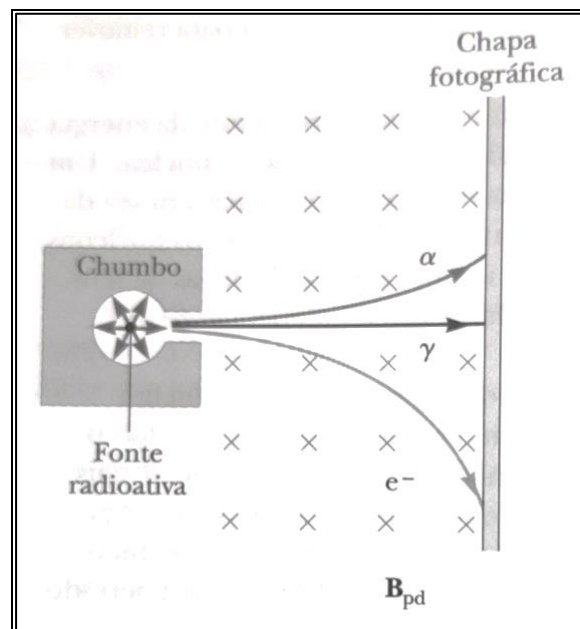
A força que mantém os elétrons presos ao núcleo para formar os átomos é a força eletromagnética. Essa mesma força eletromagnética faz com que os prótons do núcleo atômico, que possuem todos a mesma carga positiva, experimentem uma repulsão mútua. Assim, a força que mantém os núcleos unidos para formar os núcleos deve ser suficientemente intensa para superar a força de repulsão eletromagnética experimentada pelos prótons. Os experimentos mostram que essa força é de curto alcance; seus efeitos não se entendem muito além de alguns femtômetros.

Atualmente, os cientistas acreditam que a força nuclear que mantém os prótons e nêutrons unidos para formar o núcleo não é uma força fundamental da natureza e sim um efeito secundário da interação forte que mantém os quarks unidos para formar os prótons e nêutrons. Um efeito semelhante é observado na atração entre moléculas neutras (força de van der Waals), que é um efeito secundário da interação elétrica que mantém os átomos unidos para formar moléculas.

#### 4.13.9. Radioatividade.

A radioatividade resulta do decaimento, ou desintegração, dos núcleos instáveis. Podem ser emitido três tipos de radiação de uma substância radioativa: raios alfas, em que as partículas emitidas são núcleo de  ${}^4\text{He}$ ; raios betas, nos quais as partículas emitidas são elétrons ou pósitrons; e raios gama, nos quais as partículas emitidas são fótons de alta energia.

É possível distinguir as três formas de radiação utilizando o esquema mostrado na figura abaixo. A radiação vinda de uma amostra radioativa é direcionada para dentro de um campo magnético.



**Figura 25:** Separação das radiações

Fonte: SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway (2006).

A radiação é separada em três componentes pelo campo magnético  $\vec{B}$ , duas componentes curvando-se em direções opostas e a terceira componente não sofrendo mudança de direção. A partir dessa simples observação, pode-se concluir que a radiação do feixe que não

é desviado não transporta carga (o raio gama), a componente desviada para cima corresponde às partículas carregadas positivamente (alfa), e a componente desviada para baixo corresponde às partículas carregadas negativamente ( $e^-$ ). Se o feixe incluir pósitrons ( $e^+$ ) serão desviados para cima.

A taxa na qual ocorre um processo de decaimento em uma amostra radioativa é proporcional ao número de núcleos radioativos presentes na amostra. Se  $N$  é o número de núcleos radioativos presentes em algum instante, a taxa de variação de  $N$  é dada por;

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (4.13.9.1)$$

Onde  $\lambda$  é chamada de constante de decaimento ou constante de desintegração, tendo um valor diferente para núcleos diferentes.

Escrevendo a equação acima na forma;

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (4.13.9.2)$$

Podemos integrar de um instante inicial arbitrário  $t = 0$  até um instante posterior  $t$ ;

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad (4.13.9.3)$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \quad (4.13.9.4)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4.13.9.5)$$

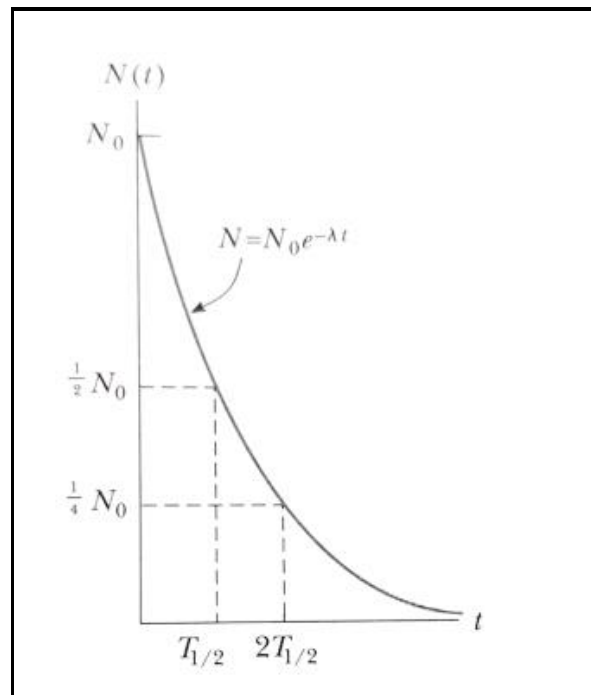
A constante  $N_0$  representa o número de núcleos radioativos que ainda não se desintegraram em  $t = 0$ . Baseado na experiência, pode-se identificar o inverso da constante de decaimento  $1/\lambda$  como o tempo necessário para o número de núcleos que ainda não se desintegraram diminuir para  $1/e$  de seu valor inicial. Assim,  $1/\lambda$  é a constante de tempo para esse decaimento.

A taxa de decaimento  $R = \left|\frac{dN}{dt}\right|$  é obtida diferenciando a equação (4.13.9.5) com relação ao tempo;

$$R = \left| \frac{dN}{N} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t} \quad (4.13.9.6)$$

Onde  $R = N\lambda$  e  $R_0 = N_0\lambda$  é a taxa de decaimento em  $t = 0$ . Frequentemente chama-se de atividade à taxa de decaimento de uma amostra.

O gráfico de  $N$  em função de  $t$  é mostrado na figura abaixo mostra a taxa de decaimento, observe que  $N$  e  $R$  decaem exponencialmente com o tempo.



**Figura 26:** Lei do decaimento para núcleos radioativos  
**Fonte:** SERWAY, Raymond; JEWTT, John Serway

No gráfico da figura acima o eixo vertical representa o número de núcleos radioativos presentes em qualquer instante de tempo  $t$ , e o eixo horizontal representa o tempo.

Uma unidade comum de atividade para uma amostra radioativa é o curie ( $\text{Ci}$ ), definido como  $1\text{Ci} \equiv 3,7 \times 10^{10}$  desintegrações por segundo e a unidade usada no SI é o becquerel ( $\text{Bq}$ ) e  $1\text{Bq} \equiv 1$  desintegração por segundo.

Um parâmetro útil para caracterizar o decaimento radioativo é a meia-vida  $T_{1/2}$ . A meia-vida de uma substância radioativa é o tempo necessário para que se desintegre metade de um número dado de núcleos radioativos. Colocando  $N = N_0/2$  e  $t = T_{1/2}$  na equação (4.13.9.6), obtém-se;

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \lambda e^{-\lambda t/2} \quad (4.13.9.7)$$

Escrevendo a equação (4.13.9.7) na forma de  $e^{\lambda T_{1/2}} = 2$  e usando o logaritmo natural dos dois lados temos

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,639}{\lambda} \quad (4.13.9.8)$$

Essa é uma expressão conveniente relacionando a meia vida com a constante de decaimento. 41392

#### 4.13.9.2. Processos de Decaimento Radioativo

##### a) Decaimento Alfa

Se um núcleo emite uma partícula alfa ( ${}^4_2\text{He}$ ) em um decaimento espontâneo, ele perde dois prótons e dois nêutrons. Portanto, N diminui 2 unidades, Z diminui 2 unidades e A diminui 4 unidades. O decaimento pode ser escrito com uma representação simbólica como



Onde X é chamado de núcleo-pai, e Y, é chamado de núcleo-filho. Como uma regra geral, (1) a soma dos números de massa tem de ser a mesma nos dois lados da representação simbólica, e (2) a soma dos números atômicos tem de ser a mesma dos dois lados. Como exemplos,  ${}^{238}_{92}\text{U}$  e  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  são ambos emissores de partículas alfa e desintegram de acordo com os esquemas:



A meia-vida para o decaimento do  $^{238}\text{U}$  é  $4,47 \times 10^9$  anos, e a meia vida para o decaimento do  $^{226}\text{Ra}$  é  $1,60 \times 10^3$  anos. Nos dois casos A do núcleo-filho é 4 unidades menor do que o valor do núcleo-pai. Da mesma forma Z é reduzido 2 unidades.

### b) Decaimento Beta

Quando um núcleo radioativo realiza um decaimento beta, o núcleo-filho tem o mesmo número de núcleons que o núcleo-pai, mas o número atômico altera uma unidade.



Observe que são conservados o número dos núcleons e a carga total nestes decaimentos. Contudo, os processos não são completamente descritos por essas expressões.

É importante observar que o elétron ou o pósitron envolvido nesses decaimentos é criado dentro do núcleo como um passo inicial no processo de desintegração. Por exemplo, durante o decaimento beta-menos, um nêutron no núcleo é transformado em um próton e um elétron:



Para o decaimento beta-mais, temos um próton transformando em um nêutron e um pósitron:



Existe um terceiro tipo de decaimento beta no qual um núcleo captura um dos elétrons em órbita. Esse processo é chamado de captura de elétron ou captura K, já que o elétron é capturado já quase pertencente à camada mais próxima do núcleo, que é a camada K.

### c) Decaimento Gama

O núcleo, como os elétrons em órbita, pode existir apenas em certos estados ou níveis de energia. Quando um núcleo passa de um estado excitado (representado por um asterisco) para um estado de menor energia, um fóton é emitido. No caso das transições entre níveis nucleares, porém, os fótons têm uma energia muito maior e são chamados de raios gama ( $\gamma$ ).

A reação de decaimento  $\gamma$  é;



Onde:

${}^A_Z P^*$  é o núcleo no estado excitado;

${}^A_Z P$  é o núcleo no estado de menor energia;

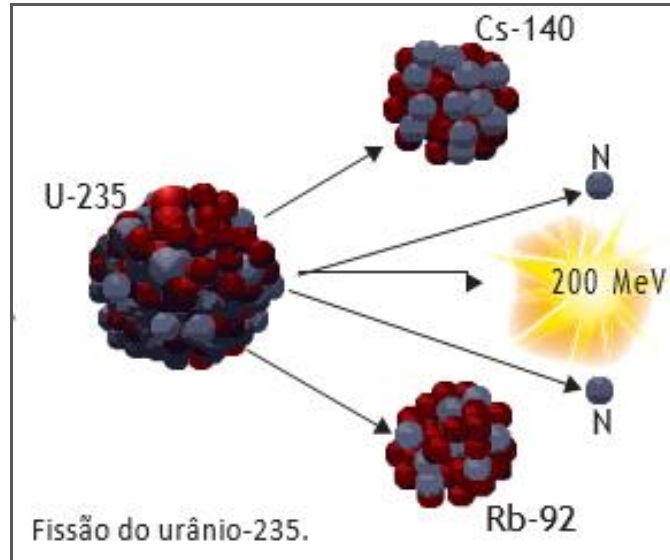
$\gamma$  é o raio gama.

No decaimento  $\gamma$ , um elétron não se transforma em outro.

### 4.14. Fissão Nuclear

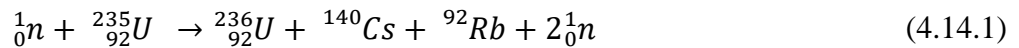
Em 1923, quatro cientistas alemães, Otto Hahn, lise Meitner, fritz Strassmann e Otto Frish, fizeram uma descoberta importante, que representou o início da era nuclear. Eles observaram que um núcleo de urânio, depois de absorver um nêutron, se divide em dois fragmentos de massa bem menor que a do núcleo original. Essa divisão de um núcleo pesado em dois núcleos mais leves é chamada de fissão nuclear.

A figura abaixo mostra uma reação de fissão na qual um núcleo de  ${}^{235}_{92}U$  é dividido em  ${}^{140}_{54}Cs$  e  ${}^{92}_{38}Rb$ .



**Figura 27:** Fissão nuclear do urânio  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

A reação começa quando o urânio  $^{235}_{92}\text{U}$  absorve um nêutron lento, o que leva à formação de um “núcleo composto”,  $^{236}_{92}\text{U}$ . Quase imediatamente, o núcleo composto se desintegra em  $^{140}_{54}\text{Cs}$  e  $^{92}_{38}\text{Rb}$  e dois nêutrons, na seguinte reação:

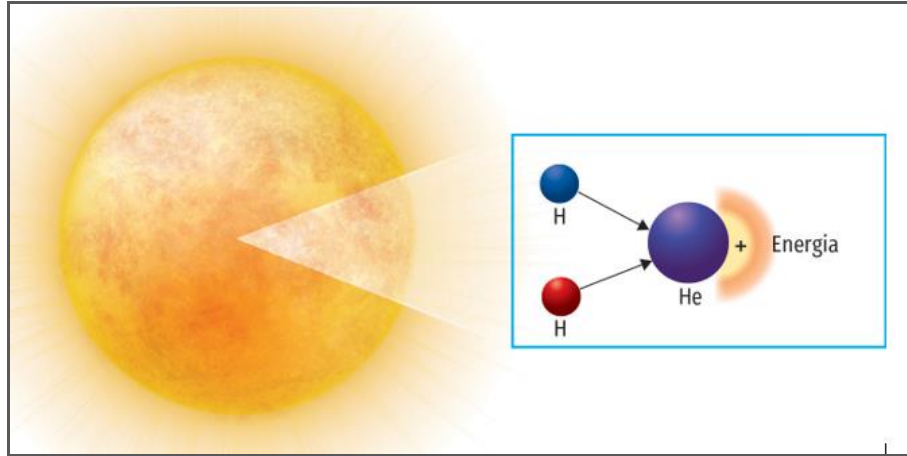


Essa reação é apenas uma das muitas que podem ocorrer quando o urânio sofre uma fissão.

#### 4.15. Fissão Nuclear

Outra forma de gerar energia a partir de reações nucleares é quando dois núcleos de pequena massa e energia de ligação por núcleon relativamente pequena podem ser combinados ou “unidos” para formar um núcleo mais pesado com uma energia de ligação por núcleon maior. Esse processo é chamado de fusão nuclear. A figura abaixo representa a fusão nuclear no Sol.





**Figura 28:** Fusão nuclear do Sol  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Na figura acima mostra dois átomos leves de hidrogênio se fundem formando um átomo mais pesado de He liberando uma grande quantidade de energia. A energia liberada nas reações de fusão também é utilizada para fins destrutivos, como nas bombas de hidrogênio.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são discutidos o processo e os resultados obtidos das atividades aplicadas ao longo de toda a implementação da UEPS, que foi desenvolvida numa turma do nono ano do EFII, do colégio Padrão Internacional, na cidade de Montes Claros MG.

### 5.1. Atividade de Introdução sobre Mapas Conceituais

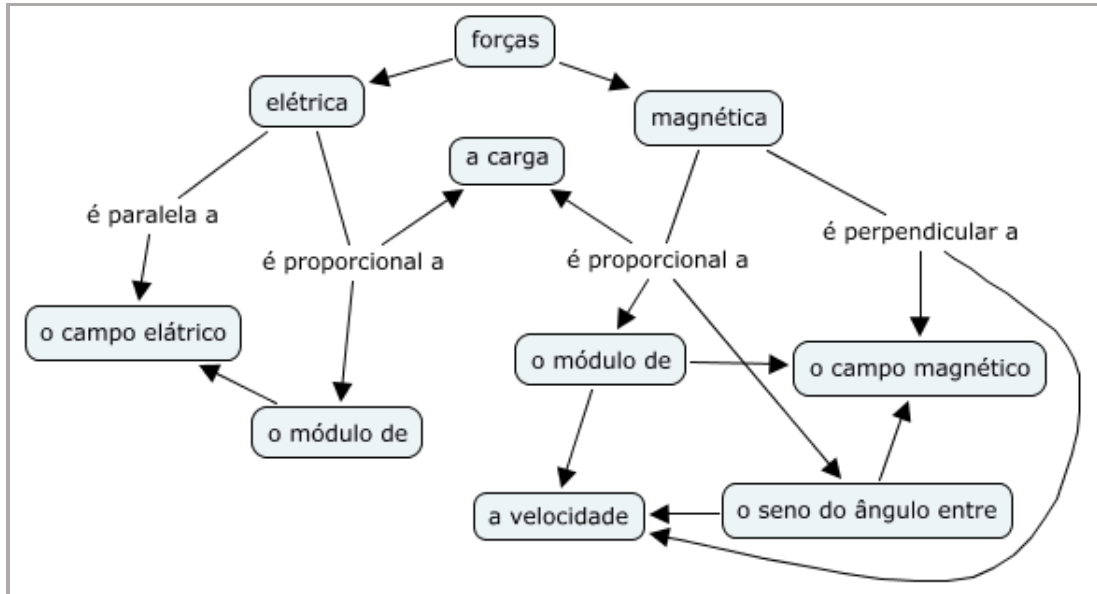
A aula introdutória, realizada em 02/10/2019, foi destinada à abordagem do conceito de MC com a apresentação de um vídeo aula (figura 29).



*Figura 29: Vídeo 02 sobre a construção de Mapas Conceituais.*

Fonte: <https://youtu.be/RThwilejKw0>

Essa atividade teve como objetivo a apresentação de um vídeo ensinando os alunos utilizarem, como ferramenta de criação de mapas mentais, um programa de construção de mapas mentais o “Cmap Tools”. Ainda neste momento foi apresentado um modelo de mapa conceitual sobre força representado na figura 30 abaixo.



**Figura 30:** Mapa conceitual sobre Força

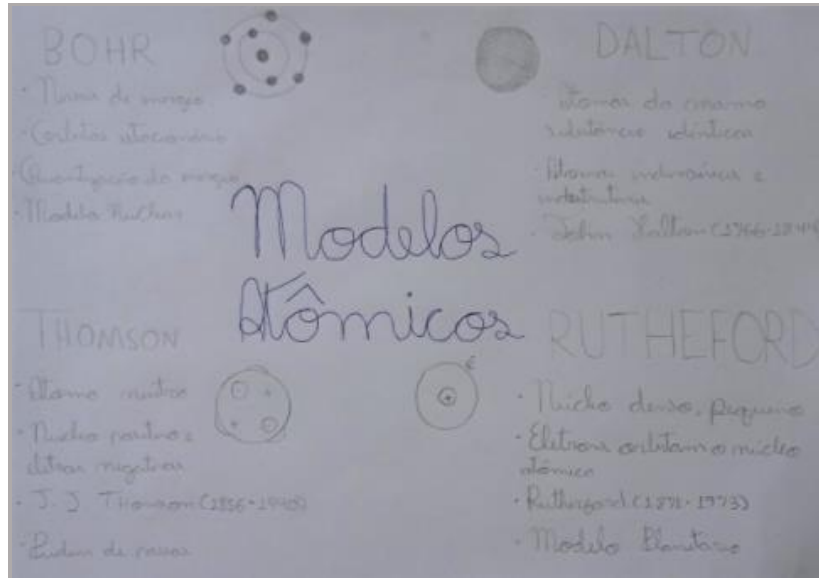
**Fonte:** [http://www.if.ufrgs.br/computador\\_ensino\\_fisica/cmapttools/cmapttools\\_conceito.htm](http://www.if.ufrgs.br/computador_ensino_fisica/cmapttools/cmapttools_conceito.htm)

Em seguida, foi feita uma sondagem/conversa com os alunos sobre assuntos de Física Moderna. Em uma das conversas o aluno A01 relatou que adorava física e que já tinha visto alguns documentários sobre a vida de Einstein, Stephen Hawking, Teoria das Cordas entre outros documentários e filmes de ficção científica. Para finalizar a aula, foi proposta, como tarefa, a elaboração de mapas conceituais sobre a evolução dos modelos atômicos que se encontra no caderno C4, nas páginas 54 e 55, do livro Pitágoras (Anexo 03).

Na segunda/terceira aula, em 04/10/2019, houve a apresentação dos MC feitos pelos alunos, que de forma espontânea relataram suas atividades.

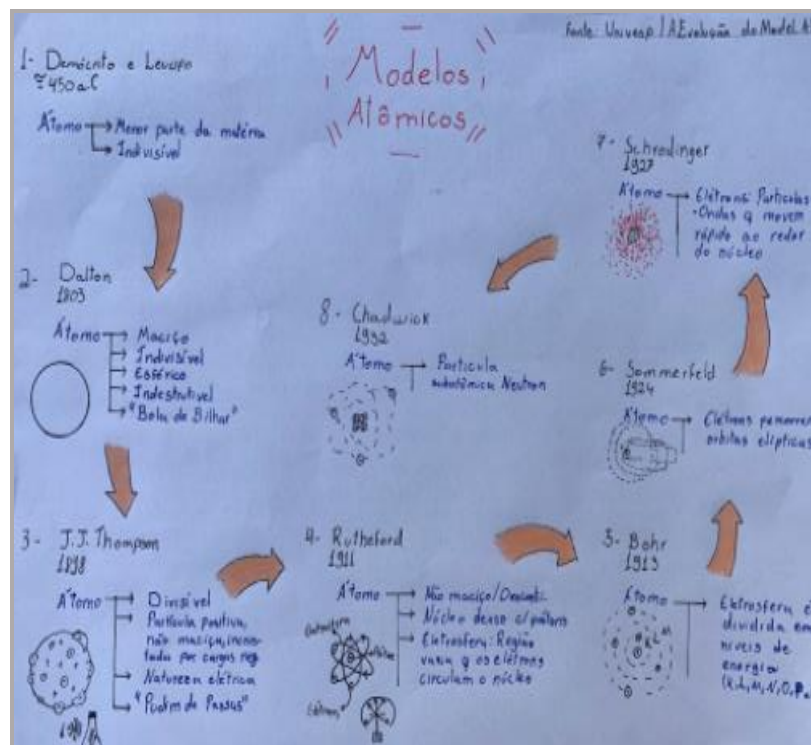
Foram escolhidos, de forma aleatória, três mapas conceituais produzidos pelos alunos A08, A17 e A22.

O MC abaixo, apresentado pelo aluno A08, de maneira não muito organizada e sem a evolução cronológica, citou os modelos de Bohr, Thomson, Dalton e Rutherford.



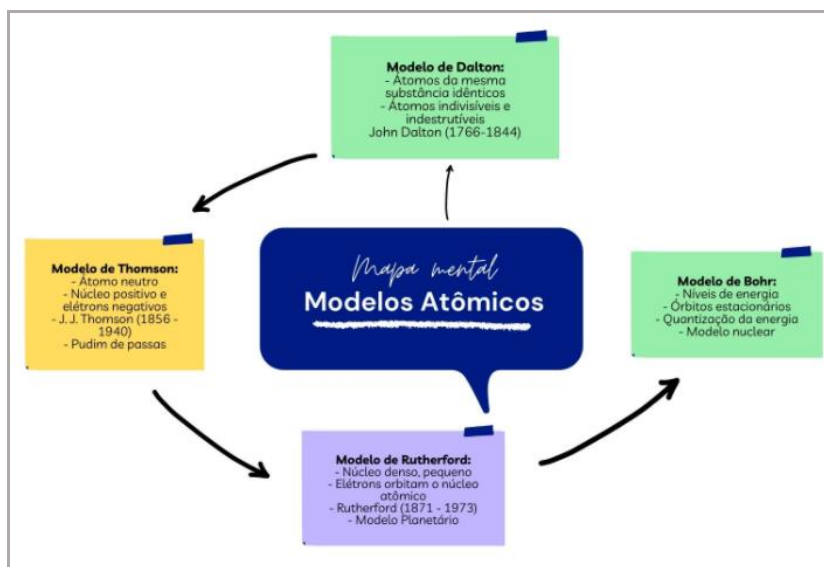
**Figura 31: modelos atômicos**  
**Fonte: o autor (aluno A02)**

O MC abaixo, apresentado pelo aluno A22, de maneira mais organizada citou a evolução cronológica do modelo atômico. Começando com Demócrito 450 a.C com o significado da palavra átomo, passando por Dalton dando as características principais de cada modelo até o modelo atômico da Mecânica Quântica, modelo de Schrödinger que é usado e aceito atualmente pelos cientistas.



**Figura 32: Modelos atômicos**  
**Fonte: Autor (aluno A22).**

O MC abaixo, apresentado pelo aluno A17, utilizou o software “Cmap Tools”, indicado pelo professor, de maneira organizada citou a evolução cronológica do modelo atômico. Citando as características principais de cada modelo, começou com o modelo de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Não citou os modelos atômicos de Sommerfeld e de Schrödinger.



**Figura 33: Modelos atômicos**  
**Fonte:** Autor (aluno A17)

Após a apresentação dos mapas, com um projetor de slides e do caderno C4 da Rede Pitágoras, o professor fez um apanhado geral mostrando que, com a evolução das teorias houve a evolução dos modelos atômicos, sendo que em determinado ponto os modelos propostos pela Física Clássica já não conseguiam responder algumas perguntas. Com isso, novos modelos foram desenvolvidos, e com eles, a chegada da Física Moderna.

Na quarta aula, em 16/10/2019, foi realizado um teste de sondagem com seis questões, com a intenção, de fazer com que os estudantes “apresentassem” o que sabiam sobre o tema. Nesta etapa, o objetivo foi criar situações em que os alunos pudessem expor os conhecimentos que possuíam sobre o tema de estudo.

A aplicação do questionário aconteceu, em princípio, de forma individual, para que fosse possível detectar se o aluno possuía algum conhecimento preexistente, sobre o tema o que seria relevante para a aprendizagem significativa.

Participaram trinta (30) alunos do teste de sondagem. Nas três (3) primeiras questões, questões de marcar ou de múltipla escolha, foi colocado o número de marcações em cada alternativa.

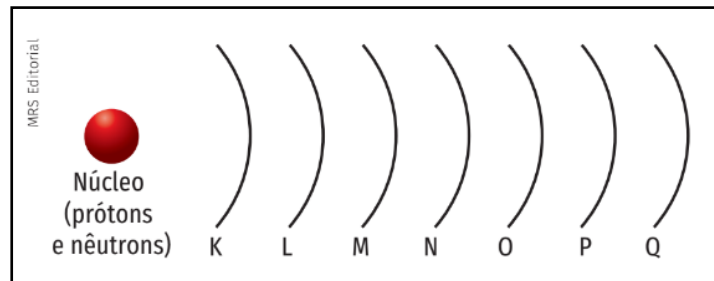
A primeira questão consistiu em assinalar verdadeiro (V) ou falso (F).

- 1) O ilustre físico dinamarquês Niels Bohr aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford e estabeleceu um modelo a partir de seus próprios postulados, que estão relacionados a seguir. Mas ATENÇÃO, alguns estão transcritos de forma incorreta.

Em cada questão abaixo, assinale, (V) para as alternativas verdadeiras e (F) para as alternativas falsas:

- a) ( ) Bohr estabeleceu em sua teoria atômica que os elétrons giram em 7 órbitas circulares denominadas níveis ou camadas ao redor do núcleo, como mostra a ilustração.

VERDADEIRO (29) FALSO (00) NÃO RESPONDEU (01)



**Figura 34:** Órbitas de Bohr  
**Fonte:** Livro Pitágoras C4

- b) ( ) A camada Q é a mais energética.

VERDADEIRO (27) FALSO (03)

- c) ( ) Quando o núcleo recebe energia, salta para um nível mais externo.

VERDADEIRO (12) FALSO (18)

- d) ( ) Se um elétron passa do estado A para o estado B, recebendo X unidades de energia, quando voltar de B para A devolverá X unidades de energia na forma de ondas eletromagnéticas.

VERDADEIRO (20) FALSO (10)

- e) ( ) Quando um elétron passa de um estado menos energético para outro mais energético, devolve energia na forma de ondas eletromagnéticas.

VERDADEIRO (20) FALSO (10)

- f) ( ) Quando um elétron absorve certa quantidade de energia, salta para uma órbita mais energética.

VERDADEIRO (21) FALSO (09)

- g) ( ) Quando ele retorna à sua órbita original, libera a mesma quantidade de energia, na forma de onda eletromagnética.  
VERDADEIRO (21) FALSO (09)
- h) ( ) Um elétron libera energia afastando-se do núcleo. Ao absorver energia, retorna para seu local anterior.  
VERDADEIRO (07) FALSO (23)
- i) ( ) Núcleo e elétrons se repelem mutuamente.  
VERDADEIRO (06) FALSO (24)
- j) ( ) Um elétron só pode assumir determinados valores de energia, que correspondem às órbitas permitidas, tendo, assim, determinados níveis de energia ou camadas energéticas.  
VERDADEIRO (24) FALSO (06)
- k) ( ) Um elétron pode absorver energia de uma fonte externa somente em unidades discretas, chamadas de quanta, ou quantum no singular.  
VERDADEIRO (12) FALSO (18)
- l) ( ) A frequência mínima da radiação incidente para que o efeito fotoelétrico seja observado depende da constituição química do material.  
VERDADEIRO (06) FALSO (24)
- m) ( ) A energia de cada fotoelétron ejetado no processo depende da intensidade da radiação incidente.  
VERDADEIRO (16) FALSO (14)
- n) ( ) A quantidade de fotoelétrons ejetados no processo depende da intensidade da radiação eletromagnética incidente.  
VERDADEIRO (16) FALSO (14)
- o) ( ) O efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.  
VERDADEIRO (17) FALSO (13)

A segunda questão, múltipla escolha, consistiu em assinalar a alternativa correta.

2) (SSA/2015-16) Analise a seguinte charge:



Figura 35: Tirinha de modelos atômico.

Fonte: <http://hquimica.webnode.com.br/> Acesso em: junho/2015

As estudantes Eugênia e Lolita estão falando, respectivamente, sobre os modelos atômicos de:

- a) ( ) Dalton e Thomson. (03)
- b) ( ) Dalton e Rutherford-Bohr. (02)
- c) ( ) Thomson e Rutherford-Bohr. (23)
- d) ( ) Modelo Quântico e Thomson. (02)
- e) ( ) Rutherford-Bohr e Modelo Quântico. (00)

A terceira questão consistiu em assinalar a alternativa correta.

3) Quais os modelos melhores representam o comentário do professor de Eugênia e Lolita

“esqueça vamos pensar em energia”

- a) ( ) Dalton e Thomson. (00)
- b) ( ) Dalton e Rutherford-Bohr. (05)
- c) ( ) Thomson e Rutherford-Bohr. (05)
- d) ( ) Modelo Quântico e Thomson. (03)
- e) ( ) Rutherford-Bohr e Modelo Quântico. (17)

Nas questões seguintes, quatro, cinco e seis são dissertativas e foram escolhidos de forma aleatória, três respostas produzidos pelos alunos A01, A12 e A28.



4) Analise a seguinte charge:



Disponível em: <http://radioatividadeinteressante.blogspot.com/2012/10/> Acesso em: novembro/2018

O que você acha que o Cebolinha achou de tão legal na aula sobre radiatividade?  
Que história de bomba que o Cascão se refere?

---



---



---



---

Figura 36: Charge 01.

O aluno A01, o mesmo que disse anteriormente que adorava física, mostrando muito interesse estava muito empolgado com o tema apresentado. Respondeu, citando a radiação térmica, que se referia a bomba atômica e que ocorria uma reação em cadeia de fissões nucleares.

Então o fato de que todas as reações químicas de Ok iniciam. Cas-  
cã se refere a bomba atômica, que funciona a partir de  
uma reação em cadeia de fissões nucleares.

O aluno A12 não soube relatar sobre o tema, citando apenas a bomba atômica.

Acha legal a relação de destino do Bombo, ele  
pensou no Bombo Atômico.

A aluna A28 respondeu que o fenômeno está relacionado com física nuclear, citou a energia liberada pelo núcleo e, ainda citando o caso de Hiroshima e Nagasaki.

O que ele achou interessante provavelmente está relacionado à física nuclear e aos fotoelétrons. O fato de a energia liberada dos núcleos dos átomos no processo de fissão nuclear (2), pode ser usada para criar bombas atômicas, como foi o caso das bombas em Hiroshima e Nagasaki.

5) Analise a seguinte charge:



Disponível em: [http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda\\_mais/jurema/ficha\\_dualidadeonda.htm](http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm) Acesso em: novembro/2018

Explique o diálogo acima.

Figura 37: Charge 02.

O aluno A01 de maneira bastante surpreendente relatou que os fótons podem ser analisados de duas formas, corpuscular e eletromagnética

Explicar o diálogo  
Fótons podem ser analisados de duas formas, corpuscular, assumindo a forma de fotoelétrons, e eletromagnética, assumindo a forma de ondas eletromagnéticas.

O aluno A12 fazendo uma interpretação relatou que o disse que ele pode ser os dois.

Explique o diálogo acima.  
 Ele diz que pode ser os dois ao mesmo tempo.

A aluna A28 relatou sobre a energia liberada pelos fótons, que os cientistas fizeram experiências para saber se essa energia era em forma de partícula ou de onda eletromagnética.

Diversos cientistas fazem ou fizeram experimentos para descobrir se a energia dos fótons era liberada como partículas ou ondas eletromagnéticas.

6) Analise a seguinte charge:

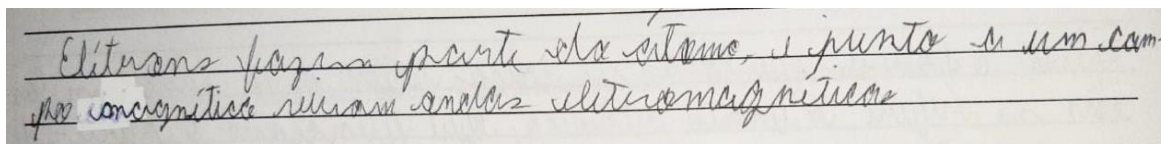


Disponível em: <http://www.vestiprovas.com.br/questao.php?id=9658> Acesso em: novembro/2018

Compare a tirinha dessa questão com a tirinha da questão cinco. Explique a diferença entre elas.

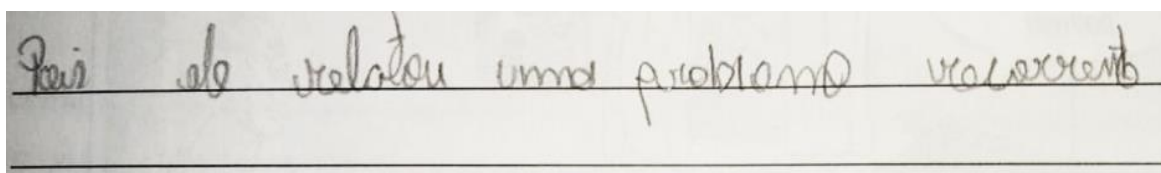
Figura 38: Charge 03.

O aluno A01 relatou que os elétrons fazem parte do átomo e que junto a um campo magnético seria, também, uma onda eletromagnética.



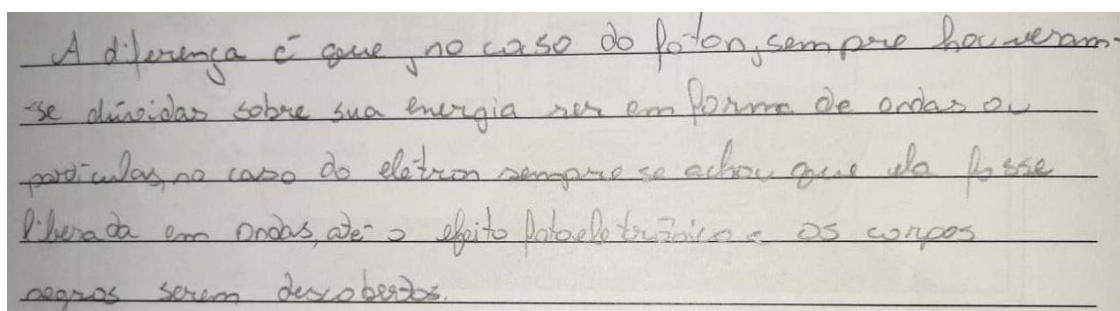
Elétrons fazem parte do átomo, e junto a um campo magnético seria uma onda eletromagnética

O aluno A12 relatou que é um problema recorrente, não relacionou a charge com o fóton, com o elétron ou com o caráter dual do fóton e do elétron.



Pois ele relatou um problema recorrente

A aluna A28 relata que, sobre o fóton, havia dúvidas sobre a sua energia, se era em forma de ondas ou partículas e que, no caso do elétron, sua energia era sempre liberada em forma de ondas até o efeito fotoelétrico.



A diferença é que no caso do fóton, sempre houve uma discussão sobre sua energia ser em forma de ondas ou partículas, no caso do elétron sempre se achou que ela fosse liberada em ondas, até o efeito fotoelétrico e os corpos negros serem descobertos.

Na quinta aula, em 18/10/2019, etapa da UEPS destinada, a retornar a situações-problemas em nível bem introdutório, de acordo com a sequência proposta por Moreira (2011), considerando os conhecimentos prévios que os alunos demonstraram na atividade anterior, e os preparando para a introdução do conhecimento que se pretende ensinar.

Diante da proposta foi mostrado, primeiramente, um vídeo com o documentário do programa Fantástico, História da Bomba Atômica (Globo 29/01/2009) disponível em <<https://youtu.be/Yvo0dyW1vTE>>. Acesso em 18 out. 2019.





**Figura 39:** *O vídeo documentário*  
**Fonte:** <https://youtu.be/Yvo0dyW1vTE>

O vídeo, da figura 39, é um documentário que mostra o bombardeio nuclear dos Estados Unidos da América contra as cidades japonesas. O documentário relata o horror vivido pelos japoneses durante o final da Segunda Guerra Mundial.

Após a exibição do documentário foram geradas inúmeras discussões, comoções e muitas indignações por parte dos alunos. O que foi muito positivo na motivação dos alunos em relação ao conteúdo a ser ensinado.

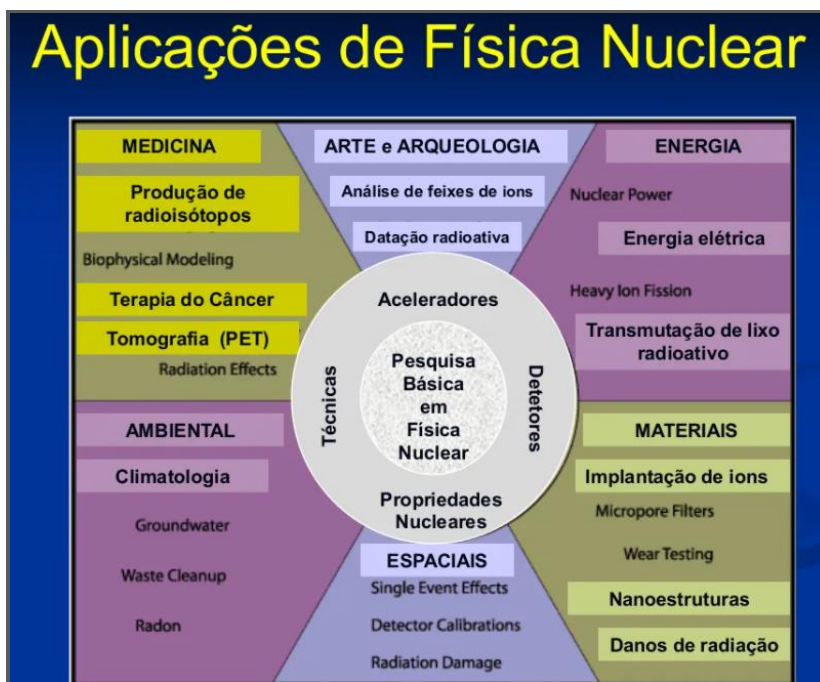
Em seguida, uma aluna A05 na foto abaixo, previamente preparada, leu os poemas de Vinicius de Moraes “A Bomba Atômica I” e “A Rosa de Hiroshima”, que exploram especificamente o tema da bomba atômica lançada sobre a cidade japonesa de Hiroshima, apêndice 01.



**Figura 40:** *A leitura*  
**Fonte:** Autor (outubro – 2019)

O documentário e a leitura dos poemas despertaram nos estudantes muita sensibilidade e curiosidade para os conceitos de física nuclear (fusão e fissão nuclear) e os efeitos devastadores das bombas atômicas.

Na sequência foi mostrado um mapa mental, através de um slide do professor Paulo R. S. Gomes do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense (IF-UFF). Aplicações da Física Nuclear, figura 41, como por exemplo na medicina, na arte e arqueologia, na produção de energia elétrica dentre outras aplicações, de maneira que os alunos perceberam a importância do estudo da Física Nuclear. Disponível em <<https://image.slidesharecdn.com>>. acesso em 18 out. 2019.



**Figura 41:** Aplicações de Física Nuclear 2  
**Fonte:** <https://image.slidesharecdn.com>

Na sexta aula, em 23/10/2019, foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada com o uso do *datashow* e do caderno C4, os conceitos de radiação eletromagnética, radiação térmica e corpo negro. Começando com os aspectos mais gerais, que vão sendo progressivamente aprofundados, objetivando a abordagem específica do conteúdo, expandindo a estrutura cognitiva a partir dos subsunçores que serviram de base para novos conhecimentos.

Na sétima e oitavas aulas, em 25/10 e 30/10, foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada com o uso do *datashow* e do caderno C4, os conceitos radiação eletromagnética, radiação térmica e radiação de corpo negro;

Na nona aula, em 01/11/2019, foi realizado a avaliação 01 da aprendizagem. A avaliação foi individual e somativa, sobre noções de Física Moderna (modelos atômicos). Participaram trinta e quatro (34) alunos da avaliação. A avaliação possuía uma (01) questão dissertativa e três (03) questões de múltipla escolha.

Para discussão da avaliação da aprendizagem, foram escolhidas duas (02) prova. Uma em que o aluno demonstrou que adquiriu o conhecimento ensinado e outra em que o aluno ainda estava em processo de construção da aprendizagem.

Questão 01: A questão um (01) é uma questão discursiva. Esse tipo de questão permite ao professor fazer uma melhor avaliação da aquisição, pelo aluno, dos conhecimentos ensinados.

QUESTÃO DISCURSIVA (Descritor: Conhecer os modelos atômicos e suas transições eletrônicas.)



**INSTRUÇÃO: DESCEVA, RESUMIDAMENTE, a evolução dos modelos atômicos.**

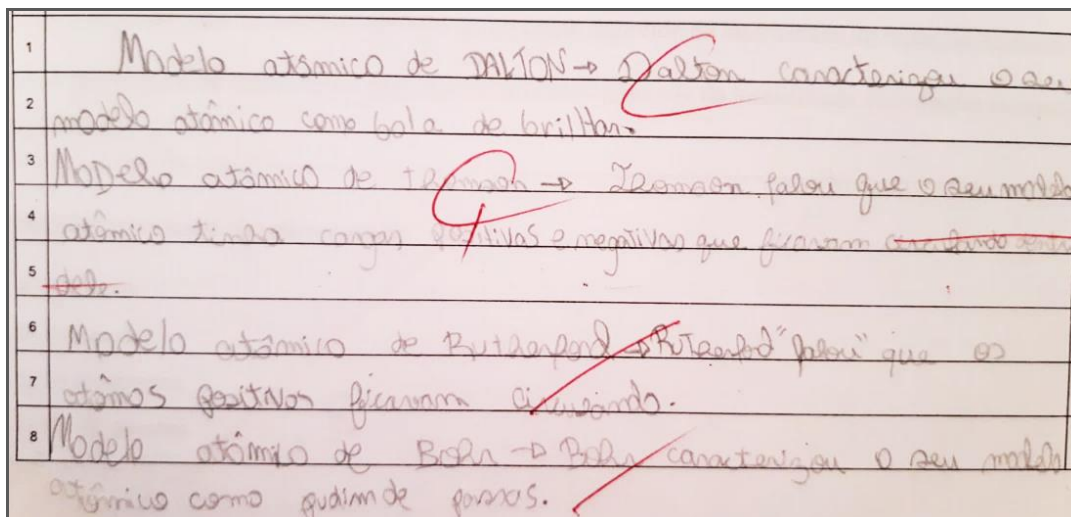
Disciplina / Assunto	
Matéria / Módulo	
Item Enunciado	
Resposta	
Comentário	
Assinatura	
Carimbo	

Na foto abaixo demonstra, claramente, que a aluna adquiriu o conhecimento ensinado. Ela relata detalhes de cada modelo, relata até dos níveis de energia e dos saltos quânticos, explicando a evolução atômica.

1 Dalton propôs o átomo como maciço, impenetrável e indivi-  
 2 sível em forma de esfera. Sempre depois, Thomson criou seu  
 3 modelo conhecido por "pudim de passas", afirmando que o át-  
 4 mo seria divisível e que possuía cargas positivas e negativas.  
 5 Rutherford, então, inovou ao dizer que o átomo era formado por  
 6 um núcleo (com prótons e nêutrons) e a eletrosfera, com elétrons  
 7 girando ao seu redor. Já Bohr afirmou que o núcleo do átomo  
 8 era circulado por camadas de energia, em que os elétrons "saltam"  
 de uma para outra a medida que ganham energia e voltam ao seu  
 lugar original quando perdem.

Na foto abaixo demonstra, claramente, que a aluna ainda estava em processo de construção da aprendizagem do conhecimento ensinado. Ela não consegue relatar detalhes de cada modelo atômico nem explicar a evolução atômica.





Questão 02: A questão dois (02) chamada de QUESTÃO 01 de múltipla escolha. Esse tipo de questão não tem como o professor afirmar que o aluno adquiriu o conhecimento ensinado, uma vez que, o aluno pode “chutar” e acertar a questão.

**QUESTÃO 01 - (Descritor: Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas).**

(UPE) Se um elétron move-se de um nível de energia para outro mais afastado do núcleo do mesmo átomo,

É CORRETO afirmar que, segundo Bohr:

- há emissão de energia.
- há absorção de energia.
- o número atômico varia.
- há emissão de luz de um determinado comprimento de onda.
- não há variação de energia.

Na imagem abaixo, percebe-se que, a aluna analisa cada alternativa marcando a alternativa correta.

É CORRETO afirmar que, segundo Bohr:

- há emissão de energia.
- há absorção de energia.
- o número atômico varia.
- há emissão de luz de um determinado comprimento de onda.
- não há variação de energia.

Na imagem abaixo, percebe-se que, a aluna simplesmente marca uma alternativa.

É CORRETO afirmar que, segundo Bohr:

A) não há variação de energia.

B) o número atômico varia.

C) há absorção de energia.

D) há emissão de energia.

E) há emissão de luz de um determinado comprimento de onda.

A

Questão 03: A questão três (03) chamada de QUESTÃO 02 de múltipla escolha. Esse tipo de questão não tem como o professor afirmar que o aluno adquiriu o conhecimento ensinado, uma vez que, o aluno pode “chutar” e acertar a questão.

**QUESTÃO 02** (*Descritor: Conhecer o comportamento dual da luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas.*)

(UFRGS-RS) Uma moda atual entre as crianças é colecionar figurinhas que brilham no escuro. Essas figuras apresentam em sua constituição a substância sulfeto de zinco. O fenômeno ocorre porque alguns elétrons que compõem os átomos dessa substância absorvem energia luminosa e saltam para níveis de energia mais externos. No escuro, esses elétrons retornam aos seus níveis originais, liberando energia luminosa e fazendo a figurinha brilhar.

Essa característica pode ser explicada considerando-se o modelo atômico proposto por:

a) Dalton.

b) Thomson.

c) Lavoisier.

d) Rutherford.

e) Bohr.

Na imagem abaixo, percebe-se que, a aluna simplesmente marca uma alternativa.

Essa característica pode ser explicada considerando-se o modelo atômico proposto por:

A) Dalton.

B) Thomson.

C) Rutherford.

D) Bohr.

Na imagem abaixo, percebe-se que, a aluna simplesmente marca duas alternativas.

Essa característica pode ser explicada considerando-se o modelo atômico proposto por:

A) Dalton. ✗

B) Thomson.

C) Rutherford.

D) Bohr. ✗

Questão 04: A questão quatro (04) chamada de QUESTÃO 03 de múltipla escolha. Esse tipo de questão não tem como o professor afirmar que o aluno adquiriu o conhecimento ensinado, uma vez que, o aluno pode “chutar” e acertar a questão.

**QUESTÃO 03-** (*Descritor: Conhecer o comportamento dual da luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas.*)

Faça a associação:

1 - Bohr  
2 - Rutherford  
3 - Dalton  
4 - Pauling

o átomo é maciço.  
 distribuiu os elétrons em ordem crescente de energia.  
 retornando ao nível de energia normal, o elétron emite energia.  
 o átomo apresenta espaços vazios.

A numeração correta, de cima para baixo, é:

a) 3, 4, 1, 2  
b) 4, 1, 2, 3  
c) 2, 3, 1, 4  
d) 3, 1, 4, 2

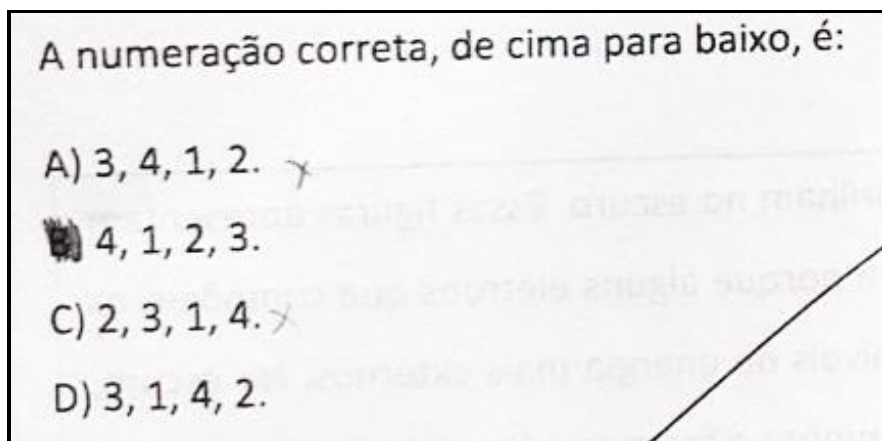
A numeração correta, de cima para baixo, é:

A) 3, 4, 1, 2.

B) 4, 1, 2, 3. ✗

C) 2, 3, 1, 4. ✗

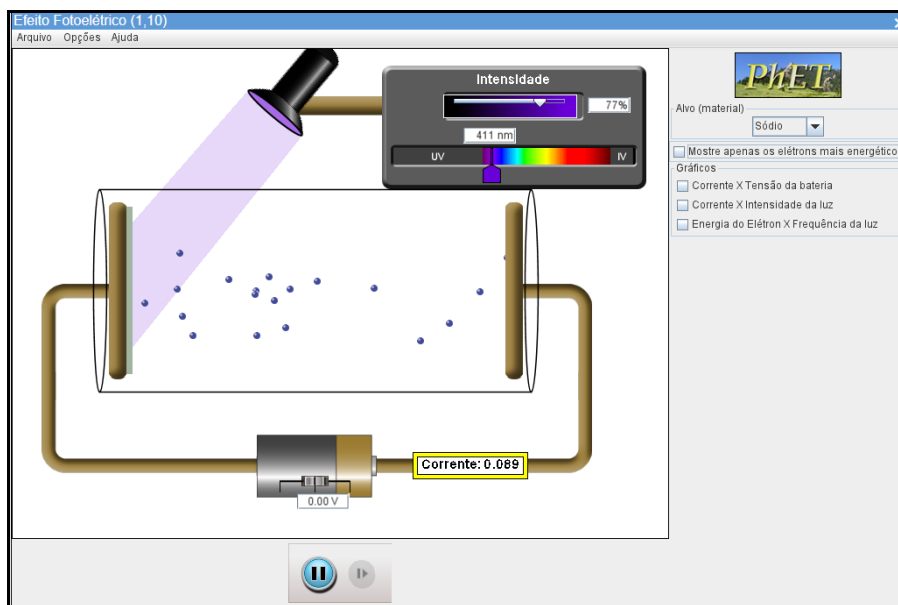
D) 3, 1, 4, 2. ✗



Avaliação da avaliação da aprendizagem 01, individual e somativa sobre noções de Física Moderna (Modelos atômicos).

Diante da avaliação geral dos resultados da turma, foi possível perceber que a maioria dos alunos conseguiram, de maneira bastante satisfatória, entender os conceitos básicos dos modelos atômicos. Mesmo alunos que têm mais dificuldades, na parte conceitual, tiveram uma melhora significativa no aprendizado.

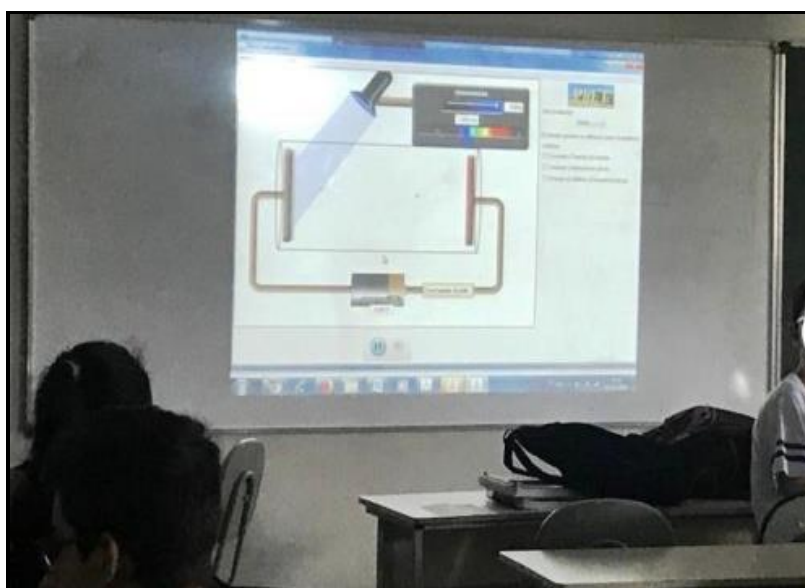
Na décima e décima primeira aulas, em 06/11 e 08/11, foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada com o uso de um computador e do *datashow*, foi projetado o simulador PhET e do caderno C4, os conceitos do efeito fotoelétrico e o conceito do modelo corpuscular da luz. Na décima começou-se com a projeção do simulador PhET, figura abaixo. Em princípio a placa de sódio foi “iluminada” (irradiada) com a luz vermelha, e nada aconteceu nada. Em seguida foi aumentada gradualmente a intensidade da luz vermelha os alunos inquietos perguntando por que não aconteceu nada. Em seguida foi aumentando-se, aos poucos, a frequência da luz. A partir da luz azul, elétrons começaram a “saltar” da placa de sódio irradiada.



**Figura 42:** Simulador PHET

**Fonte:** <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html>.

A foto abaixo mostra a utilização do simulador PhET colorado projetado em uma tela branca. Em que foi alterado a frequência da luz incidida sobre uma placa de sódio e observado o que acontecia a medida que se aumentava a frequência. Alterou-se também a intensidade luminosa, para frequências as quais não se arrancava elétrons e para frequências as quais se arrancavam elétrons, observado o que acontecia a medida em que se aumentava a intensidade luminosa.



**Figura 43:** Demonstração do efeito fotoelétrico.

**Fonte:** O autor (novembro – 2019).

Para aprofundar a discussão sob o efeito fotoelétrico, foi utilizado um experimento, confeccionado pelo professor, mostrado na figura 45 abaixo. O experimento seduziu os alunos a se interagirem mais e efetivamente com a aula, o que resultou, em um maior aproveitamento por parte deles.



*Figura 44: prática do efeito fotoelétrico.*

**Fonte:** Autor (novembro – 2019).

Buscou-se neste passo o aprofundamento do conceito de efeito fotoelétrico, destacando conceitos como o modelo corpuscular para a luz, função trabalho e a dualidade da luz. Discutiuiu-se também, a relação da frequência da luz com o seu comprimento de onda e qual seria a implicação de um menor comprimento de onda em relação com a sua energia.

Na decima segunda e decima terceiras aulas, em 13/11 e 20/11, foi apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada, noções e conceitos de fissão e fusão nuclear. Começando com os aspectos mais gerais, que foram sendo progressivamente aprofundados, objetivando a abordagem específica do conteúdo, expandindo a estrutura cognitiva a partir das subsunções que serviram de base para novos conhecimentos. Aos poucos buscou-se o aprofundamento dos conceitos de física nuclear, destacando reações de fissão e fusão nucleares, além de algumas aplicações importantes. Nesse momento buscou-se estabelecer discussão sobre a fissão e a fusão nuclear. Uma aplicação da fissão em cadeia, controlada, em reatores nucleares para aquecer grandes porções de água, e o vapor gerado é utilizado para impulsionar turbinas responsáveis pela produção de energia elétrica, uma aplicação bélica é a produção de bombas atômicas. Já na fusão, foi citado o exemplo do Sol,

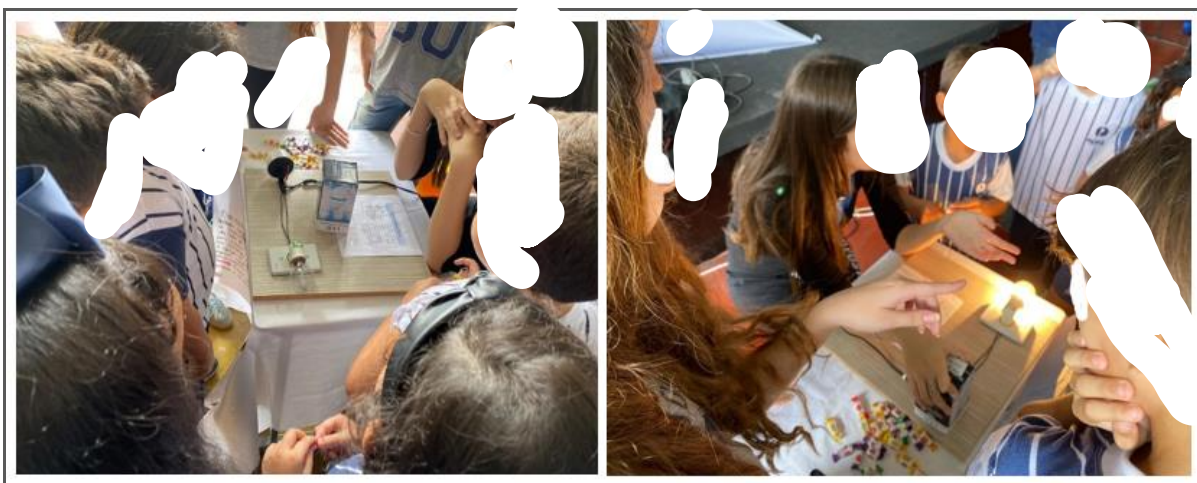


onde a união entre dois núcleos forma um núcleo mais pesado liberando uma enorme quantidade de energia.

### 5.2. Concluir a Unidade (Participação em Jornada científica)

No dia 27/11 de 2019 aconteceu a Jornada Científica, no colégio Padrão Internacional, evento muito esperado pelos alunos pois, para eles “não tem aula”. Momento em que se estabeleceu interação, discussão e a socialização do efeito fotoelétrico dos alunos do nono ano do E.F. com demais alunos do Colégio Padrão. Houve muito engajamento por parte dos alunos.

As fotos abaixo mostram algumas alunas explicando como se dá o fenômeno do efeito fotoelétrico para uma turma de alunos do ensino Fundamental I. Após a explicação, as alunas faziam perguntas básicas para quem ouviu a explicação, os alunos que acertavam suas respostas ganhavam uma bala, pirulito ou chiclete.



**Figura 45:** Jornada científica.  
**Fonte:** Autor (novembro – 2019).

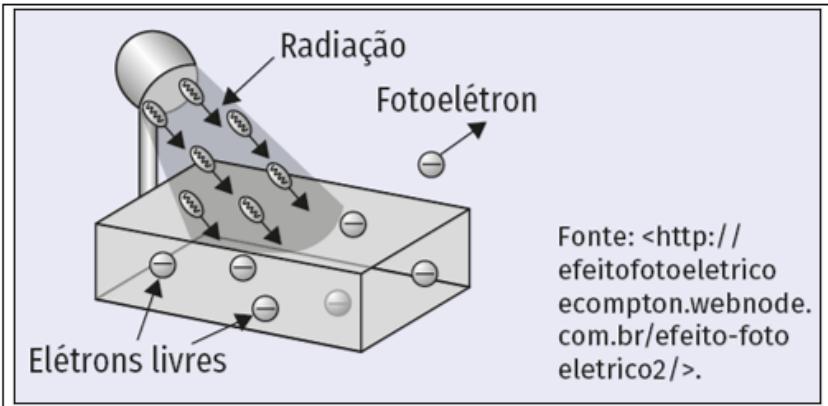
### 5.3. Avaliação da Aprendizagem através da UEPS

Na décima oitava aula, em 29/11/2019, foi realizada a avaliação 02 da aprendizagem para avaliar a aprendizagem através da UEPS, apesar de que, no decorrer de todo o processo de aplicação da UEPS foram realizados registros que buscavam evidências da aprendizagem significativa. A avaliação foi individual e somativa, sobre noções de Física Moderna. Participaram trinta e cinco (35) alunos da avaliação. A avaliação possuía uma (01) questão dissertativa e três (03) questões de múltipla escolha.

Para discussão da avaliação da aprendizagem, foram escolhidas provas aleatórias. Cada aluno recebeu sua avaliação, para que eles pudessem responder de forma espontânea e pessoal, questões, sobre o conteúdo estudado.

Questão 01: A questão um (01) é uma questão discursiva. Esse tipo de questão permite ao professor fazer uma melhor avaliação da aquisição do conhecimento, pelo aluno, dos conhecimentos ensinados.

**QUESTÃO DISCURSIVA** (Descritor: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual da luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas)



Fonte: <<http://efeitofotoeletrico.compton.webnode.com.br/efeito-fotoeletrico2/>>.

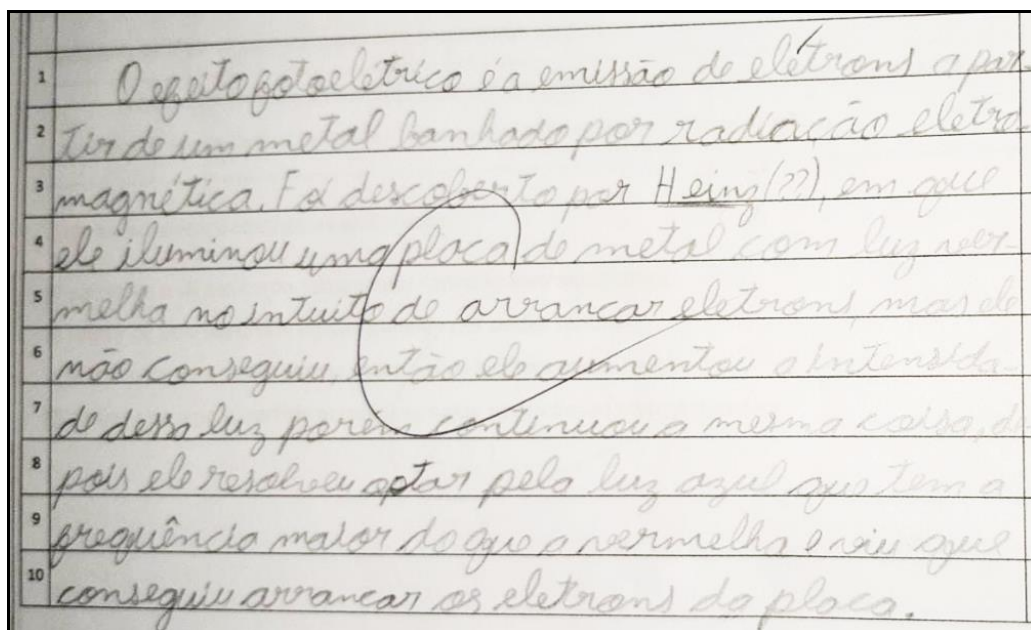
Figura 01: Caderno 4 Pitágoras

**INSTRUÇÃO: EXPLIQUE** como é possível ocorrer o fenômeno ilustrado acima.

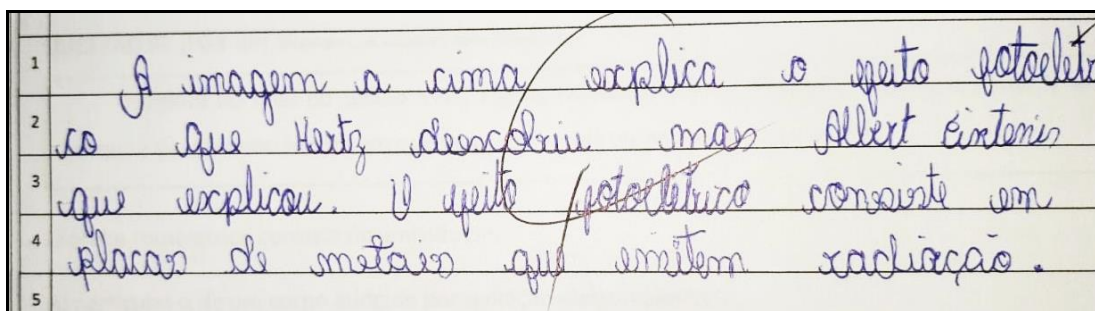
Ordinária / Assinada	Municipal / Municipal	Fuer. Concelhos	Regência	Coordenação	Colégio
Unidade de Ensino					

Na figura abaixo demonstra, claramente, que a aluna adquiriu o conhecimento ensinado. Ela relata detalhes do efeito fotoelétrico, relata a descoberta por Hertz, da relação do efeito com a intensidade e com a frequência da luz.





Na figura abaixo demonstra, claramente, que a aluna ainda não adquiriu o conhecimento ensinado. Ela relata que o efeito fotoelétrico foi descoberto por Hertz e explicado por Einstein, cita o efeito fotoelétrico, mas não dá relação do efeito com a intensidade e com a frequência da luz.



Questão 02: A questão dois (02) chamada de QUESTÃO 01 de múltipla escolha. Esse tipo de questão não tem como o professor afirmar que o aluno adquiriu o conhecimento ensinado, uma vez que, o aluno pode “chutar” e acertar a questão.

**QUESTÃO 01** (Descritor: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual da luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas).

Quando um elétron absorve certa quantidade de \_\_\_\_\_, salta para uma órbita mais \_\_\_\_\_. Quando ele retorna à sua órbita original, \_\_\_\_\_ a mesma quantidade de energia, na forma de \_\_\_\_\_.

Escolha, dentre as alternativas, aquela que fornece as palavras corretas para preencher as lacunas vazias do enunciado relacionado ao modelo atômico estabelecido por Bohr.

- a) calor, energizada, libera, onda eletromagnética.
- b) energia, energética, absorve, onda eletromagnética.
- c) calor, energizada, absorve, luz.
- d) energia, energética, libera, onda eletromagnética.
- e) energia, externa, libera, luz.

Escolha, dentre as alternativas, aquela que fornece as palavras corretas para preencher as lacunas vazias do enunciado relacionado ao modelo atômico estabelecido por Bohr.

- A) calor, energizada, libera, onda eletromagnética.
- B) energia, energética, absorve onda eletromagnética.
- C) calor, energizada, absorve, luz.
- D) energia, energética, libera onda eletromagnética.
- E) energia, externa, libera luz.

Questão 03: A questão três (03) chamada de QUESTÃO 02 de múltipla escolha. Esse tipo de questão não tem como o professor afirmar que o aluno adquiriu o conhecimento ensinado, uma vez que, o aluno pode “chutar” e acertar a questão.



**QUESTÃO 02- (Descritor: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual da luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas)**

(PUC-RS) Para responder à questão, analise as afirmativas abaixo, referentes ao efeito fotoelétrico.

- I. A frequência mínima da radiação incidente para que o efeito fotoelétrico seja observado depende da constituição química do material.  
II. A energia de cada fotoelétron ejetado no processo depende da intensidade da radiação incidente.  
III. A quantidade de fotoelétrons ejetados no processo depende da intensidade da radiação eletromagnética incidente.

Está/Estão correta(s) a(s) afirmativa(s)

- a) I, apenas.  
b) II, apenas.  
c) I e III, apenas.  
d) II e III, apenas.  
e) I, II e III.

Está/Estão correta(s) a(s) afirmativa(s):

- A) I, apenas. ~~x~~  
B) II, apenas. ~~x~~  
~~C) I e III, apenas.~~  
D) II e III, apenas.  
E) I, II e III.

Está/Estão correta(s) a(s) afirmativa(s):

- A) I, apenas.  
B) II, apenas.  
C) I e III, apenas.  
D) II e III, apenas.  
E) I, II e III.

Questão 03: A questão quatro (04) chamada de QUESTÃO 03 de múltipla escolha. Esse tipo de questão não tem como o professor afirmar que o aluno adquiriu o conhecimento ensinado, uma vez que, o aluno pode “chutar” e acertar a questão.

<input type="checkbox"/>	<p><b>QUESTÃO 03 - (Descritor: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual da luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas).</b></p> <p>(UFSM-RS- modificada)</p> <p>I. O efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.</p> <p>II. O número de elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.</p> <p>III. A energia máxima dos elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.</p> <p>Está(ão) correta(s)</p> <p>a) apenas I.  b) apenas II.  c) apenas III.  d) apenas I e II.  e) I, II e III.</p>
--------------------------	--

<p>O efeito fotoelétrico consiste na emissão de:</p> <p>A) partículas <math>\alpha</math> de um corpo atingido por radiação eletromagnética.</p> <p>B) raios <math>\gamma</math> de uma superfície líquida atingida por ondas sonoras.</p> <p>C) elétrons de uma massa gasosa sobre a qual incidem ondas mecânicas.</p> <p><input checked="" type="radio"/> D) elétrons de uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.</p>
---

<p>O efeito fotoelétrico consiste na emissão de:</p> <p>A) partículas <math>\alpha</math> de um corpo atingido por radiação eletromagnética.</p> <p>B) raios <math>\gamma</math> de uma superfície líquida atingida por ondas sonoras.</p> <p>C) elétrons de uma massa gasosa sobre a qual incidem ondas mecânicas.</p> <p><input checked="" type="radio"/> D) elétrons de uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.</p>
---

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como proposta a construção e implementação de uma sequência didática, UEPS, para o ensino de FMC, no nono ano do ensino fundamental II, com base na teoria da Aprendizagem Significativa. Para atingir os objetivos, buscou-se seguir os passos sugeridos por Moreira, desenvolvendo atividades com características de serem potencialmente significativos, pois para Ausubel as condições necessárias para a aprendizagem significativa estão intimamente ligadas à qualidade do material utilizado.

O êxito da UEPS está diretamente relacionado ao desempenho e da satisfação dos alunos, pois estes fornecem evidências da aprendizagem significativa. A avaliação da aprendizagem e do desempenho dos alunos se deu ao longo de toda a implementação da UEPS, como sugerido por Moreira, considerando as participações dos alunos em cada atividade realizada.

Os dados obtidos com a pesquisa revelaram que a grande maioria dos alunos obtiveram um maior êxito, no tangente a aquisição, dos conceitos básicos da FMC.

Durante as atividades realizadas pelos alunos, mapa conceitual, teste de sondagem, avaliação somativa da primeira avaliação (01) da aprendizagem, da jornada científica e da avaliação somativa da segunda avaliação (02) da aprendizagem ficou evidente que a UEPS não é a única, mas é uma excelente proposta para a educação.

Em algumas etapas foram feitas atividades entregues ao professor, e estes materiais serviram como suporte na busca de evidências da aprendizagem. As atividades apresentadas buscaram estratégias para que as aulas fossem dinâmicas e interativas como por exemplo a exibição de vídeos e poemas, execução de mapas conceituais, exercícios, simulações, realização de experimentos, análise de situações-problemas, participação em jornada científica e avaliação somativa para compor a nota da etapa escolar.

A utilização das estratégias pedagógicas e tecnológicas diversificadas, com foco na compreensão dos conceitos físicos e análise de situações problema, e não somente na “decoração” das equações e fórmulas, faz com que alunos, mesmo do EF compreendam conceitos básicos de FMC.

Por fim, espera-se que esse trabalho possa trazer contribuições e reflexões sobre a importância do ensino de física moderna e contemporânea nas bases do ensino, no ensino fundamental, uma vez a física moderna que faz parte do nosso dia a dia.

## BIBLIOGRAFIA

A., M. M. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula**. Brasília: Universidade de Brasília, 2006.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Platano, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional., 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>>. Acesso em: 18 outubro 2019.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Parte III Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 20 Novembro 2019.

CARDOSO, S. O. D. O.; DICKMAN, A. G. **Simulação Computacional Aliada à Teoria da Aprendizagem Significativa: Uma Ferramenta para Ensino e Aprendizagem do Efeito Fotoelétrico**. Caderno Brasileiro do Ensino de Física, Florianópolis, v. 29, p. 891-934, Outubro 2012.

CARUSO, F.; OGURI, V. Física Moderna - **Origens Clássicas & Fundamentos Quânticos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

Cutnell, J.; Johnson, K. Física, Vol. 3 - **6ª Edição**. Editora LTC. 2006.

COLORADOBOULDER., U. O. PhET Interactive Simulations. Disponível em: <<https://phet.colorado.edu>>. Acesso em: 6 novembro 2019.

EISBERG, R.; R., R. **Física Quântica. Átomos, Moléculas, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. **Óptica e Física Moderna**. Nona. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2012.

LOPES, J. L. **A Estrutura Quântica da Matéria**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 1993.

MEDEROS, R. F. D.; SANTOS, F. M. T. D. **Introdução à Física das Radiações**. UFRGS, Porto Alegre, 2011. ISSN 5. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/textos\\_apoio](http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/textos_apoio)>. Acesso em: 29 Novembro 2019.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Pedagógica e Universitária Ltda, 1999.

MOREIRA, M. A. **Testos de Apoio ao Professor de Física**. UFRGS, 2013. Disponível em: <[http://if.ufrgs.br/ppgenfis/textos\\_apoio](http://if.ufrgs.br/ppgenfis/textos_apoio)>. Acesso em: 18 outubro 2019.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2001.

NOVAK, J. D. **Aprender a Aprender**. 1. ed. Lisboa: Edições Técnicas, 2006.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica, Eletromagnetismo**. São Paulo: Edgard Blücher, v. 3, 1997.

PEREZ, Silvana. **Mecânica quântica: um curso para professores da educação básica**. Editora Livraria da Física, 2016.

QUEVEDO, C. P.; LODI, C. Q. **Ondas eletromagnéticas**. São Paulo: Pearson, 2010.

SANTOS, C. A. O Físico e o Fóton. **Ciência Hoje**, 2015. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/o-fisico-e-o-foton>>. Acesso em: 20 novembro 2020.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Physics for scientists and engineers**. Cengage learning, 2018.

VALADARES, E. D. C.; MOREIRA, M. A. Ensino Física no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**., Santa Catarina, v. V.15, p. 359-372, agosto 1998. ISSN 2.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Ótica e Física Moderna**. São Paulo: Pearson, v. 4, 2009.





## APÊNDICE 2

### 2ª Atividade avaliativa

Escola Fundamental II - 3ª ETAPA 2019  
 Disciplina: FÍSICA 1ª ano  
 Professor: Paulo Cesar Estêvão  
 Data: 25/11/2019

**CODIGOS DE CORREÇÃO**  
 C Acerto a questão  
 P Acerto parcialmente a questão  
 N Não acerto a questão

**QUESTÃO DISCURSIVA** (Descrição: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual de luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas)

Fonte: <http://efeitofotoeletrico.ecompton.webnode.com.br/efeito-foto-eletrico2/>.

Figura 01. Colares e Piquini.

**INSTRUÇÃO: EXPLIQUE** como é possível ocorrer o fenômeno ilustrado acima.

Nº	Questão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
1																													
2																													
3																													
4																													
5																													
6																													
7																													
8																													

**QUESTÃO 01** (Descrição: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual de luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas).

Quando um elétron absorve certa quantidade de \_\_\_\_\_, salta para uma órbita mais \_\_\_\_\_ Quando ele retorna à sua órbita original, \_\_\_\_\_ a mesma quantidade de energia, na forma de \_\_\_\_\_

Escalife, dentro de alternativas, aponte qual forma os elétrons cometa para preencher as lacunas vazias do enunciado relacionado ao modelo atômico estabelecido por Bohr.

a) calor, energética, libera, onda eletromagnética.  
 b) energia, energética, absorve, onda eletromagnética.  
 c) calor, energética, absorve, luz.  
 d) energia, energética, libera, onda eletromagnética.  
 e) energia, oxímora, libera, luz.

**QUESTÃO 02** (Descrição: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual de luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas)

[PLC-RES] Para responder à questão, analise as afirmativas abaixo, referentes ao efeito fotoelétrico.

I. A frequência mínima da radiação incidente para que o efeito fotoelétrico seja observado depende da constituição química do material.  
 II. A energia de cada fotoelétrion ejetado no processo depende da intensidade da radiação incidente.  
 III. A quantidade de fotoelétrions ejetados no processo depende da intensidade da radiação eletromagnética incidente.

Esta(ões) cometa(s) a(s) afirmativa(s)

a) I, apenas.  
 b) II, apenas.  
 c) I e II, apenas.  
 d) II e III, apenas.  
 e) I, II e III.

**QUESTÃO 03** - (Descrição: Conhecer o efeito fotoelétrico. Conhecer o comportamento dual de luz. Conhecer o átomo de Bohr e suas transições eletrônicas).

[UFPM-RS-modificada]

I. O efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.  
 II. O número de elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.  
 III. A energia máxima dos elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.

Esta(ões) cometa(s)

a) apenas I.  
 b) apenas II.  
 c) apenas III.  
 d) apenas I e II.  
 e) I, II e III.

Figura 47: Atividade avaliativa 02.  
 Fonte: Autor.

**APÊNDICE 3****Termo de Consentimento e Anuência do Gestor****TERMO DE CONSENTIMENTO E ANUÊNCIA DO GESTOR****MONTES CLAROS – MG , 10/10/2019**

Eu Paulo Gomes Batista, discente do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do Programa de Pós-Graduação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, estarei desenvolvendo Produto educacional (sequência didática) no Colégio Padrão Internacional, de Montes Claros, tendo como Diretora a Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Rosina Maria Turano Mota, tendo como orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Porto Gonçalves. Sendo que as sequências didáticas estão vinculadas às atividades educacionais e consistem num encadeamento de etapas ligadas entre si e têm sido cada vez mais utilizadas como recursos para o ensino com o objetivo de facilitar a aprendizagem. Fugir da abordagem tradicional, como estratégia de ensino, é cada vez mais comum na educação como recurso pedagógico para tornar o ensino dinâmico, atrativo e motivador. Caso necessite esclarecer alguma dúvida em relação ao estudo estou à disposição para prestar quaisquer esclarecimentos. Se vossa senhoria estiver de acordo, posso garantir que as informações fornecidas serão confidenciais, e os dados utilizados apenas para fins de análises científicas.

Eu Rosina Maria Turano Mota fui esclarecida sobre a pesquisa citada acima e concordo com estes dados sejam utilizados na realização da mesma, considerando seu mérito e caráter científico.

  
\_\_\_\_\_  
Rosina Maria Turano Mota

**Figura 48:** Termo de consentimento do gestor.

**Fonte:** O autor

**APÊNDICE 4**

PRODUTO EDUCACIONAL

**UESB**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO SUDOESTE DA BAHIA**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ABORDAGEM DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NOS ANOS FINAIS  
DO ENSINO FUNDAMENTAL COM O USO DE UMA UNIDADE DE ENSINO  
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

PRODUTO EDUCACIONAL

PAULO GOMES BATISTA

Vitória da Conquista – Bahia

Março – 2022



**UESB**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO SUDOESTE DA BAHIA



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

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ABORDAGEM DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NOS ANOS FINAIS  
DO ENSINO FUNDAMENTAL COM O USO DE UMA UNIDADE DE ENSINO  
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

PAULO GOMES BATISTA

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia) no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) para ser submetido ao exame de qualificação, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Orientadora: Profa Dra. Cristina Porto Gonçalves.  
Coorientador: Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro.

Vitória da Conquista – Bahia  
Março – 2022

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2.1. A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2.2. A Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira.</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2.3. Unidades de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2.3.1. Mapas Conceituais .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3. TÓPICO ABORDADO .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.1. Onda Eletromagnéticas.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.2. Radiação Térmica.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.3. Corpo Negro.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.4. Efeito Fotoelétrico .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.5. Átomo de Bohr.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.6. Noções de Física Nuclear .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.6.1. Fusão Nuclear.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.6.2. Fissão Nuclear .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>4. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA ..</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>ANEXO 02.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>5. DISTRIBUIÇÕES DAS AULAS E ATIVIDADES .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

Este Produto Educacional foi desenvolvido a partir da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, com o objetivo de contribuir com os docentes na apresentação do conteúdo Física Moderna no Nono Ano do Ensino Fundamental II, com foco na Aprendizagem Significativa. Sendo de grande importância, a inserção deste conteúdo promove a inclusão e compreensão do discente na evolução científica, além de contribuir na construção do conhecimento necessário para que sua aprendizagem seja realmente significativa.

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, que de acordo com Moreira (2009) tem como interesse central a interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos diante de suas ações. É um processo investigativo no qual o pesquisador está inserido e participando ativamente da análise dos dados obtidos para justificar a credibilidade do modelo implantado em sala de aula. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)

Partindo do questionamento de como desenvolver, aplicar e avaliar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa no estudo de Física Moderna, foi possível construir um Produto Educacional, que poderá ser aplicado em turmas do Nono Ano do EF II. Este material tem a pretensão de oferecer um apoio para o professor no planejamento e execução de suas aulas.

Este trabalho teve como base teórica a Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1980), proposta por Marco Antonio Moreira (2011) através de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que tem como finalidade verificar a existência de subsunçores na estrutura cognitiva dos discentes, propor situações problemas por meio de vídeos, leitura de poemas, questionários, questionamentos e simulador computacional, e assim motivá-los a participar ativamente do processo de ensino e aprendizagem, para que ao final da aplicação seja possível ter evidências concretas de aprendizagem significativa do assunto abordado.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O Produto Educacional está disponibilizado em forma de implementação de uma Sequência Didática (SD). Neste processo foram escolhidas a Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira para realização das atividades realizadas em sala de aula.

### **2.1. A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel**

David Ausubel (1918-2008), é o precursor da Aprendizagem Significativa, formado nas áreas de Medicina, Psicologia e Psiquiatria, seu estudo buscou facilitar a aquisição de conhecimentos nos processos de ensino-aprendizagem. Desde a década de setenta, a aplicação da sua teoria tem sido realizada por Joseph D Novak, junto com seus colaboradores, entre os quais destaca-se neste trabalho Marco Antônio Moreira, representante desta teoria no Brasil.

A ideia mais importante da sua teoria se resume na seguinte proposição: Se tivesse que reduzir toda psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine- o de acordo (AUSUBEL, p. iv, 1978).

De acordo com Ausubel (1978), a aprendizagem está ligada aos subsunçores, ele se refere a estrutura cognitiva e a organização das ideias de um indivíduo de acordo com um determinado assunto. Essa estrutura cognitiva preexistente só influencia na aprendizagem subsequente quando o conteúdo é aprendido de forma significativa, de maneira não arbitrária e não literal.

Moreira (2006) afirma que, realizar esse processo é fazer um “mapeamento” desta estrutura cognitiva, que não é fácil realizar através dos testes convencionais, que geralmente enfatizam o conhecimento factual e estimulam a memorização.

A aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação relaciona-se de maneira substantiva e não arbitrária com a estrutura cognitiva do aprendiz. Esse processo ocorre quando a nova informação interage com o “subsunçor”, que tem como um conceito, ideia ou proposição existente na estrutura cognitiva, que serve de ancoradouro para o novo conhecimento, para isso Ausubel destaca duas condições essenciais, uma diz respeito ao material de aprendizagem potencialmente significativo e a outra relaciona-se com a predisposição que o aluno deve apresentar no processo de aprendizagem.

Quando os subsunçores, não estão presentes na estrutura cognitiva do aluno, é proposto o uso de organizadores prévios. Estes são compostos por materiais introdutórios, que incluídos no processo, são mais abrangentes e antecedem o conteúdo a ser abordado.

Os subsunçores são modificados e adquirem novos significados através de um processo de diferenciação progressiva, que tem com finalidade tornar os conhecimentos prévios mais específicos e abrangentes, para que as novas informações se relacionem com a estrutura cognitiva do aluno. Estes conceitos novos quando se relacionam cognitivamente, reorganizando e adquirindo novos significados, o que Ausubel (1978) chama de reconciliação integrativa.

A avaliação, de acordo com os critérios da aprendizagem significativa, visa buscar evidências de aprendizagem, deste modo, é proposto aos discentes novas situações problema, para que tenham capacidade de expor o conhecimento adquirido.

## **2.2. A Aprendizagem Significativa Crítica na visão de Marco Antônio Moreira.**

Com o objetivo de desenvolver no aprendiz a capacidade de compreender criticamente os significados das informações no contexto escolar, sabendo reconhecer que os conteúdos não são únicos e definitivos, a aprendizagem significativa crítica permite ao discente a construção do conhecimento, interagindo com as mudanças sem se deixar dominar por elas.

Na aprendizagem significativa crítica, o aluno faz parte da sua cultura e, ao mesmo tempo, não é dominado pela mesma, permitindo a formação de um sujeito crítico. Nesse sentido, Moreira (2000) propõe alguns princípios, ideias ou estratégias facilitadoras da aprendizagem significativa crítica:

- Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos. Para ser crítico de algum conhecimento, primeiramente tem que aprendê-lo significativamente;
- Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas;
- Princípio da não centralidade do livro texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais;
- Princípio do aprendiz como preceptor/representador (somos preceptores e representadores do mundo);
- Princípio do conhecimento como linguagem (aprender que a linguagem está totalmente implicada em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade);
- Princípio da consciência semântica (aprender que o significado está nas pessoas, mas não nas palavras);
- Princípio da aprendizagem pelo erro (aprender que os seres humanos aprendem corrigindo os seus erros);
- Princípio da desaprendizagem (aprender a desaprender e não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência);



- Princípio da incerteza do conhecimento (aprender que as perguntas são instrumentos de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para pensar);
- Princípio da “não utilização do quadro de giz” (aprender a partir de distintas estratégias de ensino);
- Princípio do abandono da narrativa (aprender que simplesmente repetir a narrativa de outra pessoa não estimula a compreensão).

### **2.3. Unidades de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS**

A construção da UEPS parte do princípio de que o ensino e a aprendizagem não são indissociáveis, dessa forma, não se pode dizer que o ensino ocorre se não se verifica a aprendizagem significativa. Neste contexto, todo o trabalho pedagógico deve ser subsidiado por materiais didáticos potencialmente significativos (MOREIRA, 2011).

Para Masini (2010), a aprendizagem significativa só é verificada quando o indivíduo é entendido em sua totalidade enquanto ser social e cultural. Por mais que a aprendizagem seja individual, as relações presentes entre o sujeito e o objeto de conhecimento e as interações entre professor e aluno são condições para a aprendizagem significativa.

A ocorrência de aprendizagem significativa depende de duas condições, a primeira se refere ao material a ser utilizado e a sua organização didática, a segunda depende da estrutura cognitiva do educando, de seus conhecimentos prévios e de sua disponibilidade para aprender (MOREIRA, 2012).

Com objetivo de criar um ambiente adequado para a aprendizagem significativa, Moreira (2011) propôs a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) que são sequências de ensino voltadas para subsidiar a prática docente no sentido da promoção da aprendizagem significativa abrindo caminho para a pesquisa em ensino. Em outras palavras, a sequência didática elaborada pelo professor precisa considerar em sua estrutura o apreçoado pela Teoria da Aprendizagem Significativa. Contudo, Moreira (2011) considera, nos fundamentos da UEPS, características de outras teorias relacionadas à aprendizagem cognitiva, como as propostas por Novak, Vergound, Vygotsky, Gowin, Johnson-Laird e Moreira.

Oito passos para a construção de uma UEPS segundo Moreira (2011, p.47):

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. Criar/propor situação(situações) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento

prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;

3. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;

4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;

6. Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas 5 por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar

baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Segundo Moreira (2010), a aprendizagem significativa decorre da interação entre os conhecimentos prévios e os conhecimentos novos de maneira substantiva (não ao pé-da-letra) e não-arbitrária (apenas conhecimentos relevantes presentes na estrutura cognitiva do aprendiz).

Neste contexto o aluno deve aprender a perguntar, mesmo tendo acesso as respostas, pois com isso esse passa a duvidar e questionar o conteúdo, desta forma o estudante precisa ter consciência de que os significados não são permanentes e que aprender pelo erro é ter a oportunidade de corrigir e dar sequência a aprendizagem. Então é possível destacar a importância de o ensino ser centrado no aluno, para que ele possa desenvolver as competências e habilidades necessárias para a compreensão, em especial, da Física.

As estratégias didáticas utilizadas neste trabalho foram as aplicações utilizadas por meio dos conceitos de Aprendizagem Significativa na visão de Ausubel e Moreira. Para isso, foi aplicada uma UEPS, que busca de forma dinâmica abordar os mais diversos recursos didáticos, principalmente, os Mapas Conceituais, usados na obtenção de evidências da aprendizagem.

As UEPS, propostas por Moreira, são sequências didáticas fundamentadas em teorias da aprendizagem, que tem como marco a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968, 2000), em visões clássicas e contemporâneas (Moreira, 2000, 2005, 2006; Moreira e Masini, 1982, 2006; Masini e Moreira, 2008; Valadares e Moreira, 2009); as teorias de educação de Joseph D. Novak (1977) e de D.B. Gowin (1981); a teoria interacionista social de Lev Vygotsky (1987); a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990; Moreira, 2004); a teoria dos modelos mentais de Philip Johnson-Laird (1983) e a teoria da aprendizagem significativa crítica de M.A. Moreira (2005).

São direcionadas para a aprendizagem significativa buscando uma aprendizagem não mecânica e que seja aplicada diretamente em sala de aula. Segundo Moreira (2011), as UEPS seguem os seguintes princípios:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- situações-problema pode funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud);
- frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);

- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo;
- a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira).

Moreira também propõe que uma UEPS, deve seguir os oito (08) passos seguintes ou aspectos sequenciais, os quais foram utilizados na elaboração deste Produto Educacional:

1. definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; [...];
4. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; [...];
5. em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; [...];
6. concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados [...];
7. a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; [...];

8. a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema).

De acordo com Moreira (2011) os materiais e estratégias devem ser diversificados, motivando o questionamento, onde o discente deve incentivar o diálogo e a reflexão crítica. Para isso devem ser utilizadas situações-problemas e priorizar atividades colaborativas, mesmo que no processo tenha alguma atividade individual.

### 2.3.1. Mapas Conceituais

A proposta do emprego dos mapas conceituais na aprendizagem significativa foi desenvolvida por Joseph Novak e seus colaboradores da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos da América. Eles são diagramas que indicam relações entre os conceitos, possuem sua organização de forma hierárquica e refletem sobre os conceitos de determinado conteúdo. Geralmente, estes são feitos por meio da utilização de figuras geométricas, com a obtenção de linhas ou setas indicando que há uma ligação entre os conceitos. Desta forma, não há uma regra para sua construção, como expõe Moreira (1998):

[...] Não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino. Por exemplo, se o indivíduo que faz um mapa, seja ele, digamos, professor ou aluno, une dois conceitos, através de uma linha, ele deve ser capaz de explicar o significado da relação que vê entre esses conceitos.

Deste modo, os mapas conceituais devem ser explicados pela pessoa que o produz, para que seja exposto os significados que estão presentes no desenvolvimento de ensino. Por isso, eles podem ser usados para evidências de aprendizagem significativa, bem como para os processos de avaliações.

### 3. TÓPICO ABORDADO

O trabalho aqui apresentado é um tópico específico para o ensino de noções de FMC no EF II, que de acordo com o primeiro passo da UEPS, deve ter seus aspectos declarativos e procedimentais claros e aceitos no contexto da matéria de ensino (Moreira, 2011).

Para o estudo das FMC com abordagem no EF II, foram utilizadas as seguintes referências: CADERNO C4 da rede Pitágoras, HALLIDAY&RESNICK, RAYMOND&JOHN, SEARS&ZEMANSKY, BONJORNO, MÁXIMO, ALVARENGA, ANDRADE, RAMALHO, NICOLAU, TOLEDO e notas de aulas da professora doutora Cristina Porto Gonçalves do programa de mestrado do MNPEF da UESB.

O presente trabalho levou em consideração apenas os conceitos básicos da FMC, sem se preocupar com o formalismo matemático, uma vez que se trata de uma turma do nono ano do EF II. Portanto não foram explanadas quaisquer equações da FMC.

#### a) Física Moderna e Contemporânea

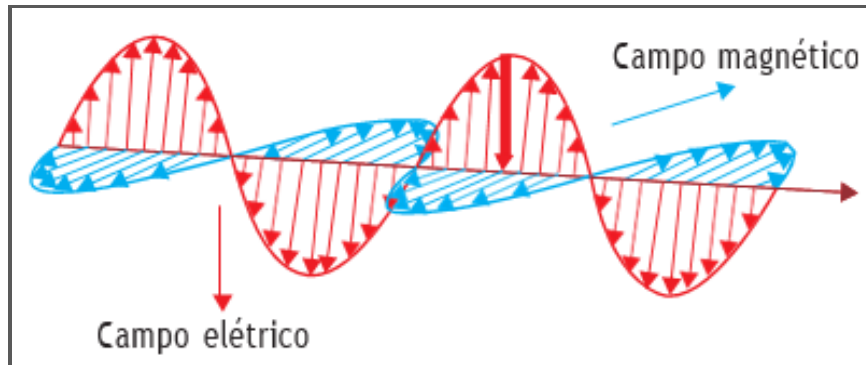
Este capítulo tem a pretensão de abordar os conceitos fundamentais de FMC presentes no cotidiano. Partindo da evolução dos modelos atômicos, radiações eletromagnéticas e térmicas, corpo negro, o efeito fotoelétrico, o átomo de Bohr até noções de Física Nuclear (fusão e fissão). Foi usado, também como referência básica, PEIXOTO, Ivan. Belo Horizonte. 2018 (caderno C4 da Rede Pitágoras) e as notas de aula dos professores da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia do MNPEF: Professora doutora Cristina Porto Gonçalves e do Professor doutor Luizdarcy de Matos Castro.

#### 3.1. Onda Eletromagnéticas

Maxwell (1831–1879), físico teórico escocês, desenvolveu a teoria eletromagnética da luz, a teoria cinética dos gases e explicou a natureza da visão em cores e dos anéis de Saturno. Maxwell possuía uma formidável habilidade matemática combinada com grande intuição, o que o capacitou a liderar o caminho no estudo do eletromagnetismo. Maxwell acreditava que cargas elétricas em movimento eram capazes de produzir um campo elétrico e um campo magnético, variáveis com o tempo, ambos se sustentariam de tal maneira a tornar possível a sua propagação em conjunto, gerando ondas eletromagnéticas, como o raio X ou a luz visível. As equações de Maxwell são consideradas como base para todos os fenômenos elétricos e magnéticos. “Essas equações são tão fundamentais para fenômenos eletromagnéticos quanto as

leis de Newton para fenômenos mecânicos” (Raymond 2005). A representação dos fenômenos eletromagnéticos de forma completa foi introduzida por Maxwell, baseadas em quatro equações denominadas “Equações de Maxwell”

A figura 01 abaixo representa uma onda eletromagnética em que o campo elétrico é perpendicular ao campo magnético.



**Figura 01:** Onda eletromagnética.  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Baseado nas ideias de Maxwell, o físico alemão Heinrich hertz (1857-1894) foi o primeiro a produzir e detectar a presença de ondas de rádio utilizando circuitos elétricos oscilantes. E uma característica muito importante das ondas eletromagnéticas é que seus campos não interagem com outros, como por exemplo, a luz não sofre desvio quando passa próximo a um ímã (campo magnético).

### 3.2. Radiação Térmica

Na radiação térmica é mostrado que, quando nos aproximamos de uma chama, por exemplo, fica evidente a presença da radiação térmica que chega até o nosso corpo e eleva a temperatura. Qualquer objeto cuja temperatura seja superior a zero kelvin emite radiação térmica e que estando na temperatura ambiente, esta radiação é predominantemente infravermelha, portanto, não é visível, entretanto, à medida que a temperatura de um corpo vai aumentando, sua cor vai se alterando do infravermelho para o vermelho, do vermelho para o alaranjado, então para o amarelo, e assim sucessivamente. A figura 02, abaixo, mostra a radiação do vermelho para alaranjado, então para o amarelo.



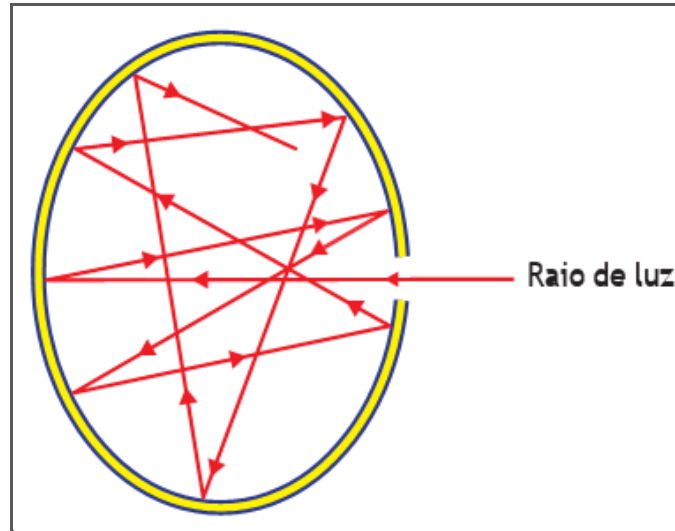
**Figura 02:** Radiação térmica.  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

De acordo com a teoria ondulatória de Maxwell, a energia da radiação emitida aumenta continuamente. Foi ressaltado que um bom absorvedor de radiação também é um bom emissor, e que, um mau absorvedor de radiação também será mau emissor.

### 3.3. Corpo Negro

Na teoria de Corpo Negro é mostrado que o termo foi dado a corpos que, teoricamente, absorveriam toda radiação sobre eles e não refletiriam nenhuma luz. Um corpo negro é um corpo ideal, cujo espectro de radiação depende somente da sua temperatura; em outras palavras, todos os corpos negros a mesma temperatura  $T$  emitem radiação térmica com o mesmo espectro, independentemente de suas características individuais (Perez 2016). Um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda radiação eletromagnética que nele incide: nenhuma luz o atravessa e nem é refletida. A figura 03 representa a luz entrando em um objeto por uma cavidade incidindo na parede oposta, onde uma parte é absorvida, e outra é refletida em um ângulo aleatório. A luz continua ser refletida e, a cada vez que é refletida, parte dela é absorvida pela parede da cavidade. Após muitas reflexões, essencialmente toda energia incidente é absorvida.



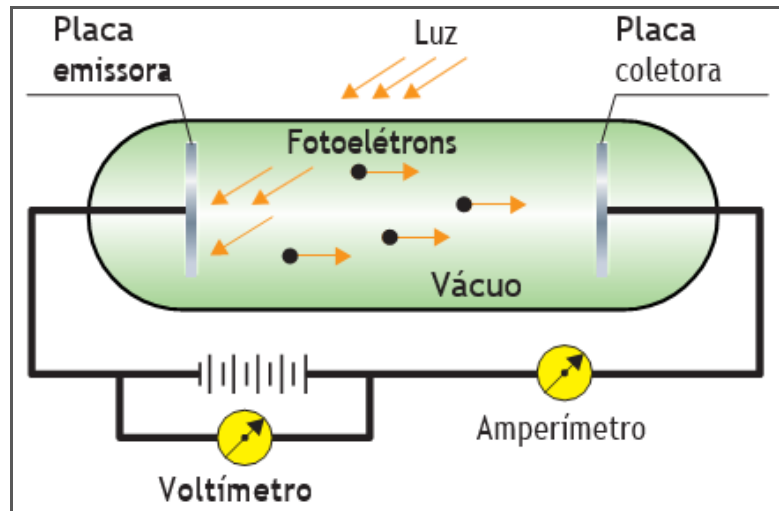


**Figura 03:** Representação de um corpo negro.  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

O grande interesse pela radiação de corpo negro é o fato da incompatibilidade entre o seu espectro de emissão e o que previa a teoria eletromagnética de Maxwell conhecida como a “catástrofe do ultravioleta”, que foi resolvida por Max Planck (1858-1947) concluindo que a radiação emitida por um corpo negro não era contínua como uma onda da teoria eletromagnética, e sim discreta como um feixe de partículas. Essas partículas foram chamadas de quantum, que mais tarde passaram a ser chamadas por Einstein de fótons.

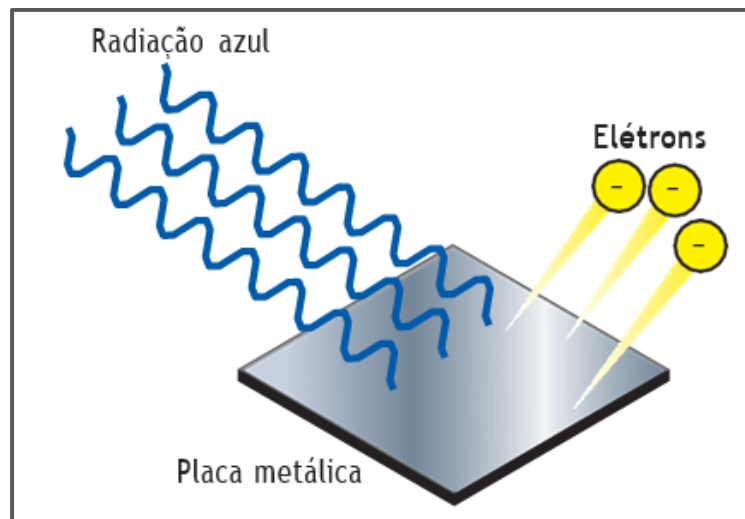
### 3.4. Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi descoberto casualmente por Hertz quando tentava comprovar a existência das ondas eletromagnéticas de Maxwell. Utilizando duas placas metálicas no interior de um tubo de vidro, Hertz percebeu que, quando luz era usada para iluminar uma das placas, o amperímetro ligado a elas detectava a presença de corrente elétrica pelos fios. A figura, 04, abaixo, mostra os fotoelétrons emitidos por uma placa metálica ao ser irradiada por uma luz, no experimento de Hertz.



**Figura 04:** Experimento de Hertz.  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Mais tarde, foi descoberto que essas cargas elétricas eram na verdade elétrons, que passaram a receber o nome de fotoelétrons. A radiação que utilizamos para “arrancar” elétrons do metal deve possuir uma energia mínima, chamada de função trabalho, que depende do tipo de metal que estamos usando. A figura 05 mostra que quando utilizamos luz azul, que possui maior frequência do que a frequência das luzes vermelha, alaranjada, amarela e verde, elétrons são arrancados do metal.

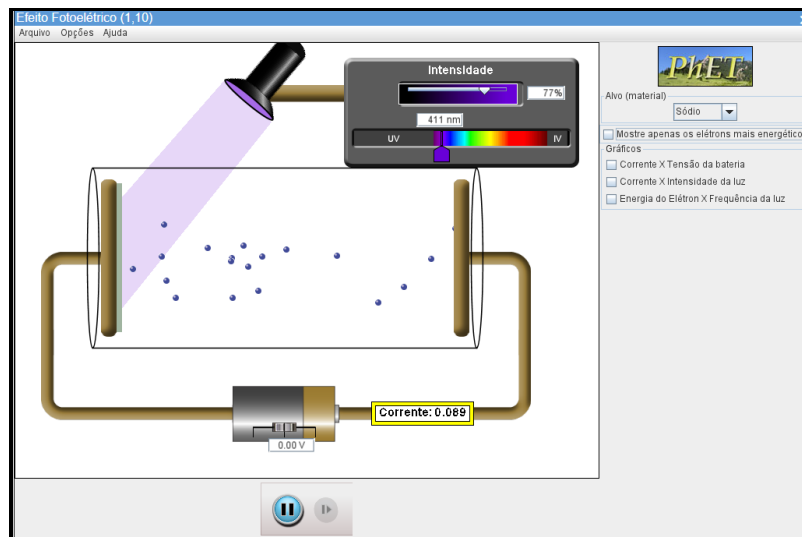


**Figura 05:** Experimento de Hertz.  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

De acordo com a Física clássica, quando um objeto recebe energia (radiação) esta vai se acumulando continuamente, mas, se isso não é verdade, pois ao iluminar por muito tempo uma placa metálica com a luz vermelha, ela não conseguirá arrancar elétrons. Quando é utilizada a

luz azul elétrons são arrancados, a teoria clássica prevê que, caso aumentar a intensidade desta radiação, os elétrons deveriam sair da placa com maior velocidade e quantidade, no entanto, quando é aumentada a intensidade da luz, de fato a quantidade de elétrons que saem aumenta, mas não a velocidade. Outra divergência da teoria clássica.

Tais inquietações entre a Física Clássica e a Física Moderna sobre o efeito fotoelétrico foram respondidas por Albert Einstein (1879-1955) com seu modelo corpuscular para a luz. Einstein estendeu a teoria dos quanta de Max Planck ao eletromagnetismo de Maxwell e concluiu que a energia dessas radiações era emanada de forma quantizada no formato de pequenos pacotes energéticos que chamou de fótons. Cada um desses fótons transporta uma energia que é entregue a um único elétron durante o efeito fotoelétrico e, caso essa energia não seja a mínima que o elétron precisa para se desprender do seu núcleo, o efeito não acontece.



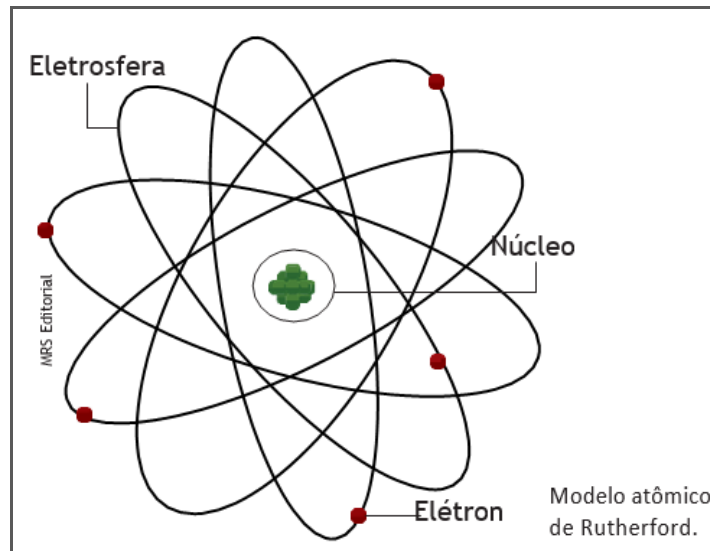
**Figura 06:** O simulador PHET

**Fonte:** <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html>

A luz, ou qualquer outra radiação eletromagnética, é uma onda de acordo com a teoria eletromagnética de Maxwell, mas também pode ser encarada como pequenos pacotes energéticos (fótons, partículas) para a teoria quântica. Este comportamento vai depender do fenômeno analisado, pois em interferências, por exemplo, a luz se comportará como uma onda, e no caso do efeito fotoelétrico devemos encarar a luz como partícula. Este comportamento da luz, ora de onda ora de partícula, é conhecido como dualidade da luz.

### 3.5. Átomo de Bohr

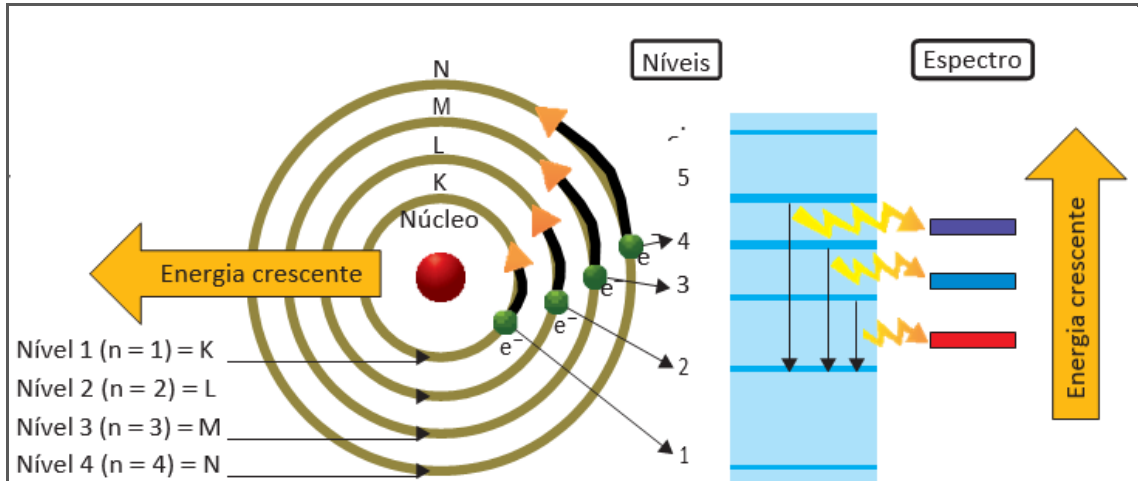
Para o átomo de Bohr foi discutido que, vários modelos já tinham sido propostos anteriormente e aperfeiçoados à medida que divergências com fenômenos conhecidos eram observadas. No modelo de Rutherford (1871-1973), conforme a figura 07 abaixo, havia um núcleo carga positiva e elétrons com cargas negativas girando ao seu redor.



**Figura 07:** Modelo atômico de Rutherford  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

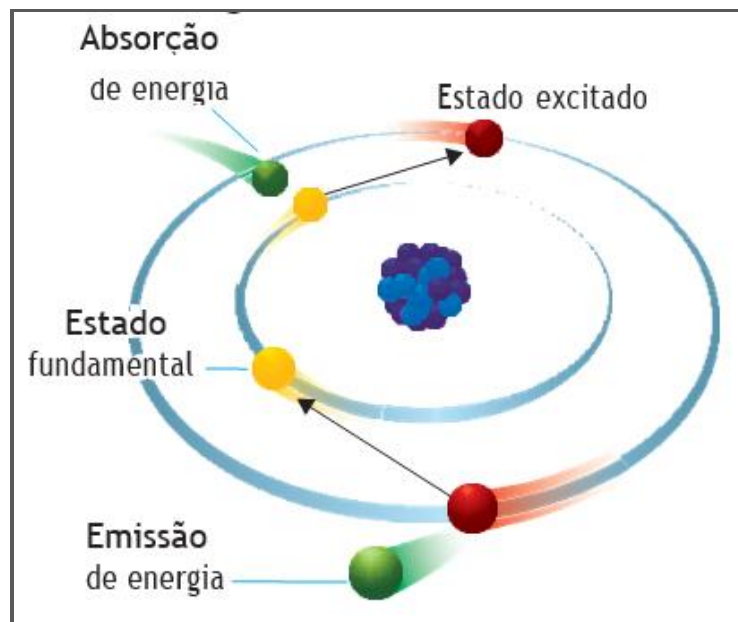
De acordo com a teoria eletromagnética de Maxwell, os elétrons no átomo de Rutherford emitem radiação, diminuindo sua energia até colidirem com o núcleo. Como isso não acontece, Niels Bohr (1885-1962) desenvolveu um modelo para responder essa questão baseado na Física Quântica.

Segundo Bohr, os elétrons apresentavam determinados níveis de energia, os quais chamou de estados estacionários. Assim o átomo não emitiria radiação mantendo sua eletrosfera estável quando tivesse em um estado estacionário. Conhecido como estado fundamental. Em qualquer outro estado ou situação o átomo estará no estado excitado. A figura 08 representa o modelo atômico proposto por Bohr, nele os elétrons estão girando apenas em estados (órbitas) permitidos, em torno do núcleo, em níveis crescentes de energia.



**Figura 08:** Modelo atômico de Bohr  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Bohr também postulou que os elétrons descreviam órbitas circulares em torno do núcleo e, para transitarem de um estado para outro, os elétrons deveriam receber ou emitir um fóton de energia. Na figura 09 a seguir mostra um elétron em seu estado fundamental, absorvendo energia e indo para um estado excitado, em seguida, emitindo energia, deexcitando, voltando assim para o estado fundamental.



**Figura 09:** Saltos energéticos no átomo de Bohr  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

### 3.6. Noções de Física Nuclear

Na Física Nuclear é mostrado a relação entre a massa e a energia. Segundo a equivalência entre massa e energia, todos os objetos que possuem massa apresentam uma energia que pode ser calculada pelo produto da massa pelo quadrado da velocidade da luz, ou seja,  $E = m \cdot c^2$ , a famosa equação de Einstein. Segundo Einstein, todos os objetos que possuem massa apresentam uma energia que pode ser calculada por essa equação.

Para exemplificar a equivalência entre massa-energia, se apenas um grama de massa em repouso for transformado em energia seria equivalente a

$$E = (1 \times 10^{-3} \text{ kg}) \cdot (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

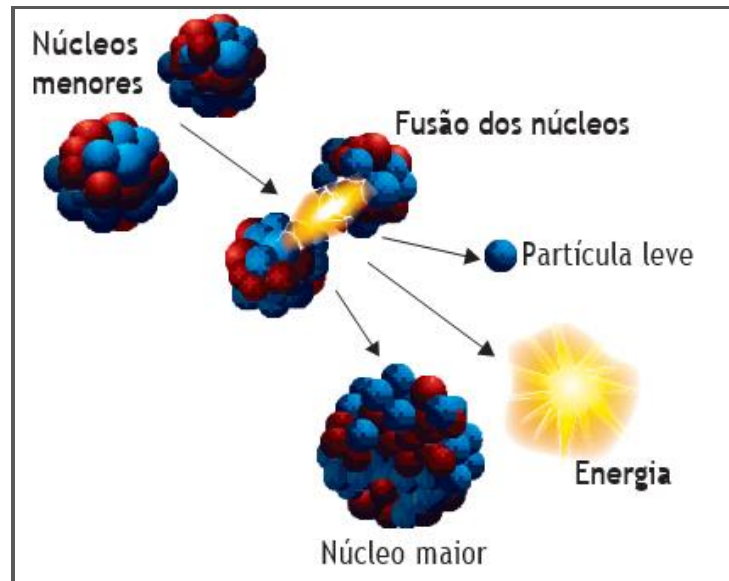
Teríamos uma energia de

$$E = 9 \times 10^{13} \text{ J}$$

Essa energia seria suficiente para manter acesas 100 lâmpadas de led de 10 W funcionando por 60 anos ininterruptos.

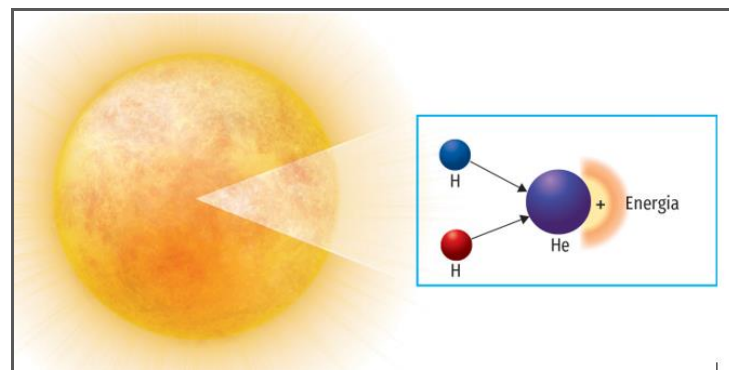
#### 3.6.1. Fusão Nuclear

A fusão nuclear é a união entre dois núcleos formando um núcleo mais pesado. Esse tipo de reação libera uma quantidade enorme de energia. Quando os dois núcleos mais leves se combinam, a massa do núcleo formado é menor que a soma das massas dos núcleos que se uniram, e esta diferença de massa é transformada em energia. A figura 10 representa dois núcleos menores se unindo/fundindo em um núcleo maior, com massa menor que a soma dos dois menos e a diferença é a soma da energia da partícula leve com a grande energia liberada na reação.



**Figura 10:** Fusão nuclear  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Um exemplo importante de reações de fusão nuclear acontece no Sol. Uma aplicação pacífica da fusão nuclear é a geração de energia elétrica limpa (livre de rejeitos radioativos) em reatores nucleares. A energia liberada nas reações de fusão também é utilizada para fins destrutivos, como nas bombas de hidrogênio. A figura 11 representa a fusão nuclear no Sol.

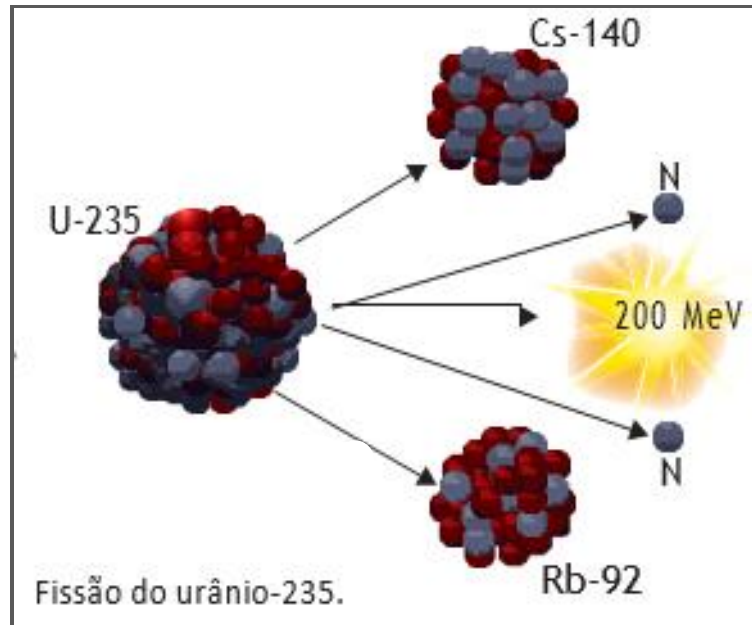


**Figura 11:** Fusão nuclear do Sol  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

### 3.6.2. Fissão Nuclear

A fissão nuclear é uma reação na qual um núcleo radioativo mais pesado se divide em dois núcleos mais leves, com a liberação de grandes quantidades de energia, além de prótons, nêutrons e outras partículas. A massa dos núcleos que se formam é menor quando comparada com o núcleo que se dividiu, sendo essa diferença transformada em energia. A figura 12 representa a fissão do urânio-235 em um átomo de césio-140, rubídio-92, dois nêutrons e uma

grande quantidade de energia, que é a diferença entre as massas U-235 entre a soma das massas do Cs-140 com a massa do Rb-92 e com as massas dos nêutrons.



**Figura 12:** Fissão nuclear do urânio  
**Fonte:** Caderno C4 Rede Pitágoras

Em reatores nucleares a fissão é controlada em razão da absorção de parte dos nêutrons liberados durante a reação. Essa energia liberada pode ser utilizada para aquecer água de turbinas elétricas gerando eletricidade. Na medicina ela é usada em raio-x e tratamento de tumores. Também foi utilizada para fins destrutivos, como nas bombas atômicas.



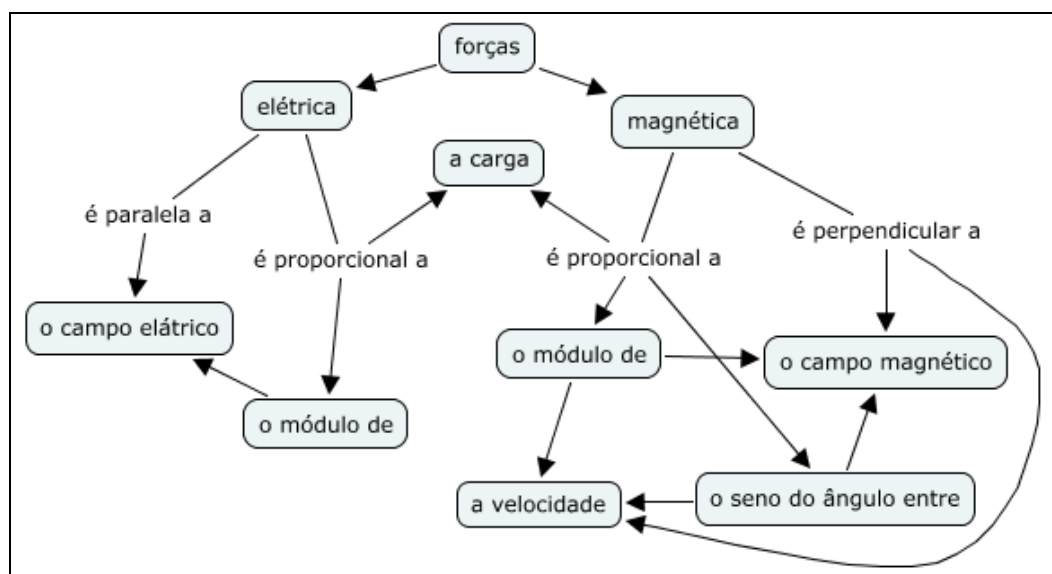
#### 4. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Seguindo a proposta de Moreira (2011), exposta no Referencial Teórico deste Produto Educacional, foi elaborada a sequência didática apresentada a seguir.

##### a) Preparação para a aplicação da UEPS

Aula introdutória destinada à abordagem simplificada do conceito de Mapa Conceitual com a apresentação de uma vídeo aula apresentada pelo professor de ciências da Natureza Carlos Eduardo Godoy (<https://youtu.be/RThwilejKw0>, de 13 de dezembro de 2015). Pode ser indicado para os alunos, se possível, a utilizar o software de mapeamento de conceito desenvolvido pelo Florida Institute for Human and Machine Cognition, o “CmapTools” (<https://cmaptools.br.uptodown.com/windows>).

Ainda neste momento inicial apresentar alguns modelos de mapas conceituais, como por exemplo, o da figura 13, sobre força:



**Figura 13:** Mapa conceitual sobre Força

**Fonte:** [http://www.if.ufrgs.br/computador\\_ensino\\_fisica/cmaptools/cmaptools\\_conceito.htm](http://www.if.ufrgs.br/computador_ensino_fisica/cmaptools/cmaptools_conceito.htm)

Em seguida, fazer uma sondagem/conversa com os alunos sobre assuntos de Física Moderna. Para finalizar a aula, propor, como aula invertida e tarefa, a elaboração de mapas conceituais sobre a evolução dos modelos atômicos que se encontra no caderno C4, nas páginas 54 e 55, do livro Pitágoras, Anexo 04.

Na aula seguinte, na conclusão desta atividade introdutória, promover uma apresentação dos Mapas Conceituais elaborados pelos alunos.

#### **b) Aspectos Sequenciais da UEPS**

Segundo Moreira (2011), o objetivo da construção de uma UEPS é desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental. Nesta perspectiva os aspectos sequenciais apresentados seguem os princípios propostos para aquisição significativa de conhecimento.

#### **Passo 1 - Definição do Conteúdo Abordado**

Nessa etapa é definido o tópico específico que será abordado, levando em consideração, a sequência do livro didático do colégio, que foi definido como conteúdo a unidade 02 do caderno C4 da Rede Pitágoras, que aborda a evolução dos principais modelos atômicos desenvolvidos pelos cientistas ao longo de mais de um século e alguns conceitos iniciais de Física Moderna (FM). Durante a aplicação da proposta foram abordadas inicialmente os modelos atômicos de Dalton, de Thomson, de Rutherford, de Bohr e Schroedinger com a comparação entre eles, deixando bastante claro que, a cada novo modelo proposto, mais elementos dos átomos foram adicionados, como partículas (cargas positivas e negativas), órbitas ao redor do núcleo, quantização das órbitas até o modelo de Schroedinger que é o modelo aceito até hoje pelos cientistas.

A partir dessa abordagem geral, foi possível inserir os conceitos de radiação eletromagnética, radiação térmica, corpo negro, efeito fotoelétrico, elétron-volt e noções de física nuclear (fusão e fissão nuclear).



#### **Passo 2 - Levantamento de Conhecimentos Prévios**

Neste passo o objetivo é criar situações em que os alunos possam expor os conhecimentos prévios sobre o tema de estudo, chamados pela teoria da aprendizagem significativa de subsunçores. Para essa finalidade foi elaborado, como sugestão, um teste de

sondagem com situações-problema que façam com que os estudantes reflitam sobre o tema, apêndice 03.

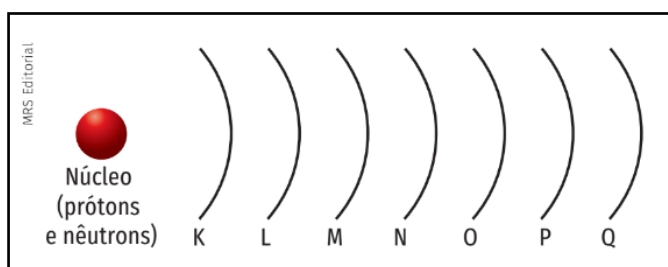
## LEVANTAMENTO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

### TESTE DE SONDAGEM

	Ensino Fundamental II – 3ª ETAPA/2019		CODIGOS DE CORREÇÃO				
	Disciplina: FÍSICA 9º Ano Professor: Paulo Gomes Batista Nome: _____		<table border="1"> <tr> <td>C</td> <td>Acertou a questão</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>Acertou parcialmente a questão</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>Não acertou a questão</td> </tr> </table>	C	Acertou a questão	P	Acertou parcialmente a questão
C	Acertou a questão						
P	Acertou parcialmente a questão						
N	Não acertou a questão						

O ilustre físico dinamarquês Niels Bohr aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford e estabeleceu um modelo a partir de seus próprios postulados, que estão relacionados a seguir. Mas ATENÇÃO, alguns estão transcritos de forma incorreta.

- 4) Em cada questão abaixo, assinale, (V) para as alternativas verdadeiras e (F) para as alternativas falsas:



- p) ( ) Bohr estabeleceu em sua teoria atômica que os elétrons giram em 7 órbitas circulares denominadas níveis ou camadas ao redor do núcleo, como mostra a ilustração.
- q) ( ) A camada Q é a mais energética.
- r) ( ) Quando o núcleo recebe energia, salta para um nível mais externo.
- s) ( ) Se um elétron passa do estado A para o estado B, recebendo X unidades de energia, quando voltar de B para A devolverá X unidades de energia na forma de ondas eletromagnéticas.
- t) ( ) Quando um elétron passa de um estado menos energético para outro mais energético, devolve energia na forma de ondas eletromagnéticas.

- u) ( ) Quando um elétron absorve certa quantidade de energia, salta para uma órbita mais energética.
- v) ( ) Quando ele retorna à sua órbita original, libera a mesma quantidade de energia, na forma de onda eletromagnética.
- w) ( ) Um elétron libera energia afastando-se do núcleo. Ao absorver energia, retorna para seu local anterior.
- x) ( ) Núcleo e elétrons se repelem mutuamente.
- y) ( ) Um elétron só pode assumir determinados valores de energia, que correspondem às órbitas permitidas, tendo, assim, determinados níveis de energia ou camadas energéticas.
- z) ( ) Um elétron pode absorver energia de uma fonte externa somente em unidades discretas, chamadas de quanta, ou quantum no singular.
- aa) ( ) A frequência mínima da radiação incidente para que o efeito fotoelétrico seja observado depende da constituição química do material.
- bb) ( ) A energia de cada fotoelétron ejetado no processo depende da intensidade da radiação incidente.
- cc) ( ) A quantidade de fotoelétrons ejetados no processo depende da intensidade da radiação eletromagnética incidente.
- dd) ( ) O efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.

5) (SSA/2015-16) Analise a seguinte charge:



Disponível em: <http://hquimica.webnode.com.br/> Acesso em: junho/2015

As estudantes Eugênia e Lolita estão falando, respectivamente, sobre os modelos atômicos de

- a) ( ) Dalton e Thomson.
- b) ( ) Dalton e Rutherford-Bohr.

- c) ( ) Thomson e Rutherford-Bohr.  
 d) ( ) Modelo Quântico e Thomson.  
 e) ( ) Rutherford-Bohr e Modelo Quântico.
- 6) Quais os modelos melhores representam o comentário do professor de Eugênia e Lolita “esqueça vamos pensar em energia”
- a) ( ) Dalton e Thomson.  
 b) ( ) Dalton e Rutherford-Bohr.  
 c) ( ) Thomson e Rutherford-Bohr.  
 d) ( ) Modelo Quântico e Thomson.  
 e) ( ) Rutherford-Bohr e Modelo Quântico.
- 7) Analise a seguinte charge:



Disponível em: <http://radioatividadeinteressante.blogspot.com/2012/10/Acesso> em: novembro/2018

O que você acha que o Cebolinha achou de tão legal na aula sobre radiatividade?  
 Que história de bomba que o Cascão se refere?

---



---



---



---

8) Analise a seguinte charge:



Disponível em: [http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda\\_mais/jurema/ficha\\_dualidadeonda.htm](http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm) Acesso em:  
novembro/2018.

Explique o diálogo acima.

---

---

---

---

---

9) Analise a seguinte charge:



Disponível em: <http://www.vestiprovas.com.br/questao.php?id=9658> Acesso em: novembro/2018.

Compare a tirinha dessa questão com a tirinha da questão cinco. Explique a diferença entre elas.

---



---



---



---



---

Após este momento, convidar os alunos a socializar suas respostas, o que será importante para a preparação da próxima etapa da sequência.

### Passo 3 - Situações-problema em Nível Introdutório.

Etapa da UEPS destinada, a retornar a situações-problemas em nível bem introdutório, de acordo com a sequência proposta por Moreira (2011), considerando os conhecimentos prévios que os alunos demonstraram na atividade anterior, e os preparando para a introdução do conhecimento que se pretende ensinar.

Diante desta proposta é mostrado, primeiramente, um vídeo documentário do programa Fantástico, História da Bomba Atômica (Globo 29/01/2009), figura 14. Disponível em <<https://youtu.be/Yvo0dyW1vTE>>.





**Figura 14:** História da bomba atômica  
**Fonte:** <<https://youtu.be/Yvo0dyW1vTE>>

## Poemas

Em seguida fazer a leitura dos poemas “A Bomba Atômica I” e “A Rosa de Hiroshima”, de Vinicius de Moraes disponíveis em <<https://www.viniciusdemoraes.com.br>>. A leitura poderá ser programada, previamente, com algum aluno que goste de declarar poesia, de maneira que se tornem mais envolvente/emocionante, o que servirá de “gatilho” para a discussão sobre o tema que se pretende.

Esse material tem a intenção de despertar nos estudantes a curiosidade para os termos de física nuclear, fusão, fissão, os efeitos devastadores das bombas atômicas, átomos, modelos atômicos, que servem de base para apresentação do conteúdo propriamente dito, em nível introdutório.



**ANEXO 1****A BOMBA ATÔMICA**

Rio de Janeiro , 1954

$e = mc^2$

Einstein

*Deusa, visão dos céus que me domina*

*... tu que és mulher e nada mais!*

(Deusa, valsa carioca.)

Dos céus descendo

Meu Deus eu vejo

De paraquedas?

Uma coisa branca

Como uma forma

De estatuária

Talvez a forma

Do homem primitivo

A costela branca!

Talvez um seio

Despregado à lua

Talvez o anjo

Tutelar cadente

Talvez a Vênus

Nua, de clâmide

Talvez a inversa

Branca pirâmide

Do pensamento

Talvez o troço

De uma coluna

Da eternidade

Apaixonado

Não sei indago

Dizem-me todos  
É A BOMBA ATÔMICA.  
Vem-me uma angústia.

Quisera tanto  
Por um momento  
Tê-la em meus braços  
A coma ao vento  
Descendo nua  
Pelos espaços  
Descendo branca  
Branca e serena  
Como um espasmo  
Fria e corrupta  
Do longo sêmen  
Da Via Láctea  
Deusa impoluta  
O sexo abrupto  
Cubo de prata  
Mulher ao cubo  
Caindo aos súcubos  
Intemerata  
Carne tão rija  
De hormônios vivos  
Exacerbada  
Que o simples toque  
Pode rompê-la  
Em cada átomo  
Numa explosão  
Milhões de vezes  
Maior que a força  
Contida no ato  
Ou que a energia  
Que expulsa o feto

Na hora do parto.

II

A bomba atômica é triste  
Coisa mais triste não há  
Quando cai, cai sem vontade  
Vem caindo devagar  
Tão devagar vem caindo  
Que dá tempo a um passarinho  
De pousar nela e voar...  
Coitada da bomba atômica  
Que não gosta de matar!

Coitada da bomba atômica  
Que não gosta de matar  
Mas que ao matar mata tudo  
Animal e vegetal  
Que mata a vida da terra  
E mata a vida do ar  
Mas que também mata a guerra...  
Bomba atômica que aterra!  
Pomba atônita da paz!

Pomba tonta, bomba atômica  
Tristeza, consolação  
Flor puríssima do urânio  
Desabrochada no chão  
Da cor pálida do helium  
E odor de radium fatal  
Laelia mineral carnívora  
Radiosa rosa radical.

Nunca mais, oh bomba atômica  
Nunca, em tempo algum, jamais

Seja preciso que mates  
Onde houve morte demais:  
Fique apenas tua imagem  
Aterradora miragem  
Sobre as grandes catedrais:  
Guarda de uma nova era  
Arcanjo insigne da paz!

### III

Bomba atômica, eu te amo! és pequenina  
E branca como a estrela vespertina  
E por branca eu te amo, e por donzela  
De dois milhões mais bélica e mais bela  
Que a donzela de Orleans; eu te amo, deusa  
Atroz, visão dos céus que me domina  
Da cabeleira loura de platina  
E das formas aerodivinais  
— Que és mulher, que és mulher e nada mais!  
Eu te amo, bomba atômica, que trazes  
Numa dança de fogo, envolta em gazes  
A desagregação tremenda que espedaça  
A matéria em energias materiais!  
Oh energia, eu te amo, igual à massa  
Pelo quadrado da velocidade  
Da luz! alta e violenta potestade  
Serena! Meu amor, desce do espaço  
Vem dormir, vem dormir no meu regaço  
Para te proteger eu me encouroço  
De canções e de estrofes magistras!  
Para te defender, levanto o braço  
Paro as radiações espaciais  
Uno-me aos líderes e aos bardos, uno-me  
Ao povo, ao mar e ao céu brado o teu nome

Para te defender, matéria dura  
Que és mais linda, mais límpida e mais pura  
Que a estrela matutina! Oh bomba atômica,  
Que emoção não me dá ver-te suspensa  
Sobre a massa que vive e se condensa  
Sob a luz! Anjo meu, fora preciso  
Matar, com tua graça e teu sorriso  
Para vencer? Tua enérgica poesia  
Fora preciso, oh deslembada e fria  
Para a paz? Tua fragílissima epiderme  
Em cromáticas brancas de cristais  
Rompendo? Oh átomo, oh neutrônio, oh germe  
Da união que liberta da miséria!  
Oh vida palpitando na matéria  
Oh energia que és o que não eras  
Quando o primeiro átomo incriado  
Fecundou o silêncio das Esferas:  
Um olhar de perdão para o passado  
Uma anunciação de primaveras!

**ANEXO 02****A ROSA DE HIROXIMA**

Rio de Janeiro, 1954

Pensem nas crianças

Mudas telepáticas

Pensem nas meninas

Cegas inexatas

Pensem nas mulheres

Rotas alteradas

Pensem nas feridas

Como rosas cálidas

Mas oh não se esqueçam

Da rosa da rosa

Da rosa de Hiroxima

A rosa hereditária

A rosa radioativa

Estúpida e inválida

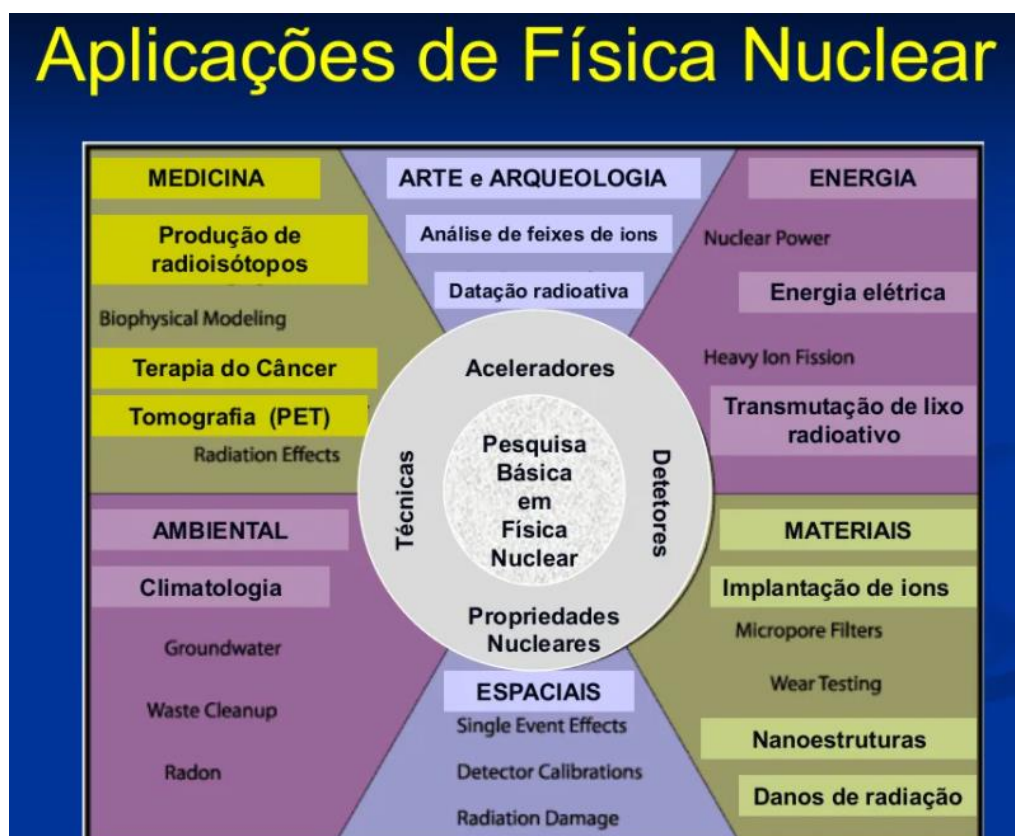
A rosa com cirrose

A antirrosas atômica

Sem cor sem perfume

Sem rosa sem nada.

A apresentação do slide (figura 15) do professor Paulo R. S. Gomes do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense (IF-UFF – 21 de novembro de 2013). Esse momento é muito importante, pois mostra muitas aplicações da Física Nuclear, tais como: na medicina, na arte e arqueologia, na produção de energia elétrica dentre outras aplicações, o que contribui bastante na redução do preconceito sobre a física nuclear.

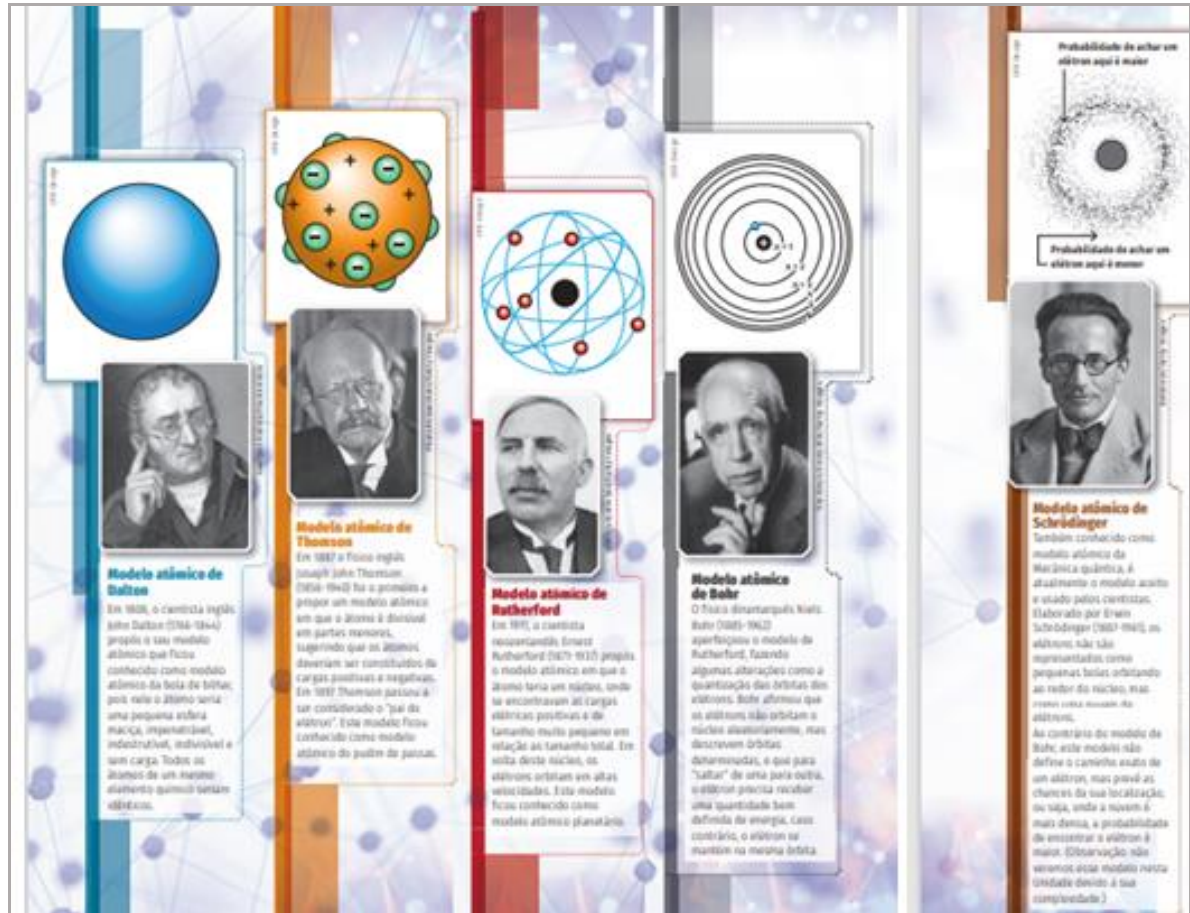


**Figura 15:** Aplicações de Física Nuclear.  
Fonte: <https://image.slidesharecdn.com>

Após a apresentação do slide deve ser levantada questões como por exemplo: Os átomos existem? Como são os átomos? De que eles são feitos? Para que servem os átomos? Se não enxergamos os átomos, como sabemos como eles são? O que é fissão atômica? O que é fusão atômica? A Física atômica pode ser usada para o bem da população? que serviriam de base para apresentação do conteúdo propriamente dito, em nível introdutório.

### **Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade**

Foram abordados nesta aula, através de um projetor de slide e do caderno C4 da Rede Pitágoras, a evolução dos modelos atômicos ilustrada na figura 16 abaixo.



**Figura 16:** Modelos atômicos  
**Fonte:** Livro Pitágoras C4

Fazer um apanhado sobre a evolução atômica, começando com os aspectos mais gerais, que deverão ser progressivamente diferenciados, visando a abordagem específica do conteúdo propriamente dito, expandindo a estrutura cognitiva a partir dos subsunçores que serviram de base para conhecimento com um nível mais alto de complexidade, mostrando que, com a evolução das teorias houve a evolução dos modelos atômicos, sendo que em determinado ponto os modelos propostos pela Física Clássica já não conseguia responder algumas perguntas. Com isso, novos modelos foram desenvolvidos, e com eles a chegada da Física Moderna.

**Passo 4 & 5 - Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido & Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade**



Nessa etapa como são abordados vários conceitos da FMC, sugiro, ir alternando o passo 4 (apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido) com o passo 5 (retornar os aspectos mais gerais em nível mais alto de complexidade).

### **Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido**

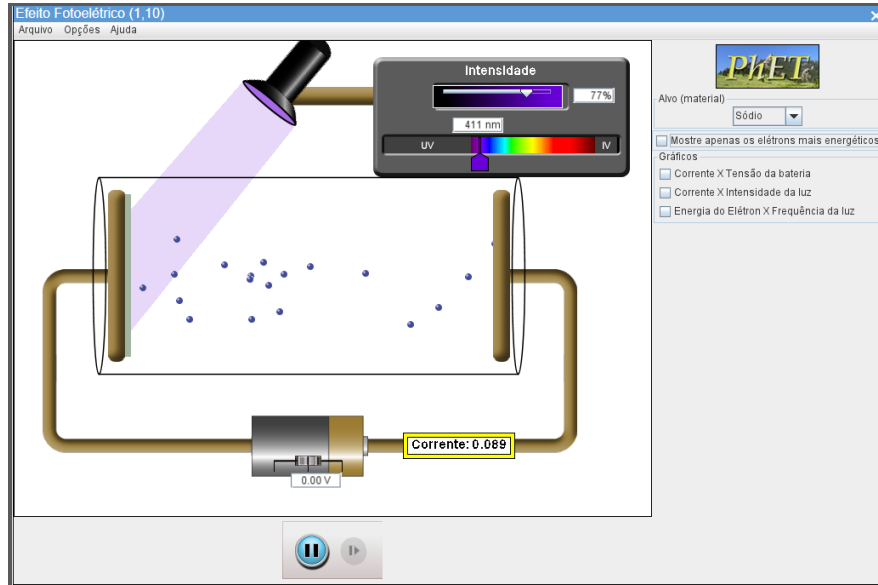
Nesta etapa é apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada sobre os conceitos de radiação eletromagnética, radiação térmica e corpo negro. Começando com os aspectos mais gerais, que vão sendo progressivamente aprofundados, objetivando a abordagem específica do conteúdo, expandindo a estrutura cognitiva a partir dos subsunçores que serviram de base para novos conhecimentos.

### **Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade**

Busca-se neste passo o aprofundamento do conceito das radiações eletromagnéticas de Maxwell e térmicas, destacando os aspectos da absorção e da radiação do corpo negro. Momento em que se buscou estabelecer relações entre os conceitos, ideias, proposições, para que o conhecimento ganhe mais significado na estrutura cognitiva do estudante.

### **Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido**

Nesta etapa é apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada, o conceito do modelo corpuscular da luz, utilizando o simulador <https://phet.colorado.edu>, mostrado na figura 17 abaixo.

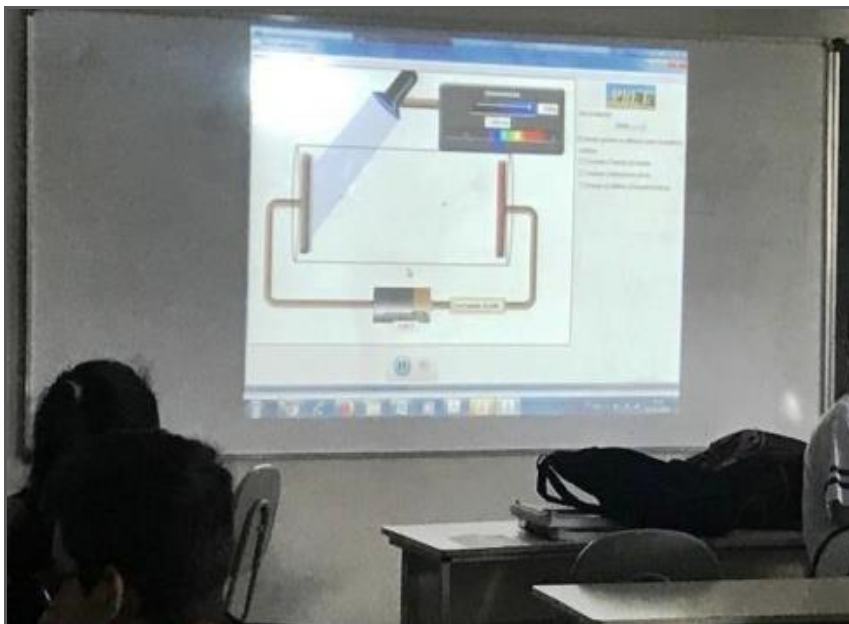


**Figura 17:** Simulador PHET

**Fonte:** <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html>

Foi mostrado que, ao irradiar uma placa metálica com luz de baixa frequência, luz vermelha por exemplo, ela não consegue arrancar elétrons da placa. Quando a placa metálica era irradiada com luz de alta frequência, a partir da luz azul, elétrons foram arrancados da placa.

Utilizar o simulador phet colorado para projetar em uma tela branca. Alterar a frequência da luz incidida sobre uma placa de sódio e observar/discutir o que acontece à medida que se aumentava a afreqüência. Alterar também a intensidade luminosa, para frequências as quais não se arrancava elétrons e também para frequências as quais se arrancavam elétrons, observar/discutir o que acontece à medida em que se aumentava a intensidade luminosa. A figura 18, abaixo, ilustra a realização do simulador para alterar, frequência, intensidade luminosa e o tipo de metal a ser irradiado.



**Figura 18:** Utilização do Simulador PHET.

**Fonte:** O autor (novembro – 2019)

### **Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade**

Busca-se neste passo o aprofundamento do conceito de efeito fotoelétrico, destacando conceitos como o modelo corpuscular para a luz, função trabalho e a dualidade da luz. Nesse momento buscou-se estabelecer Interação e discussão do simulador do efeito fotoelétrico, relações entre os conceitos, ideias, proposições, para que o conhecimento ganhe mais significado na estrutura cognitiva do estudante.

Com a utilização do experimento o que se torna possível a comprovação do fenômeno. O experimento seduz o aluno a se interagir mais efetivamente com a aula, resultando em um maior rendimento por parte dos mesmos.

Nesta etapa é apresentado o conhecimento a ser ensinado/aprendido, através de uma aula expositiva e dialogada, noções e conceitos de fissão e fusão nuclear. Começando com os aspectos mais gerais, que vão sendo progressivamente aprofundados, objetivando a abordagem específica do conteúdo, expandindo a estrutura cognitiva a partir dos subsunçores que serviram de base para novos conhecimentos.

## **Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade**

Busca-se neste passo o aprofundamento dos conceitos de Física nuclear, destacando reações de fissão e fusão nucleares, além de algumas aplicações importantes. Nesse momento buscou-se estabelecer discussão sobre a fissão e a fusão nuclear. Uma aplicação da fissão em cadeia, controlada, em reatores nucleares para aquecer grandes porções de água, e o vapor gerado é utilizado para impulsionar turbinas responsáveis pela produção de energia elétrica, uma aplicação bélica é a produção de bombas atômicas. Já na fusão, foi citado o exemplo do Sol, onde a união entre dois núcleos forma um núcleo mais pesado liberando uma enorme quantidade de energia, relações entre os conceitos, ideias, proposições, para que o conhecimento ganhe mais significado na estrutura cognitiva do estudante.

### **Passo 6 - Concluir a Unidade (Participação em Jornada científica)**

Busca-se neste passo estabelecer Interação, discussão e a socialização dos conceitos básicos da FMC, dos alunos do Nono Ano do E.F., com demais alunos do Colégio Padrão. Momento muito esperado e de muito engajamento por parte dos alunos. Os alunos podem ser divididos em grupos por temas da FMC e fazer uma apresentação para os demais alunos do colégio.

Para a jornada ficar mais dinâmica e atrativa, pode-se sugerir, a cada grupo, que fique responsável para explicar determinados conceitos básicos da FMC para demais alunos do colégio. Após a explicação, os alunos podem fazer perguntas básicas para quem ouviu a explicação, os alunos que acertarem suas respostas recebem com brinde uma bala, pirulito ou chiclete.

Na jornada científica os alunos além de expor e explicar seus trabalhos recomenda-se que visitem os trabalhos de todos outros alunos do colégio e que façam um relatório.

### **Passo 7 - Avaliação da Aprendizagem através da UEPS**

Durante todo o processo de aplicação da UEPS podem ser realizados registros que busquem evidências da aprendizagem significativa, e como atividade final propor uma atividade avaliativa (prova/teste/apresentação) contendo questões de FMC. Essa avaliação deve ser individual para uma avaliação individual da captação e transferência de significados por cada aluno.

## Passo 8 - Análise do Êxito da aplicação da UEPS

O oitavo passo tem como objetivo avaliar o desempenho dos alunos, através das evidências de aprendizagem significativa. Como resultado, deve ser observado as atividades realizadas durante todo o processo, o crescimento conceitual de cada aluno, considerando os questionamentos, realização de exercícios e apresentações, sempre buscando recursos didáticos que favoreçam o engajamento de todos os alunos.

## 5. DISTRIBUIÇÕES DAS AULAS E ATIVIDADES

A aplicação da UEPS foi distribuída em 18 aulas, sendo 14 ha em sala de aula e 04 em participação da jornada científica, conforme quadro abaixo:

O quadro 01 abaixo apresenta a cronologia juntamente com os passos realizados.

Aula	Descrição das atividades
01	Preparação para aplicação da UEPS: Abordagem do conceito de Mapa Conceitual; Exibição do vídeo: “Como fazer Mapas Conceituais” – Cmap Tools; Apresentação de modelos de mapas conceituais; Sondagem/conversa com a turma.
02	Situações-problema em nível introdutório: Aula invertida (Flipped Classroom) – Mapas Conceituais – Evolução dos modelos atômicos.
03	Situações-problema em nível introdutório: Conclusão da aula invertida; Apresentação dos Mapas Conceituais pelos alunos; Apanhado sobre a evolução dos modelos atômicos pelo professor.
04	Levantamento dos conhecimentos prévios – Teste de Sondagem: Aplicação do teste de sondagem; Compartilhamento do teste de sondagem.
05	Situações-problema em nível introdutório: Exibição do vídeo: “História da Bomba Atômica”; Leitura do poema: “A Rosa de Hiroshima”; Leitura do poema: “A Bomba Atômica I”; Discussão do vídeo: “História da Bomba Atômica”.
06	Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido: Aula expositiva e dialogada: Radiação eletromagnética, radiação térmica e radiação de corpo negro;

07	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade: Aula expositiva edialogada: Radiação eletromagnética, radiação térmica e radiação de corpo negro;
08	Avaliação da Aprendizagem: Realização da atividade avaliativa 1ª, individual e somativa, sobre noções de Física Moderna (Modelos atômicos).
09	Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido: Aula expositiva e dialogada: Efeito fotoelétrico; Simulação: <a href="https://phet.colorado.edu/">https://phet.colorado.edu/</a> do efeito fotoelétrico; Aula prática: Demonstração do efeito fotoelétrico.
10	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade: Interação e discussão do simulador do efeito fotoelétrico.
11	Apresentação do Conhecimento a Ser Ensinado/Aprendido: Aula expositiva edialogada: Noções de Física Nuclear: Fusão nuclear e fissão nuclear.
12	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade: Interação e discussão sobre a Física Nuclear: Aplicações nas áreas de produção de energia, medicinal e tecnológicas.
13	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade: Interação e discussão do simulador do efeito fotoelétrico.
14 a 17	Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade: Participação na jornada científica.
18	Avaliação da Aprendizagem através da UEPS: Realização da segunda atividade avaliativa, individual, sobre noções de Física Moderna.
	Análise do Êxito da aplicação da UEPS: Realizada durante todo o processo de aplicação e de escrita da dissertação

**Tabela 01:** Cronograma da UEPS

**Fonte:** O autor

## BIBLIOGRFIA

A., M. M. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula**. Brasília: Universidade de Brasília, 2006.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Platano, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**., 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>>. Acesso em: 18 outubro 2019.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio. **Parte III Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 20 Novembro 2019.

CARDOSO, S. O. D. O.; DICKMAN, A. G. Simulação Computacional Aliada à Teoria da Aprendizagem Significativa: Uma Ferramenta para Ensino e Aprendizagem do Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, p. 891-934, Outubro 2012.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna - Origens Clássicas & Fundamentos Quânticos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

COLORADOBOULDER., U. O. **PhET Interactive Simulations**. Disponível em: <<https://phet.colorado.edu>>. Acesso em: 6 novembro 2019.

COSTA, Luciano Gonsalves; BARROS, Marcelo Alves. O ensino da Física no Brasil: problemas e desafios. In: **ENDUCERE: XII Congresso Nacional de Educação. Anais**. 2015.

EISBERG, R.; R., R. **Física Quântica**. Átomos, Moléculas, Núcleos e Partículas. rio de Janeiro: Campus, 1998.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. **Óptica e Física Moderna**. Nona. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2012.

J.D., C. **Física**. Sexta edição. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2006.

LOPES, J. L. **A Estrutura Quântica da Matéria**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 1993.

MEDEROS, R. F. D.; SANTOS, F. M. T. D. **Introdução à Física das Radiações**. UFRGS, Porto Alegre, 2011. ISSN 5. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/textos\\_apoio](http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/textos_apoio)>. Acesso em: 29 Novembro 2019.

MOREIRA, Marco Antônio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Pedagógica e Universitária Ltda, 1999.

MOREIRA, M. A. **Testos de Apoio ao Professor de Física**. UFRGS, 2013. Disponível em: <[http://if.ufrgs.br/ppgenfis/textos\\_apoio](http://if.ufrgs.br/ppgenfis/textos_apoio)>. Acesso em: 18 outubro 2019.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2001.

NOVAK, J. D. **Aprender a Aprender**. 1. ed. Lisboa: Edições Técnicas, 2006.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica, **Eletromagnetismo**. São Paulo: Edgard Blücher, v. 3, 1997.

QUEVEDO, C. P.; LODI, C. Q. **Ondas eletromagnéticas**. São Paulo: Pearson, 2010.

SANTOS, C. A. O Físico e o Fóton. **Ciência Hoje**, 2015. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/o-fisico-e-o-foton>>. Acesso em: 20 novembro 2020.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. J. W. **Óptica e Física Moderna**. São Paulo: Cengage Learning, v. 4, 2009.

VALADARES, E. D. C.; MOREIRA, M. A. Ensinado Física no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**., Santa Catarina, v. V.15, p. 359-372, agosto 1998. ISSN 2.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Ótica e Física Moderna**. São Paulo: Pearson, v. 4, 2009.

Vários Autores: Física: 9º Ano: ensino fundamental: caderno 4: manual do professor. Belo Horizonte: Editora Educacional, 2018 Rede Pitágoras.

[http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda\\_mais/jurema/ficha\\_dualidadeonda.htm](http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm)

Acesso em: novembro/2018

<http://radioatividadeinteressante.blogspot.com/2012/10/> Acesso em: novembro/2018

<http://www.vestiprovas.com.br/questao.php?id=9658> Acesso em: novembro/2018