

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Júlio Alexandrino Pinheiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UFPA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno
Co-orientadora: Profa. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha

Belém-Pará
Agosto - 2020

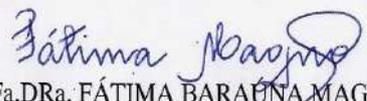
**INSERÇÃO DO CONTEÚDO EFEITO COMPTON NA UNIDADE FÍSICA
MODERNA NO ENSINO MÉDIO: À uma visão da Aprendizagem
Significativa Crítica**

Júlio Alexandrino Pinheiro

Orientadora: Profa. Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno
Co-orientadora: Profa. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – Polo
UFPA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de
Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:



PROFa.DRa. FÁTIMA BARAÚNA MAGNO

Profa. Dra. Fátima Baraúna Magno
(Orientadora)

Altem Nascimento Pontes

Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes (Membro
Externo)



Prof. Dr. João Furtado de Souza
Prof. Titular - UFPA
SIAPE 0326083

Prof. Dr. João Furtado de Souza (Membro
Interno)

P654i Pinheiro, Júlio Alexandrino
INSERÇÃO DO CONTEÚDO DE EFEITO COMPTON
NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO:
À uma visão da Aprendizagem Significativa Crítica / Júlio
Alexandrino Pinheiro. — 2020.
194 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Fátima Nazaré Baraúna
Magno

Coorientação: Prof^a. Dra. Simone da Graça de Castro
Fraiha

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Física, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Ensino de Física. 2. Aprendizagem. 4. Efeito
Compton. 5. Física Moderna. I. Título.

CDD 373

 <p>MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p>Universidade Federal do Pará</p>	 <p>SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	---	---

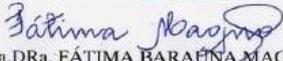
PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.

TEMA: “INSERÇÃO DO CONTEÚDO EFEITO COMPTON NA UNIDADE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: UMA VISÃO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA”.

A Banca Examinadora composta pelos Professores: **Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno** (Orientadora), **Dr. João Furtado de Souza** (Membro Interno) e **Dr. Altem Nascimento Pontes** (Membro Externo), consideram o candidato **JÚLIO ALEXANDRINO PINHEIRO**.

APROVADO

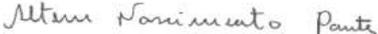
Secretaria do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Pará, em 07 de agosto de 2020.


PROFa.DRa. FÁTIMA BARAÚNA MAGNO

Profa. Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno
(Orientadora - MNPEF – UFPA)


Prof. Dr. João Furtado de Souza
Prof. Titular - UFPA
SIAPE 0326083

Prof. Dr. João Furtado de Souza
(Membro Interno - MNPEF – UFPA)



Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes
(Membro Externo – UFPA/UEPA)

Belém - Pará
Agosto 2020

“A principal meta da educação é criar homens que sejam capazes de fazer coisas novas, não simplesmente repetir o que outras gerações já fizeram. Homens que sejam criadores, inventores, descobridores. A segunda meta da educação é formar mentes que estejam em condições de criticar, verificar e não aceitar tudo que a elas se propõe”.

Jean Piaget.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois me proporcionou muitos momentos felizes na minha vida, como este, tão especial, pelo qual estou passando.

A minha família que sempre esteve ao meu lado tanto nos momentos felizes quanto nos momentos difíceis de minha vida, em especial aos meus pais, onde o meu amado pai já falecido, realizou tudo que podia para que eu e meus irmãos conseguíssemos muitas vitórias ao longo de nossas vidas.

A minha amada esposa Gisely Oliveira e minhas filhas, Amanda Carlyne e Maria Eduarda, que suportaram meus estresses além de serem as pessoas que estão ao meu lado todos os dias.

A todo o corpo docente da UFPA que, de alguma forma deu sua valiosa contribuição para que eu pudesse realizar o curso do MNPEF até sua conclusão.

À minha orientadora, Fátima Nazaré Baraúna Magno, que teve extrema paciência comigo, já que a obra citada foi feita em exercício de minha profissão, que limitava muito o tempo de nossas reuniões. Soma-se a isso sua imensa contribuição no sentido de ampliar significativamente meu leque cultural, resultado do grande conhecimento adquirido com sua pessoa, fruto da convivência nesses pouco mais de dois anos.

A todos meus colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para as vitórias alcançadas neste período em que estudamos juntos.

Tivemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, para realização do presente trabalho através da concessão da Bolsa, a qual agradeço.

Por último, mas não menos importante, à Universidade Federal do Pará, que possibilitou o funcionamento deste Curso, dentre outros atos nos abrigando mais uma vez em suas instalações, pois sem isto não seria possível a existência do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista dos livros de Física oferecidos no PNLD 2018.....	19
Tabela 2 – Lista dos livros de Física oferecidos no PNLD 2018 que apresentam ou não Efeito Compton	21
Tabela 3 - Sequência da aplicação da UEPS.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem de livros analisados que apresentam Efeito Compton	20
Figuras 2.1 a e b - Modelo ilustrativo da aprendizagem mecânica e da aprendizagem significativa, respectivamente	29
Figura 3 - A Conferência Solvay reuniu cientistas de diversas partes do mundo para discutir Mecânica Quântica.....	42
Figura 4 – Esquema do Efeito Fotoelétrico.....	44
Figura 5 – Diagrama esquemático do aparelho básico para investigação do efeito fotoelétrico.....	45
Figura 6 - Placa metálica exposta a luz e perdendo elétrons devido ao Efeito Fotoelétrico.....	46
Figura 7 – Célula Fotoelétrica.....	50
Figura 8 - Radiação do Corpo Negro.....	53
Figura 9 – Max Karl Ernest Ludwig Planck, por volta de 1930.....	53
Figura 10 - Direção de propagação da onda ou radiação eletromagnética.....	54
Figura 11 - A natureza da luz é explicada pelo estudo das ondas eletromagnéticas e pela constituição dos átomos.....	54
Figura 12 - Selo Alemão (1994) que mostra a descoberta da teoria quântica de Max Planck.....	55
Figura 13 - Esquema da ocorrência do Efeito Compton.....	58
Figura 14 – Cinemática do Espalhamento de Compton.....	60
Figura 15 - Imagem frontal da Escola.....	65
Figura 16 - Mapa Conceitual coletivo.....	83
Figura 17 – Resumo do Grupo 1.....	84
Figura 18 – Resumo do Grupo 2.....	85
Figura 19 – Resumo do Grupo 3.....	86
Figura 20 – Resumo do Grupo 4.....	87
Figura 21 – Respostas da Questão 1.....	89
Figura 22 – Porcentagens de respostas da Questão 1.....	90
Figura 23 – Respostas da Questão 2.....	91
Figura 24 – Porcentagens de respostas da Questão 2.....	91
Figura 25 – Respostas da Questão 3.....	92

Figura 26 – Porcentagens de respostas da Questão 3.....	93
Figura 27 – Respostas da Questão 4.....	94
Figura 28 – Porcentagens de respostas da Questão 4.....	94
Figura 29 – Respostas da Questão 5.....	96
Figura 30 – Porcentagens de respostas da Questão 5.....	96
Figura 31 – Respostas da Questão 6.....	97
Figura 32 – Porcentagens de respostas da Questão 6.....	98
Figura 33 – Mapa Conceitual Grupo 1.....	101
Figura 34 – Mapa Conceitual Grupo 2.....	102
Figura 35 – Mapa Conceitual Grupo 3.....	103
Figura 36 – Mapa Conceitual Grupo 4.....	104

RESUMO
INSERÇÃO DO CONTEÚDO EFEITO COMPTON NA UNIDADE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: À uma visão da Aprendizagem Significativa Crítica

Júlio Alexandrino Pinheiro

Orientadora:

Profa. Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno

Co-orientadora:

Profa. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha

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

Nosso objetivo é propor a inserção do tópico Efeito Compton no conteúdo de Física Moderna e Contemporânea, apresentando um Produto Educacional para o ensino de Física no Ensino Médio, relacionado a este tema. Elaboramos uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino de Física Moderna, introduzindo o tópico Efeito Compton, usando material de leitura, visual, etc., com o objetivo de testar o ensino-aprendizagem destes discentes, e aplicamos em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio, turno matutino, no Município de Benevides, região metropolitana de Belém-PA. A aplicação dessa UEPS foi estruturada em seis etapas: a primeira etapa foi dedicada à construção de um mapa conceitual coletivo e à aplicação do pré-teste; na segunda etapa foi feita a leitura e discussão dos textos sobre Física Moderna e Contemporânea; a terceira etapa consistiu da apresentação de vídeos relacionados ao assunto estudado, bem como à discussão em grupos dos mesmos; na quarta etapa foram apresentadas simulações e animações sobre o Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton e a construção de um Mapa Conceitual por grupo; a quinta etapa começou com a aplicação do pós-teste e posteriormente a autoavaliação da complexidade da prova; a sexta etapa começou com uma revisão dos conteúdos, apresentação das simulações e suas aplicações e, finalmente, os grupos fizeram as correções nos Mapas previamente construídos. Apoiamos a elaboração das atividades em aulas expositivas usando o projetor de imagens e textos. Desta forma, houve maior integração em sala de aula entre professor e alunos, o que proporcionou aos discentes, condições para a aprendizagem dos fenômenos estudados, melhorando a qualidade e o interesse dos estudantes no ensino de Física. Quanto à metodologia, o trabalho apresentado caracterizou-se como uma pesquisa qualitativa orientada pelo professor na aplicação do produto. Para a realização das análises qualitativas e quantitativas serão aplicados os questionários elaborados pelo professor, assim como os resumos dos vídeos e os Mapas Conceituais, construídos pelos grupos. Através das análises dos dados coletados foi possível a elaboração de estratégias e hipóteses para a resolução de problemas, como a melhoria dos materiais adaptados e a consequente facilitação do ensino, atingindo uma Aprendizagem Significativa e Crítica.

Palavras-chave: Ensino de Física, Aprendizagem, Efeito Compton, Física Moderna.

Belém-Pará
Agosto-2020

ABSTRACT

INSERTING THE COMPTON EFFECT CONTENT IN MODERN PHYSICAL UNIT IN HIGH SCHOOL: Towards a view of Critical Meaningful Learning

Júlio Alexandrino Pinheiro

Advisor:

Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno

Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha

Our goal is to propose the insertion of the topic Compton Effect in the content of Modern and Contemporary Physics, presenting an Educational Product for the teaching of Physics in High School, related to this theme. We elaborated a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS) for the teaching of Modern Physics, introducing the topic Compton Effect, using reading, visual material, etc., in order to test the teaching-learning of these students, and applied it in a class from the third year of high school, morning shift, in the Municipality of Benevides, metropolitan region of Belém-PA. This teacher used reading and visual material, etc. and a Potentially Meaningful Teaching Unit was designed to test the teaching-learning of these students. The application of this PMTU was structured in six stages: the first stage was dedicated to the construction of a collective conceptual map and the application of the pre-test; in the second stage, the texts on Modern and Contemporary Physics were read and discussed; the third stage consisted of the presentation of videos related to the studied subject, as well as the group discourse; in the fourth stage, simulations and animations about the Photoelectric Effect and Compton Effect were presented and the construction of a Concept Map by group; the fifth stage started with the application of the post-test and then the self-assessment of the complexity of the test; the sixth stage started with a review of the contents, presentation of the simulations and their applications and, finally, the groups made the corrections in the maps previously built. We support the development of activities in expository classes using the image and text projector. Thus, there was greater integration in the classroom between teacher and students, which provided students with conditions for learning the studied phenomena, improving the quality and interest of students in teaching Physics. As for the methodology, the work presented was characterized as a qualitative research guided by the teacher in the application of the product. In order to carry out qualitative and quantitative analyzes, the questionnaires prepared by the teacher will be applied, as well as the summaries of the videos and Concept Maps, built by the groups. Through the analysis of the collected data, it was possible to develop strategies and hypotheses for solving problems, such as the improvement of adapted materials and the consequent facilitation of teaching, achieving a Meaningful and Critical Learning.

Keywords: Physics Teaching, Learning, Compton Effect, Modern Physics.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 UM BREVE MEMORIAL E MOTIVAÇÃO DO TRABALHO.....	15
1.2 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO.	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.	17

CAPÍTULO 2 UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O TÓPICO DO EFEITO COMPTON NOS LIVROS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

2.1 INTRODUÇÃO	19
2.2 ANÁLISE QUANTITATIVA.....	20
2.3 ANÁLISE QUALITATIVA.....	21

CAPÍTULO 3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

3.1 IDEIAS INICIAIS.....	23
3.2 O QUE É CONSTRUTIVISMO?.....	24
3.3 CONSTRUTIVISMO E EDUCAÇÃO.....	25
3.4 CONSTRUTIVISMO E A PRÁTICA PEDAGÓGICA.....	27
3.5 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	28
3.5.1 Segundo Ausubel.....	28
3.5.2 Aprendizagem Significativa Crítica segundo Moreira.....	32
3.6 A IMPORTÂNCIA DA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) PARA O ENSINO DE FÍSICA	35
3.6.1 O que é o ensino por UEPS?.....	36
3.6.2 Como construir uma UEPS para o ensino do Efeito Compton.....	37

CAPÍTULO 4 O EFEITO COMPTON

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	41
4.2 HISTÓRIA DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	41
4.3 A FÍSICA E A FILOSOFIA.....	43
4.4 O EFEITO FOTOELÉTRICO.....	44
4.4.1 Aplicações do Efeito Fotoelétrico.....	49
4.5 DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA.....	51
4.6 O EFEITO COMPTON.....	52
4.6.1 Fótons.....	54

4.6.2 O experimento de Arthur Holly Compton.....	57
4.6.3 Aplicações do Efeito Compton.....	62
CAPÍTULO 5 METODOLOGIA DA PESQUISA	
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	64
5.2 LOCAL E PARTICIPANTES DA PESQUISA.....	65
5.3 APLICAÇÃO PRÁTICA DA PESQUISA.....	66
5.4 APLICAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA APRENDIZAGEM DO EFEITO COMPTON.....	67
5.5 RELATOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS.....	68
5.6 A FINALIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS.....	75
CAPÍTULO 6 RESULTADOS DA PESQUISA	
6.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS AS PERGUNTAS NORTEADORAS E CONSTRUÇÃO DO MAPA CONCEITUAL COLETIVO.....	78
6.2 ANÁLISE DOS RESUMOS DOS VÍDEOS.....	83
6.3 ANÁLISE DO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.....	88
6.4 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS FINAIS.....	99
CAPÍTULO 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
APÊNDICES.....	114
ANEXOS.....	185

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 UM BREVE MEMORIAL E MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Somos professor de escola pública há mais de uma década e temos nos deparado com todos os problemas que se apresentam a mesma. Um desses problemas é o de fazer periodicamente a escolha de livros didáticos para o ensino de Física que deverão ser usados por nossos alunos do Ensino Médio. Foi devido a isso que escolhemos o tema deste trabalho, ou seja, a inserção dos conteúdos do Efeito Compton de forma mais abrangente nos livros didáticos oferecidos nas escolas públicas.

A proposição se faz pertinente devido a análise feita em várias coleções de livros de Física para o Ensino Médio, oferecidos pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018, chegados na escola para análise e escolha, onde observamos que em alguns livros o conteúdo citado não apresentam o conteúdo apresentado sobre o Efeito Compton não era suficiente para suprir o conhecimento necessário para os discentes e, em outros essa parte da Física foi simplesmente ignorada, causando um prejuízo incalculável no entendimento de determinadas tecnologias que se apresentam no cotidiano da sociedade moderna, por parte dos alunos da rede pública do País.

Torna-se necessário que os estudantes possam compreender o mundo que os cerca bem como as transformações trazidas pela evolução técnico-científica, pois assim se tornarão agentes ativos dessas mudanças e para que isto aconteça, não é suficiente que os discentes apenas decorem fórmulas e teorias e, sim sejam capazes de formular questionamentos corretos sobre o que aprendem, por que aprendem e qual a relevância deste aprendizado.

Notamos que muitas vezes, o que encontramos, na análise do ensino de Física, é o ensino focado na memorização de uma grande quantidade de informações e fórmulas matemáticas. Essa abordagem, que não prioriza a Física Conceitual, faz com que os alunos se tornem avessos à matéria, porém uma

formação docente que priorize a repetição de ideias, dificilmente levará à que o futuro professor tome ações que promovam um aprendizado conceitual.

A mudança conceitual deve ser vista como uma evolução dos modelos mentais, até então, utilizados pelo indivíduo, sendo o processo pelo qual as concepções iniciais dos estudantes são transformadas em conceitos científicos.

Buscamos uma Aprendizagem Significativa para os nossos alunos e, segundo Moreira (1997), esta possui, em seus elementos, características que se veem refletidas em várias correntes do pensamento construtivista. Portanto, este tipo de aprendizagem deve ser reconhecida nos objetivos da maioria dos trabalhos que propõem um ensino conceitual de Física.

Podemos apontar diversos motivos, que podem ser usados para justificarmos o atual estágio de marasmo e apatia dos personagens que constroem a educação pública que é, sem dúvida, muito grande, fazendo com que tenhamos a sensação de que a escola está em uma dimensão paralela ao mundo do aluno, um mundo que se apresenta para os discentes, mergulhado em tecnologia e novidades que facilitam e melhoram a qualidade de vida de muitos, mais rápido que as mudanças na escola. Questiona-se, então:

- **Como exigir do aluno interesse por uma escola que muitas vezes só oferece quadro branco e pincel como principal e único recurso de aprendizagem?**

Temos convicção que a apropriação do conhecimento das tecnologias é de extrema importância para os alunos e a inserção dos conteúdos sobre Efeito Compton, trará várias possibilidades para a implementação de ações motivadoras que subsidiarão e servirão de instrumento de propulsão na busca pela inovação e qualidade na educação.

Esta proposta torna-se exequível e facilitada devido, por exemplo, o advento e expansão da informática educativa, facilitando a representação visual do modelo do fenômeno físico, no caso o Efeito Compton, assim como a popularização de tecnologias que podem ser mostradas, como experimentos.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

1.2.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um Produto Educacional fundamentado na Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel, através da aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), para a introdução do Efeito Compton na unidade Física Moderna no Ensino Médio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Discutir as dificuldades apresentadas pelos alunos do Ensino Médio, em compreender fenômenos relacionados ao tema Efeito Compton, pela ausência deste conteúdo, relacionado à Física Moderna;
- Propor alguns exemplos do cotidiano, relacionados a este conteúdo, considerados muito difíceis pelos alunos, que ao se depararem com eles, o consideram sem relação com a realidade que os cerca;
- Mostrar que a compreensão de alguns aparelhos, artefatos atuais e diversos fenômenos cotidianos se dá através de conceitos atribuídos ao Efeito Compton, mostrando como a área de Física tem contribuído significativamente para os avanços científico e tecnológico que vêm ocorrendo nos últimos tempos.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 2 (dois) iremos fazer uma Revisão Bibliográfica da literatura dos livros oferecidos pelo MEC no PNLD 2018, que apresentam o conteúdo do Efeito Compton, analisando os mesmo de forma quantitativa e qualitativa.

No Capítulo 3 (três) faremos o embasamento teórico no qual mostraremos a importância do que trata da Aprendizagem Significativa, através do uso de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), para facilitação do processo ensino-aprendizagem, assim como exporemos a forma de construção, da UEPS para o ensino do Efeito Compton.

No quarto capítulo trataremos dos Fundamentos Teóricos do Efeito Compton, fazendo uma revisão bibliográfica, trazendo as bases desse efeito e

sua aplicabilidade na sociedade moderna, bem como o embasamento matemático do mesmo.

No quinto capítulo abordaremos a Metodologia que será utilizada neste trabalho.

No Capítulo 6 (seis) faremos à Análise e a Avaliação dos Resultados da aplicação da UEPS.

O sétimo capítulo será dedicado às Considerações Finais.

CAPÍTULO 2

2 UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O TÓPICO DO EFEITO COMPTON NOS LIVROS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

2.1 INTRODUÇÃO

Foi feita uma revisão bibliográfica dos livros de Física do terceiro ano do Ensino Médio que foram oferecidos aos alunos das escolas públicas do País através do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD 2018), com o objetivo de analisar a presença do conteúdo Efeito Compton, através de uma análise quantitativa e qualitativa, para que pudéssemos justificar a inserção deste conteúdo de forma mais abrangente nestes livros didáticos oferecidos aos estudantes destas escolas, por entender que estes conceitos abrirão uma nova perspectiva na vida dos discentes, já que esse assunto possui uma aplicabilidade tecnológica muito grande na vida das pessoas.

A afirmação anterior baseia-se em um levantamento bibliográfico feito com livros do terceiro ano do Ensino Médio, mais especificamente da bibliografia que é apresentada no Programa Nacional do Livro Didático, PNLD-2018, das escolas públicas do País, segundo a Portaria Nº 62, de 1º- de agosto de 2017, da Secretaria de Educação Básica, do Ministério da Educação. Apresentamos a seguir a relação de livros de Física aprovados no PNLD-2018 (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista dos livros de Física oferecidos no PNLD 2018

EDITORA	CÓDIGO	TÍTULO
EDITORA ÁTICA	0021P18133	FÍSICA
EDITORA ÁTICA	0025P18133	COMPREENDENDO A FÍSICA
EDITORA SCIPIONE	0045P181333	FÍSICA: CONTEXTOS E APLICAÇÕES
SM	0071P18133	SER PROTAGONISTA - FÍSICA
SARAIVA EDUCAÇÃO	0100P18133	FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO
SARAIVA EDUCAÇÃO	0101P18133	FÍSICA
LEYA	0118P18133	FÍSICA: INTERAÇÃO E TECNOLOGIA
FTD	0129P18133	FÍSICA AULA POR AULA
FTD	0131P18133	FÍSICA

EDITORA	CÓDIGO	TÍTULO
EDITORA DO BRASIL	0167P18133	FÍSICA EM CONTEXTOS
MODERNA	0188P18133	FÍSICA – CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MODERNA	0200P18133	CONEXÕES COM A FÍSICA

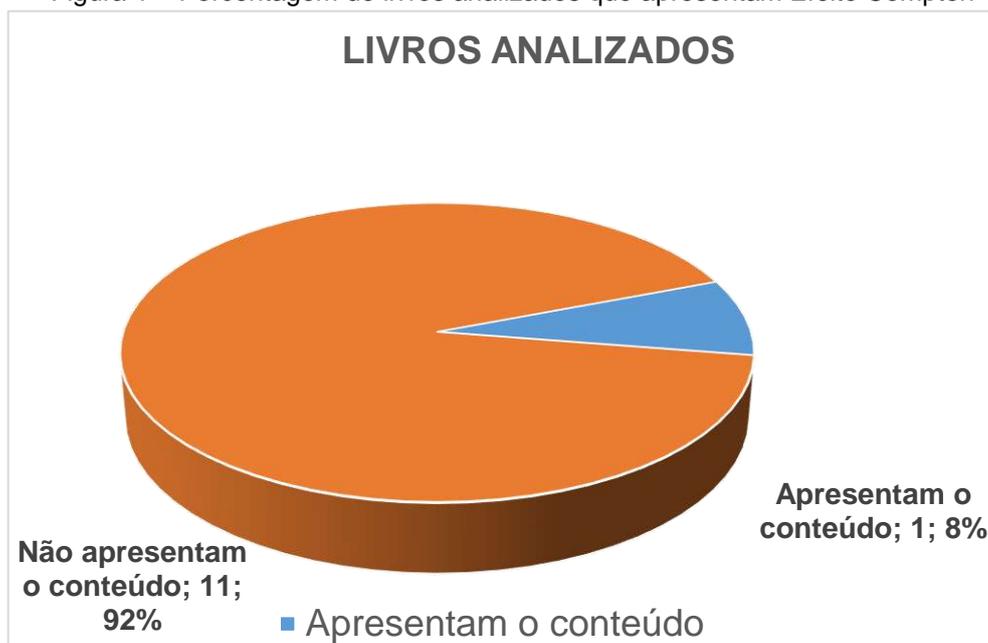
Fonte: Próprio Autor

2.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

Realizamos uma pesquisa da quantidade de livros ofertados no PNLD 2018, chegando a um total de doze livros, entre coleções e volumes únicos que foram oferecidos para o terceiro ano do Ensino Médio, conforme a Tabela 1.

Observamos que dos 12 (doze) livros apresentados pelo PNLD 2018, apenas 1 (um) apresentava o conteúdo Efeito Compton e 11 (onze) nada traziam sobre este assunto, mostrando assim que mais de 90% (noventa por cento) dos livros e coleções apresentadas não se preocuparam em proporcionar aos estudantes todo o conhecimento necessário para a melhor compreensão de fenômenos e artefatos tecno-científicos da atualidade, além do pleno entendimento da Física Moderna e suas aplicações, conforme podemos observar na figura a seguir (Figura 1).

Figura 1 – Porcentagem de livros analisados que apresentam Efeito Compton



Fonte: Próprio Autor

Apresentamos a Tabela 2, onde consta o Título de cada livro, a Editora e o código da obra, fornecido pela Editora, para que possa ser localizado no programa PNLD 2018.

Tabela 2 – Lista dos livros de Física oferecidos no PNLD 2018 que apresentam ou não Efeito Compton

Nº	EDITORA	CÓDIGO	TÍTULO	APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO
01	EDITORA ÁTICA	0021P18133	FÍSICA	NÃO
02	EDITORA ÁTICA	0025P18133	COMPREENDENDO A FÍSICA	NÃO
03	EDITORA SCIPIONE	0045P181333	FÍSICA: CONTEXTOS E APLICAÇÕES	NÃO
04	SM	0071P18133	SER PROTAGONISTA - FÍSICA	NÃO
05	SARAIVA EDUCAÇÃO	0100P18133	FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO	NÃO
06	SARAIVA EDUCAÇÃO	0101P18133	FÍSICA	NÃO
07	LEYA	0118P18133	FÍSICA: INTERAÇÃO E TECNOLOGIA	NÃO
08	FTD	0129P18133	FÍSICA AULA POR AULA	NÃO
09	FTD	0131P18133	FÍSICA	SIM
10	EDITORA DO BRASIL	0167P18133	FÍSICA EM CONTEXTOS	NÃO
11	MODERNA	0188P18133	FÍSICA – CIÊNCIA E TECNOLOGIA	NÃO
12	MODERNA	0200P18133	CONEXÕES COM A FÍSICA	NÃO

Fonte: Próprio Autor

2.3 ANÁLISE QUALITATIVA

Após a análise quantitativa, fizemos uma análise qualitativa nos 12 livros citados na Tabela 2, com o objetivo de avaliar, nestas obras, onde foi estudado o conteúdo Efeito Compton, qual o grau alcançado em extensão e profundidade.

Da análise observamos que o conteúdo apresentado nos livros didáticos fornecidos é muito superficial, pois é apresentado de forma sucinta e desconexa da realidade do aluno, não conseguindo atingir todas as potencialidades que o assunto apresenta, o que torna o mesmo desagradável aos estudantes, tornando a aprendizagem pouco significativa e dificultando o entendimento dos mesmos, quando se trata de Física Moderna.

Verificamos, ainda, que o assunto Efeito Compton foi apresentado no livro de forma que o torna de difícil assimilação por parte dos estudantes devido ser escrito em uma linguagem científica para discentes que ainda não foram devidamente “alfabetizados cientificamente”.

CAPÍTULO 3

3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

3.1 IDEIAS INICIAIS

Sem dúvida é quase universal a aceitação do enunciado que diz que só o conhecimento pode ser libertador das potencialidades das pessoas, porém o conhecimento que promove a articulação entre o ser humano e o seu ambiente, seus pares e, principalmente, com ele mesmo, este conhecimento deve ser capaz de promover a autonomia e conectar o ser humano com o seu meio cultural no que diz respeito a crenças, valores, sentimentos e atitudes, conclui-se que a autonomia de um indivíduo é medida a partir de sua estrutura de conhecimentos. Segundo Ausubel, um ser humano é autônomo, se, quando à partir desta estrutura de conhecimentos se torna capaz de captar e apreender, nas mais variadas circunstâncias de conhecimentos assemelhadas e de se apropriar da informação transformando-a em conhecimento.

Temos ciência que o aluno constrói seus conhecimentos a partir de uma intencionalidade deliberada de fazer articulações entre o que já conhece e uma nova informação que pretende absorver. Esta estruturação cognitiva se dá ao longo de toda a vida, através de uma sequência de eventos, configurando-se deste modo como um processo característico para cada pessoa. Atualmente, este entendimento de como se constrói a estrutura cognitiva humana chama-se genericamente de construtivismo.

Temos como precursores do construtivismo contemporâneo o suíço Jean Piaget, o russo Lev Vygotsky, que iniciaram os seus trabalhos na década de vinte do século passado e Ausubel, que iniciou seus trabalhos na década de setenta. Devido às dificuldades da teoria comportamentalista de Burrhus Skinner, em dar conta das especificidades da aprendizagem humana, as ideias construtivistas passaram a ser utilizadas com maior ênfase (POZO, 2002).

Segundo Postman e Weingartner (1969), a escola deve preparar os alunos para viver em uma sociedade que é caracterizada pela mudança, cada vez mais rápida, de conceitos, valores, tecnologias, porém ela ainda se ocupa em ensinar conceitos antigos, exclusivamente teóricos, sem se preocupar em

fazer a aplicação no cotidiano do estudante. Atualmente notamos que todas essas mudanças são enfrentadas quase que diariamente, porém a educação continua estimulando vários conceitos que Postmam e Weigartner (1969) criticavam e classificavam como fora de foco (Postmam e Weigartner).

3.2 O QUE É CONSTRUTIVISMO?

Inicialmente esclareceremos que a palavra construtivismo foi aplicada inicialmente por Piaget, na fase em que sua obra era marcadamente epistemológica, mais especificamente no final da década de 60, com a publicação de *Lógica e Conhecimento Científico* (1967) e *A Epistemologia Genética* (1970), onde o autor utiliza, com mais frequência, o termo construtivismo, apresentando dupla finalidade. Segundo Piaget, a primeira tem a intenção de reafirmar um princípio da sua teoria, desde as primeiras publicações psicológica - o papel ativo do sujeito na construção dos novos conhecimentos.

A segunda finalidade é de recorrer à perspectiva genética para explicar a construção de conhecimentos novos no âmbito da lógica, da matemática e da física (PIAGET, 1970/1983, p. 57). Nesse caso, o autor pretende evidenciar que os problemas epistemológicos clássicos e as transformações das diversas ciências podem ser mais bem explicados pela epistemologia genética.

Piaget utiliza a hipótese construtivista para explicar o desenvolvimento das teorias do conhecimento científico. As referências à psicogênese (base da formação dos conhecimentos) são imediatas e não há qualquer menção ao contexto pedagógico.

Becker (1993, p. 88-89), um dos defensores do construtivismo, escreve:

Construtivismo significa isto: a ideia de que nada, a rigor, está pronto, acabado e de que, especificamente, o conhecimento não é um dado, em nenhuma instância, como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais; e se constitui por força de sua ação e não por qualquer outra dotação prévia, na bagagem hereditária ou no meio, de tal modo que podemos afirmar que antes da ação não há psiquismo nem consciência e, muito menos, pensamento.

Portanto, o Construtivismo é uma teoria que nos permite interpretar o

mundo em que vivemos e no caso de Piaget, o mundo do conhecimento: sua gênese e seu desenvolvimento.

Ressaltamos que para os autores construtivistas, a aprendizagem só tem sentido na medida em que coincide com o processo de desenvolvimento do conhecimento, isto é, com o movimento das estruturas da consciência. As hipóteses construtivistas, propostas por Piaget, são apresentadas para evidenciar que:

- A gênese das estruturas cognitivas atinge as condições constitutivas dos conhecimentos e não somente o conjunto das condições de acesso a eles.
- Entre duas estruturas de níveis diferentes, não há redução no sentido único, mas uma assimilação recíproca, de tal modo que, a superior pode ser derivada da inferior, por via de transformações, mas também de tal modo que a primeira enriquece esta última nela se integrando.

3.3 CONSTRUTIVISMO E EDUCAÇÃO

Observamos anteriormente o sentido de construtivismo na ciência e na filosofia, bem como na epistemologia genética piagetiana. Então, que sentido terá construtivismo na educação?

Entendemos que construtivismo na educação é uma forma teórica ampla que reúne várias tendências atuais do pensamento educacional. Tendências que têm em comum o descontentamento com um sistema educacional que teima em continuar centrada na forma particular de transmissão do conhecimento, que é a escola, que consiste em fazer repetir, recitar, aprender, ensinar o que já está pronto, ao invés de levar o aluno a fazer, agir, operar, criar, construir, a partir da realidade vivida pelos alunos e professores, no seu cotidiano.

Segundo Fernando Becker, a educação deve ser um processo de construção de conhecimento ao qual ancorem, em condição de complementaridade, por um lado, os alunos e professores e, por outro, os problemas sociais atuais e o conhecimento já construído ("acervo cultural da humanidade").

Como o conhecimento é uma construção e o sujeito age espontaneamente para adquiri-lo, isto é, independentemente do ensino, mas não está livre dos estímulos sociais como os esquemas ou estruturas que já tem sobre o meio físico ou social, sendo assim ele abstrai deste meio o que é do seu interesse, e em seguida, reconstrói (reflexão) o que já tem, devido aos elementos novos que acaba de abstrair.

Temos então a síntese dinâmica da ação e da abstração, do fazer e do compreender, da teoria e da prática, é dessa síntese que emerge o elemento novo, sínteses que o apriorismo e o empirismo são incapazes de processar porque só valorizam um dos polos da relação.

Na visão construtivista, sujeito e meio têm extrema importância, porém essa importância é relativa.

Para o construtivismo, o aluno é sujeito cultural ativo cuja ação tem duas dimensões: assimiladora e acomodadora. Pela dimensão assimiladora ele produz transformações no mundo objetivo, enquanto pela dimensão acomodadora produz transformações em si mesmo, no mundo subjetivo, sendo que assimilação e acomodação constituem as duas faces, complementares entre si, de todas as suas ações, por isso, o professor não deve aceitar que seu aluno fique passivo ouvindo sua fala ou repetindo lições que consistem em dar respostas mecânicas para problemas que não assimilou (transformou para si).

Cabe ao professor refletir, inicialmente, sobre a prática pedagógica na qual ele está inserido como sujeito ativo, para que possa então apropriar-se da teoria capaz de desconstruir a prática conservadora e apontar para as construções futuras.

Partindo desse pressuposto, pode-se afirmar que uma simples mudança de concepção epistemológica não garante, uma mudança de concepção pedagógica ou de prática escolar, porém sem essa mudança de concepção, superando o empirismo e o apriorismo, certamente não haverá mudança drástica na teoria e na prática de sala de aula. A superação do apriorismo e, sobretudo, do empirismo é condição necessária, embora não suficiente, de avanços apreciáveis e duradouros na prática docente.

Pensamos, por isso, que o movimento que é próprio do processo de

construção do conhecimento deva impregnar a sala de aula, em particular, e o sistema educacional, em geral, fazendo com que a sala de aula seja inserida na História e no espaço social, portanto o compromisso da Escola deve ser o de construir o novo, superando o arcaico, e não o de repetir, interminavelmente, o antigo.

Nas palavras de Piaget, em *Nascimento da Inteligência na Criança* (p. 386):

As relações entre o sujeito e o seu meio consistem numa interação radical, de modo tal que a consciência não começa pelo conhecimento dos objetos nem pelo da atividade do sujeito, mas por um estado indiferenciado; e é desse estado que derivam dois movimentos complementares, um de incorporação das coisas ao sujeito, o outro de acomodação às próprias coisas.

E, sobre o problema da construção do novo, diz: "a organização de que a atividade assimiladora é testemunha é, essencialmente, construção e, assim, é de fato invenção, desde o princípio" (p. 389). Isto é, a novidade emerge da própria natureza do processo de desenvolvimento do conhecimento humano.

Para que a construção do novo não ocorra deve-se obstruir esse processo e, é esse, justamente, o papel da ideologia, ideologia que impregna a consciência do professor, determinando suas ações prática, e seu modo de pensar.

Construtivismo, segundo pensamos, é a forma de conceber o conhecimento: sua gênese e seu desenvolvimento e, por consequência, um novo modo de ver o universo, a vida e o mundo das relações sociais.

3.4 CONSTRUTIVISMO E A PRÁTICA PEDAGÓGICA

Para os construtivistas o professor é um "agente de transformação" que deve tomar decisões a partir de suas observações sobre as características de cada aluno, sendo que na prática construtivista, o professor precisa desenvolver um olhar aguçado para perceber como cada aluno está pensando e sentindo em situações específicas.

Para o construtivismo, sem interação social entre colegas, os alunos não podem construir nem sua lógica nem seus valores sociais e morais, uma vez que

o aluno adquire conhecimento agindo e interagindo.

A família introduz muitas atitudes e hábitos, mas não fornece ao aluno todas as experiências, nem satisfaz a todos os aprendizados que lhe são necessários e também não convém que o aluno esteja sempre rodeado de pessoas que o protejam, é preciso que conviva com iguais, com seus pares, junto à figura do professor que a oriente e eduque, contribuindo para sua formação e o desenvolvimento de todas as suas capacidades.

Na escola, o aluno deve encontrar relacionamentos afetivos, bem como a segurança e interação social que lhe permitam obter autonomia para construir seus aprendizados, de forma natural e de acordo com seu ritmo e tentará, também, incorporar hábitos regulares de trabalho seguindo uma normativa, sem que sejam muito rígidos ou permissivos.

Podemos notar que a autonomia não tem somente aspectos políticos, intelectuais e morais, porém, apresenta também o aspecto emocional. Se o aluno não apresentar um forte sentido de si mesmo (autoconceito positivo e autoestima) não pode haver autonomia moral, intelectual e política, e vice-versa, pois quando o aluno apenas obedece regras feitas por outra pessoa, permanecerá indiferente em relação àquela pessoa e sua vontade é apenas uma extensão da vontade daquela pessoa.

Nas divergências em relação a regras, se o professor intervém de modo a encorajar o desenvolvimento da autonomia, contribui para que o aluno desenvolva um autoconceito e uma autoestima positivos.

De forma geral, os educadores estão de acordo que sem uma ordem no grupo a ser instruído, formado, socializado, educado, é impossível conseguir os objetivos desejados e para isso utilizam as normas, regulamentos, imposições e estratégias que garantem, pelo menos na teoria, a ordem desejada.

3.5 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

3.5.1 Segundo Ausubel

A aprendizagem significativa ocorre quando um aprendiz possibilita dentro de sua estrutura cognitiva existente a interação de um novo conteúdo e, nesse

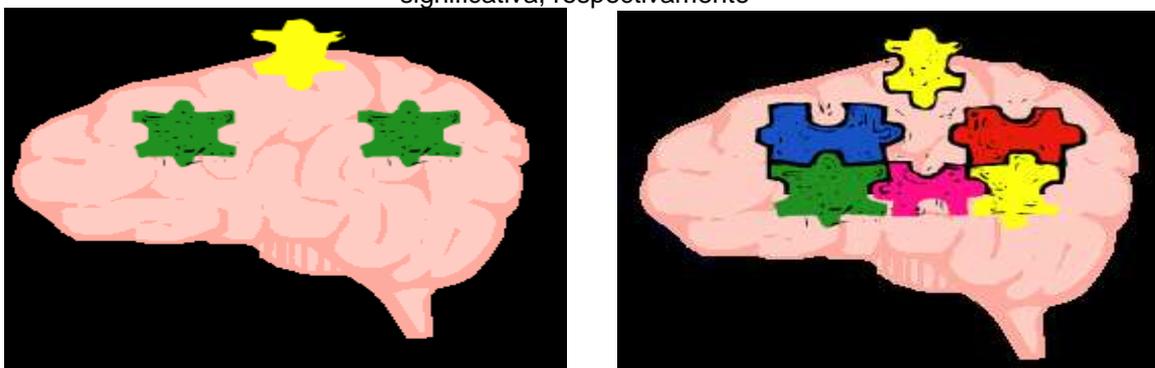
processo esse conteúdo irá adquirir significado psicológico, porém essa incorporação pode não ocorrer ou acontecer em um número menor de interações, pois se assim acontecer teremos apenas uma aprendizagem mecânica, uma vez que o novo conteúdo passa a ser armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva (Ausubel, 1978).

Segundo Moreira, Ausubel destaca que o processo de aprendizagem significativa é o mais importante na aprendizagem escolar (Moreira, 1983), porém para que ela ocorra são necessários alguns requisitos básicos a serem cumpridos e uma das condições para que ocorra a aprendizagem significativa é que o conteúdo ensinado esteja relacionado com a estrutura cognitiva do aluno. significando que o material instrucional deve ser potencialmente significativo, ele deve ser organizado de forma lógica possibilitando ao aluno interagir com o novo material de modo substancial e não-arbitrário com conceitos relevantes na estrutura cognitiva do aluno.

Moreira afirma que para que o aluno possa aprender significativamente com o material instrucional, é necessário haver em sua estrutura cognitiva um conjunto de conceitos relevantes que possibilitem a sua conexão com a nova informação a ser aprendida, sendo que ao conjunto destes conceitos básicos é dado nome de subsunçor, originado da palavra *subsumer*.

Um subsunçor é, portanto, um conceito, ideia, ou proposição já existente na estrutura cognitiva do aluno, capaz de servir de “âncora” para uma nova informação, de modo que ela adquira um significado para o indivíduo (Figuras 2.1 a e 2.1b) (MOREIRA, 1983).

Figuras 2.1 a e b - Modelo ilustrativo da aprendizagem mecânica e da aprendizagem significativa, respectivamente



Finalmente, enfatizamos que a atitude do aluno é de crucial importância para o processo de aprendizagem significativa, pois o aluno deve manifestar esforço e disposição para relacionar de maneira não arbitrária o novo material potencialmente significativo, a sua estrutura cognitiva; logo pode-se afirmar que não importa o quanto o material seja potencialmente significativo, se o aluno apenas tiver interesse em “decorar” a nova informação, ou seja, não haverá a aprendizagem significativa do material, pois, segundo Tavares, quando não contamos com o interesse do aluno...

Podemos ter uma aprendizagem receptiva significativa em sala de aula convencional onde se usam recursos tradicionais tais como giz e quadro-negro, quando existirem condições do aprendiz transformar significados lógicos de determinado conteúdo potencialmente significativo, em significados psicológicos (TAVARES, 2005).

Segundo (Ausubel, 1978) “A principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa com que se depara”, sendo assim um auxílio para vencer o abismo existente entre o que o aluno já sabe e a nova informação que ele pretende aprender significativamente, a respeito disto, Moreira define os organizadores prévios da seguinte forma:

Os organizadores prévios são materiais introdutórios em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, capazes de servir de ancoragem ideacional a suprir a deficiência de subsunçores até que estes estejam desenvolvido (MOREIRA, 1983).

Levantamos aqui, alguns aspectos que são relevantes à aprendizagem significativa: “Aprendizagem Significativa: aquisição de novos significativos, isto é, processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo” (AUSUBEL, 1978, p. 522). “O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos” (AUSUBEL, 1978, p.1). Mas segundo Tavares:

Informações podem interagir, contribuindo para a transformação do conhecimento em novos conhecimentos, de forma dinâmica, não aleatória, mas relacionada entre a nova informação e os aspectos

relevantes da estrutura cognitiva do indivíduo (TAVARES; LUNA, 2003).

Logo podemos dizer que, “A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora em conceitos (subsunçores) relevantes pré-existent na estrutura cognitiva de quem aprende” (MOREIRA, 2002).

Moreira afirma que,

A aprendizagem significativa ocorre com modificações relevantes nos atributos da estrutura cognitiva do aprendiz, pela mediação pedagógica através de objetos de aprendizagem (interatividade, interação, abrangência, modificação: novo (a) + existente (A) = a.A. (Novo modificado + existente modificado (MOREIRA, 2002).

Em suma, um processo de ensino-aprendizagem tem que ter uma participação ativa do sujeito (aprendiz) em uma atividade auto estruturante, que é a soma de sua competência cognitiva e seus conhecimentos prévios, o que condiciona a sua reelaboração pessoal, que é o eixo central da teoria ausubeliana.

Ausubel (1980, 2003) sugere o uso da aprendizagem mecânica quando não existirem na estrutura cognitiva do aprendiz ideias-âncoras (subsunçor) que facilitem a conexão entre estas e a nova informação, quando não existirem ideias prévias que possibilitem essa ancoragem.

Em uma dada circunstância nos deparamos com a tarefa de aprender uma sequência de determinados conteúdos, sem ter tido a oportunidade de algum conhecimento anterior. Nesta situação ele sugere que o conhecimento inicial seja memorizado, e a partir desse conhecimento absorvido seja paulatinamente estruturado o conhecimento sobre o tópico considerado. Ele, no entanto, criou uma nova alternativa para essa situação, ao propor a utilização de organizadores prévios, que são pontes cognitivas entre o que aprendente já sabe e o que pretende saber, pois o conhecimento é construído com um elevado grau de abstração e inclusividade, de modo a poder se apoiar nos pilares fundamentais da estrutura cognitiva do aprendiz e desse modo facilitar a apreensão de conhecimentos mais específicos com os quais ele está se deparando.

A aprendizagem mecânica ou memorística se dá com a absorção literal e não substantiva do novo material sendo que o esforço necessário para esse tipo

de aprendizagem é muito menor, daí ele ser tão utilizado quando os alunos se preparam para exames escolares e principalmente aqueles exames que exigem respostas literais às suas perguntas, que não exijam do aluno uma capacidade de articulação entre os tópicos do conteúdo em questão. Apesar de custar menos esforço, a aprendizagem memorística é volátil, com um grau de retenção baixíssimo na aprendizagem de médio e longo prazo.

3.5.2 Aprendizagem Significativa Crítica segundo Moreira

A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica é nova se comparada às demais, tendo sido proposta pela primeira vez no século XX, por Marco Antônio Moreira. O argumento principal usado por Moreira e que a diferencia da Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta inicialmente por David Ausubel durante a década de 1960, é de que em tempos de mudanças rápidas e drásticas, não basta promover apenas uma Aprendizagem Significativa, é necessário que esta seja também crítica, subversiva, antropológica. Contudo, Moreira optou por chamá-la de Aprendizagem Significativa Crítica, sendo esta aprendizagem é aquela que permite ao sujeito inserir-se na sua cultura e, ao mesmo tempo, estar desligada da mesma. Quando fazemos uma observação nas teorias de aprendizagem contemporânea, não podemos deixar de apresentar, dentro dessa visão, a importância que a Aprendizagem Significativa tem, mas ela deve ser também crítica, subversiva, antropológica, em outras palavras, segundo Moreira (2006), na sociedade contemporânea não basta adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, é preciso adquiri-los criticamente. Estes conhecimentos devem ser adquiridos, ao mesmo tempo em que se vive na sociedade, pois, para integrar-se a ela, é necessário também ser um crítico dela, bem como é necessário distanciar-se dela e de seus conhecimentos quando ela está perdendo rumo.

Para que a aprendizagem seja significativa e crítica deve-se, segundo Moreira (2000), devemos observar os Princípios Facilitadores de uma Aprendizagem Significativa Crítica, que para Moreira, são:

1. Perguntas ao invés de respostas (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas);

2. Diversidade de materiais (abandono do manual único);
3. Aprendizagem pelo erro (é normal errar; aprende-se corrigindo os erros);
4. Aluno como perceptor representador (o aluno representa tudo o que percebe);
5. Consciência semântica (o significado está nas pessoas, não nas palavras);
6. Incerteza do conhecimento (o conhecimento humano é incerto, evolutivo);
7. Desaprendizagem (às vezes o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico);
8. Conhecimento como linguagem (tudo o que chamamos de conhecimento é linguagem);
9. Diversidade de estratégias (abandono do quadro-de-giz).

Observa-se no primeiro princípio que para a Aprendizagem Significativa Crítica ocorrer é necessário que o aluno aprenda a “perguntar” ao invés de aprender respostas prontas e acabadas, e isso só ocorre quando há interação social, isto é, o sujeito precisa interagir com o meio para que assim possa aprender significativamente, logo podemos afirmar que a interação social e o questionamento se colocam como elementos centrais na facilitação deste tipo de aprendizagem significativa.

Um outro princípio que, segundo Moreira, deve ser observado, é o abandono do material único, isto é, o livro didático como único material educativo não estimula o questionamento, já que fornece uma única visão, por este motivo o professor deve oportunizar aos alunos uma diversidade de materiais, como por exemplo: filmes, jogos, revistas, sites, simulações, dentre outros que achar conveniente, isto com certeza facilitará a aprendizagem significativa crítica.

O terceiro princípio fala sobre a aprendizagem pelo erro, pois o ser humano, no seu processo de crescimento na sociedade aprende errando, é assim que o homem aprende, indo procurar as correções para os seus erros; errado seria pensar em verdades imutáveis, em certeza e conhecimento

permanentes. Infelizmente a escola contemporânea pune o erro, quando deveria usá-lo como um aliado para se chegar à Aprendizagem Significativa Crítica, pois apenas a busca sistemática pela correção do erro não é pensar criticamente, e procurar a aprendizagem, é aprender criticamente pois, estaremos rejeitando as certezas e, encarando o erro como natural e aprendendo através de sua superação.

O princípio do discente como perceptor diz que o aluno deve ser capaz de compreender, através dos sentidos, o que lhe é ensinado e, então, transmitir corretamente o que foi memorizado, sendo um receptor de respostas certas.

Um princípio muito importante para a Aprendizagem Significativa Crítica é o que afirma que o importa está nas pessoas e não palavras. A linguagem é essencial para o processo de ensino-aprendizagem, pois envolve apresentação, representação, negociação e compartilhamento de significados e, assim sendo, deve-se conscientizar-se que os significados dependem do contexto e significados particulares atribuídos pelas pessoas.

O princípio da incerteza do conhecimento, não deve ser entendido como se o conhecimento fosse incontestável, pois o mesmo evolui e, os modelos que hoje temos sem dúvida serão substituídos por outros ainda mais elaborados e melhores, isto é aprender de forma significativa e crítica.

Segundo Ausubel (1978), o conhecimento prévio é a variável mais importante para que a aprendizagem seja significativa, pois é um facilitador da aprendizagem, porém, este conhecimento pode também servir de barreira para a aprendizagem significativa, não permitindo ao indivíduo que ele perceba novas definições, novas relações; quando, então, não devemos usá-lo como ideia âncora, ou seja, devemos esquecer o que já sabíamos.

Temos de ter em mente o que Moreira afirma no oitavo princípio, que todas as formas de conhecimentos são linguagens, que são usadas para expressarem um conjunto de conhecimentos que devem ser adquiridos, logo, pode-se afirmar que cada disciplina tem sua linguagem específica.

Observamos que o último princípio é um princípio integrador, já que abrange todos os outros, pois o “quadro de giz” simboliza o modelo onde o professor é detentor do conhecimento e o aluno apenas cópia, decora e reproduz

o que lhe é informado. Essa postura deve ser abandonada se quisermos ter uma Aprendizagem Significativa Crítica, pois, o que este princípio propõe é a diversificação de estratégias e a participação ativa e responsável do aluno na sua aprendizagem.

3.6 A IMPORTÂNCIA DA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) PARA O ENSINO DE FÍSICA

Ao recomendar o uso das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), Moreira (2011) o faz com a intenção de melhorar, pelo menos em parte, a situação atual da educação. Segundo o autor, a Escola vigente apresenta aos alunos os conhecimentos que eles devem saber e os estudantes apenas copiam, memorizam e reproduzem nas avaliações estes conhecimentos, tornando a aprendizagem mecânica. Notamos que este modelo de narrativa é aceito por todos, desde professores e alunos até pais e diretores. Para Moreira (2011) ele é, “na prática, uma grande perda de tempo”.

Segundo Moreira (2004) “Unidades de Ensino Potencialmente Significativas são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula”. Além de tudo, a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) irá possibilitar a inserção dos conteúdos sobre o Efeito Compton para os alunos, mostrando que tais assuntos estão presentes em seu cotidiano. As UEPS devem ser utilizadas pelo professor com o objetivo de oferecer subsídios para a construção de uma aprendizagem que seja cada vez mais significativa, se comparada à aprendizagem mecânica, de acordo com Moreira (2011, p. 02):

com a intenção de contribuir para modificar, pelo menos em parte, essa situação, propõe-se neste trabalho a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. São sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.

Acredita-se que a implementação da UEPS como um material

potencialmente significativo vem corroborar com um dos objetivos dessa pesquisa que é disponibilizar um material de apoio para ser utilizado pelos professores de Física. Desta forma, toda a UEPS é planejada para que haja aprendizagem significativa e crítica.

3.6.1 O que é o ensino por UEPS?

Antes de se aplicar, é necessário conhecer como se dá o ensino por UEPS. Na visão de Moreira (2011), UEPS é uma sequência de ensino direcionada à aprendizagem significativa de conceitos e tópicos específicos de um ou mais conteúdos escolares. A tese central é que os materiais e recursos utilizados estejam de acordo com a visão de aprendizagem significativa proposta por David Ausubel.

Iniciaremos pela escolha do tema, dos recursos e dos materiais, que precisam ser potencialmente significativos para os alunos, isto é, devem apresentar conceitos que já estão presentes na estrutura cognitiva dos discentes. Em outras palavras, a estrutura da sequência didática que será elaborada pelo professor deve apresentar o que é difundido pela Teoria da Aprendizagem Significativa. Todavia, Moreira (2011), nos fundamentos da UEPS, apresenta características de outras teorias relacionadas à aprendizagem cognitiva, como as propostas por Novak, Vergnaud, Vygotsky, Gowin, Johnson-Laird e Moreira.

Notamos hoje que um dos maiores desafios que se apresenta aos professores é, sem dúvida, desenvolver metodologias que estimulem nos alunos o desejo em aprender, mas não de forma mecânica, onde os discentes estudam apenas para poder passar de uma série para outra, e sim aprender de forma significativa. Devido a isso, notamos um crescente movimento de educadores e pesquisadores em busca de qualificação do processo ensino-aprendizagem.

A crescente busca de qualificação dos educadores pela melhoria no processo ensino-aprendizagem, aliada à compreensão de que as metodologias utilizadas no ensino de Física estão produzindo pouco ou nenhum efeito na adequação dos conteúdos, nos levou a desenvolver e avaliar uma proposta apoiada na Teoria Cognitivista de Ausubel. Especificamente, foi elaborada uma

Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS).

3.6.2 Como construir uma UEPS para o ensino do Efeito Compton

Para Moreira (2011) a construção de uma UEPS está baseada em alguns aspectos sequenciais (*passos*):

1. Será preciso fazer a escolha de um tópico específico a ser abordado, distinguindo seus aspectos declarativos e procedimentais, tais como são aceitos no contexto da disciplina de ensino na qual esse tópico se insere;
2. Deverá ser averiguado os conhecimentos prévios dos discentes, criando ou propondo situações que privilegiem a discussão e o questionamento, bem como outras situações, tais com: questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. Estas ocorrências deverão levar o aluno a expressar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico em pauta;
3. Neste passo, o professor deverá propor situações-problema, em nível bem introdutório, considerando o conhecimento prévio do aluno, manifestado no passo anterior. Isto deverá situar o discente para que tenha a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) do que o docente tem intenção de ensinar. Estas situações-problema deverão envolver, de imediato, o tópico em pauta, porém não para começar a ensiná-lo; funcionam apenas como organizador prévio, pois Moreira afirma que “são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos”, mas isso só acontece se o aluno percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente, estabelecendo relações com os conhecimentos já existentes em sua estrutura; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios). Segundo Moreira (2011, p. 4), “estas situações-problemas iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da

matéria de ensino[...]. Contudo, sempre de modo acessível e problemático.

4. Com as situações-problema iniciais trabalhadas, o professor deverá agora apresentar o conteúdo a ser ensinado na UEPS, não deixando de levar em consideração a diferenciação progressiva, apresentando inicialmente os aspectos mais gerais e inclusivos, fornecendo uma visão geral do que se pretende ensinar; uma visão do que é mais importante na unidade de ensino, exemplificando e abordando aspectos mais específicos e inclusivos. Como estratégia de ensino faremos uma breve exposição oral; em seguida, uma atividade colaborativa em pequenos grupos e, a seguir, finalizando esta parte, para apresentar ou discutir as conclusões dos pequenos grupos, faremos uma atividade em grade grupo.

5. Dando continuidade, deveremos realizar a reconciliação integradora do conteúdo abordado no passo 4, retomando os aspectos mais gerais, estruturantes, do conteúdo da unidade de ensino, em uma nova apresentação, que pode ser feita através de uma breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, ou outros recursos disponíveis ao professor, mas em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação, Este processo é muito importante, uma vez que serve para reforçar a ancoragem do novo conteúdo aos subsunçores. Serão propostas as situações-problema em níveis crescentes de complexidade, dando novos exemplos, destacando as semelhanças e diferenças em relação às situações e exemplos já trabalhados, promovendo a reconciliação integradora. Mais uma vez o professor deverá propor uma outra atividade colaborativa para que os alunos interajam, fazendo a troca e a negociação de significados entre eles, com o professor como mediador, Segundo Moreira (2011, p. 4), “esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama em V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto[...]”. Deve-se ressaltar que essa atividade tem que, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;

6. Para terminar a UEPS, terá que ser dado prosseguimento ao processo de diferenciação progressiva retornando-se às características mais específicas do conteúdo, tomando o cuidado de fazer a reconciliação integradora. Isto deverá ser feito através de nova apresentação dos significados, lembrando que os mesmos devem apresentar um maior nível de complexidade, podendo, outra vez, usar os mecanismos citados anteriormente. O professor deve ter em mente que o importante não é a estratégia em si, e sim como se trabalha o conteúdo da unidade. Deveremos propor novas situações-problema que, ao serem sugeridas devem ser trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores. Estas situações deverão 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 dos alunos deverá ser feita ao longo de toda a fase de implementação, e o professor deverá registrar o que considerar relevante e que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado na UEPS. Toda produção dos discentes deverá, obrigatoriamente, ser usada para avaliação. Após isto, será feita uma avaliação somativa individual logo após o sexto passo e, nesta mesma avaliação, deverão ser propostas questões e/ou situações que promovam a compreensão e evidenciem captação de significados bem como se o mesmo adquiriu alguma capacidade de transferência; essas questões/situações precisam de validação por parte professores experientes na matéria de ensino; o desempenho do aluno durante a UEPS será avaliado, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8. Só se poderá considerar a UEPS exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de que os mesmos aprenderam significativamente, isto é, se houver a captação de significados, compreensão, capacidade de explicar e aplicar o conhecimento adquirido na resolução de situações-problema. Vale

ressaltar que a aprendizagem significativa é progressiva, e por este motivo deve-se dar ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Estes passos devem ser seguidos, mas não de forma tão rígida, e o professor deverá dar a oportunidade de incorporação de novas situações problemas, fazendo assim alguns ajustes. O uso de UEPS tem sido utilizado como forma de auxiliar e facilitar a abordagem de temas complexos no ensino da Física.

CAPÍTULO 4

4 O EFEITO COMPTON

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Mecânica Quântica é uma teoria científica desenvolvida por alguns físicos tais como Heisenberg, Jordan, Pauli, Schrödinger, de Broglie, Bohr, Born e Einstein com a finalidade de explicar alguns fenômenos que não podiam ser descritos pelas teorias clássicas, como a Mecânica de Newton e o Eletromagnetismo de Maxwell.

A Mecânica Quântica estuda os sistemas da escala atômica ou subatômica, como os átomos, as moléculas, os prótons, os elétrons, dentre outras partículas subatômicas. Os estudos tornaram possível a explicação de muitos fenômenos da Física, como a radiação do corpo negro e as órbitas estáveis do elétron.

A Mecânica Quântica é usada, também, para explicar fenômenos macroscópicos, cuja compreensão só é possível quando levamos em conta que o comportamento microscópico da matéria é quântico.

Também chamada de Teoria Quântica ou Física Quântica, a Mecânica Quântica foi iniciada teoricamente e experimentalmente no século XX.

A palavra quântica é originada do latim quantum, que significa quantidade. Em Mecânica Quântica, a palavra refere-se a uma unidade que a teoria atribui a determinadas quantidades físicas, tais como a energia presente em um elétron de um átomo em repouso.

4.2 HISTÓRIA DA MECÂNICA QUÂNTICA

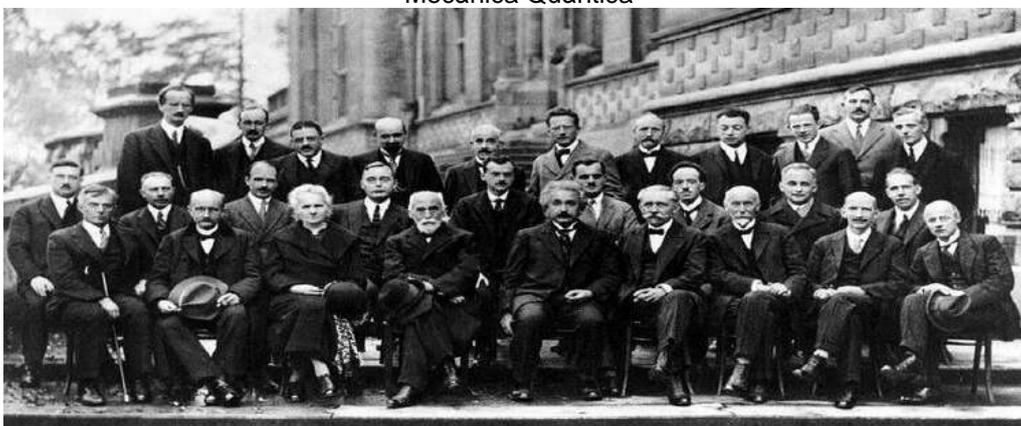
A Mecânica Quântica teve suas bases estabelecidas por descobertas científicas no final do século XIX e início do século XX, essenciais para a Física Moderna. Podemos enunciar algumas revelações científicas, em ordem cronológica:

- a descoberta dos raios catódicos de Michael Faraday, em 1838;
- a radiação do corpo negro de Gustav Kirchhoff, em 1859;
- a proposição de que os estados de energia de um sistema físico poderiam ser discretos de Ludwig Boltzmann, em 1877;
- a descoberta do **efeito fotoelétrico**, em 1886, pelo físico alemão **Heinrich Hertz**;
- o postulado de Planck, em 1901, cujo objetivo foi o de mostrar que na natureza só existe energia em valores discretos, em *quanta de ação*, dando à natureza um resultado de caráter descontínuo e inaceitável para a Física Clássica conhecida até então. A ideia de Planck foi extremamente revolucionária na época, sendo ele considerado, junto com Einstein e outros, um dos principais teóricos que contribuíram para o crescimento e consolidação da Física Quântica.

Assim, a base de estudo para a Mecânica Quântica foi se estabelecendo ao longo do século XX, recebendo contribuições de outros cientistas como: Albert Einstein, Werner Heisenberg, Max Planck, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Max Born, John von Neumann, Paul Dirac, Wolfgang Pauli, Richard Feynman e outros.

No ano de 1925, Bohr e Heisenberg publicaram resultados de pesquisas realizadas sobre a teoria quântica. A partir da postulação de Einstein surgiu uma série de debates, teorias e testes envolvendo todo campo da física quântica, o que deu culminou com as discussões na quinta Conferência de Solvay em 1927, que reuniu físicos e químicos de diversos países do mundo (Figura 3).

Figura 3 - A Conferência Solvay reuniu cientistas de diversas partes do mundo para discutir Mecânica Quântica



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/mecanica-quantica>

Desta forma, a década de 1920 foi marcada pela evolução da Mecânica Quântica, tornando-a a base padrão para a formulação dos estudos da física atômica.

Assim a Mecânica Quântica se tornou a base teórica e experimental de diversos campos da Física e da Química. Ela estuda várias áreas, a saber: física da matéria condensada, física do estado sólido, física atômica, física molecular, química computacional, química quântica, física de partículas e física nuclear; porém, não podemos esquecer que o seu principal objeto de aprendizagem continua sendo os estudos microscópicos e os fenômenos macroscópicos como a superfluidez e a supercondutividade, cuja compressão só é possível se levar em conta se o comportamento microscópico da matéria é quântico.

4.3 A FÍSICA E A FILOSOFIA

Filosoficamente, a discussão sobre a Física Moderna apresenta muitas possibilidades de reflexão e podemos dizer que um dos temas mais importantes neste sentido é a discussão sobre os princípios racionais, que dentro do pensamento humano, sofreram sérios questionamentos no momento em que novas teorias foram estruturadas no início do século XX.

Ressaltamos que no desenvolvimento da Física, a partir de Newton, a razão sempre foi o caminho buscado, por excelência, para o qual as verdades do Universo, neste contexto, a natureza ondulatória da luz estava perfeitamente coerente com a visão determinista de mundo. Mas, nesta trajetória, “as ideias de substâncias, partículas e forças penetraram o campo da óptica e, finalmente o velho ponto de vista filosófico ruiu” (EINSTEIN; INFELD, 2008). Este questionamento teve tamanha importância dentro do pensamento filosófico moderno que acabou contribuindo para que a indeterminação também passasse a se constituir em fundamento para certas escalas do pensamento racional, sendo este, sem dúvida, um momento de grande importância dentro da filosofia contemporânea e que determinaria novos caminhos nos domínios da razão.

Com a intenção de contribuir com a prática pedagógica dos professores de Física no Ensino Médio, vamos inicialmente efetuar uma abordagem de

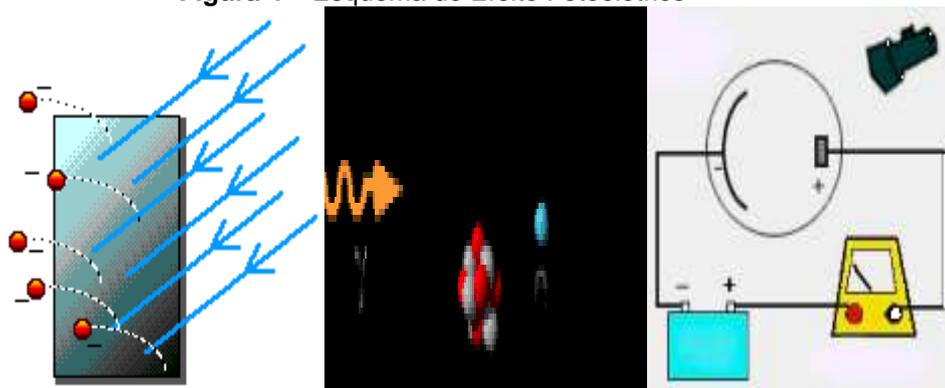
alguns fenômenos que decorrem do comportamento corpuscular da luz, iniciando pelo Efeito Fotoelétrico, tomado como subsunçor, e após o Efeito Compton e ainda, ao longo desta exposição, indicaremos alguns recursos educacionais que poderão ser utilizados em uma prática pedagógica de forma inovadora.

4.4 O EFEITO FOTOELÉTRICO

Um importante passo no desenvolvimento das concepções sobre a natureza da luz foi dado no estudo de um fenômeno muito interessante, descoberto por Heinrich Hertz em 1887 e estudado por Lenard em 1900.

Hertz descobriu que uma faísca elétrica entre dois condutores surgia mais facilmente quando um deles era exposto à radiação ultravioleta ou à luz na faixa próxima ao violeta, e a análise posterior desse fenômeno mostrou que a energia das ondas eletromagnéticas era absorvida pelos elétrons do metal e que essa energia fazia com que alguns elétrons fossem expulsos do metal, sendo que os elétrons expelidos aceleravam a ionização do ar, o que facilitava o surgimento da faísca, devido a este motivo esse efeito ficou conhecido como Efeito Fotoelétrico (Figura 4), pois era a incidência de luz que fazia os elétrons saírem do metal.

Figura 4 – Esquema do Efeito Fotoelétrico



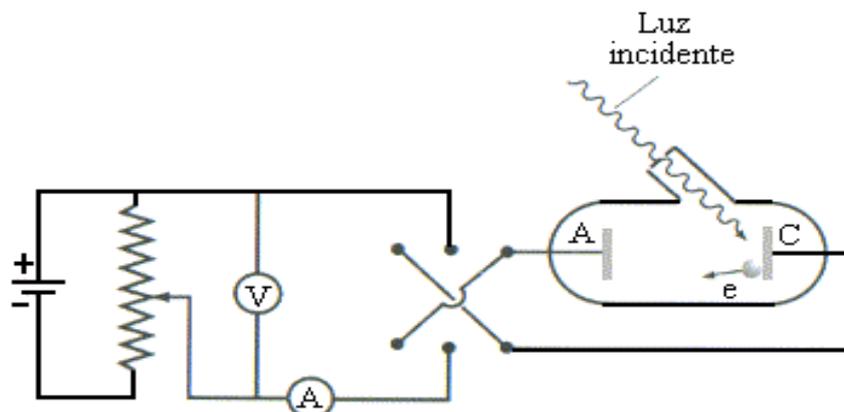
Fonte: <http://www.geocities.ws/saladefisica6/fisicamoderna/efeitofotoele.html>

A luz, que até então era explicada e considerada apenas como onda luminosa, passou a ter uma característica corpuscular, pois seria formada por partículas, os fótons, e, isso representou um golpe significativo dentro do pensamento racional e, perturbando um dos princípios norteadores da natureza

da luz, pois permitia que um mesmo fenômeno pudesse ter duas explicações até então excludentes.

A Figura 5 mostra o diagrama esquemático do aparelho básico para a realização do experimento de investigação do Efeito Fotoelétrico.

Figura 5 – Diagrama esquemático do aparelho básico para investigar o efeito fotoelétrico



Fonte: <http://www.ensinoadistancia.pro.br/EaD/QG/aula-4/aula-4.html>

Experimentalmente, observamos que um aumento extra na ddp (V) não afeta a corrente. Lenard observou que a corrente máxima era proporcional à intensidade da luz. Quando V for negativo, os elétrons são repelidos pelo ânodo. Somente os elétrons que tenham as energias cinéticas iniciais $\frac{1}{2}mv^2$ maiores que $|eV|$ podem atingir o ânodo. Notamos que se V for menor que $-V_0$, nenhum elétron chegará ao ânodo. O potencial V_0 é o potencial frenador que se relaciona com a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície pela relação:

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{máx}} = e \cdot V_0 \quad (4.1)$$

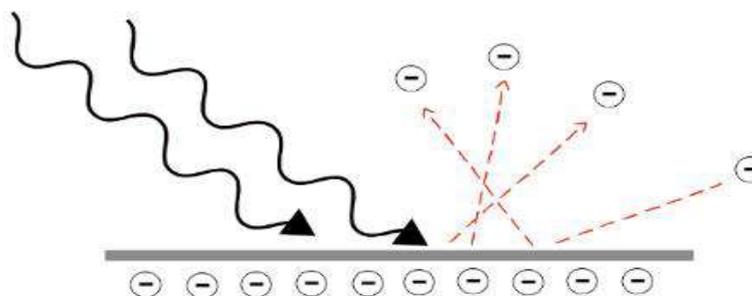
O resultado experimental, da independência de V_0 em relação à intensidade da luz incidente, era surpreendente.

Segundo a visão clássica, o aumento da taxa da energia luminosa incidente sobre a superfície do cátodo deveria aumentar também a energia absorvida pelos elétrons, aumentando assim a energia cinética máxima dos elétrons emitidos.

Em 1905, um físico até então desconhecido, Albert Einstein, propôs a hipótese da quantização da radiação eletromagnética pela qual, em certos

processos, a luz comporta-se como pacotes concentrados de energia, chamados fótons. Com esta hipótese, ele forneceu uma explicação para o Efeito Fotoelétrico (Figura 6).

Figura 6 - Placa metálica incidida por luz e perdendo elétrons devido ao Efeito Fotoelétrico



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>

Einstein percebeu que este efeito poderia ser melhor explicado se a hipótese de Planck, dos quanta de luz, feita para as moléculas, fosse estendida também à própria onda eletromagnética.

Aparentemente, não era o que acontecia. Einstein demonstrou que este resultado experimental poderia ser explicado se a energia luminosa não fosse distribuída continuamente no espaço, mas de forma discreta, isto é, fosse quantizada, como pequenos pulsos, cada qual denominado fóton. A energia de cada fóton é hf , onde f é a frequência e h a constante de Planck. Um elétron ejetado de uma superfície metálica exposta à luz, recebe a energia necessária de um único fóton. Quando a intensidade da luz, de frequência constante, for aumentada, aumentará também o número de fótons que atingirão a superfície por unidade de tempo; entretanto, a energia absorvida por um elétron não irá mudar, já que a mesma depende da frequência da luz. Se ϕ for a energia necessária para remover um elétron de uma superfície metálica, a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície será (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\max} = eV_0 \quad (4.2)$$

A equação que nos informa a energia cinética que o elétron adquire após ser atingido por um fóton é determinada pela diferença entre a energia do fóton com a função trabalho (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$hf = \phi + \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{max} \quad (4.3)$$

A 4.2 é a equação do Efeito Fotoelétrico e a 4.3 é conhecida, hoje, como a equação fotoelétrica de Einstein.

Na equação proposta por Einstein, a grandeza ϕ é conhecida como a função trabalho, em unidades de **eV** (elétrons.volts, onde cada **eV** equivale a **1,6x10⁻¹⁹ J**), sendo uma característica de cada material e depende do quão ligados estão os elétrons no material. Alguns elétrons terão energias cinéticas menores que **hf - ϕ** em virtude da perda de energia que sofrem ao atravessar o metal.

Os fótons com as frequências menores que o limiar fotoelétrico e, portanto, com comprimentos de onda maiores que o limiar fotoelétrico, não têm energia suficiente para arrancar um elétron de uma certa superfície metálica. O limiar fotoelétrico, e o comprimento de onda correspondente podem ser relacionados à função trabalho ϕ , igualando-se a zero a energia cinética máxima dos elétrons na equação de Einstein.

Einstein se utilizou da experiência de Hertz para contradizer três aspectos da Teoria Eletromagnética Clássica, que dizia que (EISBERG; RESNICK,1985):

1. A Energia Cinética dos fotoelétrons deveria crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luminoso, porém $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{max}$ independe da intensidade da luz.
2. O Efeito Fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência da luz, desde que esta fosse intensa o bastante para dar a energia necessária à ejeção dos elétrons.
3. Deveria haver um intervalo de tempo mensurável entre o instante em que a luz começa a incidir sobre a superfície e o instante de ejeção do fotoelétron. Durante esse intervalo, o elétron deveria estar absorvendo energia do feixe, até que tivesse acumulado o bastante para escapar. Porém, nunca foi medido ou percebido nenhum retardamento detectável.

Através das observações experimentais, Einstein propôs algumas hipóteses para explicar o Efeito Fotoelétrico; ele não concentrou sua atenção na

forma ondulatória familiar com que a luz se propaga, mas sim na maneira corpuscular com que ela é emitida ou absorvida.

As três objeções levantadas contra a interpretação ondulatória do Efeito Fotoelétrico foram (EISBERG; RESNICK,1985):

1. A energia do fóton está relacionada com sua frequência f pela equação $E = hf$. Dobrando a intensidade da luz, meramente dobra-se o número de fótons, duplicando assim a corrente fotoelétrica, mas não muda a energia de cada fóton.
2. Alguns elétrons estão mais fortemente ligados do que outros; alguns perdem energia por colisões em sua trajetória. No caso da ligação mais fraca e nenhuma perda interna, o fotoelétron vai emergir com Energia Cinética máxima K_{\max} . Portanto $K_{\max} = hf - \phi_0$, onde ϕ_0 é a energia mínima necessária para um elétron atravessar a superfície do metal. Se K_{\max} é igual a zero, temos $hf_0 = \phi_0$, que significa que um fóton de frequência f_0 tem exatamente a energia necessária para ejetar os fotoelétrons, e nenhum excesso que possa aparecer como Energia Cinética. Se a frequência for menor que f_0 , os fótons, não importando quantos eles sejam, não terão individualmente a energia necessária para ejetar fotoelétrons.
3. A ausência de retardamento é eliminada pela hipótese do fóton, pois a energia necessária é fornecida em pacotes concentrados. Se houver luz incidindo sobre o cátodo, haverá pelo menos um fóton que o atinge; este fóton será imediatamente absorvido por algum átomo, causando a imediata emissão de um fotoelétron.

Através da equação de Einstein é possível calcular a constante de Planck h . Para tanto, precisamos determinar experimentalmente a frequência f da luz, o trabalho de arranque ϕ e avaliar a Energia Cinética dos elétrons fotoelétricos.

Avaliações e cálculos apropriados mostram que $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.; o mesmo valor numérico foi obtido por Planck durante o estudo teórico de outro fenômeno diferente, a radiação térmica. O fato de terem coincidido os valores da constante de Planck, obtida por métodos diferentes, confirma a certeza da

hipótese acerca do caráter descontínuo da emissão e absorção da luz pelas substâncias.

- I. O Efeito Fotoelétrico só ocorre a partir de uma determinada frequência f_{\min} .
- II. A partir do momento em que o fenômeno começa a acontecer, a quantidade de cargas emitidas pela placa metálica é proporcional à intensidade da luz incidente.
- III. Para outras frequências abaixo do valor f_{\min} o efeito inexistente, qualquer seja a intensidade da luz incidente.

4.4.1 Aplicações do Efeito Fotoelétrico

A descoberta do Efeito Fotoelétrico teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. Porém, o valor da ciência consiste não só em esclarecer-nos a estrutura complexa do mundo que nos rodeia, como em fornecer-nos os meios que permitem aperfeiçoar a produção e melhorar as condições de trabalho e de vida da sociedade.

Graças ao Efeito Fotoelétrico tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). O emprego de aparelhos fotoelétricos permitiu construir maquinaria capaz de produzir peças sem intervenção alguma do homem. Os aparelhos cujo funcionamento assenta no aproveitamento do Efeito Fotoelétrico, controlam o tamanho das peças, melhor do que pode fazer qualquer operário, permitem acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas, os faróis, etc.

Uma célula fotoelétrica moderna consta de um balão de vidro cuja superfície interna está revestida, em parte, de uma camada fina de metal com pequeno trabalho de arranque; é o cátodo. Através da parte transparente do balão, dita "janelinha", a luz penetra no interior dele. No centro da bola há uma chapa metálica que é o ânodo e serve para captar elétrons fotoelétricos. O ânodo liga-se ao polo positivo de uma pilha. As células fotoelétricas modernas reagem à luz visível e até aos raios infravermelhos (Figuras 7a e 7b).

Figuras 7a e 7b – Célula Fotoelétrica e aplicações tecnológicas baseadas no efeito fotoelétrico



Fontes: <https://www.fisica.net/mecanica-quantica/efeito-fotoeletrico/aplicacoes-do-efeito-fotoeletrico.php>, <https://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-moderna/efeito-fotoeletrico-2/>

Quando a luz incide no cátodo da célula fotoelétrica, no circuito produzimos uma corrente elétrica que aciona um relé apropriado. A combinação da célula fotoelétrica com um relé permite construir um sem-número de dispositivos capazes de ver, distinguir objetos. Os aparelhos de controle automático de entrada nas portas automáticas constituem um exemplo de tais sistemas.

Os aparelhos deste tipo tornam possível a prevenção de acidentes. Por exemplo, nas empresas industriais uma célula fotoelétrica faz parar quase instantaneamente uma prensa potente e de grande porte se, digamos, o braço do operário se encontrar, por casualidade, na zona de perigo.

Uma célula fotoelétrica permite reconstituir os sons registrados nas películas do cinematógrafo.

Além do Efeito Fotoelétrico, estudado neste capítulo, dito efeito fotoelétrico externo, existe também o chamado efeito fotoelétrico interno, próprio dos semicondutores, muito utilizado, por exemplo, nas resistências fotoelétricas, isto é, aparelhos elétricos cuja resistência depende da intensidade da iluminação. Aplica-se igualmente nos aparelhos fotoelétricos semicondutores

que transformam, de forma direta, a energia luminosa em Energia Elétrica. Tais aparelhos podem servir de fonte de corrente elétrica, permitindo avaliar a intensidade da iluminação, por exemplo, em fotômetros. No mesmo princípio assenta o funcionamento das pilhas solares, de que estão munidas todas as naves cósmicas.

Outras aplicações:

- Leitura de trilhas sonoras em projetores cinematográficos;
- Em sistemas de alarme;
- Dispositivos que ligam e desligam automaticamente sistemas de iluminação;
- Medição da concentração de fumaça as chaminés.

4.5 DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Uma das grandes indagações do homem sempre foi como a luz se comporta. Historicamente, foram construídos modelos que tentavam explicar tal comportamento.

Até o final do século XIX, acreditávamos que a luz se comportava apenas como uma onda eletromagnética, e isso era o suficiente para explicarmos o comportamento observado em sua propagação.

Algumas teorias foram apresentadas no mundo científico, tentando explicar o comportamento da luz; dentre elas a do físico inglês Isaac Newton (1643–1727), que em sua proposta considerava a luz como um feixe de partículas (modelo corpuscular); essa teoria tornou-se restrita por não conseguir explicar alguns fenômenos.

Uma outra teoria detalhada do estudo da luz como um efeito eletromagnético (modelo ondulatório) foi estudada e explicada por James Clerk Maxell (1831–1879). Ela explicou vários fenômenos, mas como esse modelo, ao ser utilizado no efeito fotoelétrico, não tinha como explicar a emissão instantânea de elétrons de uma placa de metal, em razão da interação de ondas eletromagnéticas com a mesma tornou-se parcial em algumas circunstâncias.

Foi Albert Einstein (1879–1955), físico alemão, quem explicou o Efeito Fotoelétrico teorizando que as ondas eletromagnéticas (modelo ondulatório) que interagem com a placa de metal só fariam com que os elétrons fossem ejetados instantaneamente se elas se comportassem como partículas (modelo corpuscular), demonstrando assim que a onda também se comporta como partícula.

Em 1924, o físico francês Louis De Broglie (1892–1897), partindo do princípio de que na natureza existe simetria, considerando que a partícula se comporta como onda, utilizando 4.4, relacionou o comprimento de onda de uma partícula à quantidade de movimento da mesma.

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (4.4)$$

O que era notado na época e ainda hoje, é que a luz ora comportava-se como onda, ora como partícula, sendo este comportamento aceito na comunidade científica, e denominado como a Natureza Dual da Luz; pois em determinados fenômenos (interferência, refração, difração, etc.) a teoria eletromagnética consegue explicar e a teoria corpuscular está associada aos fenômenos de absorção e emissão de energia.

O microscópio eletrônico tem em seu princípio de funcionamento o comportamento partícula-onda.

4.6 O EFEITO COMPTON

Ao propormos a inserção do tema Efeito Compton nos livros didáticos fornecidos nas Escola Públicas do País, temos como intuito sanar a necessidade de compreensão, por parte dos alunos, de fenômenos e tecnologias ligadas a esse efeito, que se apresentam cotidianamente para estes e, sem sobra de dúvida, o conhecimento deste Efeito facilitará a compreensão do mundo tecnológico no qual o discente está imerso.

Ressaltamos a importância que este Tópico apresenta no desenvolvimento tecnológico da humanidade, bem como sua aplicação em temas do conhecimento, como por exemplo, a medicina e a construção civil.

Dentre as leis e princípios que emergiram **no final do século XIX e início**

do século XX, que foram beneficiadas com a teoria do Efeito Compton podemos citar a Física Moderna, que influenciou de forma inegável o conhecimento científico, bem como todas as ideias posteriores que dessas teorias derivaram-se provocando radicais mudanças na compreensão das noções do espaço, tempo, medida, causalidade, simultaneidade, trajetória e localidade.

Mesmo sendo um problema bastante importante para a Física, a radiação do corpo negro (Figura 8) ainda não havia sido resolvido por nenhum físico, até o final do século XIX.

Figura 8 - Radiação do Corpo Negro



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/o-nascimento-mecanica-quantica.htm>

A Física Clássica dizia que qualquer corpo negro, a qualquer temperatura não nula, deveria emitir uma radiação ultravioleta muito intensa, o que significa que o aquecimento de qualquer objeto levaria a uma devastação ao seu redor por meio da emissão de radiações com altas frequências. Inclusive um corpo humano com a temperatura de 37°C brilharia no escuro!

Porém, em 1901, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858–1947), físico alemão (Figura 9), considerado o pai da física quântica, após pesquisar as radiações eletromagnéticas (Figura 10), resolveu este problema, utilizando como hipótese, para a resolução deste problema, o fato de que a energia do corpo negro não apresenta um espectro contínuo, e sim discreto, ou quantizado; a essa quantidade discreta de luz chamou-se de quantum de luz ou fóton.

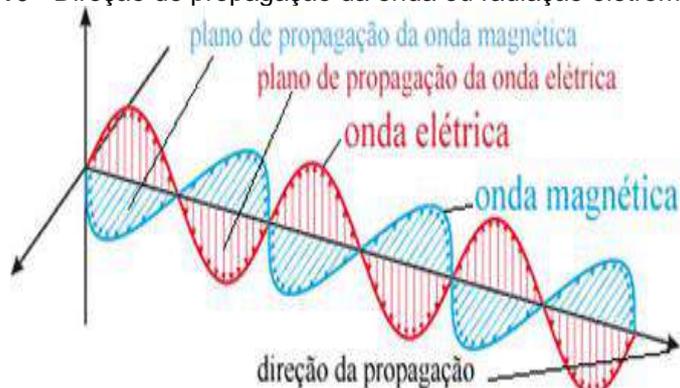
Sua teoria dizia basicamente o seguinte: **“A radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido não sob a forma de ondas, mas por meio de pequenos ‘pacotes’ de energia.”**

Figura 9 – Max Karl Ernerst Ludwing Planck, por volta de 1930



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/natureza-luz.htm>

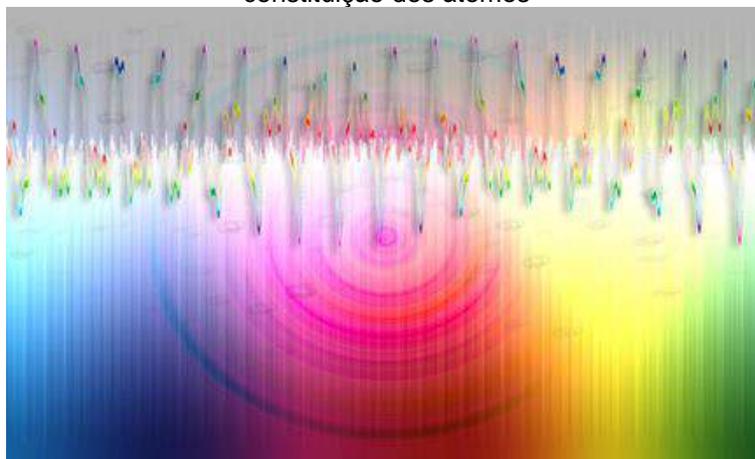
Figura 10 - Direção de propagação da onda ou radiação eletromagnética



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/natureza-luz.htm>

Portanto, atualmente, adotamos que a natureza da luz é de dualidade onda-partícula (Figura 11). Dependendo do fenômeno que vamos analisar, consideramos a luz como onda ou como partícula.

Figura 11 - A natureza da luz é explicada pelo estudo das ondas eletromagnéticas e pela constituição dos átomos



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/natureza-luz.htm>

4.6.1 Fótons

A luz, tanto na sua emissão como na absorção, comporta-se como um fluxo de partículas que apresenta energia que pode ser calculada, segundo Planck, através da lei:

$$E = hf \quad (4.5)$$

sendo:

E → energia, em Joule

h → Constante de Planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ Joule.segundo

f → frequência da radiação emitida, em Hertz

onde notamos a dependência da energia com a frequência. A porção de luz resultou ser, inesperadamente, muito parecida com o que costumamos chamar de partícula.

A constante de Planck é uma das mais importantes constantes no mundo quântico, pois ela é fundamental para o entendimento de vários conceitos e interpretações físicas e químicas. Por esta descoberta, Planck recebeu várias homenagens (Figura 12).

Figura 12 - Selo impresso na Alemanha (1994) que mostra a descoberta da teoria quântica de Max Planck



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/teoria-max-planck.htm>

Sabemos que as propriedades da luz que se verificam durante a sua emissão e absorção chamam-se propriedades corpusculares, já às partículas de luz damos o nome de fótons ou quantum luminoso.

O fóton, tal como qualquer partícula, possui certa energia hf , sendo que a energia do fóton é expressa através da frequência angular $\omega=2\pi f$; neste caso,

em vez de frequência f é mais comum usarmos ω , e em vez da grandeza h , utilizamos, como coeficiente de proporcionalidade, a grandeza \hbar , cujo valor numérico calculamos pela seguinte fórmula:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (4.6)$$

Então, a energia de um fóton é dada pela fórmula:

$$E = h \cdot f = \hbar \omega \quad (4.7)$$

De acordo com a Teoria da Relatividade, a energia varia em função da massa segundo a fórmula $E = mc^2$ e uma vez que a energia de um fóton é igual a hf , podemos calcular a massa da seguinte maneira:

$$m = \frac{hf}{c^2} \quad (4.8)$$

O fóton não possui massa de repouso m_0 , isto é, não pode estar em repouso e, no instante em que nasce, lhe é comunicada a velocidade c e a massa, cujo valor se calcula através de 4.8, que é a massa do fóton em movimento. Como conhecemos estas duas propriedades citadas anteriormente, podemos calcular o impulso do fóton:

$$p = mc = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (4.9)$$

A direção do impulso do fóton coincide com a do raio luminoso. Quanto maior for a frequência, maiores são a energia e o impulso do fóton, e mais evidentes se tornam as propriedades corpusculares da luz.

Devido a constante de Planck ser muito pequena, também é muito pequena a energia dos fótons da luz visível, sendo que os fótons correspondentes à luz amarela, por exemplo, possuem a energia de $3,3 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Sabemos, porém, que o olho humano é capaz de reagir e distinguir diferenças de intensidades luminosas da ordem de alguns quantas, o que levou os cientistas a considerarem a luz como um fluxo de partículas. Não era uma regressão à Teoria Corpuscular de Newton, pois não podemos esquecer que os fenômenos de interferência e difração da luz, provam o caráter ondulatório da mesma, logo verificamos uma espécie de dualismo das propriedades da luz.

Durante a propagação da luz colocamos em evidência as suas propriedades ondulatórias, enquanto que a sua interação com as substâncias (radiação e absorção) manifestam as propriedades corpusculares.

Este comportamento nos parece anormal e inconsistente, pois não conseguimos esquematizar tais fatos na nossa imaginação e não sabemos esquematizar com evidências, todos os aspectos que caracterizam o desenvolvimento dos inúmeros processos que se evidenciam no mundo microscópico, por serem muito diferentes dos fenômenos macroscópicos que estamos acostumados a ver, os quais obedecem a leis descobertas e formuladas até ao fim do século XIX.

Com o passar do tempo, o dualismo das propriedades foi provado, tanto nos elétrons como em outras partículas elementares, o elétron, especificamente, também possui, além das propriedades corpusculares, propriedades ondulatórias, pois se consegue de forma relativamente fácil observar a difração dos elétrons.

Estas características específicas dos objetos microscópicos podem ser esclarecidas através da mecânica quântica, que constitui a teoria moderna do movimento de partículas microscópicas, já que a mecânica de Newton se torna inadequada e inviável neste caso.

4.6.2 O experimento de Arthur Holly Compton

O efeito Compton mostrou a diminuição da energia de um fóton, tipicamente na faixa de raios x ou de raio gama; esta diminuição dá-se com o aumento do comprimento de onda da radiação, o que acontece devido à interação com a matéria.

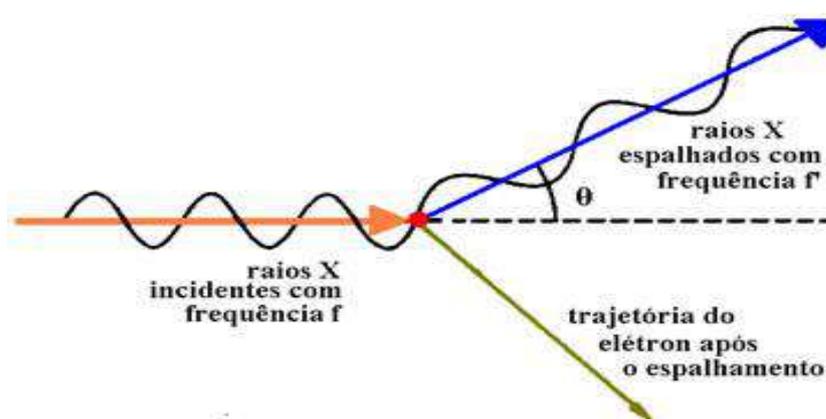
A importância do estudo desse efeito se dá devido à interação da radiação com os elétrons livres, comprovando de maneira veemente o comportamento dual.

O Efeito Compton foi observado no ano de 1923 por Arthur Holly Compton, físico americano, pelo qual recebeu o Prêmio Nobel em física, no ano de 1927, sendo esta descoberta importante para a Física, pois mostra que a luz não pode

ser explicada simplesmente como um fenômeno ondulatório. Com esta observação ele conseguiu explicar a natureza corpuscular da radiação, através de um experimento.

Compton projetou um mecanismo para fazer com que um feixe de raios x de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de carbono (Figura 13). Através desse experimento, observou que havia um espalhamento dos raios e, de início, não notou nada errado, pois as medidas indicavam frequências diferentes entre o feixe espalhado e o feixe incidente após atravessarem o alvo.

Figura 13 - Esquema da ocorrência do **Efeito Compton**



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>

Destacamos que a teoria ondulatória indicava que este comportamento era tido como certo, uma vez que a frequência de uma onda não é alterada por fenômenos que acontecem com ela. No entanto, no experimento, ele constatou que a frequência dos raios x espalhados era sempre menor do que a frequência dos raios x incidentes, ainda que esta dependa do ângulo de desvio.

Para explicar o que aconteceu em seu experimento, o cientista apropriou-se da abordagem proposta por Einstein, considerando assim os raios x como sendo feixes de partículas, e a interação com a matéria como sendo uma colisão de partículas. De acordo com Einstein e Planck, o fóton incidente tinha valor de energia dado por hf , e o fóton espalhado teria elétron, em respeito à lei da conservação da energia.

Compton percebeu que a abordagem funcionava perfeitamente, porém foi ainda mais longe, investigando esta interação do ponto de vista da lei da

conservação do momento linear.

Concluiu que, desde que o momento linear do fóton fosse definido por 4.4, a saber:

$$P_{fóton} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Esta lei valia para diversos ângulos de espalhamento. Sendo c = velocidade da luz no vácuo; h = constante de Planck e λ = comprimento de onda da radiação.

Compton, em parceria com o inventor da câmara de nuvens, Charles Wilson, desenvolveu ainda um experimento no qual foi possível detectar as trajetórias dos fótons e elétrons espalhados, bem como desenvolveu um método que provava que o fóton e o elétron eram espalhados simultaneamente, impedindo explicações que envolvessem a absorção e a posterior emissão da radiação.

O próprio Compton desenvolveu a teoria do espalhamento de raios x pela matéria, baseando-se nas seguintes hipóteses:

- O espalhamento pode ser interpretado como uma colisão entre um fóton de raio x e um elétron do material alvo;
- Como a energia de um fóton de raio x é muito maior que as energias cinéticas e potenciais de um elétron na matéria, podemos desprezar estas energias e considerar o elétron como livre e inicialmente em repouso;
- A energia e o momentum linear são conservados na colisão;
- Como a energia inicial do fóton não é muito menor que a energia de massa do elétron, precisamos utilizar a cinemática Einsteiniana.

Lembramos que, na cinemática Einsteiniana, a velocidade de uma partícula é dada, em termos da sua energia total E e do seu momentum linear p por

$$v = \frac{p \cdot c^2}{E} \quad (4.10)$$

Como o fóton se desloca à velocidade da luz, a equação resulta em

$$E_\gamma = p_\gamma \cdot c \quad (4.11)$$

A nível ondulatório, a relação anterior é traduzida por

$$p_\gamma = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (4.12)$$

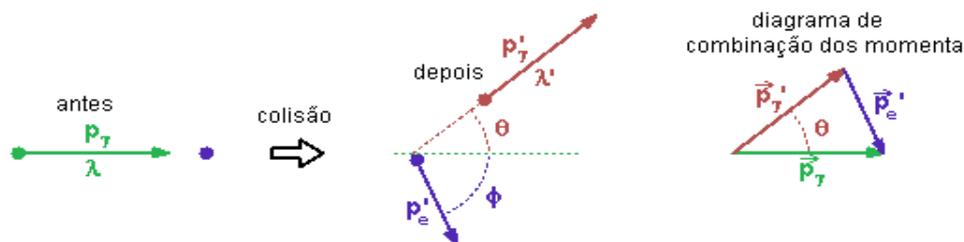
onde λ é o comprimento de onda.

Para uma partícula massiva como o elétron, cuja massa de repouso denotamos por m_e , a relação Einsteiniana entre momentum e energia total fica

$$E_e = \sqrt{p_e^2 c^2 + m_e^2 c^4} \quad (4.13)$$

A cinemática da colisão está representada na Figura 15. Antes da colisão, o momentum do fóton tem módulo p_γ . A energia correspondente é E_γ e o comprimento de onda é λ . O momentum inicial do elétron é $p_e = 0$ e, portanto, a energia correspondente é $E_e = m_e c^2$. Após a colisão, o momentum do fóton tem módulo p_γ' e faz um ângulo θ com a direção do movimento do fóton incidente. A energia correspondente é E_γ' e o comprimento de onda é λ' . O elétron atingido recua com momentum p_e' numa direção fazendo um ângulo ϕ com a direção de movimento inicial do fóton. A sua energia final é E_e'

Figura 14 – Cinemática do Espalhamento de Compton



Fonte: https://www.if.ufrgs.br/~betz/ig_XX_A/efCompt/aEfComptonFrame.htm

Em notação vetorial, a equação de conservação do momentum linear fica

$$\vec{p}_\gamma = \vec{p}_\gamma' + \vec{p}_e' \quad (4.14)$$

de onde tiramos

$$p_e'^2 = (\vec{p}_\gamma - \vec{p}_\gamma')^2 = p_\gamma^2 + p_\gamma'^2 - 2\vec{p}_\gamma \vec{p}_\gamma' = p_\gamma^2 + p_\gamma'^2 - 2p_\gamma p_\gamma' \cos \theta \quad (4.15)$$

A conservação da energia toma a forma

$$E_\gamma + m_e c^2 = E'_\gamma + E'_e$$

ou

$$E_e'^2 = (E_\gamma - E'_\gamma + m_e c^2)^2 \quad (4.16)$$

ou ainda, expressando as energias em termos dos momenta com a ajuda das relações (4.11) e (4.13):

$$p_e'^2 c^2 + m_e^2 c^4 = (p_\gamma c - p'_\gamma c + m_e c^2)^2 \quad (4.17)$$

Desenvolvendo o lado direito desta equação e efetuando algumas simplificações, obtém-se

$$p_e'^2 = p_\gamma^2 + p_\gamma'^2 - 2(p_\gamma - p'_\gamma)m_e c \quad (4.18)$$

Subtraindo 4.18 de 4.15 e dividindo por 2, obtemos

$$0 = p_\gamma p'_\gamma (1 - \cos \theta) - (p_\gamma - p'_\gamma)m_e c \quad (4-19)$$

Conseguimos, assim, eliminar o momentum final do elétron das equações de conservação, obtendo, para um dado momentum inicial do fóton (ou seja, uma dada energia), uma relação entre o momentum final do fóton e o ângulo de espalhamento. Dividindo pelo produto dos momenta e reorganizando os termos, podemos reescrever esta relação na forma:

$$\frac{1}{p'_\gamma} = \frac{1}{p_\gamma} = \frac{1}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (4-20)$$

Vale notar que até este ponto o desenvolvimento foi inteiramente baseado na cinemática relativística de partículas. Para deduzir o resultado ondulatório desejado, qual seja a expressão da modificação do comprimento de onda no espalhamento, basta multiplicar 4.20 pela constante de Planck e invocar 4.12; o resultado é:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (4-21)$$

Vemos que o aumento do comprimento de onda no espalhamento é uma função simples do ângulo de espalhamento e é independente do comprimento de onda (ou da energia) inicial. A escala do deslocamento é determinada pela quantidade

$$\lambda_e = \frac{1}{m_e c} \quad (4-22)$$

o assim chamado **comprimento de onda de Compton** do elétron, cujo valor

$$\lambda_e = \frac{2\pi\hbar c}{m_e c^2} = \frac{2\pi \times 197,3 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{511 \text{ KeV}} = 2,493 \text{ pm} = 2,493 \times 10^{-12} \text{ m} \quad (4.23)$$

Aqui nos deparamos com um fato importante: ao introduzir uma escala de ação, especificada pela constante de Planck, a Física Quântica associa a cada partícula uma escala intrínseca de comprimento, inversamente proporcional à massa.

Notamos que a teoria desenvolvida até aqui foi destinada a explicar o segundo pico no espectro dos raios x espalhados num dado ângulo, porém fornece também uma explicação para o primeiro pico, que tem comprimento de onda igual ao do feixe incidente. Verificamos que para os elétrons mais ligados ao material, a energia de ligação pode chegar a dezenas de kilo-eletronvolts. Sendo que, o elétron atingido pelo fóton não pode ser considerado como livre e, neste caso é o átomo como um todo que recua para absorver o momentum transferido pelo fóton em sua mudança de direção. Se fizermos a substituição da massa do elétron pela massa do átomo, que é dezenas de milhares de vezes maior, obteremos um deslocamento de comprimento de onda que não pode ser observável; neste caso, a interpretação quântica do espalhamento leva ao mesmo resultado que a teoria clássica: o comprimento de onda da onda espalhada é igual ao comprimento de onda da onda incidente.

4.6.3 Aplicações do Efeito Compton

O uso da técnica do espalhamento Compton mostra-se adequada para diversas aplicações tecnológicas que apresentam potencial de desenvolvimento e, principalmente já é usada em várias áreas, obtendo excelentes resultados.

- Na indústria, o Espalhamento Compton é utilizado como técnica de inspeção não invasiva para detecção de falhas e irregularidades em estruturas.
- Na medicina, este efeito é empregado no estudo de variações de densidade em ossos, tecidos moles e órgãos, com o objetivo de diagnosticar precocemente patologias como o câncer e a osteoporose,

sendo aplicado ainda, no imageamento Compton, que produz imagens em 2 e 3 dimensões (raio x, tomografia computadorizada, ressonância magnética), permitindo assim exames morfológicos quantitativos de órgãos vivos como pulmões, cérebro, rins, etc.

- Na agricultura, parâmetros fundamentais para a otimização do solo como a compactação e teor de umidade, são obtidos utilizando tal técnica.
- Em segurança, o Espalhamento Compton é usado na detecção de minas terrestres enterradas no solo, bem como na repressão a crimes, como o contrabando e o tráfico de drogas, pois pode identificar com confiabilidade materiais ilícitos escondidos atrás de paredes, dentro de pneus, contêineres, etc. Atualmente há dispositivos comerciais que se baseiam no princípio do espalhamento Compton para a detecção de contrabando.
- Na área militar é utilizado para determinar se as peças de munição ainda são explosivas, para que se possa fazer o descarte deste rejeito militar.

O fato de ter recebido o Prêmio Nobel de Física pela descoberta do Efeito Compton, e participado da Conferência de Solvay, em que Bohr, Dirac, Heisenberg, Pauli, Schrodinger, e outros físicos discutiram os fundamentos da Mecânica Quântica, ambos em 1927, faz com que a figura de Compton sempre esteja associada à criação da teoria quântica.

CAPÍTULO 5

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Através deste trabalho procuramos verificar qual influência uma estratégia de ensino, a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), voltada para a inserção de conceitos básicos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, utilizando como tema central o Efeito Compton, pode ocasionar sobre os discentes, dando ênfase aos aspectos pedagógicos, epistemológicos e metodológicos. Para esta construção seguiremos o modelo de Sequência Didática proposto por Moreira (2011), tendo como fundamentação a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Ao desenvolvermos a pesquisa científica deste trabalho, usamos uma abordagem quantiquantitativa, pois ela enquadrou-se nos seguintes caracteres:

1. O pesquisador coletou informações quantificáveis;
2. O pesquisador aplicou as informações no site de simulações divertidas, interativas, baseadas em pesquisas PhET;
3. O pesquisador utilizou tabelas e gráficos para a análise citada no item anterior;
4. O pesquisador utilizou questionários de múltipla escolha.

A pesquisa científica que fizemos seguiu, ainda, os seguintes itens:

1. O responsável por fazer a análise das informações coletadas foi o próprio pesquisador;
2. Os questionários foram elaborados somente com respostas objetivas levando-se em consideração a construção de habilidades, como preconiza a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e, também a Teoria de Resposta ao Item (TRI), onde as questões foram divididas em grupos: fáceis, médias e difíceis, sendo que elas estão misturadas ao longo da prova e não estão sinalizadas, o estudante não sabe qual questão pertence a qual grupo, assim a nota não depende apenas do valor

absoluto de acertos. Depende também da dificuldade das questões que se acertou ou errou;

3. Teve um caráter descritivo dos resultados, pois este tipo de pesquisa ocorre quando se registra, analisa e correlaciona fatos, que são característicos de uma pesquisa qualitativa.

Considerando os dois últimos parágrafos, que comprovam que a nossa pesquisa científica foi quantitativa, mas também qualitativa, segundo a literatura, ela é classificada como uma Pesquisa Quantiqualitativa.

5.2 LOCAL E PARTICIPANTES DA PESQUISA

Faremos uma exposição detalhada sobre o contexto geral do estudo e o tipo de abordagem adotada, a caracterização do ambiente e o cenário da pesquisa, além dos elementos e sujeitos participantes; descreveremos, também, o instrumento utilizado para a coleta de dados e qual o percurso metodológico adotado na pesquisa.

O processo de intervenção ocorreu em uma escola pública de Ensino Médio, Figura 15, localizada no município de Benevides - PA.

Figura 15 - Imagem frontal da Escola



Fonte: Arquivo do Autor

A unidade escolar apresenta uma estrutura física regular, contando com

13 (treze) salas com splits, pois foi recentemente reformada, sala designada para professores, bloco pedagógico, laboratório multidisciplinar e de informática e lanchonete.

Escolhemos a turma que seria submetida a investigação, após elencar alguns critérios e verificar qual a que melhor se adaptasse a eles; como um dos exemplos desta regra podemos citar a conciliação entre o conteúdo escolhido a ser abordado na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) e o planejamento anual dos conteúdos de Física, quando foi observado que os alunos do terceiros anos da Instituição estariam aptos a participar da experiência. Realizou-se, então, uma análise do número de alunos da turma e a distribuição de aulas semanais. Os conhecimentos de tais fatores tornaram possível o melhor planejamento das etapas da Sequência Didática.

A amostra representativa da população de estudantes do Ensino Médio foi de uma turma com 34 alunos, com idades entre 17 e 25 anos, no turno matutino, designada com o número 301, que se encontravam na fase de conclusão da ementa da disciplina Física, no ano de 2019, portanto, estavam em uma etapa avançada do conteúdo programático do Ensino Médio.

Na turma selecionada, as aulas eram ministradas pelo próprio docente responsável pela pesquisa, o que facilitou a realização da pesquisa durante todo o processo metodológico.

A maioria dos estudantes participantes do estudo tinham acesso ao mundo tecnológico e da internet, com aparelhos celulares simples e/ou sofisticados, o que propiciou a interação necessária ao desenvolvimento do estudo e à facilidade com que os discentes lidam com estas ferramentas, mesmo que muitos visem, principalmente, o entretenimento.

Lembramos que antes da aplicação da pesquisa, para cada estudante, foi entregue um “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” (Apêndice B), que foi assinado pelos participantes.

5.3 APLICAÇÃO PRÁTICA DA PESQUISA

Para analisarmos os conhecimentos prévios dos discentes, elaboramos

um questionário sobre Física Moderna e Efeito Compton, que foi aplicado aos estudantes para que respondessem em sala de aula.

Durante o desenvolvimento da proposta didática, tivemos a preocupação em organizar os conteúdos em nível crescente de dificuldade. Iniciamos submetendo os alunos aos conceitos básicos da Física Moderna, passando pela definição do conceito de Dualidade Onda-Partícula, explicamos o Efeito Fotoelétrico e, em seguida, chegamos ao Efeito Compton.

Acreditamos que estudar o processo ensino-aprendizagem, com o objetivo de organizar as fases que envolvem uma Sequência de Ensino, é um aspecto primordial da experiência. Contudo, é preciso compreender que apresentar indícios da validação da sequência proposta é tão importante quanto a descrição do processo.

5.4 APLICAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA APRENDIZAGEM DO EFEITO COMPTON

O processo de aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) ocorreu em 18 aulas de 45 minutos, distribuídas ao longo de 6 semanas. Destacamos na metodologia de ensino aqui proposta, o relevante papel da participação ativa dos estudantes.

No primeiro encontro foi explanado para os discentes como se daria a participação deles nas etapas da UEPS, enfatizando que na Sequência Didática ocorreriam atividades coletivas e colaborativas, com dinâmicas que tinham a intenção de colocar os alunos como protagonistas do processo de construção do conhecimento, ou seja, as principais ações do processo ensino-aprendizagem deveriam contar com a participação efetiva dos discentes.

Ressaltamos que esta sequência de ensino tem inspiração em aspectos teóricos e sequenciais da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), envolvendo características relevantes da Teoria da Aprendizagem Significativa. No entanto, em alguns momentos, as atividades ocorrerão de acordo com as peculiaridades da ferramenta de ensino trabalhada e em concordância com a realidade do público local. A ferramenta metodológica foi apresentada aos discentes, sendo explicado como se dariam as sequências de

aulas até a sua conclusão.

Um outro fator determinante para a continuidade das etapas da Sequência Didática apresentada na Tabela 3, tem relação com a distribuição das aulas de Física na turma, que apresentava três horários de 45 minutos seguidos. A seguir descrevemos os encontros, objetivos e as etapas da sequência, e ainda a descrição das atividades realizadas ao longo do processo de intervenção.

A maioria das atividades foram totalmente concluídas, ou pelo menos iniciadas, em sala de aula, para que deixássemos o mínimo de tarefas para serem trabalhadas em casa, pois, para muitos alunos não é fácil encontrar-se com os colegas em outro horário, que não seja o escolar.

Embora o trabalho em classe seja privilegiado, incentivamos o uso de outros espaços da Instituição, como a biblioteca, a sala de informática, ou os espaços arborizados. Como temos apenas três aulas de Física por semana, as estratégias visam o máximo de aproveitamento e interação com os conteúdos durante as situações formais de ensino.

Os tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) foram ministrados no início do 4º bimestre do ano de 2019, quando tivemos o cuidado de apresentá-los com muita cautela, para que os alunos não se sentissem desorientados frente a novas informações e, principalmente, novos conceitos. Em conformidade com as propostas de Moreira (2011) para a elaboração de uma UEPS, serão relatadas, a seguir, todas as atividades executadas em sala de aula, tanto pelo docente, quanto pelos discentes.

5.5 RELATOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS

A Tabela 3 mostra o panorama geral das atividades planejadas em cada uma das oito etapas, além de informações como o temo previsto, sujeito a adaptações, redução ou ampliação em outro contexto escolar que poderá usar a nossa proposta a partir das orientações do Produto Educacional.

Tabela 3. Sequência de aplicação da UEPS.

ETAPA DA SEQUÊNCIA	ETAPAS	Nº DE AULAS	ATIVIDADES PLANEJADAS
1. Planejamento	-----	-----	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção e organização do conteúdo; • Identificação dos conhecimentos prévios; • Definição dos recursos didáticos
2. Situação inicial	1ª	Três	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação da proposta; • leitura do texto “Como construir Mapas Conceituais”; • Explicação do conteúdo do texto; • Divisão da turma em grupos; • Apresentação das perguntas norteadoras para construção do Mapa Conceitual; • Construção do Mapa Conceitual inicial; • Aplicação do questionário inicial; • Observação da interação dos alunos;
3. Situações-problemas	2ª	Três	<ul style="list-style-type: none"> • Discursão em classe das respostas dos grupos as perguntas norteadoras; • Leitura dos textos: “Onda ou Partícula? Uma questão de interpretação”; “O que exatamente é a Luz?” e “Resolvido mistério sobre natureza fundamental da luz”; • Discursão dos textos em grupo; • Continuação do conteúdo.
4. Apresentação de vídeos	3ª	Três	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão da aula anterior; • Continuação do conteúdo promovendo a diferenciação progressiva; • Exibição de vídeos; • Observação da participação dos alunos;
5. Nova situação-problema, em nível de maior complexidade	4ª	Três	<ul style="list-style-type: none"> • Exposição Oral; • Apresentar à turma simulações, animações e vídeos; • Construção em grupo de Mapa Conceitual;
6. Avaliação somativa individual	5ª	Três	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do segundo questionário; • Correção das questões com a turma;

ETAPA DA SEQUÊNCIA	ETAPAS	Nº DE AULAS	ATIVIDADES PLANEJADAS
7. Aula expositiva dialogada integradora final	6ª	Três	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão dos conteúdos; • Atualização e entrega do Mapa Conceitual, construído na etapa 5; • Aplicação da pesquisa de avaliação da metodologia aplicada;
7. Avaliação da aprendizagem na UEPS	-----	-----	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação dos trabalhos; • Observações feitas durante as aulas; • Avaliação somativa individual;
8. Avaliação da UEPS	-----	-----	<ul style="list-style-type: none"> • Análise da UEPS.

Fonte: Autor.

A seguir faremos um resumo dos passos da implementação da UEPS, que aconteceu nas aulas de Física (3 horários consecutivos por semana):

1º encontro:

Iniciamos a primeira aula da aplicação do Produto com a apresentação da proposta metodológica como subsídio, para que se possa efetuar este trabalho com os alunos, sobre o assunto Física Moderna, dando ênfase ao conteúdo Efeito Compton. Neste momento foram expostos todos os temas a serem trabalhados no decorrer da Sequência Didática (contidas no Produto Educacional). Os alunos demonstraram muito interesse nos temas que seriam abordados e queriam discutir todos ao mesmo tempo, assim como outros assuntos, como por exemplo teletransporte, viagem no tempo, aplicações da FMC. Seguimos com a apresentação do texto “Como construir Mapas Conceituais”, do Prof. Dr. Marco Antônio Moreira, seguido de uma breve explicação, sobre o porquê e como construir um Mapa Conceitual.

Após este momento, escrevemos as perguntas norteadoras para construção do mapa no quadro; a seguir dividimos a turma em quatro grupos, que possuíam no máximo dez alunos. Estas equipes discutiram o texto lido e as perguntas apresentadas, respondendo-as. As perguntas norteadoras estão presentes no escopo da UEPS e irão servir para que os alunos externalizem

seus subsunçores sobre a FMC e o Efeito Compton, para que todos possam comentar e discutir as perguntas propostas; estabelecemos o tempo de 25 minutos para as respostas, sendo que a discursão poderia ser feita em sala ou em um local escolhido.

Terminado esse tempo, os alunos retornaram à sala e com a mediação do professor, a turma passou a construir um Mapa Conceitual sobre a FMC e o Efeito Compton, de forma coletiva. Este mapa foi construído por todos e deverá ter seus resultados discutidos para posterior apresentação. Finalizando, solicitamos a cada grupo que explicasse o Mapa Conceitual construído, que deveria ser elaborado coletivamente, para que o grupo apresentasse uma explicação única vinda do entendimento de todos os seus membros, através de um pequeno texto, que deveria ser entregue ao professor, ao final da atividade inicial. Para que as equipes executassem a tarefa proposta, foi dado o tempo de 15 minutos.

Após a construção e a discussão, entre os membros da equipe, da elaboração e da apresentação ao docente e à turma do Mapa Conceitual, foi aplicada uma avaliação diagnóstica individual, com questões que pudessem evidenciar os conhecimentos prévios (subsunçores) que os alunos possuíam sobre o assunto de Física Moderna e Efeito Compton. Estas questões foram extraídas das provas do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e de vestibulares diversos e, levaram em consideração a construção de habilidades, como preconiza a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC), bem como a Teoria de Resposta ao Item (TRI). Para que esta atividade fosse executada, foi dado o tempo de 60 minutos, sendo estes no final do primeiro encontro, pois os discentes eram liberados assim que terminavam esta atividade.

2º encontro:

Uma semana depois, no segundo encontro de aplicação, iniciamos com a devolução dos textos a seus respectivos grupos, com as respostas dadas pelos mesmos às questões norteadoras que foram propostas no encontro anterior e passamos à discussão das mesmas, no grande grupo. Foi feita a discussão sobre a validade das respostas dadas pelos grupos, sendo que cada grupo, após

as discussões, fez a análise da sua resposta, para que fizesse as devidas correções e, após estas finalizadas, foram devolvidas ao professor, sendo que para executarem tal tarefa foi disponibilizado o tempo de 60 minutos. Foi reforçado ao grande grupo a necessidade da leitura dos tópicos contidos no Texto de Apoio. Alguns alunos preferiam realizar a leitura em sala de aula, outros, fora dela.

Em seguida, foram distribuídas cópias individuais dos textos:

- “Onda ou Partícula? Uma questão de interpretação”;
- “O que exatamente é a Luz?”
- “Resolvido mistério sobre natureza fundamental da luz”;
- “Aplicação prática da Física Moderna”.

Todos os textos foram adaptados da internet, sendo dado tempo aos alunos para que lessem os textos e, após, discutissem em seus grupos. Os discentes discutiram em seus grupos e fizeram anotações sobre os textos. Ao final do encontro, procedemos novamente a discussão no grande grupo, ou seja, na turma, com a mediação do professor sem, no entanto, chegar a um resultado conclusivo sobre o assunto.

3º encontro:

Iniciamos a aula com uma revisão do assunto visto até o momento, de forma expositiva e como apoio, fizemos uso de apresentação em slides, disponibilizados nos anexos, onde enfatizamos os pontos positivos dos textos e dos conhecimentos adquiridos até então. Em seguida, procedemos a exibição dos seguintes vídeos:

- A Ideia do Quantum - Efeito Fotoelétrico;
- Por Que Precisamos da Dualidade Onda-Partícula?
- Fótons;
- Física quântica história explicada; e
- O que é a dualidade onda-partícula?

Todos os vídeos podem ser encontrados no YouTube, sendo disponibilizados aos alunos o endereço dos mesmos.

Dando continuidade ao encontro, após a exibição dos filmes, solicitamos aos discentes que se dividissem nos antigos grupos, para que fizessem a discussão dos assuntos propostos nos vídeos e posteriormente formulassem textos que evidenciassem os conhecimentos sugeridos nos vídeos. Observamos que, para que os discentes executassem a tarefa proposta e, assim, construíssem apenas um texto por grupo, foi necessário a mediação do professor, pois em vários momentos, em todos os grupos, foi necessária a negociação de conceitos, e isto fez com que os alunos discutissem até que se chegasse a um só conceito, que foi construído por todos e que os mesmos acreditavam ser o mais correto. Os textos produzidos pelos grupos foram entregues ao professor.

4º encontro:

Iniciamos este encontro propondo novas situações problemas em maior nível de complexidade, apresentando à turma simulações e animações sobre o Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton; todo este material é de domínio público. Após este momento realizamos uma exposição, em *PowerPoint*, sobre os assuntos tratados nas animações e simulações, dando ênfase ao Efeito Compton; durante esta apresentação, citamos exemplos e aplicações destes 02 Efeitos no cotidiano, explicamos novamente o que são estes fenômenos e como acontecem.

Em seguida, solicitamos aos discentes que se dividissem em grupos como os que foram formados no primeiro encontro e pedimos que cada equipe procedesse a construção de um Mapa Conceitual sobre todos os assuntos explanados até o momento; tal atividade exigiu o tempo de 25 minutos. Ao término, tivemos o seguinte procedimento: fotografamos todos os mapas construídos e os apresentamos cada grupo da turma, através de projeção, porém, no caso de não haver *datashow* na Escola, poderíamos ter solicitado a construção dos mapas em cartolina, para serem apresentados a classe. A apresentação dos mapas teve o objetivo de estimular a discussão de cada um

dos mapas, entre os vários grupos e ainda para que todos tomassem conhecimento da opinião dos outros estudantes, pois durante a exibição os alunos analisaram cada mapa construído, e muitos deles propuseram modificações nos elaborados por outras equipes. Sugerimos que cada grupo anotasse as sugestões propostas pela classe, para posterior análise e verificação de atualização do seu mapa, antes da entrega ao professor. Esta atividade foi desenvolvida em três horas-aulas.

Ao final deste encontro, anunciamos que no próximo seria feita uma nova avaliação individual.

5º encontro:

Principiamos com a aplicação de um questionário, com pequenas modificações nas alternativas daquele que foi aplicado anteriormente; esta atividade ocupou as duas primeiras aulas desse encontro. Após todos terem terminado a atividade, reunimos a turma e devolvemos o teste para cada um dos alunos, propondo aos discentes que corrigissem seus próprios testes, através do gabarito que nós fornecemos, porém os mesmos teriam que realizar uma autoavaliação do seu desempenho. Observamos os relatos de vários discentes, que disseram: “faltou um pouco mais de atenção e concentração ao realizar a prova, pois teve questões que eu sabia e mesmo assim errei!” ou ainda: “...muitas das questões que eu errei no primeiro teste eu acertei agora e isso já é para mim um grande avanço, pois achava que não iria compreender nunca esse troço!”. Notamos ainda que a maioria dos alunos se sentia satisfeito com seu desempenho, embora muitos não tenham alcançado a nota máxima na avaliação. Instigamos os discentes a avaliar o nível de complexidade da prova, sendo que as análises dos alunos que decidiram falar foram anotadas no Diário de Bordo da aplicação pelo professor/mediador.

6º encontro:

O último encontro começou com uma aula em *PowerPoint*, onde fizemos uma revisão do que foi exposto durante a aplicação da UEPS, e apresentamos novamente a simulação do Efeito Fotoelétrico e do Efeito Compton. Explicamos

como cada simulação funcionava, mostrando que a mudança nos parâmetros das simulações provoca uma mudança no resultado, porém, face ao laboratório de informática encontrar-se naquele momento interditado, os alunos não tiveram oportunidade de interagirem com a parte virtual do ensino-aprendizagem, o que foi um ponto negativo, pois esta interação permitiria aos estudantes um aprendizado mais significativo.

Apresentamos várias animações sobre o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton, fazendo comentários sobre cada um deles, ressaltando os potenciais de aplicação, para que os discentes percebessem a melhoria da qualidade de vida do homem provocada por esta parte da Física. Todo este material utilizado será disponibilizado no drive, para que o professor, caso queira, possa acessá-lo e aplicar a UEPS.

Retomamos a apresentação do vídeo sobre a FMC, para que assim fizéssemos o fechamento da revisão.

Solicitamos aos grupos que atualizassem os Mapas Conceituais que foram construídos durante a quarta etapa da aplicação, porém levando em conta, todas as informações que tiveram acesso até o momento, agregando ao mapa anterior novos conceitos e exemplos de aplicações destes efeitos.

Fizemos o acompanhamento da construção do mapa final em todas as equipes, orientando como deviam ter sido selecionados os conceitos que os membros do grupo já haviam escolhido e descrito, e também como deveria ser feita a ligação entre o que já havia sido citado e o que tinha sido sugerido pelos membros das outras equipes, para incluir no Mapa Conceitual. Ao terminarmos esta etapa foram construídos 4 (quatro) mapas onde constam a descrição dos resultados da UEPS. Reservamos os quinze minutos finais desta etapa para aplicarmos uma pesquisa entre os alunos, com a finalidade de avaliar se a metodologia aplicada ajudou na compreensão dos conteúdos explanados e se o aprendizado se tornou mais significativo para os alunos.

5.6 A finalização da implementação da UEPS

Concluimos as etapas sete e oito da UEPS fazendo a avaliação da aprendizagem através da aplicação da Sequência Didática proposta. Para isto

nos baseamos nos trabalhos feitos pelos alunos, nas observações feitas durante as aulas e no exame somativo individual. Ressaltamos que o teste ao qual submetemos a UEPS foi feito de forma contínua, sempre considerando os processos de construção de conhecimentos, não esquecendo que a argumentação pode ser pelo ato discursivo, pela oralidade ou por registros gráficos, e lembrando que algumas atividades foram reformuladas para que pudéssemos lograr êxito na Sequência Didática .

CAPÍTULO 6

6 RESULTADOS DA PESQUISA

A maior parte das atividades foram concluídas ou pelo menos iniciadas em sala de aula, deixando o mínimo de tarefas para serem trabalhadas em casa, pois para muitos alunos é difícil encontrar-se com os colegas fora da Escola, por morarem em localidades distantes, onde o transporte é difícil, este sendo o motivo pelo qual foi incentivado o trabalho em classe, uso de outros espaços da instituição, como a biblioteca, as salas de informática, ou os espaços arborizados.

Como são três aulas de Física por semana, e nesta turma as aulas são no mesmo dia, utilizamos estratégias que visem o máximo de aproveitamento e interação com os conteúdos durante as situações formais de ensino.

Iremos fazer a análise da influência que uma estratégia de ensino, no caso uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), voltada para a inserção de conceitos básicos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, utilizando como tema central o Efeito Compton, pode provocar na Aprendizagem dos discentes, enfatizando os aspectos pedagógicos, epistemológicos e metodológicos.

Os tópicos de FMC foram introduzidos no 2º Semestre do ano de 2019, no quarto bimestre, meses de novembro e dezembro. Nossa missão era ultrapassar a dificuldade que os alunos apresentavam com os tópicos de FMC e Efeito Compton; fez-se necessária muita cautela para que os alunos não se sentissem desorientados diante a imensidão de novas informações, novos conceitos; dispomos de inúmeras formas de contextualizar os temas da FMC e Efeito Compton.

Em conformidade com as propostas de Moreira (2011) para elaboração de uma UEPS, relataremos a seguir todas as atividades executadas em sala de aula, tanto pelo docente, quanto pelos discentes.

A análise dos resultados obtidos na pesquisa obedece a sequência adotada pela UEPS apresentada.

Na 1ª etapa da UEPS os alunos em grupo responderam às perguntas norteadoras (Apêndice B) e, a classe montou um mapa livre com os conceitos que julgaram conveniente para suas explicações, logo após, aplicamos um pré-teste (Apêndice C). Com essas atividades detectamos conhecimentos prévios dos grupos.

Apresentamos e discutimos as respostas dos estudantes ao questionário aplicado antes e da aplicação das etapas da metodologia (pré-teste). Além disso analisamos os resultados referentes a um segundo questionário (Apêndice D) aplicado após ministrarmos as aulas e no intuito de avaliarmos o desempenho dos estudantes após o contato com o Produto Educacional.

Esta pesquisa é de caráter qualitativo. No decorrer da implementação da UEPS, fizemos uma análise descritiva da elaboração de um produto didático e da sua aplicação através de questionários e observações em sala de aula. Analisamos as evoluções conceituais dos alunos na compreensão de tópicos e fenômenos da FMC e do Efeito Compton.

Os testes utilizados foram compostos de perguntas fechadas, este tipo de teste foi utilizado porque alguns tópicos de FMC são complexos para os alunos formularem respostas e, portanto, perguntas fechadas são mais convenientes para esses tópicos, bem como facilitam a análise dos resultados.

Além dos testes aplicamos também, em alguns momentos, perguntas abertas que deveriam ser respondidas pelos grupos, isto acabou fazendo com que os alunos negociassem em seus grupos a elaboração de uma resposta coletiva que evidenciasse os conhecimentos adquiridos durante a aplicação do Produto.

6.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS NORTEADORAS E CONSTRUÇÃO DO MAPA CONCEITUAL COLETIVO

Aqui analisamos as respostas dadas pelos grupos às perguntas norteadoras para construção do Mapa Conceitual que foi construído de forma coletiva.

Durante as discussões em grupo, notamos que mesmo dentro dos grupos

que responderam que já conheciam a FMC havia uma pequena minoria que apenas tinha ouvido falar ou até mesmo não conhecia a mesma, contudo enfatizamos que a resposta foi negociada pelo grupo, sendo adotada a resposta que a maioria considerava a mais correta.

Analisamos as respostas dadas pelos alunos à primeira pergunta norteadora (a): “Você conhece a Física Moderna?”

Notamos que a maioria dos discente já tinha ouvido falar sobre Física Moderna, porém a análise das respostas mostrou que estes não conseguiam defini-la corretamente, como podemos perceber no relato dos alunos.

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34): Sim, foi a renovação da Física, que proporcionou um grande aprimoramento na ciência, e na criação de novas tecnologias;

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): Sim, a Física Moderna começou no momento em que o espectro da radiação térmica passou a ser analisado através do estudo da radiação emitida por corpos negros.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Sim, ela começou quando o espectro da radiação térmica passou a ser analisado. com os estudos da radiação dos corpos negros, graças a isso, os estudos sobre a radiação térmica são feitos a partir do corpo negro.

Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): Não, apenas ouvir falar.

Como podemos constatar, das respostas dos grupos, a maioria dos alunos tinham conhecimento da FMC, porém este conhecimento era disperso e desorganizado.

A pergunta (b) feita aos grupos foi: Do que a luz é composta?

A investigação às respostas dadas pelos alunos, dentro dos grupos, através da análise das respostas, ressaltando novamente que a resposta dada foi aquela aceita pela maioria.

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34): É composta por partículas chamadas Fótons.

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): É composta por partículas denominadas Fótons.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Ela é composta por partículas chamadas Fótons, e são formados pela combinação de campos elétricos e magnéticos.

Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): Partículas e ondas.

Como podemos observar pelas respostas, a maioria dos alunos apresentavam conhecimento prévio da composição da luz, porém alguns não conseguiam sistematizar esses conhecimentos.

Passemos a análise das respostas a pergunta (c): Qual a natureza das radiações eletromagnéticas, como a luz?

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34): Na propagação ondulatória da combinação de campos magnéticos.

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): Demonstraram que a luz era a propagação ondulatória da combinação de campos elétricos e magnéticos.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Elas não precisam de um meio físico para se propagar, assim elas podem se propagar no vácuo normalmente.

Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): São uma junção de campo magnético com campo elétrico que se propaga no vácuo transportando a energia. A luz é um exemplo de radiação eletromagnética.

Pelas respostas podemos inferir que ao menos 50% dos alunos não tinham ideia da natureza das radiações, como podemos observar nas respostas dos grupos 1 e 3. Já os grupos 2 e 4 conseguiram sistematizar uma resposta que pode ser considerada correta.

A questão (d): “Quais os tipos de ondas?”; teve as seguintes respostas dadas pelos grupos.

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34):

Eletromagnéticas, cinéticas e gravitacionais.

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): Eletromagnéticas, mecânica e gravitacional.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Mecânica, eletromagnética e gravitacional.

Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

Somos capazes de perceber, através das respostas dadas pelos grupos que a grande maioria dos alunos conseguia minimamente sistematizar uma resposta correta para a pergunta, mostrando assim que eles tinham conhecimentos prévios dos tipos de onda.

Na questão (e) perguntamos: “Teria sentido pensar em comportamento dual da luz?”. Obtivemos as seguintes respostas.

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34): Sim, pois uma hora ela se comporta como partícula e outra hora como onda, dependendo da situação.

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): Sim, porque ela pode se comportar como partícula e onda.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Sim, porque a luz pode apresentar as duas características (onda/partícula).

Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): Sim é possível, porque apresenta características diferentes uma da outra.

Conseguimos concluir das respostas dadas pelos grupos que a maioria dos alunos já apresenta algum conhecimento básico sobre a característica dual das radiações, porém este conhecimento não está sistematizado.

A questão (f) foi elaborada para analisarmos os conhecimentos prévios sobre o Efeito Fotoelétrico. Os grupos deveriam responder a seguinte pergunta: Você sabe o que é o Efeito Fotoelétrico?

As respostas dadas pelos grupos foram:

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34): Sim, é o

surgimento de corrente elétrica quando se incide luz sobre um metal.

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): É quando se emite luz contra determinados metais, observa-se que a superfície deles libera elétrons.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Sim, é quando a luz incide sobre um material e ele libera elétrons, isso varia com a intensidade.

Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): Já ouvimos falar, só não sabemos explicar os conceitos.

A questão (g) tinha como objetivo levantar os conhecimentos sobre o Efeito Compton, por este motivo perguntamos: Você já ouviu falar em Efeito Compton?

Reproduziremos a seguir as respostas dos grupos e, após, analisaremos quais conhecimentos prévios os alunos têm sobre o assunto.

Grupo 1 (alunos: A1, A6, A9, A15, A19, A24, A27, A30 e A34): Não respondeu.

Grupo 2 (alunos: A3, A8, A13, A16, A18, A23, A29 e A32): Não.

Grupo 3 (alunos: A2, A5, A7, A10, A14, A17, A21, A25 e A31): Sim, porém não conhecemos bem.

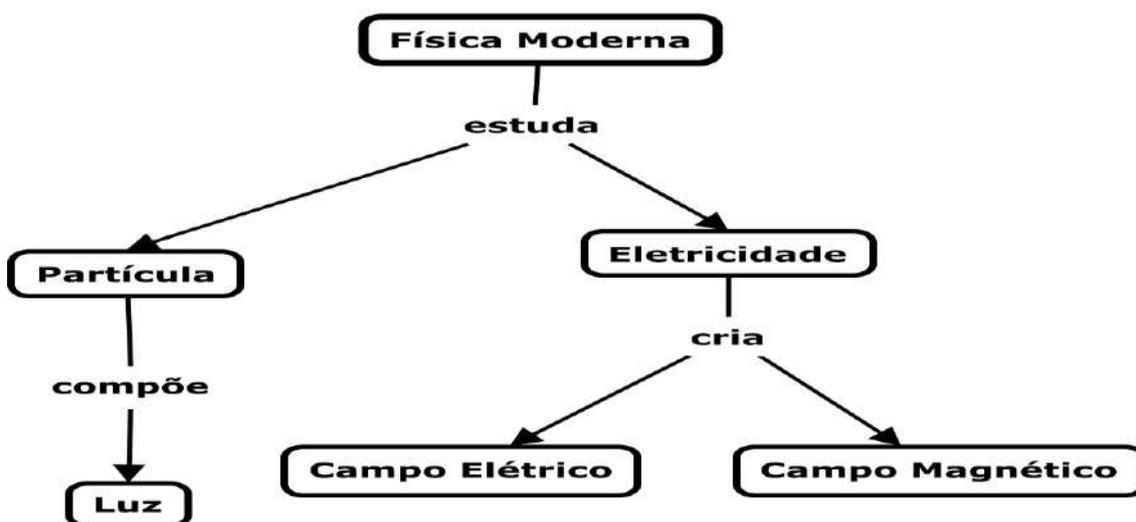
Grupo 4 (alunos: A4, A11, A12, A20, A22, A26, A28 e A33): Sim, é a diminuição de energia de um fóton de Raio-X ou raio gama.

Como podemos notar a maioria dos alunos respondeu que não sabia o que é o Efeito Compton, porém o Grupo 4, apresentou uma resposta bastante elaborada, o que nos leva a diagnosticar que alguns alunos já tiveram contato com tais assuntos.

Após esta etapa, foi solicitado aos alunos a construção de um Mapa Conceitual, com significados, relações e hierarquias conceituais, utilizando como guia o artigo apresentado, e os conceitos-chaves: Física Moderna, Partículas, Luz, Eletricidade, Campo Elétrico e Campo Magnético; que foram destacados pelos alunos.

De posse das respostas às perguntas norteadoras, iniciamos a construção do Mapa Conceitual (MOREIRA, 2000, 2010), indagamos aos grupos quais conceitos eles consideravam “chaves” para que se construíssem o mapa. A Figura 16 mostra o Mapa Conceitual, construído de forma coletiva pela turma.

Figura 16 – Mapa Conceitual coletivo.
Mapa Conceitual Coletivo



Fonte: Autor

Devemos ressaltar que o papel do professor foi apenas o de sistematizar a confecção do mapa, com as observações dos alunos, não influenciando no formato do mesmo.

Notamos pelo mapa que os alunos apresentavam poucos conhecimentos sobre a FMC e o Efeito Compton, pois este conteúdo só é apresentado nos livros didáticos de forma superficial.

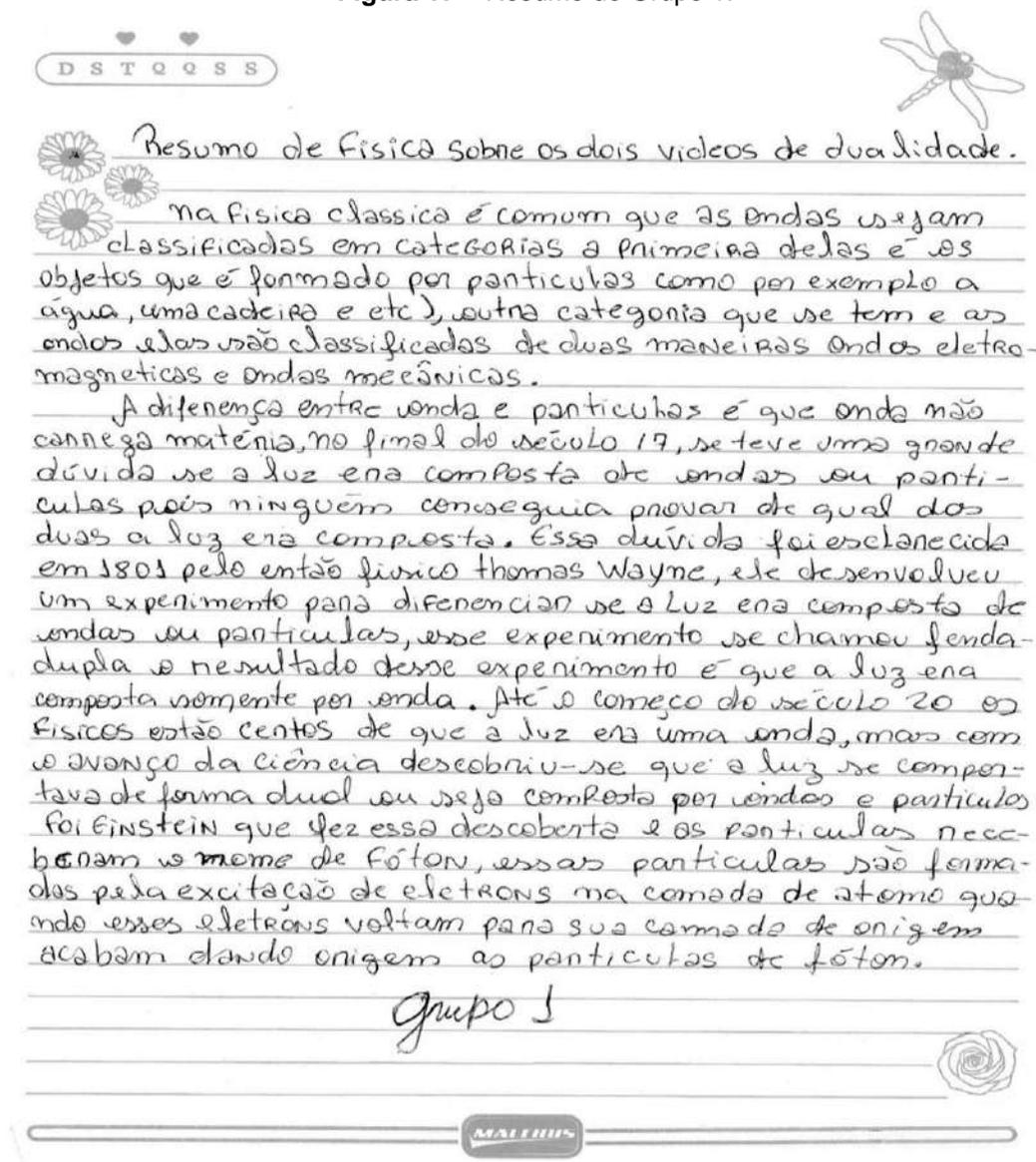
6.2 ANÁLISE DOS RESUMOS DOS VÍDEOS

Nesta seção faremos a análise dos resumos elaborados pelas equipes após a terceira etapa da SD, onde foram apresentados alguns vídeos com a intenção de verificarmos se os alunos conseguiram compreender as informações que foram tratadas nos vídeos e, principalmente se conseguiram expor suas conclusões em um resumo que deveria ser elaborado pelos membros do grupo através da negociação dos conceitos.

A Figura 17, mostra o resumo produzido pelo Grupo 1, em resposta à

solicitação do professor.

Figura 17 – Resumo do Grupo 1.



Fonte: Autor

Ao analisarmos o texto produzido pelo Grupo 1, podemos observar que os membros do grupo conseguiram expressar conceitos básicos sobre a dualidade onda-partícula, assim como diferenciar ondas de partículas, e ainda conhecimentos básicos sobre a composição da luz; salientamos também que os alunos desta equipe apresentaram evidências de Aprendizagem Significativa, após a aplicação da UEPS.

Examinando o texto produzido pelo Grupo 2, mostrado na Figura 18, observamos que os membros da equipe, embora tenham apresentado indícios de entendimento do assunto proposto nos vídeos, não conseguiram expor de

forma clara os conceitos, pois apesar de terem conseguido citar vários conceitos-chaves, estes estão dispersos e desconexos, fazendo com que o resumo seja confuso, afastando-se do tema.

Figura 18 – Resumo do Grupo 2.

03 / 12 / 19

Física Clássica

Os objetos são formados em duas categorias. A primeira "partículas" como exemplo: os seres humanos, a água.

A segunda categoria são "ondas" como: ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. A mais simples é a onda mecânica exemplo: o som que da propagação de energia em formação por um meio material.

A mais difícil é onda eletromagnética: a luz visível.

A onda não carrega matéria ela se move através dela levando energia e informação.

A eletricidade é formada por partículas muito menores entre os átomos em si e os seres são os elétrons.

De todos os experimentos que os físicos fizeram quanto a luz, quanto a matéria com novas, se comportam como onda e como partículas. Dois físicos propuseram aceitar vários experimentos o que realmente são de fato a matéria movimento dual e os seus características de onda ou de partícula são complementares uma com a outra essa um geral e interpretação mais aceita.

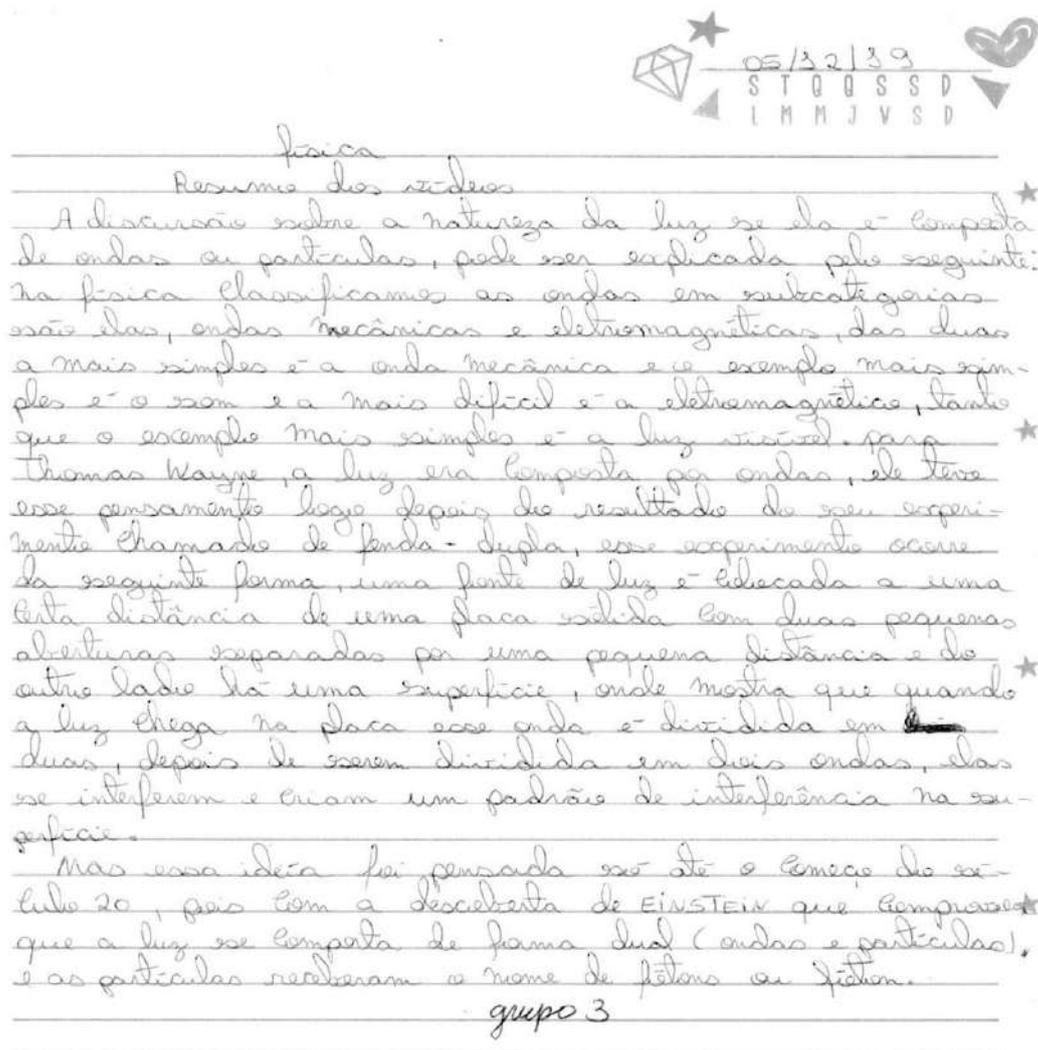
Grupo 2

Fonte: Autor

Podemos constatar que o grupo apresentou um indício de Aprendizagem Significativa, porém, mais uma vez, reforçamos os pontos positivos e negativos discutidos anteriormente, que mais tarde serão discutidos com o Grupo para levar os alunos a uma evolução na aprendizagem.

O Grupo 3, apresentou o texto mostrado na Figura 19, que resume os vídeos exibidos.

Figura 19 – Resumo do Grupo 3.



Fonte: Autor

Podemos verificar pela análise do resumo do Grupo 3 que os alunos conseguiram evidenciar aquisição de conceitos, pois notamos que estes utilizaram vários conceitos como dualidade, ondas eletromagnéticas, experimento da dupla fenda, comportamento dual da luz, fótons, etc.

Constatamos do resumo que os alunos deste Grupo apresentaram evidências de Aprendizagem Significativa, pois conseguiram evidenciar vários conceitos de forma correta, embora possamos encontrar algumas frases desconexas.

Abaixo, apresentamos o texto produzido pelos alunos do Grupo 4, onde os estudantes explicam de forma sucinta os vídeos exibidos.

Figura 20 – Resumo do Grupo 4.

Na exibição do primeiro vídeo, o palestrante (físico) fala sobre a forma dupla em que se comporta a luz (dualidade), o comportamento da onda em forma de partícula e onda; relata de que forma pôde-se obter essa afirmação conclusiva. Relata também que algumas características de onda são encontradas em materiais sólidos, e assim alguns seres humanos podem apresentar comportamento de onda, porém com baixa frequência necessário para isso acontecer.

No vídeo 2, fala sobre a luz ser onda e partícula com as suas teorias. Ele afirma que a luz é uma onda "eletromagnética". Ela era tratada dessa forma originalmente "onda ou partícula?" fala sobre a experiência da fenda dupla de Young Young, que independentemente da distância em que a luz foi lançada, ela passa na fenda como onda construtiva ou destrutiva.

grupo 4

Fonte: Autor

Percebemos no primeiro parágrafo que os integrantes deste grupo expuseram de forma adequada os conceitos de dualidade onda-partícula, embora estejam desconexos e um pouco confusos. No segundo parágrafo o grupo descreve o exposto no segundo vídeo, falando novamente da dualidade, porém forneceram uma informação adicional, sobre ao experimento da fenda dupla, apresentando os conceitos de forma divergente e inconclusiva. Podemos afirmar que embora o grupo tenha elaborado um texto que muitas vezes não apresenta os conceitos de forma clara e ordenada, há traços de Aprendizagem Significativa.

Após a análise dos resumos apresentados pelos grupos podemos perceber que, até este momento da SD, os alunos conseguiram assimilar satisfatoriamente os conteúdos propostos.

6.3 ANÁLISE DO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

Nesta seção realizamos a análise dos questionários, assim como o desenvolvimento de toda a Sequência Didática, descrevendo pontos que consideramos fundamentais para a pesquisa. Apresentamos, também, os resultados obtidos, através das informações coletadas, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, onde as categorias serão ilustradas com as respostas dos alunos.

Os dados obtidos pelo teste respondido, antes e depois da aplicação da SD, são apresentados de forma comparativa.

Neste caso, o desempenho dos discentes pode ser direcionado e relacionado com o grau da aprendizagem adquirida por eles durante o processo de ensino-aprendizagem, avaliando a forma e a metodologia com as quais o conteúdo foi apresentado aos alunos em sala de aula, o que propicia uma conclusão segura sobre o papel da estratégia de ensino utilizada com o objetivo de potencializar a aprendizagem de conceitos relacionados com o Efeito Compton e a Física Moderna e Contemporânea.

Sabemos que a subjetividade é uma marca fundamental na abordagem de muitos dos conteúdos da Física; procuramos manter os alunos envolvidos, motivados e propensos a discussão, mesmo que tenhamos feito a utilização de uma metodologia que se apropriou de elementos comuns no ambiente escolar, como vídeos, apresentação de aula via slides, experimentos e simulações com software; tínhamos como objetivo despertar e reverberar a curiosidade dos educandos acerca de tópicos novos, principalmente ligados à Física Moderna e Contemporânea.

Posteriormente, serão apresentados os resultados obtidos devido à análise do questionário no Apêndice A, onde as categorias são ilustradas com as respostas dos discentes.

Para cada questão, os resultados serão expostos na forma de gráfico, com o percentual de acertos e erros dos alunos na realização do pré-teste e pós-teste, ou seja, o resultado de tudo que eles já sabiam (conhecimentos prévios) antes da aplicação metodológica da SD e também o percentual de acertos e erros dos alunos na realização do pós-teste, devido a aplicação da Sequência Didática em sala de aula.

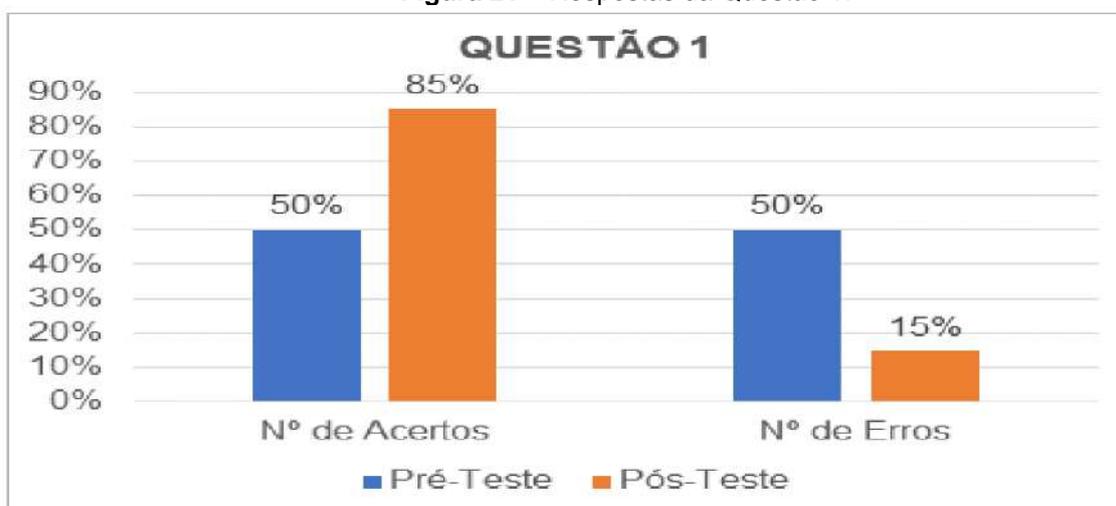
Salientamos que durante todo o processo, o professor incentivou a pesquisa sobre a FMC e seus conceitos fundamentais, para que esses conhecimentos servissem de base para o processo de ensino/aprendizagem na sala de aula.

Levaremos em consideração, durante a análise dos testes, a construção dos conceitos, bem como a intencionalidade das respostas dos alunos envolvidos na pesquisa. Lembramos que as questões são fechadas e modificamos o pós-teste em relação ao pré-teste, fazendo alterações nas alternativas de cada questão.

Primeira questão: A Física Moderna estuda o mundo micro, onde as leis da Mecânica Clássica não se aplicam, neste mundo o elétron apresenta natureza.

Esta questão tinha como objetivo verificar os conhecimentos prévios sobre a natureza dual do elétron (Figura 21). Obtivemos os seguintes resultados:

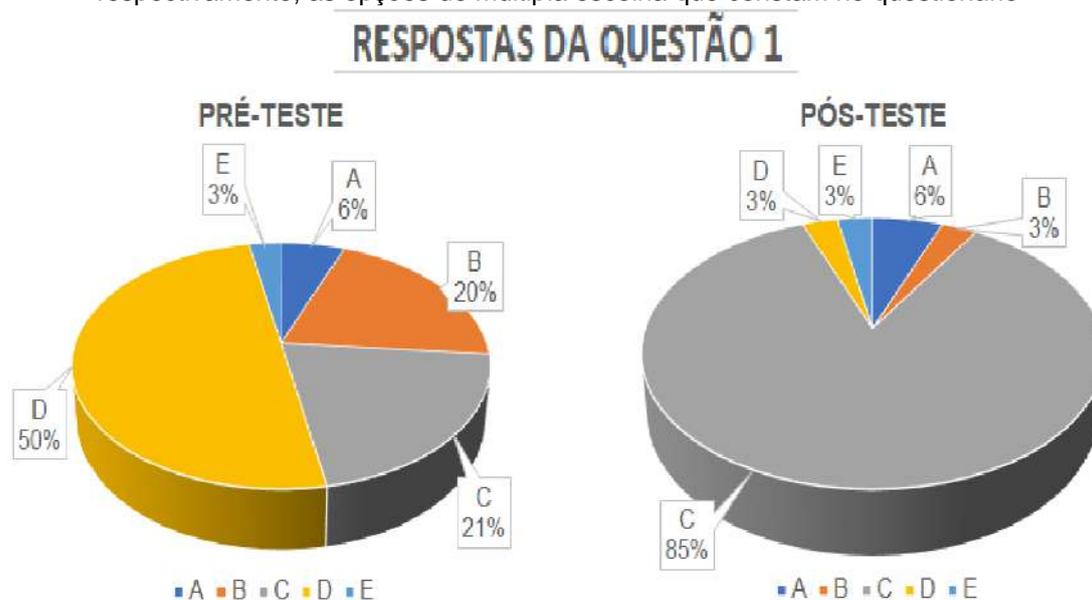
Figura 21 – Respostas da Questão 1.



Fonte: Autor

A Figura 21, mostra a porcentagem de alunos que acertaram ou erraram a primeira questão. Observamos que no pré-teste 50% dos alunos acertaram a pergunta, mostrando-nos que uma grande parte dos alunos apresentavam conhecimentos prévios sobre a natureza do elétron.

Figura 22 – Percentagens de respostas da Questão 1, onde as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário



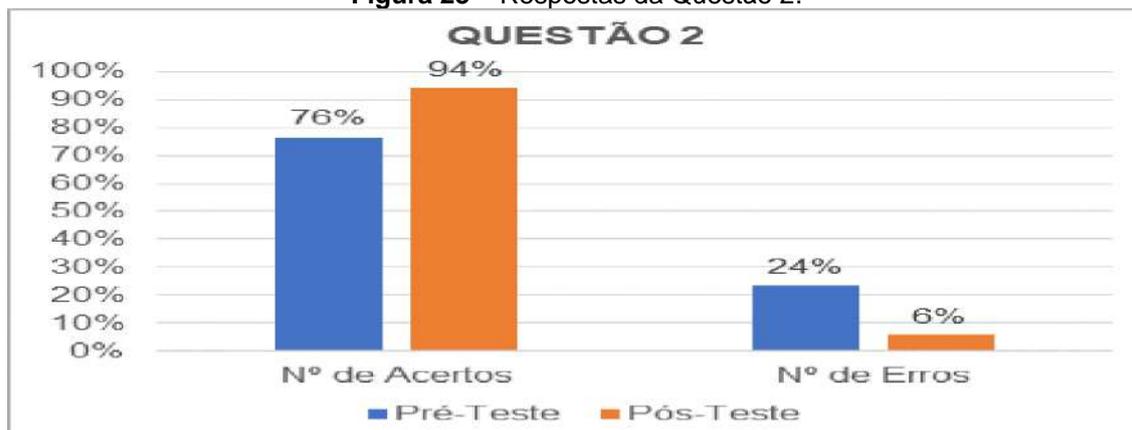
Fonte: Autor

Verificamos também que após a aplicação da SD o número de acertos aumentou em 35%, como podemos notar na Figura 22, onde no Pré-Teste 50% dos alunos acertou a alternativa e no Pós-Teste a porcentagem de acertos subiu para 85%, o que mostra um avanço, pois consideramos que a compreensão da natureza dual do elétron é fundamental no entendimento da FMC.

Segunda Questão: Roberval vai ao dentista e, antes de ser submetido a uma radiografia, solicita o *protetor de tireóide* (pequeno avental de chumbo que envolve o pescoço). Como a clínica não dispunha de tal equipamento, Roberval citou o Código de Proteção Radiológica em Odontologia, Parte 2, item 35, “... **É recomendado o uso adicional de blindagem para tireóide nas radiografias intra-orais, ...**” e se retirou perguntando “Se eu não preciso usar o protetor, por que você se retira da sala e dispara o feixe por controle remoto ?”

Apesar de o feixe de raios X ser direcional e apontar para o paciente o espalhamento desta radiação pode levar perigo ao dentista. **Identifique** o fenômeno responsável por este espalhamento.

Com esta questão (Figura 23), proposta em PSS da UFPA, tínhamos o objetivo de analisar quais conhecimentos os alunos apresentavam no início da SD com relação as aplicações do Efeito Compton.

Figura 23 – Respostas da Questão 2.

Fonte: Autor

A análise da Figura 23, revela que a maioria dos alunos apresentavam conhecimentos básicos sobre as aplicações do Efeito Compton e, uma pequena porcentagem dos alunos haviam errado a questão no pré-teste.

Figura 24 – Porcentagens de respostas da Questão 2, onde as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário

Fonte: Autor

Enfatizamos que no pós-teste a porcentagem de alunos que acertaram a resposta aumentou chegando ao valor de 94% dos alunos, havendo uma evolução de 18%, no percentual de acerto, como podemos observar na Figura 24, onde notamos que algumas alternativas não chegaram a ser marcadas.

Reforçamos que o conhecimento sobre o Espalhamento Compton, apresenta suma importância no entendimento das tecnologias ligadas a FMC.

Terceira Questão: Um feixe de luz incide em uma lâmina metálica provocando a emissão de alguns elétrons. A respeito desse fenômeno,

denominado de efeito fotoelétrico, leia e analise as proposições e assinale no cartão-resposta a soma da(s) correta(s).

01. O efeito fotoelétrico só ocorre a partir de uma frequência de corte, denominada função trabalho.

02. Qualquer que seja a frequência e comprimento de onda da luz incidente é possível que sejam arrancados elétrons do metal.

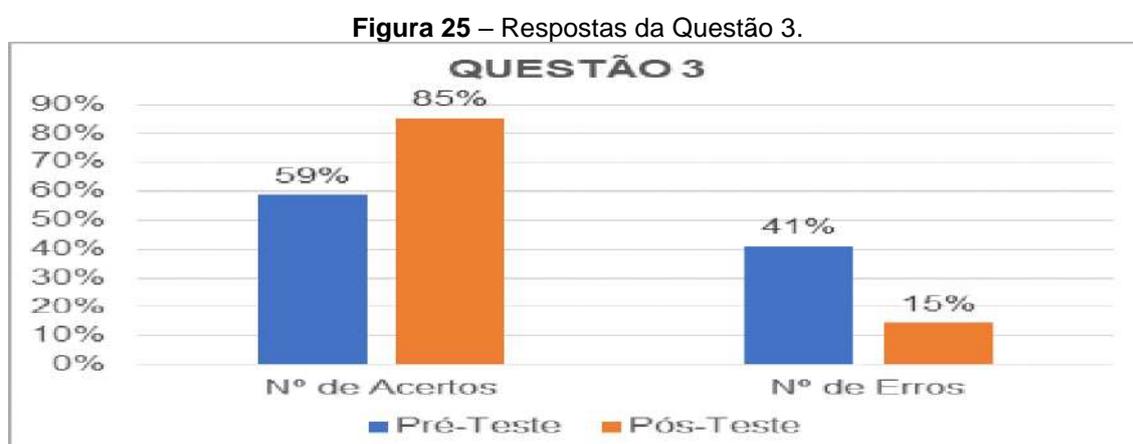
04. Quaisquer que sejam a frequência, comprimento de onda e a intensidade da luz, os elétrons são emitidos com a mesma energia cinética.

08. Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o metal.

16. Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.

Propusemos esta questão com a intenção de analisar os subsunçores relativos ao Efeito Fotoelétrico, já que este conhecimento é de relevância ao desenvolvimento da SD, a análise dos itens e conseqüentemente a resposta correta a esta questão poderá nos informar o grau de entendimento, que os alunos possuem sobre o Efeito Fotoelétrico e, conseqüentemente o entendimento quanto a FMC e suas aplicações.

A Figura 25, mostra a porcentagem de acertos e de erros dos alunos, no pré-teste no pós-teste, bem como a evolução das respostas.

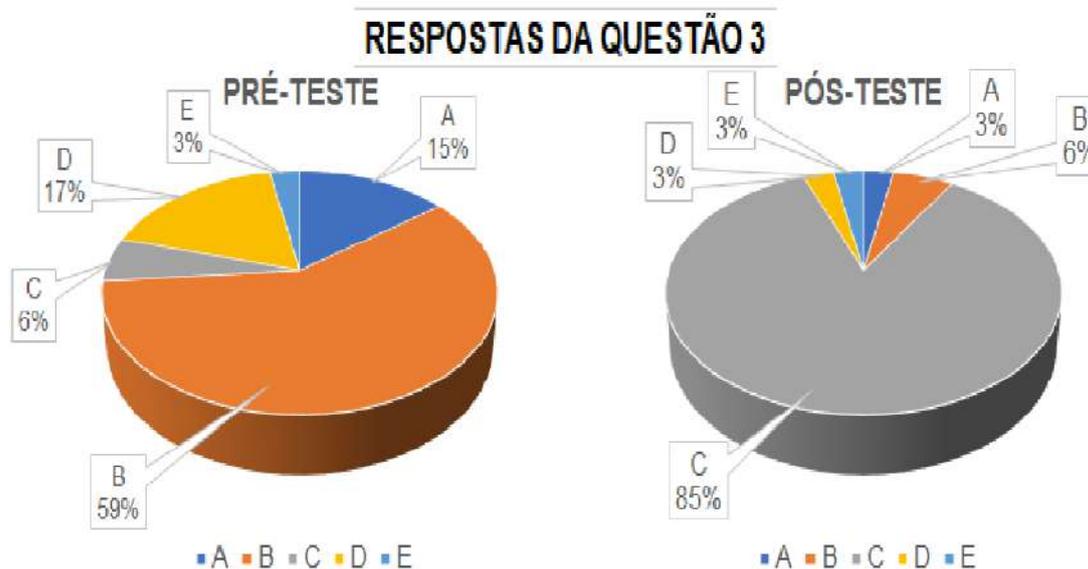


Fonte: Autor

Ao analisarmos as respostas dos alunos a esta questão, verificamos que o assunto sobre o Efeito Fotoelétrico, já era conhecido pela maioria dos alunos, como podemos inferir do resultado do pré-teste onde 59% dos alunos analisaram os itens da questão corretamente. Destacamos também que este índice sofreu um acréscimo melhorando ainda mais os percentuais de aprendizagem, pois este percentual subiu cerca de 26%, chegando ao percentual de 85%.

Na Figura 26, observamos a evolução dos percentuais das respostas nos testes.

Figura 26 – Percentagens de respostas da Questão 3, onde as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário

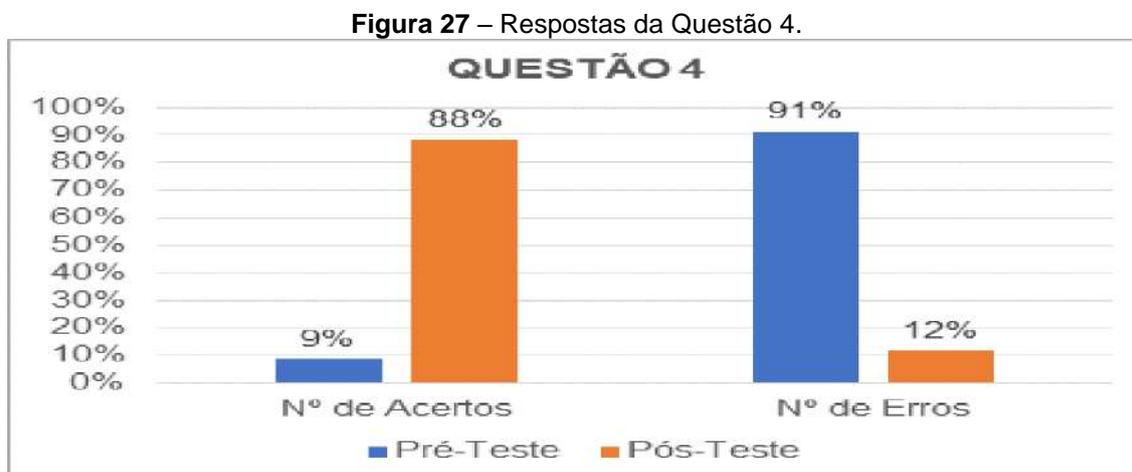


Fonte: Autor

Depreendemos da análise do gráfico que a maioria dos alunos que no pré-teste tinham marcado uma das alternativas erradas, após a aplicação da UEPS, acertou a alternativa no pós-teste, mostrando que a maioria dos alunos apresentaram vários indícios de aprendizagem.

Quarta Questão: A Física Moderna afirma que as radiações eletromagnéticas apresentam natureza dual, que pode ser comprovada quando as mesmas sofrem determinados fenômenos, como por exemplo as radiações se comportam como partícula quando sofrem o Efeito Fotoelétrico ou o Efeito Compton. De acordo com a explicação fornecida pelo Efeito Compton, o comprimento de onda dos raios X espalhados por elétrons livres.

Essa questão objetiva saber se o aluno já conhecia o Efeito Compton e, conseguia explicar a diferença entre a radiação incidente e a radiação espalhada. Na Figura 27 estão os percentuais:



Fonte: Autor

Verificando os resultados dos percentuais na Figura 27, percebemos que no pré-teste poucos alunos acertaram a questão sobre o Espalhamento Compton, 9%, o que representa um resultado esperado, uma vez que esses tópicos de FMC são temas novos nas vidas dos nossos discentes e cerca de 91% respondeu de forma errada.

Figura 28 – Porcentagens de respostas da Questão 4, onde as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário



Fonte: Autor

A Figura 28, mostra que a maioria dos alunos que no pré-teste tinha errado a questão, após aplicação da SD, acertou a mesma, pois o resultado do teste sofreu um aumento considerável para 91%, de acertos. Com isso, podemos ressaltar que a maioria não sabia como ocorria o Efeito Compton e, este motivo justifica ainda mais a importância de se ensinar tópicos fundamentais da FMC no Ensino Médio, como por exemplo, o Efeito Compton.

Quinta Questão: Em 1905, Albert Einstein apresentou seu trabalho referente ao efeito fotoelétrico.

Este explicou, com base na hipótese de Max Planck apresentada em 1900, segundo a qual a radiação térmica emitida por um corpo negro é constituída por quanta de energia, que a energia dos elétrons emitidos, por uma placa metálica iluminada, depende apenas da frequência da luz incidente. Naquele período, constatou-se que para alguns fenômenos que ocorrem com a luz, ela se comporta como onda produzindo interferência (como no experimento da dupla fenda de Young), entretanto, em outros fenômenos ela apresenta comportamento de partícula (como efeito fotoelétrico). Diz-se então que a luz possui uma natureza dual: ora se comporta como uma onda e ora como uma partícula. A respeito das dualidades onda-partícula da luz, apresentam-se as seguintes proposições:

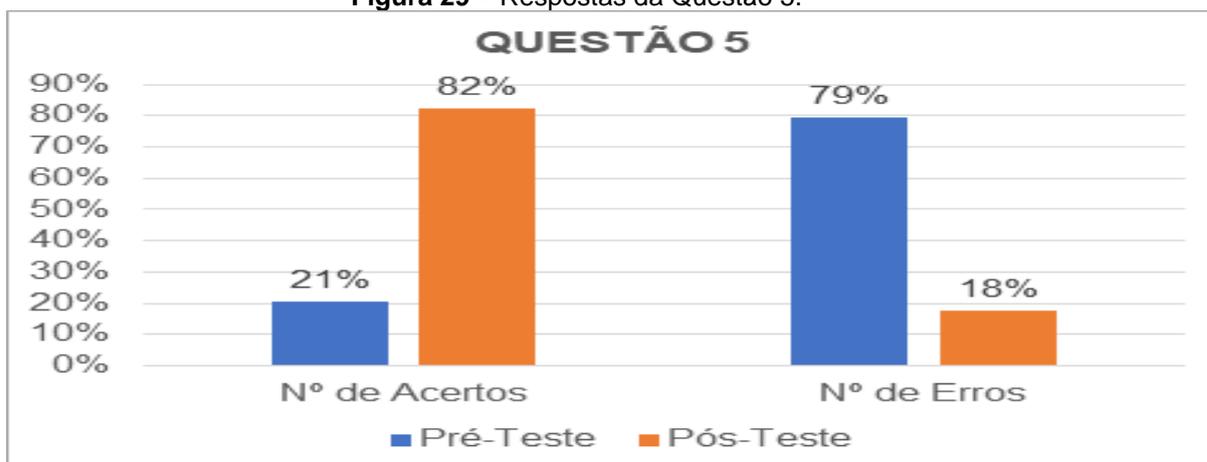
- I. O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são simultâneos.
- II. O comportamento ondulatório da luz exclui seu comportamento corpuscular.
- III. O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são equivalentes.

Com relação às proposições apresentadas, é correto afirmar que:

Esta questão objetiva saber se os alunos possuem um conhecimento prévio em relação a diferença de onda e partícula e, ainda, se conseguem diferenciar o comportamento ondulatório do comportamento corpuscular das radiações eletromagnéticas.

Obtivemos os seguintes percentuais de respostas, representados na Figura 29:

Figura 29 – Respostas da Questão 5.



Fonte: Autor

Notamos que no pré-teste somente 21% dos alunos souberam a diferença entre onda e partícula, mas 79% não sabiam diferenciar a natureza da onda e partícula, demonstrando que poucos estudantes possuem a concepção correta dos conceitos de partícula e onda.

Já após as discussões em sala de aula, o percentual de discentes que responderam corretamente à questão foi de 82%, representando um aumento de 61% de acertos em relação ao pré-teste, como podemos observar na Figura 30. Novamente a maioria dos alunos que haviam errado a questão, no pré-teste, acertou a mesma após os desenvolvimento da metodologia proposta.

Figura 30 – Porcentagens de respostas da Questão 5, onde as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário



Fonte: Autor

Ressaltamos que saber a diferença entre uma onda e uma partícula é fundamental para o entendimento do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton.

Enfatizamos que a resposta correta a essa questão mostra a importância de se ter uma base de entendimento dos conceitos básicos da FMC para a compreensão inicial do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton.

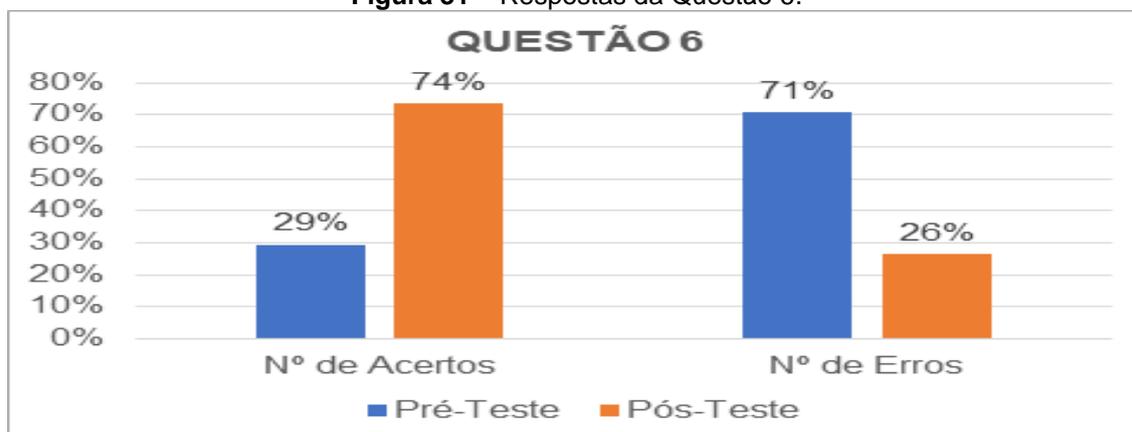
Sexta Questão: Leia a tirinha a seguir.



Para validar a proposta do analista, a ocorrência da dualidade onda-partícula, o senhor Fóton deve ser capaz de sofrer:

Através da aplicação da questão, procuramos saber qual o entendimento que os discentes possuíam sobre a natureza ondulatória da luz, assim como tivemos a intenção de descobrir o grau de compreensão que os alunos tinham inicialmente sobre o fóton e a dualidade onda-partícula. A Figura 31 apresenta os percentuais de alunos que acertaram ou erraram a resposta:

Figura 31 – Respostas da Questão 6.



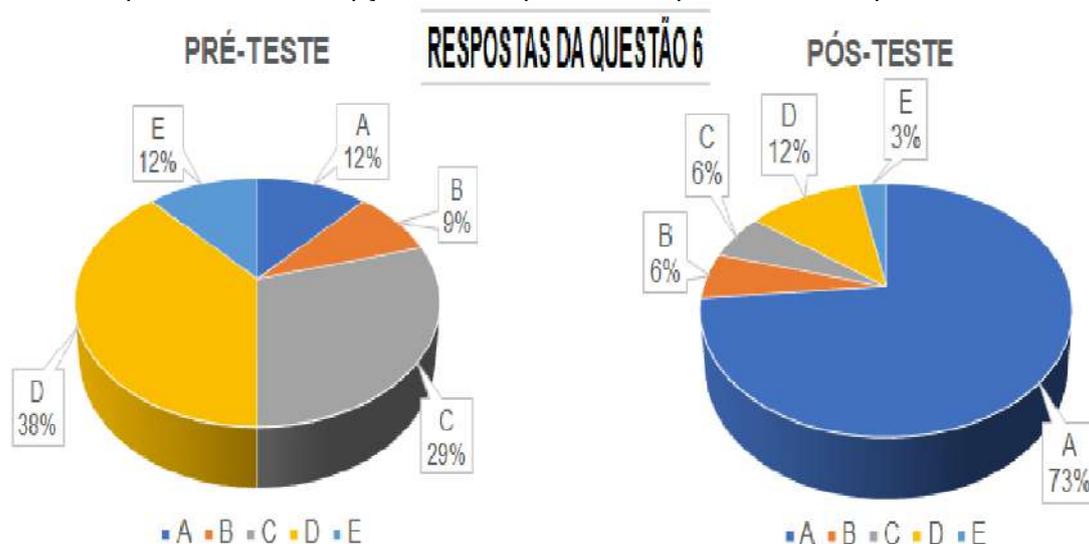
Fonte: Autor

De acordo com o mostrado na Figura 31, pudemos concluir que mesmo os alunos cursando o terceiro ano do Ensino Médio, a maioria não conseguia

definir corretamente a luz. Como mostram os resultados na Figura 31, apenas 29% apresentavam concepções sobre os conhecimentos físicos relacionados à luz, mas 71% não souberam responder à questão de forma correta, no pré-teste, sendo que o conceito de luz é de fundamental importância para o entendimento do FMC.

A Figura 32, mostra a evolução das respostas dadas pelos alunos antes e depois da aplicação da SD.

Figura 32 – Percentagens de respostas da Questão 6, onde as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário



Fonte: Autor

Depois da aplicação da Sequência Didática, analisando os percentuais, percebemos que houve um crescimento no número de acertos, da ordem de 45%, o que demonstra a importância da aplicação da SD, na construção e aperfeiçoamento de conceitos, através da interação entre os alunos e professores na sala de aula, onde os mesmos discutiram sobre conceitos e temas fundamentais da FMC e do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton.

Além do mais, não podemos descartar a importância da interação social, onde os conhecimentos são compartilhados entre os alunos e o professor, e o mundo que os cerca.

Da análise das respostas do pré-teste e do pós-teste inferimos que a aplicação da UEPS, produziu um desenvolvimento satisfatório na aprendizagem

dos alunos, pois em todas as questões os percentuais de acertos aumentaram, mostrando uma evolução significativa dos índices.

6.4 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS FINAIS

Conforme já mencionamos no desenvolvimento deste trabalho, o Produto Educacional, ou seja, a composição e aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), foi elaborado com a intenção de contribuir no ensino-aprendizagem dos estudantes a respeito da introdução do tópico Efeito Compton, no item Física Moderna e Contemporânea, no Ensino Médio.

Segundo Tavares (2005), os Mapas Conceituais visam proporcionar uma organização hierárquica a conceitos e proposições, de modo a representarem a estrutura cognitiva de um determinado indivíduo. Portanto, são maneiras de explicitar e averiguar o conhecimento do indivíduo, de tal forma que o mesmo descreva os conhecimentos que o aluno traz em sua estrutura cognitiva sobre um determinado conteúdo, e em um momento oportuno pode retomar e esclarecer dúvidas que ainda existem.

Salientamos que os Mapas Conceituais também funcionam em grupo, fortalecendo as relações interpessoais, porém um sujeito com maior conhecimento acerca do conteúdo tratado tende a definir os horizontes a se seguir (TAVARES, 2005, p. 3); essencialmente, quando dois ou mais alunos propõem-se a construir um mapa conceitual, aquele com maior conhecimento sobre o conteúdo discutido, proporciona uma maior intervenção na criação do mapa, muito embora os caminhos possam se inverter no decorrer do processo.

Os Mapas Conceituais podem ser utilizados como uma ferramenta de ensino-aprendizagem ou avaliativa, tendo como características básicas que colocam o aluno como construtor do conhecimento, desenvolve agilidade nas relações entre ideias, harmoniza o conhecimento construído pelo aluno, etc. (SOUZA; BORUCHOVITCH, 2010, p. 196). Quando alguém inicia a construção de um Mapa Conceitual, este evidencia suas dificuldades e facilidades sobre determinado assunto, podendo ir aos poucos aprimorando a organização de seus conceitos, e em vários momentos é permitido alterar seu mapa de modo a elucidar seus conhecimentos (TAVARES, 2005, p. 3). Configura um elo forte com

a Aprendizagem Significativa de Ausubel, visto que propicia situações para que o estudante construa e reconstrua seus conceitos cognitivamente, além de permitir alterações advindas das bagagens que o sujeito constrói no dia a dia, tanto dentro como fora da sala de aula (SOUZA; BORUCHOVITCH, 2010, p. 196–197).

Segundo Moreira (2013, p. 41), os Mapas Conceituais são traçados de significados, relações significativas que construímos, em que não buscamos classificar os conceitos, mas sim organizá-los e relacioná-los via preposições. Além disso, a sua utilização pode se apresentar como uma excelente estratégia para avaliação. Moreira (2013, p. 45) confirma a utilização desses como instrumentos para a mesma:

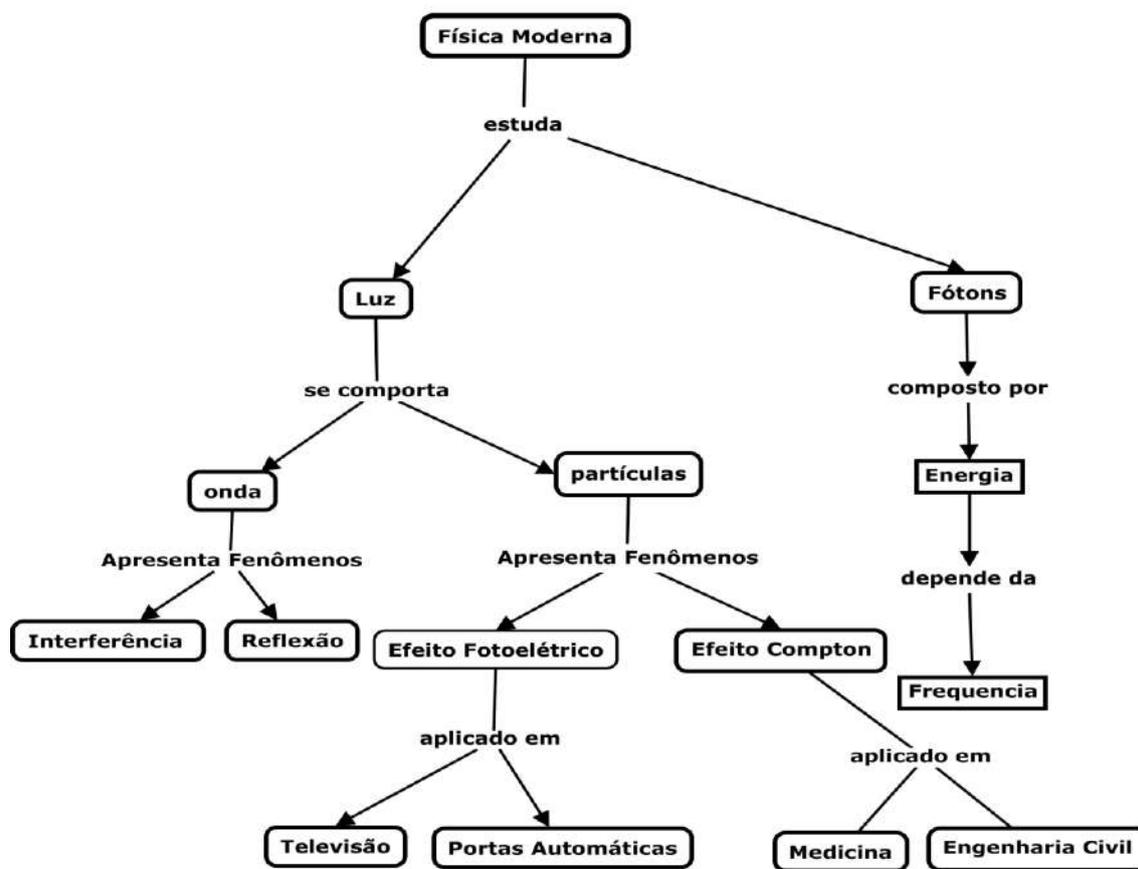
Como instrumento de avaliação da aprendizagem, mapas conceituais podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento. Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino segundo o ponto de vista do aluno. É mais apropriada para uma avaliação qualitativa, formativa, da aprendizagem.

Usaremos os Mapas Conceituais como meios através dos quais buscaremos possíveis indícios de Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 2010). A seguir, faremos a análise comparativa entre os dois elaborados; sendo o primeiro construído de forma coletiva, no início da Sequência Didática, usando as perguntas norteadoras, que está representado na Figura 16, e os que foram construídos pelos grupos ao final da Sequência Didática, mais precisamente na sexta etapa.

Através da análise dos Mapas Conceituais citada acima buscaremos evidências de que os alunos conseguiram internalizar conceitos, tendo assim uma Aprendizagem Significativa e, além de ser significativa ela precisa ainda ser crítica. Os mapas apresentados foram construídos com o aplicativo Cmaps, sendo que cada equipe sistematizou seu mapa final, após análise e sugestões da turma.

As equipes levaram o mapa construído e enviaram o mesmo via mensagem para o professor aplicador (Figuras 33, 34, 35 e 36), que enfatizou que os mapas deveriam ser fiéis aos apresentados em sala.

Figura 33 – Mapa Conceitual Grupo 1
Mapa Conceitual do Grupo 1

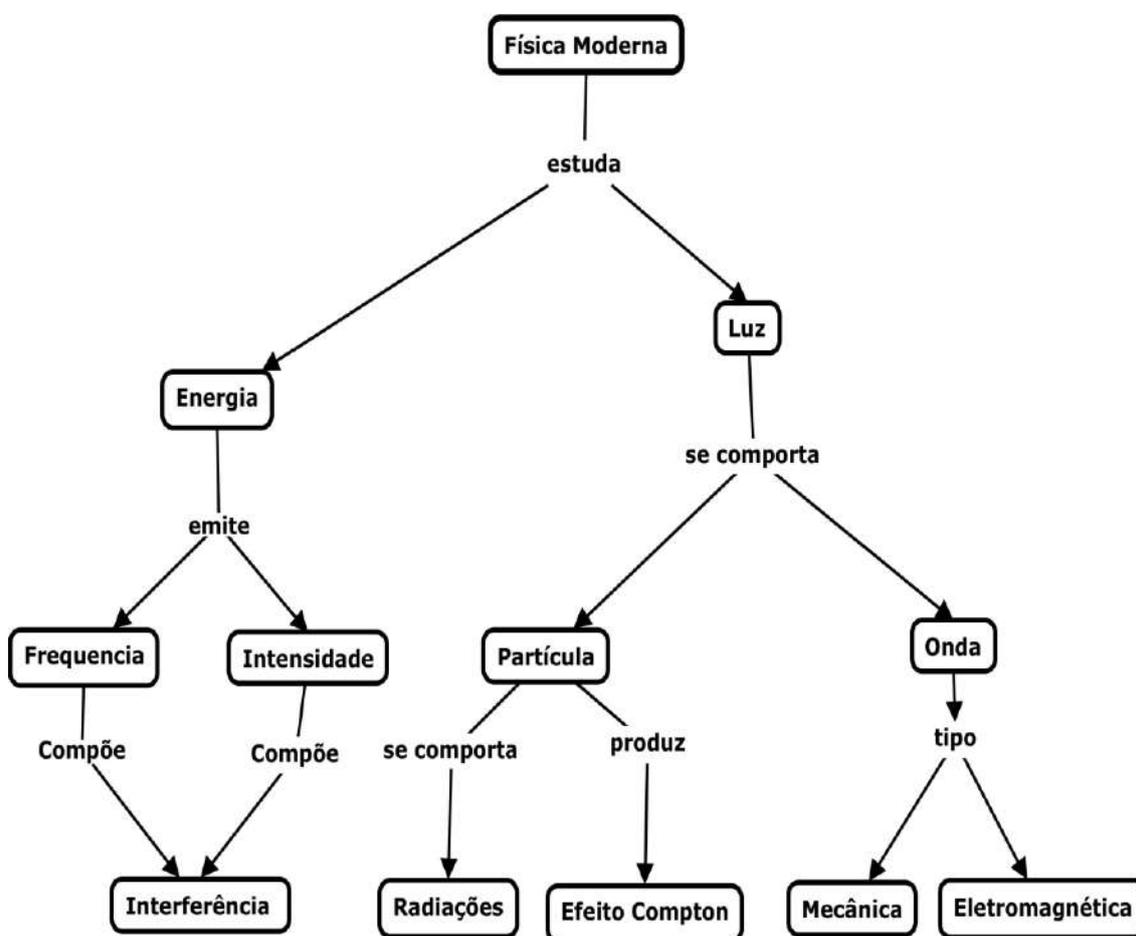


Fonte: Arquivo do Autor

Da análise do mapa criado pelo Grupo 1, mostrado na Figura 33, observamos que os alunos deste grupo apresentaram evolução dos conceitos, se compararmos este mapa com o anterior, da Figura 16. Notamos uma evolução conceitual, assim como a diferenciação progressiva dos conceitos; constatamos também que a equipe conseguiu apresentar estrutura e organização de ideias bem elaboradas. Embora haja pequenos equívocos, os alunos relacionaram os conceitos de maneira clara, mostrando em seu mapa fortes indícios de Aprendizagem Significativa, sendo que alguns conceitos podem estar ligados de forma não precisa. Podemos concluir que este grupo conseguiu sistematizar de forma satisfatória o seu mapa, mesmo que tenhamos observado um equívoco na ligação do conceito de fóton ao de energia.

A Figura 34, mostra o Mapa Conceitual construído pelo Grupo 2, que analisaremos procurando verificar se há evidências de Aprendizagem Significativa.

Figura 34 – Mapa Conceitual Grupo 2
Mapa Conceitual do Grupo 2



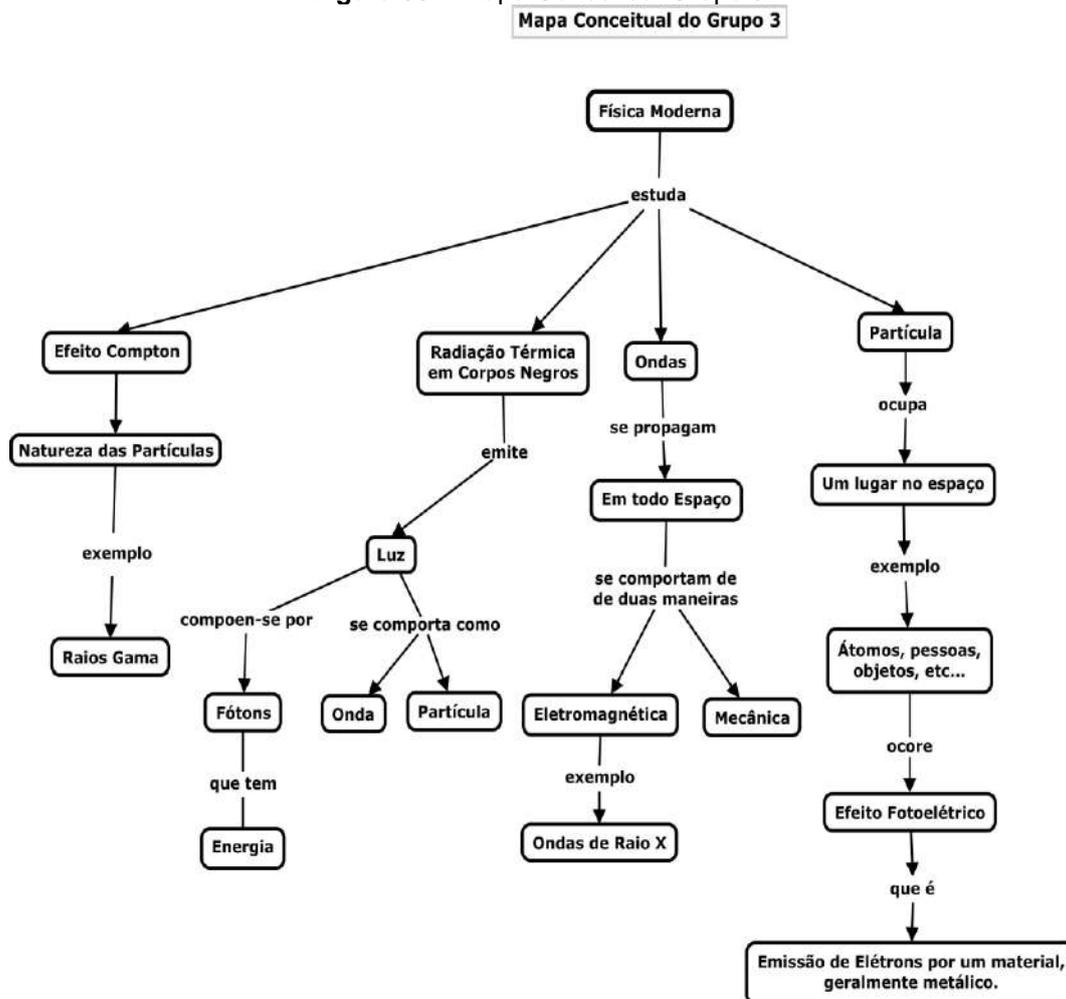
Fonte: Arquivo do Autor

Através da análise da Figura 34, deduzimos que os alunos deste grupo não conseguiram alcançar um nível satisfatório na ligação entre os conceitos, pois o mapa destes estudantes não apresenta ideias claras acerca destas concepções. Porém, ainda assim, encontramos indícios de Aprendizagem Significativa.

Continuando nossa análise da Figura 34, percebemos que há elementos que demonstrem necessidade de aprofundamento em relação a algumas definições, pois não ficou claro no mapa o que o grupo apresentou, notadamente onde há conhecimento construído, e é necessária organização na forma de se expressar.

O mapa da Figura 35, construído pelo Grupo 3, quanto aos aspectos de hierarquização, em sua totalidade, foram feitos de maneira com que os conceitos fundamentais fossem desmembrados até chegar aos secundários, em concordância com temas discutidos anteriormente. Podemos observar que o Mapa Conceitual está bem organizado, porém com orações no lugar de conceitos e conectores.

Figura 35 – Mapa Conceitual Grupo 3.



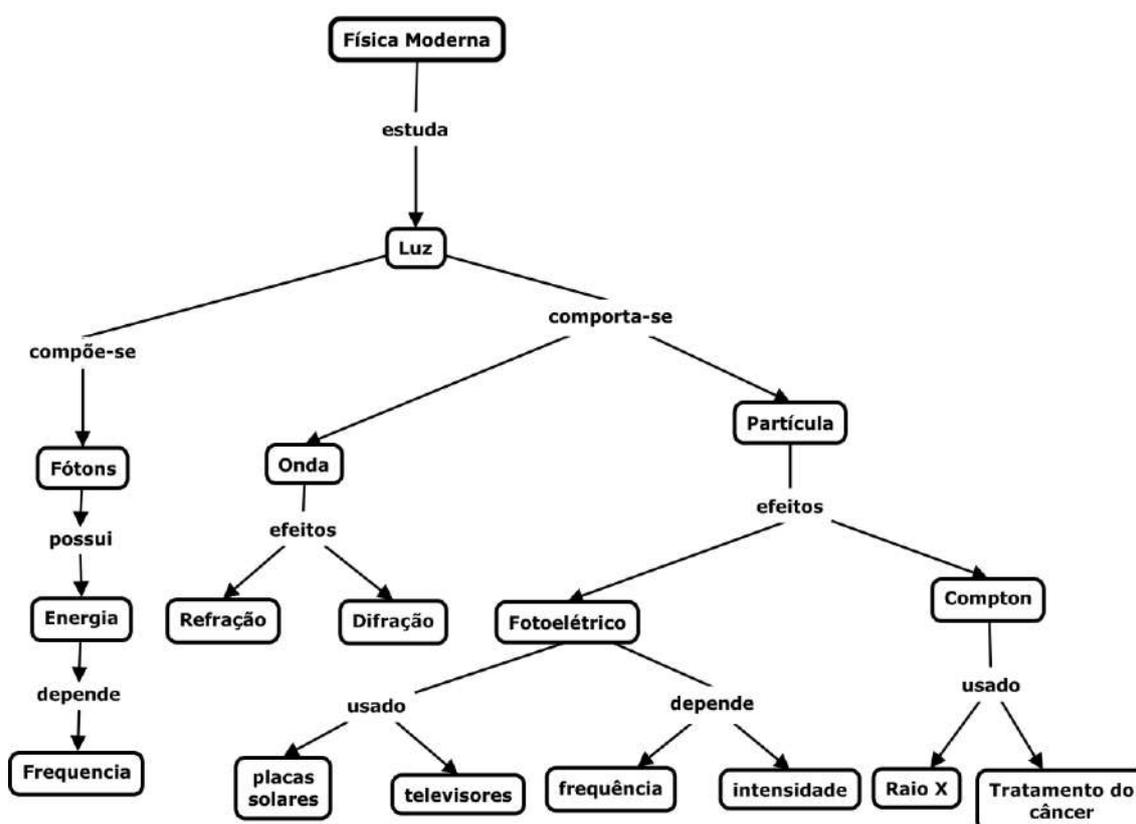
Fonte: Arquivo do Autor

Continuando o estudo do mapa do Grupo 3, verificamos que os integrantes do grupo conseguiram compreender de forma satisfatória os conceitos relativos a FMC e, aos Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton, mostrando assim evidências de Aprendizagem Significativa; contudo, na construção do mapa, observamos que o mesmo encontra-se pouco hierarquizado em relação aos demais, sem conceitos integrados.

Observamos, ainda, que o mapa construído apresenta grande diversidade de dados e interpretações, que são resultantes das atividades propostas durante a aplicação da Sequência Didática.

Adiante, apresentamos a Figura 36, ou seja, o Mapa Conceitual do Grupo 4, apresentando uma estrutura bem elaborada e ideias organizadas e bem conectadas. Notamos, ainda, que o grupo apresentou domínio satisfatório dos conceitos da FMC, como podemos observar nas ligações entre os conceitos mostrados no mapa.

Figura 36 – Mapa Conceitual Grupo 4.
Mapa Conceitual do Grupo 4



Fonte: Arquivo do Autor

Observamos que o Grupo 4 demonstrou evidências de Aprendizagem Significativa, pois ao compararmos o mapa inicial com o mapa construído na Figura 36, conseguimos verificar que este apresentou diferenciação progressiva, partindo de conceitos mais gerais para outros mais específicos, além de verificarmos que o grupo apresentou exemplos plausíveis de aplicação do Efeito Fotoelétrico e do Efeito Compton, o que nos leva a concluir que a aplicação da

Sequência Didática proporcionou a este grupo um acréscimo no entendimento do assunto proposto.

Ao finalizarmos a análise dos Mapas Conceituais, podemos afirmar que a aplicação da UEPS foi exitosa, pois todos os grupos apresentaram, embora em diferentes graus, evidências de Aprendizagem Significativa Crítica, pois os mapas foram construídos através da negociação de conceitos entre os membros dos grupos, e também entre a classe como um todo, o que provocou discursões entre os discentes, levando os mesmos a exporem suas opiniões e a defenderem seus pontos de vista de forma lógica e coerente.

CAPÍTULO 7

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Temos ciência da relevância que a educação possui, por este motivo neste trabalho apresentamos um Produto Educacional que tem como finalidade propor a inserção do conteúdo de Efeito Compton em Física Moderna e Contemporânea, no Ensino Médio.

Elaboramos uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para auxiliar no acréscimo do conteúdo apresentado, de forma a torná-lo um saber escolar. Destacamos na UEPS alguns questionamentos prévios, relacionando-os aos textos selecionados para leitura, aos vídeos transmitidos e a todo tipo de material utilizado na elaboração e aplicação dessa UEPS.

Utilizamos, também, Mapas Conceituais como elementos de verificação da aprendizagem, o que nos proporcionou uma análise mais clara na busca de explicitar aquilo que os alunos construíram ou reconstruíram.

O Produto Educacional foi aplicado em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio e buscamos indícios de Aprendizagem Significativa dos tópicos abordados por meio do uso de questionários que foram respondidos pelos participantes antes e depois das aulas ministradas, e construção de Mapas Conceituais, elaborados na primeira e na sexta etapas.

As aulas ocorreram de forma a proporcionar uma maior interação entre alunos e professor, implicando na construção de conceitos e discussões. A utilização da Sequência Didática (SD) rompeu com a forma tradicional das aulas expositivas, provocando uma mudança na rotina dos alunos, estimulando-os a uma participação mais efetiva nas aulas, suscitando discussões acerca dos temas abordados. Conforme as aulas desenrolaram-se e os fenômenos foram sendo apresentados e discutidos, os alunos internalizaram os novos conceitos de Física Moderna, progressivamente. Como resultado destas diversas estratégias, mantemos a atenção e o interesse da turma onde a UEPS foi aplicada, apesar de ser um tema diferente dos tradicionais e não estar definido

no currículo. Assim, percebemos o caráter motivacional que a inovação traz às aulas de Física Moderna.

O resultado da aplicação do Produto Educacional trouxe-nos evidências da importância da inserção de Efeito Compton no ensino de Física Moderna e correspondeu às expectativas, não apenas pelo que se revelou nas respostas dos testes, na construção dos mapas, mas, sobretudo, pela qualidade das discussões que ocorreram em sala de aula, o que permitiu a construção do conhecimento, implicando numa Aprendizagem Significativa Crítica.

Pelos resultados apresentados, consideramos que o Produto Educacional poderá ser aplicado em qualquer turma de terceiro ano do Ensino Médio. Levando em consideração os aspectos observados, podemos apontar que em vários momentos houve indícios de Aprendizagem Significativa, tanto nos testes, quanto nos discursos e nos Mapas Conceituais elaborados.

Evidenciamos que favorecer o processo de argumentação provocou nos alunos um maior esforço na busca sobre o conteúdo, levando-os às discussões em sala, a levantarem dúvidas e questionamentos para que pudessem esclarecer suas ideias, e assim defendê-las diante do grupo ou da turma. Desse modo, um ambiente argumentativo, se bem mediado, favorece a construção do conhecimento e fortalece as reconstruções de aspectos ainda não tão claros, bem como enriquecem as ações intersociais. Ressaltamos que o uso dessas práticas mostra o papel do professor como sujeito mediador, pois este proporciona o distanciamento do senso comum dos alunos, trazendo-os cada vez mais para perto do conhecimento científico.

Esclarecemos que toda metodologia de ensino apresenta suas particularidades e está sujeita a adaptações e adequações para atender as especificidades do público alvo e do espaço escolar.

No desenrolar da Sequência Didática identificamos a necessidade de melhor organização do tempo, pois em muitos momentos o debate aluno-aluno e aluno-professor estendeu-se além do tempo estipulado. Como essas discussões são necessárias para a organização de ideias e análise de fatos, este foi um ponto que precisa ser repensado.

Reconhecemos que não existe método infalível para promover a

Aprendizagem Significativa do saber, assim como não imaginamos uma maneira correta de ensinar; acreditamos, sim, que este material pode ajudar a revelar um caminho possível, que pode ser trabalhado e adequado a diferentes realidades, melhorando o ensino-aprendizagem.

Desse modo, devemos considerar que a metodologia utilizada no desenvolvimento da Sequência Didática mostra que é fundamental trabalhar um conteúdo utilizando várias ferramentas diversificadas, principalmente debates, vídeos, animações e simulações.

Podemos afirmar que em diversos sites sobre conteúdos de Física existem inúmeras simulações de boa qualidade que podem e devem ser utilizadas pelos professores em suas aulas, de forma a proporcionar um ensino de Física mais prazeroso aos alunos, destacando a importância de se utilizar novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) em sala de aula, na prática pedagógica do docente.

Lembramos que a aplicação da Sequência Didática foi capaz de promover o interesse dos alunos, organizar o conteúdo discutido, relacionar as etapas do processo de ensino-aprendizagem e disseminar o processo tecnológico, por meio dos objetos de aprendizagem, no ambiente da sala de aula. Isso permitiu a construção de um cenário plenamente favorável ao desenvolvimento da intervenção pedagógica, favorecendo a ocorrência de uma aprendizagem social e mediadora dos conceitos básicos de Física Moderna Contemporânea e de Efeito Compton.

Devido ao exposto, acreditamos que o nosso Produto Educacional pode desempenhar um valioso papel no atual contexto do ensino, visto que com sua aplicação foi capaz de proporcionar um aprendizado eficiente e agradável de conteúdos que geralmente são excluídos do Ensino Médio.

Lembramos, finalmente, que o material usado nesta Sequência Didática está incluso nos apêndices, bem como os links dos vídeos e simulações, e também no endereço eletrônico: <https://drive.google.com/open?id=1hCnA9ZO4-jTbZ5-5gflqwjbUd4Surtxz>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL, Mídia. **A revolução da Teoria Quântica**. Disponível em: <http://super.abril.com.br/ciencia/a-revolucao-da-teoria-quantica>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- ALENCAR, R. M. S. de. **Aplicação prática da Física Moderna**. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/idiomas/aplicacao-pratica-da-fisica-moderna/55981>. Acesso em 07/11/2019.
- ALVARENGA, L. L. **Introdução à física moderna no ensino médio através da discussão do dualismo onda-partícula**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física, Porto Alegre, 2008.
- AMORETTI, M. S. M. Protótipos e estereótipos: aprendizagem de conceitos Mapas Conceituais: experiência em Educação a Distância. **Informática na educação: teoria e prática**, v. 4, n. 2, p. 49–55, 2001.
- ARAÚJO, D. L. O que é (e como se faz) sequência didática. **Entre palavras**, v.3, nº 1, p.322-334, 2013.
- ASSIS, A.; CARVALHO, F. L. DE C. A postura do professor em atividades envolvendo a leitura de textos paradidáticos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 8, n. 3, 2008.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, v. 1, 2003.
- BASSALO, J. M. F. e Caruso, F. 2018. **Compton**. Editora Livraria da Física (ISBN: 978-85-7861-489-8), 80. (São Paulo, SP)
- BASSALO, J.M.F. **Crônicas da Física**. Belém: Gráfica e Editora Universitária (1987).
- BEISER, A. **Modern Physics: an introductory survey**. London: Addison-Wesley (1968).
- BRASIL, MEC, **Base Nacional Comum Curricular – BNCC**, versão aprovada pelo CNE, novembro de 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wpcontent/uploads/2018/02/bncc-20dez-site.pdf>. Acesso em: 01 outubro 2019.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 25 junho 2019.
- BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei nº 9394/96. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 25 setembro 2019.

BRASIL, MEC, **Base Nacional Comum Curricular - BNCC** 2a. versão, abril de 2016. Disponível em: < <http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília, DF: MEC, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: set. 2016.

CANATO JUNIOR, Osvaldo. **Física quântica e formação docente: confluência de várias redes**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CANTINI, M. C.; OTHERS. **O desafio do professor frente as novas tecnologias**. Anais da EDUCERE–PUCPR/Eventos, 2006.

DANTAS, N. *et al.* **Apostila de Laboratório de Física Moderna**. UFU, p. 67-72, 2005.

Dualidade onda-partícula em Só Física. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2020. Disponível em: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/fisicamoderna/FisicaQuantica/dualidade.php>. Acesso em 31/09/2019.

EISBERG R., RESNICK R. **Física Quântica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus. 1985.

FREIRE Jr., O.; CARVALHO NETO, R. A. **O Universo dos Quanta – uma breve História da Física Moderna**. São Paulo: FTD, 1997.

FREIRE Jr, O.; PESSOA Jr, O. e BROMBERG, JL. (orgs.) Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais. LEHNER, Christoph. **O realismo de Einstein e sua crítica da Mecânica Quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 456 p.

FUCHS, W.R. **Física Moderna**. São Paulo: Editora Polígono (1972).

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física: Ensino Médio**. São Paulo: Ática, 2010.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V.E. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.23, nº. 4. 2001.

GUIMARÃES, P. S. Radiação de corpo negro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, nº. 2. 1999, p. 291-297. 1999.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. **Fundamentos de Física: Ótica e Física Moderna**, v. 4. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1991.

HELERBROCK, R. **Efeito Fotoelétrico**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.htm>. Acesso em 16/04/2020.

KENSKI, R. **O que exatamente é a luz?** Publicado em 18 abril 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-exatamente-e-a-luz/>. Acesso em 07 de novembro de 2019.

MOREIRA, M. A. e BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. 1993.

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora. 2006.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa. **Ciência e Cultura**, v. 32, n. 4, p. 474-479. 1980.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas Vê unidades de ensino potencialmente significativas. 1982.

MOREIRA, M. A. **Linguagem e aprendizagem significativa**. Conferência de encerramento do IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Maragogi, AL, Brasil, v. 8, 2003.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Porto Alegre: Editora do autor, 2005.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. São Paulo: Centauro Editora. 2010.

MOREIRA, Marco Antônio. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, pp. 43-63. 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas v e unidades de ensino potencialmente significativas, material de apoio para o curso aprendizagem significativa no ensino superior: teorias e estratégias facilitadoras**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2013.

MOREIRA, Marco Antônio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf> . Acesso em: 30 out. 2019.

OLIVEIRA, A de. Departamento de Física; Universidade Federal de São Carlos. Adaptado do site: <http://cienciahoje.org.br/coluna/onda-ou-particula-uma-questao-de-interpretacao/>

PELLIZZARI, A. et al. **Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel**. **Revista PEC**, v. 2, n. 1, 2002.

PEREZ, S. **Mecânica Quântica: Um curso para professores da Educação Básica**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

PCN, E. M. **Parâmetros Curriculares Nacionais–Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. [S.l.]: Física. 1998.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Simulações Interativas em Ciências e Matemática**. University of Colorado Boulder, 2002. Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

Portal do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~betz/ig_XX_A/efCompt/apsEC/ec_10_08_05.swf. Acesso em 04/10/2019

POSTMANM, N.; WEINGARTNER, C. **Contestação – nova fórmula de ensino**. Rio de Janeiro: Editora Expressão e Cultura. 1978.

SEGRÉ, E. **From X-Rays to Quarks**. New York: W.H. Freeman and Company. 1980.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: A física de partículas elementares no ensino médio. **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina**, 2006.

SILVA, I.; JUNIOR, O. F. A descoberta do efeito Compton: de uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. **Revista Brasileira do Ensino Física**. São Paulo, v. 36, n. 1. 2014.

SOUZA, N. A. de; BORUCHOVITCH, E. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **Educação em Revista**. 2010.

TAVARES, R. Animações interativas e mapas conceituais. **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. 2005.

TENFEN, D. N. Editorial: Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 1-2. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n1p1>>. Acesso em: 06 maio 2020.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2o grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 9, n. 3. 1992.

TIPLER, P. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1981.

VALADARES, E. de C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, 1998.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.

VÍDEOS

<https://youtu.be/CEuMmMxD-vI>

https://youtu.be/CgY_zBuK2Cw

<https://youtu.be/eA1E2HGdbKg>

<https://youtu.be/2vRyLAPxyEs>

SIMULAÇÕES

<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric

http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/efCompt/apsEC/ec_10_08_05.swf

Apêndices

Apêndice A

O PRODUTO EDUCACIONAL

1 INTRODUÇÃO

Este Produto Educacional é resultado da pesquisa que desenvolvemos ao longo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física objetivando propor um material de apoio para outros professores de Física que atuam na Educação Básica, especificamente no Ensino Médio. Este material tem como propósito fornecer uma indicação de como podemos inserir, no ensino de Física, tópicos sobre o Efeito Compton, usando para este fim os passos da Sequência Didática sugerida.

O Produto consta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que propõe o uso das várias estratégias de ensino, como organizadores prévios e atividades de produção colaborativas que podem ser usadas como instrumentos facilitadores da Aprendizagem Significativa e de reflexão da avaliação formativa e somativa.

A UEPS faz parte de um manual que possui inicialmente uma discussão teórica sobre a importância do ensino do Efeito Compton nos conteúdos ensinados nos tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), trazendo assim uma discussão acerca da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, seguida dos passos sequenciais para o estudo do conteúdo de Física Moderna e Efeito Compton. O texto deste material de suporte ao professor proporciona também sugestões de como utilizar textos, vídeos, animações e simulações sobre FMC e o Efeito Compton.

O que diferencia nossa proposta da metodologia empregada por algumas outras é a utilização de vídeos, animações e de simuladores para apresentar os conteúdos, estratégia que difere daquelas adotadas tradicionalmente nos livros didáticos, tornando-a mais agradável e interessante para a leitura e o estudo dos adolescentes, e também para ser ministrada pelos professores.

O Produto Educacional contempla tópicos de Física Quântica que a maioria dos livros didáticos do Ensino Médio omitem como, por exemplo, o Efeito Compton, objetivo de nossa Dissertação, pois acreditamos ser esta uma falha

grave destas obras didáticas. Somos da opinião que a omissão do assunto supracitado não deva ocorrer, pois o mesmo é útil para que o estudante possa compreender a “Física como parte integrante da cultura contemporânea” (PCN, 1998), propiciando aos alunos formação adequada para compreender a tecnologia envolvida em suas atividades cotidianas.

Este material, também objetiva propiciar ao estudante do Ensino Médio formação que lhe habilite o entendimento de alguns outros princípios de Física Quântica, para que o discente seja capaz de tratá-la de forma acessível. Como exemplo, podemos citar alguns livros para ler, sobre este assunto, como textos didáticos: “Alice no país do quantum”, de Edward Gilmore, e “A face oculta da natureza”, de Anton Zeilinger.

Sobre a elaboração para aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, torna-se uma metodologia da qual o professor deve se apropriar, com o objetivo de oferecer subsídios que levem a construção de uma aprendizagem cada vez mais significativa, em detrimento da aprendizagem mecânica, de acordo com Moreira (2011, p. 02):

“com a intenção de contribuir para modificar, pelo menos em parte, essa situação, propõe-se neste trabalho a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. São sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula”.

Adiante, refletimos acerca das contribuições da proposta fundamentada nesta intervenção. Também anexamos os textos, disponibilizamos os links para a obtenção dos materiais, tais como vídeos, animações, mapas e simulações, utilizados na aplicação do Produto Educacional durante a intervenção. Ainda sobre os itens viabilizados, existem o pré-teste e o pós-teste que aplicamos e que serviram como instrumento para a avaliação dos discentes, além da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

2 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA E O EFEITO COMPTON

Até o final do século XIX os físicos acreditavam que a Física era uma ciência pronta e que pouca coisa de relevância ainda estava para ser descoberto,

porém com o surgimento da teoria da relatividade de Einstein e da quantização das ondas eletromagnéticas, de Max Planck surgiu a Física Moderna, ampliando os limitados horizontes da Física Clássica.

Embora a Física Clássica seja extremamente abrangente, a Física Moderna é capaz de explicar fenômenos que ocorrem em escalas atômicas e subatômicas, e de altíssimas velocidades, muito próximas à velocidade da luz. Os físicos do século XX perceberam que o conhecimento que existia até então era insuficiente para explicar fenômenos como o Efeito Fotoelétrico, ou a Radiação de Corpo Negro. Devido a essa ausência de explicação, diversas hipóteses começaram a ser levantadas sobre a natureza da luz e da matéria, bem como sobre a interação entre elas.

2.1 IMPORTANTES DESCOBERTAS DA FÍSICA MODERNA

Diversos experimentos marcaram a história e o desenvolvimento da Física Moderna. Dentre muitos, citaremos aqueles que nos levaram a uma compreensão mais aprofundada sobre a estrutura da matéria e dos átomos e sobre a natureza da luz. Temos abaixo, alguns exemplos, das importantes descobertas, que marcaram o início da Física Moderna:

- Wilhem Röntgen, em 1895, descobriu a existência dos Raios X, uma radiação invisível extremamente penetrante.
- Antoine Becquerel descobriu a existência da radioatividade em 1896.
- O físico alemão Max Planck, em 1900, propôs que a energia carregada pelo campo eletromagnético apresentava valores quantizados, múltiplos inteiros de uma quantidade mínima e constante.
- Albert Einstein, em 1905, propôs meio a Teoria da Relatividade, mostrando que referenciais que se movimentavam com velocidades muito altas, próximas à velocidade de propagação da luz, experimentam a passagem do tempo e a medida das distâncias de maneiras distintas.
- Em 1913, Niels Bohr propôs que os níveis de energia dos elétrons

espalhados ao redor dos núcleos atômicos são quantizados, isto é, sua energia é dada por um múltiplo inteiro de um valor mínimo.

- Em 1924, a dualidade onda-partícula, estabelecida pelo físico Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7º duque de Broglie, geralmente conhecido por Louis de Broglie, mostrou que qualquer corpo pode comportar-se como uma onda.
- A Mecânica Quântica surge em 1926, como resultado do trabalho de físicos como Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger.

A Física Moderna conseguiu explorar a natureza do mundo microscópico e das grandes velocidades relativísticas, fornecendo valiosas explicações para diversos fenômenos físicos que, até então, não eram compreendidos com a Física Clássica.

2.2 RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

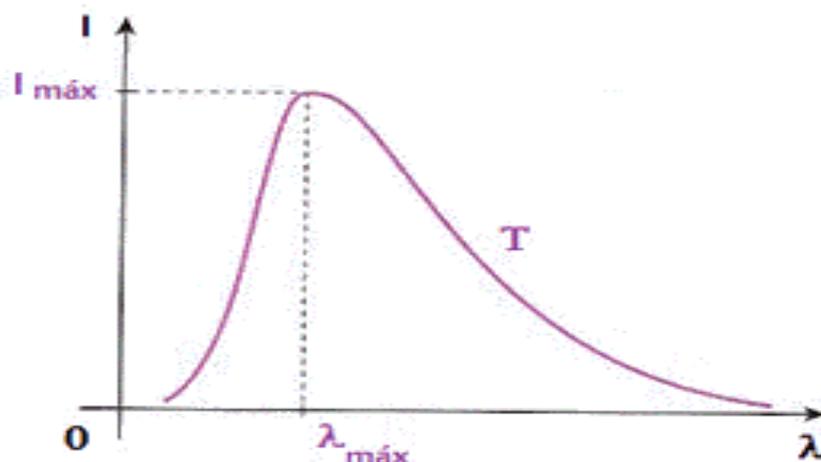
Na Física, corpo negro é qualquer corpo capaz de absorver toda a radiação que incide sobre ele, reemitindo-a em forma de radiação térmica, de acordo com sua temperatura. É um absorvedor perfeito, uma vez que seu poder de absorção é igual a 1.

No início do século XX existia um problema na radiação de corpo negro chamada catástrofe do ultravioleta, onde os dados experimentais não coincidiam com a teoria da época. Este problema, sobre radiação de corpo negro, consistia em um dos principais questionamentos em aberto da Física no início do século XX.

Estudar os corpos negros é de extrema importância para a Física, pois a radiação térmica que emite tem comportamento universal. A análise do espectro de emissão (Figura 2) desses corpos serviu de ponto de partida para o desenvolvimento das teorias de quantização de energia.

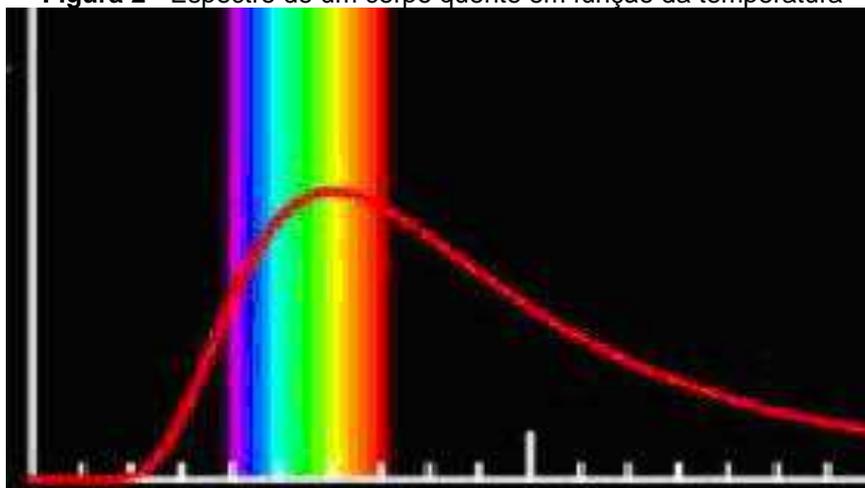
A Figura 1 apresenta a intensidade da radiação emitida por um Corpo Negro em função do comprimento de onda em determinada temperatura.

Figura 1 - Intensidade da radiação emitida em função do comprimento de onda



Fonte: https://www.sofisica.com.br/conteudos/fisicamoderna/FisicaQuantica/corpo_negro2.php

Figura 2 - Espectro de um corpo quente em função da temperatura



Fonte: https://static.mundoeducacao.bol.uol.com.br/mundoeducacao/conteudo_legenda/54c1128e154c2c856218fb74b7508c32.jpg

Analisando a Figura 1 notamos que:

- a radiação térmica emitida é composta por inúmeras radiações, distribuídas em uma faixa contínua de comprimentos de onda;
- há uma radiação, de certo comprimento de onda, que é emitida com máxima intensidade.

O fato do comportamento da intensidade da Radiação de Corpo Negro, em função do comprimento de onda previsto por Maxwell, ser muito diferente do obtido por meio de dados experimentais ficou conhecido, no século XIX, como catástrofe do violeta.

No início do século XX, Max Planck apresenta uma teoria inovadora, que ia de encontro com a teoria clássica aceita até então. Com o intuito de solucionar o problema, Planck propõe que a superfície de um Corpo Negro deve emitir energias capazes de assumir determinados valores. Matematicamente:

$$E = nhf$$

onde:

n = número quântico;

h = constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s);

f = frequência do oscilador.

Na equação cada valor de n representa um estado quântico, e será sempre um múltiplo de hf, portanto a energia é quantizada, isto é, só pode assumir certos valores. Logo, a emissão e absorção de energia também ocorrem em quantidades quantizadas.

Cada porção discreta de energia foi denominada quantum, termo que vem do latim, cujo plural é quanta. Por este motivo, a teoria de Planck ganhou popularidade com o nome de Teoria dos Quanta.

A ideia do quantum, mais tarde denominado fóton, apresentou-se muito útil para esclarecer diversos outros fenômenos que a Física Clássica não era capaz de explicar corretamente.

2.3 DUALIDADE ONDA PARTÍCULA

Para o modelo ondulatório proposto por Maxwell, a luz é uma onda eletromagnética e seu modelo quântico é um conjunto de partículas chamadas fótons, que nos traz uma indagação; afinal, a luz é uma onda ou partícula.

Na Física não temos uma resposta única a essa pergunta. Podemos afirmar, apenas, que depende do fenômeno, pois, a luz ora se comporta como onda, ora como partícula. Por este motivo, não podemos afirmar nada sobre o que a luz de fato é, porém, como ela se comporta em determinados fenômenos.

Em alguns fenômenos físicos como, a interferência e a difração da luz, são explicados pelo modelo ondulatório. Já o Efeito Fotoelétrico e o Efeito

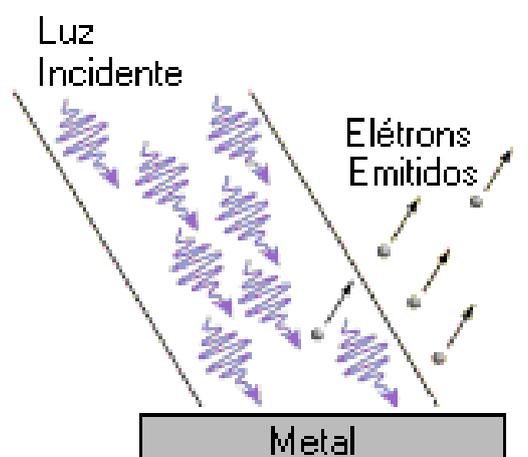
Compton, só podem ser explicados corretamente, fazendo o uso do modelo quântico de fótons. Devido a isto, ambos os modelos são importantes e complementares. Chamamos de dualidade onda-partícula esse duplo comportamento da luz.

Ressalte-se que tanto a luz quanto as outras radiações eletromagnéticas não podem exibir os dois comportamentos simultaneamente. Sendo esse o princípio da Complementaridade proposto por Niels Bohr.

2.4 EFEITO FOTOELÉTRICO

O Efeito Fotoelétrico foi descoberto por Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887 e pode ser descrito de uma forma bem simples. A Radiação ou luz incide sobre um material e, se tiver energia suficiente, consegue arrancar elétrons (Figura 3). Em geral, este efeito é obtido usando-se metais como alvo.

Figura 3 - Radiação incidente no metal acima de determinada frequência provoca ejeção de elétrons.



Energia do Fóton Incidente

$$E = h.f$$

Fonte: <http://www.comciencia.br/dossies-1-2/reportagens/2005/03/img/cleves.jpg>

Na Figura 4, temos a ilustração de um aparelho que possibilita observarmos o Efeito Fotoelétrico:

Figura 4 - Esquema de ampola de vidro usada no estudo do Efeito Fotoelétrico



Fonte:

http://4.bp.blogspot.com/M5bLCYAgNAw/UkUP11p7QfI/AAAAAAAAAAs/Nd3IKyS_J38/s400/fsica.png

Na Figura 4, a placa metálica é iluminada por uma luz com frequência f , da superfície metálica no interior de um tubo mantido a vácuo, e elétrons são ejetados dessa superfície. As placas são mantidas a uma diferença de potencial V . Se os elétrons ejetados possuírem energia suficiente para atingir o coletor, serão capturados, que será observado na forma de uma corrente elétrica i , que é registrada no amperímetro A . A frequência f , a intensidade I da luz, a diferença de potencial V e o material do emissor podem variar.

Listamos abaixo, os resultados experimentais obtidos nesse experimento:

- A corrente elétrica medida no amperímetro surge quase instantaneamente ao processo de iluminação da superfície emissora, mesmo que a luz incidente tenha baixa intensidade. O atraso entre o tempo de iluminação e o surgimento da corrente elétrica é da ordem de 10^{-9} s e independe da intensidade da luz incidente.
- Se a frequência e a ddp, forem mantidas constantes, a corrente elétrica será diretamente proporcional à intensidade da luz incidente.
- Se a frequência e a intensidade da luz incidente forem constantes, a corrente irá diminuir à medida que a ddp aumentar. A corrente elétrica cessa para determinado valor de V , denominado potencial elétrico de frenagem ou potencial elétrico de corte, V_0 , que independe da intensidade da luz incidente.

- Dependendo do material emissor, o potencial de frenagem sofrerá variação linear com a frequência, de acordo com a equação:

$$eV_0 = hf - ew_0$$

onde w_0 é uma constante denominada função trabalho sendo, portanto, função do material. Lembrando que h é a constante de Planck, cujo valor é $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, e e é a carga do elétron ($e = 1,6 \times 10^{-19}$ C).

- Para cada material, existe uma frequência de corte ou limiar de frequência, abaixo da qual os elétrons não são emitidos, não importando a intensidade da luz incidente.

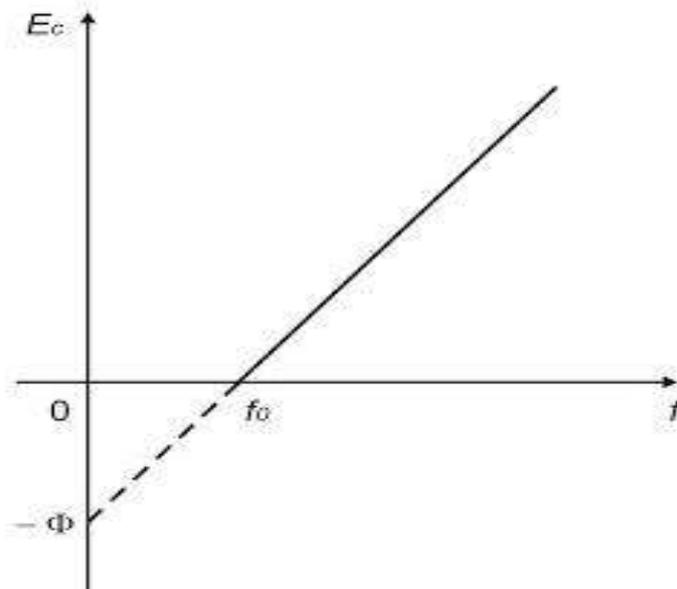
Albert Einstein_(1879-1955), propôs uma explicação para o fenômeno, ele sugeriu tratar a luz como partícula, e não como onda, a luz seria *Pacotes de energia*, os *quanta*, ou *fótons*. Ao descrever o Efeito Fotoelétrico, em 1905, ele afirmou que (HELERBROCK,2020):

- A taxa de emissão de fotoelétrons é diretamente proporcional à intensidade da luz incidente.
- A radiação é formada por *quanta* (fótons). Cada elétron absorve **apenas um fóton**.
- Para que um elétron escape da superfície de um metal, deve-se fazer um trabalho contra as forças que o fixam aí, ou seja, os fotoelétrons devem adquirir energia suficiente para serem ejetados.
- A energia absorvida em excesso aparece na forma de energia cinética.

$$h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{m \cdot v^2}{2} + \varphi \quad E_{cMÁX} = e \cdot V_0$$

- Diagrama da Energia Cinética máxima em função da frequência (Figura 5).

Figura 5 - Energia em função da frequência no Efeito Fotoelétrico.



Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_JJJ4o4Jcg48/TOzQj94OBI/AAAAAAAAAYYI/Wf5bmTiGm3I/s320/tabela22.jpg

Tomemos como exemplo a cor vermelha, que tem baixa frequência (ou grande comprimento de onda λ), os fótons de luz vermelha têm baixa energia e não conseguem arrancar elétrons. Não importa se aumentarmos a intensidade da luz, o que fazemos com tal atitude é aumentar o número de fótons *vermelhos*, que incidem sobre a placa, porém cada um continuaria com baixa energia e não arrancaria elétrons.

Já os fótons de luz azul, de maior frequência, têm energia suficiente para arrancar elétrons. Aumentando a intensidade de luz azul, os elétrons continuariam a sair com a mesma Energia Cinética porque cada fóton *azul*, individualmente, possui a mesma energia de antes, e continuaria transferindo a mesma energia ao elétron arrancado.

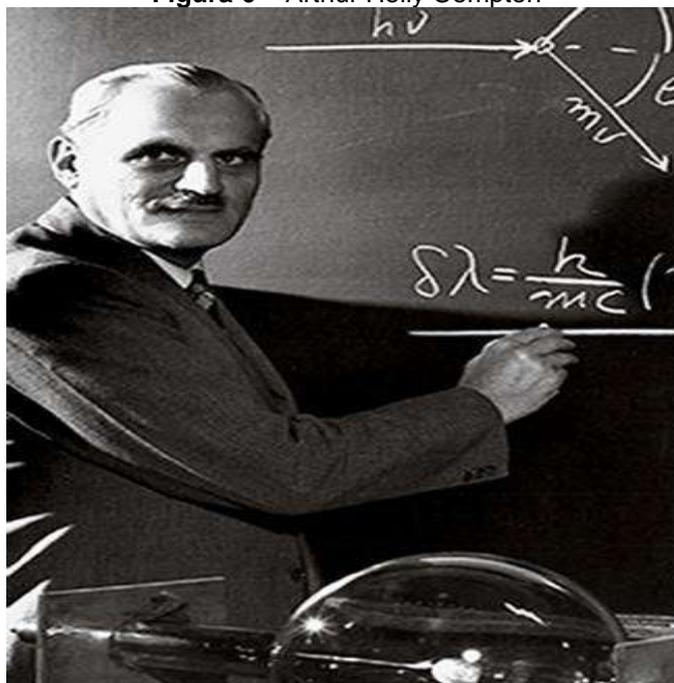
Desta forma, Einstein explicou o fenômeno. Curioso saber que a mesma quantização que lhe deu o Nobel foi responsável pelas maiores divergências que ele veio a ter na vida. Einstein simplesmente não concordava com as ideias da Física Quântica, origem da famosa frase a ele atribuída: **“Deus não joga dados!”** (LEHNER).

2.5 EFEITO COMPTON

2.5.1 História

O efeito, observado por Arthur Holly Compton, (1892 – 1962), físico americano (Figura 6), em 1923, mostra que a luz não pode ser explicada simplesmente como um fenômeno ondulatório.

Figura 6 – Arthur Holly Compton



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/efeito-compton.htm>

Através da realização de um experimento, ele conseguiu explicar a natureza corpuscular da radiação. Compton projetou um mecanismo onde fez um feixe de raios X, de comprimento de onda λ , incidir sobre um alvo de grafite. Com isso, percebeu que havia um espalhamento, porém, de início, não notou nada errado, já que as medidas indicavam frequências diferentes entre o feixe espalhado e o feixe incidente, após os raios X atravessarem o alvo, pois a teoria ondulatória indicava o conceito como certo, uma vez que a frequência de uma onda não é alterada por fenômenos que acontecem com ela.

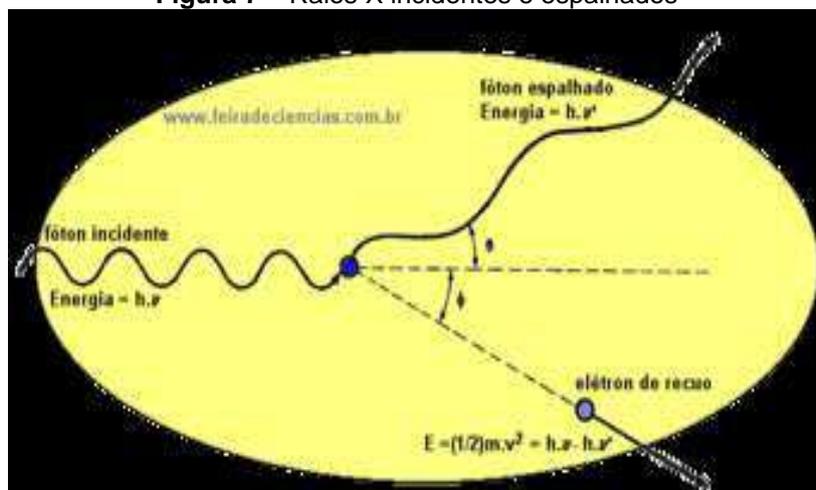
Durante o experimento, constatou-se que a frequência dos raios X espalhados era sempre menor do que a frequência dos raios X incidentes e

dependiam do ângulo de desvio (Figura 7).

A grande importância do Efeito Compton é mostrar que a luz não pode ser explicada meramente como um fenômeno ondulatório, ocorrendo em virtude da natureza dual da luz, que neste fenômeno comporta-se como partícula no qual os raios x recebem a denominação de fótons.

O Efeito Compton foi observado por Arthur Holly Compton em 1923, e posteriormente verificado por seu aluno Y. H. Woo nos anos seguintes.

Figura 7 – Raios X incidentes e espalhados



Fonte: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto72.asp>

2.5.2 Os Resultados

Para explicar o que foi observado durante seu experimento, o cientista inspirou-se na abordagem proposta por Einstein, interpretando os raios X como sendo feixes de partículas, e a interação como sendo uma colisão de partículas. De acordo com Einstein e Planck, o valor da energia do fóton incidente era dado por hf , e o fóton espalhado, em respeito à lei da conservação da energia, teria elétron.

Compton percebeu que a abordagem funcionava perfeitamente, mas foi ainda mais longe, investigando ainda a interação do ponto de vista da Lei da Conservação do Momento Linear.

Com tal abordagem pôde concluir que o momento linear do fóton era definido como

$$Q_{\text{fóton}} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Essa lei valia para diversos ângulos de espalhamento, sendo:

- **c**= velocidade da luz no vácuo;
- **h**= constante de Planck;
- **λ**= comprimento de onda da radiação.

O cientista desenvolveu, em colaboração com o inventor da câmara de nuvens, Charles Wilson, um experimento no qual foi possível obter as trajetórias dos fótons e elétrons espalhados. Ele também desenvolveu um método que provava que o fóton e o elétron eram espalhados simultaneamente, o que impedia a busca por explicações que envolvessem a absorção e a posterior emissão da radiação.

3 PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR FÍSICA MODERNA COM ÊNFASE NO EFEITO COMPTON

Objetivo: Inserir o tema Efeito Compton no Ensino Médio

INTRODUÇÃO

Público alvo

Participaram 38 alunos da turma do 3º ano do Ensino Médio, de forma efetiva e colaborativa havendo, durante o decorrer da pesquisa, algumas desistências.

O questionário foi aplicado no pré-teste e no teste final de forma individualizada, sem a utilização de qualquer material ou pesquisa na internet e/ou apoio de colegas e do próprio professor responsável pela pesquisa. Os alunos foram avisados previamente que o questionário seria aplicado novamente.

Inserção do tema Efeito Compton

A inserção do tema Efeito Compton em Física Moderna e Contemporânea provocará modernização curricular no Ensino Médio, conforme preconiza a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que traz como requisito que o aluno possa criar habilidades como:

- ✚ EM13CNT103 - Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica;**
- ✚ EM13CNT205 - Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.**

Somos de parecer que, através dessas habilidades, será possível construir nos discentes conhecimentos de radiações e seus efeitos, com a inclusão do tema Efeito Compton no currículo. Com a opção de trabalhar a área de Ciências da Natureza como um todo, o componente curricular de Física vem perdendo seu espaço, sendo um constante desafio para o professor a inclusão do tema supracitado. Para isso, elaboramos e aplicamos uma Sequência Didática para o Ensino Médio, composta de várias Unidades, apresentando, de forma diferenciada e dialogada, levando em consideração as indagações e conhecimentos prévios dos estudantes, além de fazer uma investigação da aprendizagem.

Segundo Moreira (2004), “o maior valor da UEPS reside no fato de que é uma sequência didática teoricamente fundamentada e, por isso, com maior potencial de êxito na facilitação da aprendizagem significativa”, sendo este o motivo pelo qual escolhemos este procedimento para o ensino e aprendizagem.

Na aplicação desta Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) objetivamos a inserção do tema Efeito Compton, no conteúdo Física Moderna, no Ensino Médio.

PARTE I

Sequência Didática

O Produto Educacional consta de uma Sequência Didática com a intenção de facilitar o aprendizado do tema Efeito Compton e consta das seguintes partes:

1. Primeira Etapa

Situação inicial:

A Sequência Didática foi iniciada com a leitura do texto “Como construir Mapas Conceituais?” do Prof. Dr. Marco Antônio Moreira, seguido de explicação, como subsídio para que possamos efetuar este trabalho com os alunos, sobre o assunto Física Moderna.

O Mapa Conceitual foi construído através dos seguintes passos:

1. Fizemos algumas perguntas aos alunos, tais como:

- a) Você conhece a Física Moderna?
- b) Do que a luz é composta?
- c) Qual a natureza das radiações eletromagnéticas, como a luz?
- d) Quais os tipos de ondas?
- e) Teria sentido pensar em comportamento dual da luz?
- e) Você sabe o que é o Efeito Fotoelétrico?
- f) Você já ouviu falar em Efeito Compton?

2. Fizemos as anotações no Mapa Conceitual, em conjunto com a turma, das respostas/conceitos que os discentes acharam mais importantes.

Finalizando a Primeira Etapa pedimos a cada grupo que explicasse o mapa que foi construído, através de um pequeno texto. Esse texto foi entregue ao professor, ao final da atividade inicial.

3. Após a construção do mapa será aplicada uma avaliação diagnóstica individual com questões que possam evidenciar os conhecimentos que os alunos possuem sobre o assunto de Física Moderna e Efeito Compton.

Número de Aulas: 03 (três) aulas.

2. Segunda Etapa

Situações-problemas:

As respostas às situações-problemas, ou seja, às perguntas feitas aos discentes, do item **a** ao **f**, da etapa anterior, que foram propostas devido a necessidade de evidenciar a natureza dos conhecimentos prévios dos alunos, deverão ser discutidas em classe com a intervenção do professor. Não conseguimos fechar o assunto, com argumentos conclusivos, para os discentes.

A seguir, distribuímos cópias individuais do texto “Onda ou Partícula? Uma questão de interpretação” (OLIVEIRA, 2013); da publicação “O que exatamente é a Luz?” (KENSKI, 2018) e ainda da obra “Resolvido mistério sobre natureza fundamental da luz”, (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012) adaptados da internet, dando tempo aos alunos para que leiam os textos e, após, discutam entre si, em seus grupos.

Número de aulas: 03 (três) aulas.

3. Terceira Etapa

Apresentação de vídeos:

Iniciamos a aula com uma revisão sobre o que foi ministrado até agora sobre Física Moderna. A seguir, fizemos uma apresentação de vídeos, que trouxeram conceitos sobre Física Moderna, mas que deveriam ser descobertos pelos discentes. Foi, então, solicitado aos alunos que fizessem a discussão em grupos e, após isto foi solicitado que escrevessem um texto, por grupo, que explicitasse os conhecimentos que estavam evidenciados nos vídeos, sendo esta, uma tarefa grupal, pois isso exigiu dos discentes a capacidade de negociar conceitos entre eles, tornando a aprendizagem mais significativa e coletiva. Esses textos foram entregues ao professor.

Número de aulas: 03 (três) aulas.

4. Quarta Etapa

Nova situação-problema, em nível de maior complexidade:

A aula foi iniciada com a apresentação de simulações, animações e vídeos sobre o Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton, fazendo uma exposição inicial, de como as simulações funcionam, dando exemplos de aplicações desses efeitos, no cotidiano, explicando o que são esses fenômenos e como acontecem. Em seguida, foi solicitado que os discentes se reagrupassem e que cada equipe procedesse a construção de um Mapa Conceitual sobre os assuntos explanados anteriormente. Os Mapas deviam ser apresentados à turma para discussão e avaliação e, dependendo dessa avaliação, os diagramas deviam ser refeitos

pelos alunos e guardados pelos grupos para posterior atualização e entrega ao professor.

Número de aulas: 03 (três) aulas.

5. Quinta Etapa

Avaliação somativa individual:

Esta atividade foi anunciada previamente aos alunos. Aplicamos a mesma avaliação diagnóstica utilizada na primeira etapa, com questões que foram escolhidas com a finalidade de analisar a compreensão dos discentes sobre o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton, e questões que pudessem evidenciar a construção das habilidades preconizadas pela BNCC, **“EM13CNT103 - Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.”** e, também **“EM13CNT205 Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências”**. Após isso, foi feita a entrega dos testes para cada aluno fazer a correção das questões, sendo o gabarito dado pelo professor. Em seguida, os testes foram entregues novamente ao professor para que fossem avaliados e atribuída uma nota. O professor explicou que a avaliação foi feita usando a metodologia da Teoria de Resposta ao Item (TRI).

Número de aulas: 03 (três) aulas.

6. Sexta Etapa

Aula expositiva dialogada integradora final:

Nesta etapa fizemos revisão de todo o conteúdo da UEPS, dando ênfase ao potencial descritivo e explicativo ao Efeito Fotoelétrico e ao Efeito Compton, destacando as potencialidades desses conhecimentos, aplicações e usos do mesmo, assim como seu potencial de aplicação na busca de novas tecnologias.

Ao final da exposição foi solicitado aos discentes que se reunissem em seus grupos e atualizassem o Mapa Conceitual que havia sido construído na quarta etapa, levando em consideração tudo o que foi visto durante a 5ª e 6ª etapas, com a agregação de exemplos e aplicações no cotidiano. Esses mapas foram analisados pelo professor e pelos integrantes de cada grupo para que, se necessário, as equipes fizessem as alterações necessárias e entregassem ao docente no final desta etapa, quando foi aplicada uma pesquisa entre os alunos, que objetivou avaliar se a metodologia aplicada ajudou na compreensão dos conteúdos explanados.

Número de aulas: 03 (três) aulas.

7. Sétima Etapa

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação foi baseada nos trabalhos feitos pelos alunos, nas observações feitas durante as aulas e na avaliação somativa individual, cujo peso não será superior a 50%.

8. Oitava Etapa

Avaliação da própria UEPS:

A avaliação da UEPS foi feita de forma contínua, em função dos resultados de aprendizagem obtidos, reformulando algumas atividades, quando necessário.

Total de horas-aula da Parte I da UEPS: 18 (dezoito) aulas

4 DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR FÍSICA MODERNA COM ÊNFASE NO EFEITO COMPTON

4.1 PRIMEIRA ETAPA

Inicialmente foi feita pelo professor uma exposição aos alunos sobre o desenvolvimento e aplicação da metodologia, evidenciando que os conceitos específicos de Física Moderna e Contemporânea, enfatizando o Efeito Compton, explicando que esse trabalho será realizado por meio de etapas, que se organizam em torno do tema principal. Durante a exposição foram explanados o objetivo da intervenção e o percurso metodológico que foi utilizado para desenvolver a estratégia de ensino proposta.

Este trabalho é uma proposta didática e seus critérios, tais como, formas de avaliação e demais elementos práticos das atividades desenvolvidas. Vale ressaltar que para aprimorar o processo ensino-aprendizagem, é necessário que o docente promova uma discussão sobre os temas trabalhados e promova uma mediação social, onde o aluno interaja com os demais alunos e com o próprio professor, como foi feito em nossa turma.

Inicialmente, iremos construir um Mapa Conceitual.

- **Mas para que servem os Mapas Conceituais?**
- **O que são os Mapas Conceituais?**
- **Por que eles foram inseridos neste Produto Educacional?**

Com este Produto Educacional, um de nossos objetivos é atingir a Aprendizagem Significativa e os Mapas Conceituais são propostos como uma estratégia potencialmente facilitadora deste tipo de aprendizagem. São chamados, muitas vezes, de mapas de conceitos, sendo diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos (MOREIRA, 2012).

Desse modo iniciamos este momento com a apresentação do texto:

Como construir um Mapa Conceitual

1. Identifique os conceitos-chave do conteúdo que vai mapear e ponha-os em uma lista. Limite entre 6 e 10 o número de conceitos.
2. Ordene os conceitos, colocando o(s) mais geral(is), mais inclusivo(s), no topo do Mapa e, gradualmente, vá agregando os demais até completar o diagrama. Algumas vezes é difícil identificar os conceitos mais gerais, mais inclusivos; nesse caso é útil analisar o contexto no qual os conceitos estão sendo considerados ou ter uma ideia da situação em que tais conceitos devem ser ordenados.
3. Se o mapa se refere, por exemplo, a um parágrafo de um texto, o número de conceitos fica limitado pelo próprio parágrafo. Se o mapa incorpora também o seu conhecimento sobre o assunto, além do contido no texto, conceitos mais específicos podem ser incluídos no mapa.
4. Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras-chave que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras-chave devem sugerir uma proposição que expresse o significado da relação.
5. Setas podem ser usadas quando se quer dar um sentido a uma relação. No entanto, o uso de muitas setas acaba por transformar o mapa conceitual em um diagrama de fluxo.
6. Evite palavras que apenas indiquem relações triviais entre os conceitos. Busque relações horizontais e cruzadas.
7. Exemplos podem ser agregados ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes. Em geral, os exemplos ficam na parte inferior do mapa.
8. Geralmente, o primeiro intento de mapa tem simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos acabam mal situados em relação a outros que estão mais relacionados. Nesse caso, é útil reconstruir o mapa.
9. Talvez neste ponto você já comece a imaginar outras maneiras de fazer

o mapa, outros modos de hierarquizar os conceitos. Lembre-se que não há um único modo de traçar um Mapa Conceitual. À medida que muda sua compreensão sobre as relações entre os conceitos, ou à medida que você aprende, seu mapa também muda. **Um Mapa Conceitual é um instrumento dinâmico, refletindo a compreensão de quem o faz no momento em que o faz.**

10. Não se preocupe com “começo, meio e fim”, **o Mapa Conceitual é estrutural, não sequencial.** O mapa deve refletir a estrutura conceitual hierárquica do que está mapeado.
11. Compartilhe seu mapa com colegas e examine os mapas deles. Pergunte o que significam as relações, questione a localização de certos conceitos, a inclusão de alguns que não lhe parecem importantes, a omissão de outros que você julga fundamentais. **O Mapa Conceitual é um bom instrumento para compartilhar, trocar e “negociar” significados.**

Posteriormente foi feita uma discussão sobre os benefícios que a construção de *Mapas Conceituais pôde oferecer para a compreensão dos mais variados assuntos.

Após este momento passamos a relacionar no quadro branco as perguntas norteadoras, as quais tiveram que ser respondidas pelos grupos com o intuito de construir o Mapa Conceitual:

- a) Você conhece a Física Moderna?
- b) Do que a luz é composta?
- c) Qual a natureza das radiações eletromagnéticas, como a luz?
- d) Quais os tipos de ondas?
- e) Teria sentido pensar em comportamento dual da luz?

*Há aplicativos especialmente desenhados para a construção de mapas conceituais. O mais conhecido deles é o Cmap Tools: <http://cmap.ihmc.us>
Fonte: Marco Antônio Moreira - Instituto de Física - UFRGS 90501-970 Porto Alegre - RS, Brasil
moreira@if.ufrgs.br <http://moreira.if.ufrgs.br>

e) Você sabe o que é o Efeito Fotoelétrico?

f) Você já ouviu falar em Efeito Compton?

Foi feita a divisão da turma em grupos de, no máximo, 10 alunos, denominados de Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3 e Grupo 4. Após este momento os grupos passaram à discussão das respostas fornecidas à cada uma das perguntas listadas. Para esse momento disponibilizamos 25 minutos, sendo que a discussão podia ser feita em sala ou em outro local previamente escolhido. Terminado o tempo, os alunos retornaram à sala e, com a mediação do professor, foi feita a construção de um Mapa Conceitual, para a turma, sobre a FMC e o Efeito Compton, de forma coletiva, iniciando com as respostas fornecidas iguais por todos os grupos e, após isso, negociando com cada grupo qual o melhor lugar para colocar as respostas individuais dos grupos, discutindo com toda a turma se essas respostas tinham valor para a construção do mapa, descartando aquelas que a maioria achava que não se aplicava à questão.

A Figura 8 mostra os alunos lendo e interpretando os textos apresentados.

Figura 8 – Alunos lendo os textos



Fonte: Arquivo do Autor

Com o mapa pronto, solicitamos que cada grupo escrevesse um pequeno texto com a explicação do mapa. Ressaltamos que essa tarefa deveria ser feita em grupo, onde cada um apresentaria seu entendimento sobre o mapa construído, lembrando que o objetivo desta tarefa é fazer com que os alunos interagissem e negociassem os conceitos; tornando assim a aprendizagem mais significativa. As equipes tiveram o tempo de 15 minutos para executarem esta tarefa.

Finalizamos esta etapa com a aplicação do primeiro teste de avaliação diagnóstica individual, que teve como objetivo diagnosticar os conhecimentos prévios que os alunos possuíam sobre o assunto em questão. A Figura 9 mostra os alunos em grupo respondendo às perguntas norteadoras.

Figura 9 – Alunos em grupos respondendo às Perguntas Norteadoras



Fonte: Arquivo do Autor

4.2 SEGUNDA ETAPA

Iniciamos esta etapa com os grupos devolvendo os textos elaborados, contendo as respostas às questões norteadoras apresentadas anteriormente. Continuamos as atividades com a discussão e análise da validade das respostas, no grande grupo; propusemos que cada grupo fizesse a análise das suas respostas, orientando-os a fazerem as correções que julgassem necessárias; os grupos devolveram ao professor as respostas corrigidas após 60 minutos. Reforçamos a necessidade da leitura dos tópicos contidos nos Textos de Apoio.

Após a devolução das respostas corrigidas, fizemos a distribuição dos textos abaixo, para que os alunos lessem e discutissem em grupo.

A seguir listamos os títulos e transcrevemos os textos para que todos tenham acesso a eles a qualquer momento (OLIVEIRA, 2013):

1. ONDA OU PARTÍCULA? UMA QUESTÃO DE INTERPRETAÇÃO

Na coluna do mês anterior, discuti o fato de que a compreensão dos fenômenos físicos não se limita apenas a aplicações de fórmulas matemáticas, mas envolve

também o entendimento de como os modelos são elaborados para se interpretar a natureza. A construção do conhecimento físico passa justamente pela criação de interpretações formuladas em teorias (que, na sua grande maioria, podem ser expressas por equações matemáticas) e pela experimentação, que coloca à prova os modelos elaborados.

Nesse sentido, a mecânica quântica, teoria física que descreve os fenômenos no domínio da escala atômica, talvez seja a mais desafiante de todas. A mecânica quântica, construída ao longo do século 20, trouxe mudanças profundas e radicais na maneira de interpretarmos os fenômenos físicos. Essa teoria desafia a nossa forma cotidiana de pensar.

No pequeno mundo das partículas elementares, dos átomos, das moléculas *etc.*, o nosso bom senso e a lógica usual não podem ser aplicados.

Desde que nascemos, construímos certa percepção do mundo ao nosso redor. Por exemplo, quando aprendemos o que é uma bola, descobrimos que ela tem forma esférica, que tem determinado tamanho, massa e cor e que podemos tocá-la, cheirá-la e até lambê-la. Em outras situações, entendemos o que são ondas observando oscilações na superfície de um lago ou no mar. Estas nos mostram um movimento contínuo de matéria, que, se tocada, faz com que as oscilações se dividam e gerem novas ondas.

Os conceitos de onda e partícula (representada, nesse caso, pela bola) são bastante distintos em nosso cotidiano. Partículas ocupam determinado lugar no espaço e ondas se propagam por todo o espaço. Partículas, quando colidem, como duas bolas de bilhar, assumem trajetórias definidas, que podem ser perfeitamente calculadas a partir das leis do movimento estabelecidas por Newton. Ondas, quando passam por fendas, criam novas frentes de ondas (fenômeno da difração), que, ao interagirem, podem sofrer interferência construtiva (como se as ondas se reforçassem) ou destrutiva (como se elas se anulassem).

Um comportamento característico das partículas é que, quando elas colidem, como duas bolas de bilhar, assumem trajetórias bem definidas, que podem ser calculadas por meio das leis do movimento de Newton.

Esses comportamentos característicos de partículas e ondas permitem perceber que elas são objetos distintos. Uma partícula não tem as características de uma onda e vice-versa.

Contudo, quando a observação ocorre na escala nanométrica (um nanômetro equivale a um milionésimo de milímetro), ou seja, no nanomundo, onde átomos e moléculas interagem, os objetos se comportam de forma bem diferente daquela com a qual estamos acostumados em nosso cotidiano. No reino da mecânica quântica, o fato de um objeto se comportar como onda ou partícula depende do ponto de vista do observador (OLIVEIRA, 2013).

2. LUZ É ONDA OU PARTÍCULA?

No final do século 19 e começo do século 20, estava estabelecido que a luz era uma onda eletromagnética. Observava-se que a luz apresentava os fenômenos de interferência e difração, característicos do comportamento de uma onda. As equações do eletromagnetismo, desenvolvidas pelo físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), demonstravam que a luz era a propagação ondulatória da combinação de campos elétricos e magnéticos.

Podemos verificar o fenômeno da difração na luz se incidirmos, por exemplo, uma luz branca, como a de uma lanterna, na superfície de um CD gravado. A luz refletida mostrará cores diferentes à medida que mudarmos o ângulo de incidência da luz sobre o CD. Isso acontece porque, ao interagir com os sulcos entre as trilhas gravadas na superfície do CD (que têm aproximadamente a mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da luz visível), as diversas frequências (cores) que compõem o espectro luminoso se dividem e passam a se propagar em novas frentes de ondas.

A luz branca que incide sobre a superfície de um CD gravado interage com os sulcos formados entre as trilhas da gravação e passa a se propagar em novas frentes de ondas com cores variadas, evidenciando o fenômeno da difração da luz.

Por outro lado, um fenômeno da luz primeiramente observado pelo físico Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) e confirmado pelo físico alemão Henrich Hertz (1857-1894) não tinha uma explicação plausível. Trata-se do efeito fotoelétrico, ou seja, o surgimento de corrente elétrica quando se incide luz sobre

um metal. O curioso desse efeito é que ele somente ocorre em frequências da luz acima de determinado valor. Se você incidir, por exemplo, uma luz vermelha, não importando a intensidade (quantidade) de luz, não haverá corrente. Mas, se você usar uma luz azul, a corrente aparecerá, mesmo com intensidade de luz menor. Esse resultado contradizia o que a teoria ondulatória da luz previa na época, pois a corrente deveria surgir com qualquer cor, dependendo apenas da intensidade.

Atualmente, células fotoelétricas são utilizadas em diversas aplicações. As portas automáticas, muito comuns em *shopping centers*, são um exemplo. Quando obstruímos a passagem da luz que incide sobre a fotocélula, a corrente deixa de fluir e se ativa o dispositivo para abrir a porta.

Esse fenômeno aplicado tão corriqueiramente nos dias de hoje precisou de uma ideia revolucionária para ser compreendido. Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) explicou o efeito fotoelétrico introduzindo o conceito de *quantum* de luz, que mais tarde ficou conhecido como fóton.

Segundo Einstein, para remover um elétron ligado aos átomos de metal, seria necessário fornecer energia suficiente para que ele escapasse do material. Essa energia deveria ser proporcional à frequência da luz incidente multiplicada por uma constante física fundamental chamada constante de Planck – introduzida alguns anos antes pelo físico alemão Max Planck (1858-1947) para explicar a radiação do corpo negro.

Dessa forma, Einstein propôs que a luz se comportava como se fosse um fluxo de partículas de energia, ao contrário do que todos os experimentos sobre a natureza da luz tinham mostrado (OLIVEIRA, 2013).

3. ELÉTRONS SÃO PARTÍCULAS OU ONDAS?

Em 1897, o físico britânico J. J. Thomson (1856-1940) descobriu a primeira partícula fundamental: o elétron. Suas experiências, realizadas com tubos de raios catódicos, dispositivos semelhantes aos usados nos antigos tubos de aparelhos de televisão, mostraram que havia uma partícula que sentia a presença de campos elétricos. Naquele momento, ele conseguiu medir o valor da razão carga/massa do elétron. O valor da carga do elétron foi determinado

posteriormente pelo físico estadunidense Robert A. Millikan (1868-1953).

Em 1924, o físico francês Louis de Broglie (1892-1987) apresentou em sua tese de doutorado uma hipótese revolucionária para explicar a natureza das partículas constituintes da matéria. Ele propôs que é possível associar uma onda a uma partícula em movimento, o que ficou conhecido como onda de matéria de Broglie.

Em 1927, o físico estadunidense Clinton J. Davisson (1881-1958) e colaboradores observaram a difração de elétrons em cristais. Em 1931, o físico britânico George P. Thomson (1892-1975) confirmou os resultados de Davisson e comprovou definitivamente a hipótese de Louis de Broglie. Em 1937, Davisson e Thomson ganharam o prêmio Nobel de Física por essa descoberta. Curiosamente, George Thomson era filho de J. J. Thomson. O pai descobriu o elétron como partícula e o filho mostrou que ele também poderia se comportar como onda.

Uma importante aplicação da difração de elétrons é a microscopia eletrônica, que utiliza elétrons para criar imagens de estruturas na escala atômica. Nesse caso, a separação que existe entre os átomos – que é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda associado aos elétrons – funciona como as ranhuras do CD para a luz visível. Ao interagir com os átomos, os elétrons difratam e as novas frentes de ondas que se formam permitem compor a imagem da estrutura que as gerou.

O Primeiro microscópio eletrônico, foi projetado pelo físico alemão Ernst Ruska (1906-1988), e o equipamento era capaz de criar imagens de estruturas na escala atômica baseando-se no fato de que os elétrons se comportavam como ondas.

De fato, elétrons, fótons e outros entes atômicos não são nem ondas nem partículas. Eles podem apresentar esse comportamento dualista, dependendo da forma como interagimos com eles. Embora isso possa parecer contraditório e ferir o nosso senso comum, os resultados experimentais comprovam esses fatos. A mecânica quântica nos levou a mudar a nossa visão de mundo.

Como disse um dos mais proeminentes físicos do século 20, Richard Feynman (1918-1988): “Eu acho que posso dizer seguramente que ninguém entende a

mecânica quântica. (...) Não fique dizendo para você mesmo, ‘Mas como ela pode ser assim?’ porque você entrará em um beco sem saída do qual ninguém escapou ainda. Ninguém sabe como a natureza pode ser assim.” (OLIVEIRA, 2013).

4. O QUE EXATAMENTE É A LUZ?

Na Bíblia, a criação começa pela luz, que inaugura o universo separando o dia da noite. É ela que nos permite enxergar o mundo e, no entanto, é quase impossível visualizar sua verdadeira natureza. Como se não bastasse, tem propriedades tão estranhas e contraditórias que confunde até os físicos mais experientes.

Até o começo do século XX, tudo indicava que a luz não passava de uma onda. Assim como o som ou o movimento do mar, ela é refletida ao encontrar algo como um espelho e sofre interferência ao cruzar com outras ondas de luz. A diferença é que a luminosidade se propaga no vácuo e não precisa ser conduzida por um meio como a água ou o ar.

Mas a concepção da luz como onda não conseguia explicar certos fenômenos, como o chamado efeito fotoelétrico: quando se emite luz contra determinados metais, observa-se que a superfície deles libera elétrons. O enigma começou a se desfazer em 1900, quando o físico alemão Max Planck publicou o primeiro estudo do que viria a ser conhecido como física quântica. Ele descobriu que os átomos não emitem energia de forma contínua, mas em minúsculas partículas chamadas quanta. Em 1905, Albert Einstein resolveu aplicar essa teoria à luz e percebeu que, se considerássemos que ela também é feita de partículas (posteriormente chamadas de fótons), o efeito fotoelétrico estaria explicado. A física quântica chocou toda a comunidade científica ao propor que a luz é simultaneamente onda e partícula, vibração e matéria – uma ambiguidade considerada absurda, incoerente, impossível. A teoria de Planck e Einstein já foi comprovada diversas vezes em laboratório. Mas ainda resta a pergunta: afinal, a luz é uma onda ou uma partícula? A física abraçou o mistério. “Quem disser que ela é onda está certo e quem disser que ela é partícula também está.

De acordo com o experimento, a luz apresenta características de uma ou de outra”, afirma o físico Adriano Natale, da Universidade Estadual Paulista (Unesp). “Não precisamos resolver o enigma. A luz funciona com uma lógica própria, diferente da que estamos acostumados”, diz Amir Caldeira, também físico, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) (KENSKI,2011).

5. RESOLVIDO MISTÉRIO SOBRE NATUREZA FUNDAMENTAL DA LUZ

Dualidade onda/partícula

Dois grupos de físicos, trabalhando de forma independente, garantem ter chegado a um veredito final sobre a chamada dualidade onda/partícula.

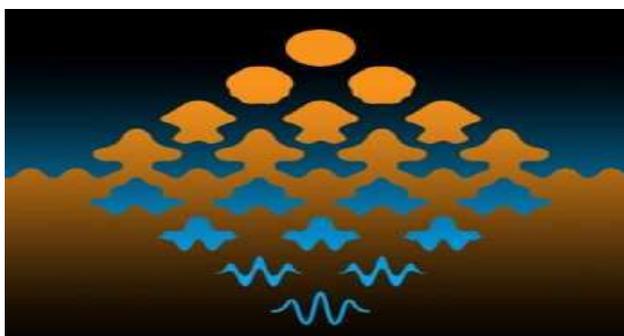
De Newton a Maxwell, a luz foi sempre considerada como uma

onda. Foi Einstein quem ganhou o Prêmio Nobel de Física demonstrando o efeito fotoelétrico, cuja explicação depende de que os fótons sejam vistos como partículas.

E daí pôde então surgir toda a mecânica quântica, que prevê que os fótons, os elementos fundamentais da luz, assim como qualquer outro "sistema quântico", podem ser partículas e ondas simultaneamente.

Contudo, as discussões sobre o assunto nunca foram suspensas porque o resultado - onda ou partícula - dependerá de como a medição é realizada. Meça um fóton de um jeito, e ele lhe dirá que é uma partícula. Altere a medição, e ele se transmutará em partícula.

Isso criou correntes entre os físicos que gostariam de encontrar uma resposta "mais fundamental" - uns defendendo que fótons são essencialmente partículas e outros defendendo que eles são essencialmente ondas.



Como a vida, e a mecânica quântica, imitam a arte, a eterna dualidade partícula/onda pode ser ilustrada no melhor estilo do artista M.C.Escher.
[Imagem: Alberto Peruzzo/Peter Shadbolt/Nicolas Brunner/Jamie Simmonds]

O que essas correntes buscam é a "verdadeira natureza da luz", porque parece esquisito demais ter que assumir que uma "coisa pode ser duas coisas".

As duas correntes assumem que o fóton se transmutaria em sua segunda personalidade sob condições a serem ainda especificadas ou descobertas (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).

Partículas e ondas simultaneamente

As equações da mecânica quântica, contudo, tranquilamente assentadas sobre uma história de extremo sucesso, preveem que uma partícula pode estar em diferentes lugares ao mesmo tempo.

Na verdade, a partícula pode estar até mesmo em infinitos lugares ao mesmo tempo - como uma onda. E não apenas "parecendo" com uma onda, mas efetivamente "sendo" uma onda.

O que dois grupos de físicos agora conseguiram fazer foi demonstrar experimentalmente que esse jogo tem mesmo que terminar empatado.

Experimentos similares foram realizados por Alberto Peruzzo e colegas da Universidade de Bristol, no Reino Unido, e Florian Kaiser e equipe, do instituto francês CNRS.



Este foi o equipamento usado pela equipe da Universidade de Bristol em sua demonstração da dualidade partícula/onda.
[Imagem: Fernando Traquino]

Pela primeira vez, os físicos conseguiram observar os fótons não como partículas ou como ondas, mas como partículas e como ondas, ao mesmo tempo.

Longe de ser uma curiosidade científica, o experimento terá largas implicações para todos os sistemas quânticos, entre os quais os qubits usados pela computação quântica, os processadores fotônicos e as comunicações por fibras ópticas (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).

Medição quântica

A observação da dualidade partícula/onda é baseada em uma proposta feita pelo físico John Wheeler, nos anos 1980.

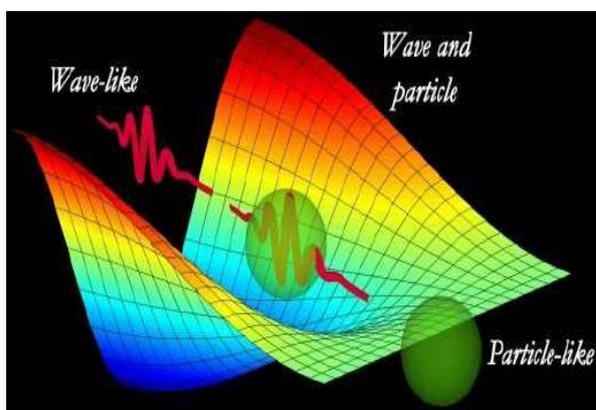
O experimento consiste em dividir os fótons e depois reuni-los novamente.

Dividir uma onda é trivial, mas não deveria ser possível dividir um fóton-partícula. A medição emprega dois interferômetros, o primeiro dividindo a onda de luz e o segundo reunindo-a novamente, e vendo o que acontece.

Quando um fóton, disparado individualmente, atravessa o primeiro interferômetro, o resultado no segundo interferômetro continua sendo um padrão de interferência, algo típico de ondas que se mesclam, mas nunca de partículas - ainda que o fóton não possa ser dividido. Assim fica demonstrada a famosa dualidade.

Mas o que falta é ver como e quando um fóton "vira" partícula, ou "vira" onda.

Para isso, os dois grupos idealizaram variações do experimento de Wheeler que permitem que o fóton seja rastreado o tempo todo e medido continuamente (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).



Na parte de trás, as oscilações sinusoidais indicam uma interferência de um único fóton - um fenômeno tipo onda. Na parte da frente da ilustração não há oscilações, indicando um comportamento típico das partículas. Entre esses dois extremos, o comportamento do fóton metamorfoseia-se continuamente de onda para partícula, indicando a superposição desses dois estados.
[Imagem: S. Tanzilli/CNRS]

Gato de Schrodinger indeciso

As duas equipes usaram configurações ligeiramente diferentes, mas ambas usaram pares de fótons entrelaçados, aqueles que Einstein chamou de fantasmagóricos, porque o que acontece com um afeta o outro, independentemente da distância que os separe.

Um dos fótons é observado e detectado em um interferômetro, enquanto o outro fóton "decide" se a medição será feita de forma a resultar em partícula ou em onda - lembre-se que o tipo da medição determina se o fóton responderá como

partícula ou como onda.

Como o que acontece com um fóton sempre interfere com seu companheiro entrelaçado, os cientistas podem observar o fóton continuamente se metamorfoseando entre partícula e onda.

Isso porque os dois compõem a estranha situação conhecida como gato de Schrodinger - um gato guardado dentro de uma caixa, com um frasco de veneno cuja abertura é determinada pelo comportamento da partícula quântica, estará vivo e morto ao mesmo tempo, porque a condição da partícula só será definida quando ela for medida, isto é, quando a caixa for aberta.

Mesmo se o fóton de controle decide como medir a partícula depois que ela já passou pelo primeiro interferômetro, ela continua "indecisa", mantendo sua natureza dúbia.

Em termos do gato de Schrodinger, isso significa que, mesmo depois que já deveria estar definido se o gato está vivo ou morto, continua sendo possível determinar se ele está vivo ou morto, ou se ele continua vivo e morto ao mesmo tempo (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).

Dualidade definitiva

A vantagem dos experimentos é que, em vez de medições individuais, eles permitem explorar a "passagem" da luz de comportamento tipo onda para um comportamento tipo partícula - uma "passagem" que é constante.

Como, nos experimentos, a situação repete-se ao infinito, torna-se possível observar que o fóton assume constantemente as duas condições - ou seja, o fóton é mesmo uma partícula e uma onda, ao mesmo tempo.

A mecânica quântica acertou de novo, reforçando ainda mais seu jeito esquisito, mas muito eficaz, de explicar a natureza (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).

6. ALGUMAS APLICAÇÕES PRÁTICAS DA FÍSICA MODERNA

A interpretação dos fenômenos físicos estimula o desenvolvimento de tecnologias, que proporcionam melhoria de vida à sociedade. Atualmente não

conseguimos imaginarmos como seria viver sem o uso de um computador, de um celular, do controle remoto, de um laser e seu uso na medicina. Da revolução que o desenvolvimento das fibras óticas, influenciou na massificação das telecomunicações tudo isso graças a pesquisa de vários profissionais na busca de respostas à questões seculares, como o questionamento de nossa existência e nosso destino.

Base e aplicações da Física Moderna

A Física Moderna ancorada pela demonstração de Max Plank que a radiação eletromagnética é emitida por um corpo, em pacotes chamados de quanta, e pela teoria da relatividade proporcionou não só à ciência, mas a várias áreas do conhecimento uma nova visão do mundo, enfatizando a interligação e interdependência dos fenômenos naturais, favorecendo a construção de uma sociedade melhor.

A aplicação prática das pesquisas físicas, implicam na aproximação de pessoas, no melhor controle do mundo em que vivemos, permitindo que possamos evitar alguns desastres naturais, que poderiam abreviar a vida no mundo.

Assim, apresentamos a seguir algumas aplicações práticas que se baseiam nos princípios da Física Moderna.

A. Fóton Emissor

A tecnologia de tratamento de cristais, permitiu à indústria eletroeletrônica, um desenvolvimento ímpar. As propriedades dos cristais permitem que se possa armazenar, ampliar, direcionar, captar, emitir sinais que nos levaram a construção de fita cassete, antena parabólica, televisor, computador, monitores de cristal líquido, são exemplos de sua aplicação prática (ALENCAR, 2019).

B. Estimulante do TIMO

Um aparelho que tem as mesmas características de um fóton emissor, mas tem a possibilidade de criar múltiplos remédios. Por exemplo, ele pode criar um pente com informações de pele fetal, de elastina, colágeno, músculo. Permitindo que o corpo humano absorva as vitaminas que precisar, sem dor e sem substâncias e sem efeitos colaterais (ALENCAR, 2019).

C. Unidade Fotônica

Trata-se de um aparelho complexo que usa cristais. São sete spots computadorizados, com as sete cores do espectro luminoso, para serem colocados nos sete vórtices abertos. O milenar Chakras. Esse aparelho permite a indução do paciente a um estado de relaxamento profundo (ALENCAR, 2019).

D. Gerador de Prata Coloidal

Um eficaz antibiótico natural, obtido a partir da imersão de suas hastes de prata em um litro de água e aplicar uma corrente elétrica. Pode ser usado para desinfetar verduras, matar fungos nos condutores de ar condicionado (ALENCAR, 2019).

E. Bobina de Tesla

Trata-se de um equipamento que produz tensões alternadas da ordem de dezenas de quilovolts com frequências na faixa de MHz. Podendo ser usado em experimentos com descarga em gases rarefeitos, ionização do ar, produção de ozônio e propagação de ondas eletromagnéticas (ALENCAR, 2019).

F. Lâmpadas de vapor de mercúrio e de sódio utilizadas na iluminação pública

O tubo interno emite o espectro característico do Hg e também linhas no ultravioleta, que são barradas por um bulbo externo. Disposto de uma rede e algumas lentes, pode-se fazer a projeção do espectro do mercúrio e medir o comprimento de onda das linhas (ALENCAR, 2019).

G. Leitor de código de barras

Aparelho constituído de um fotodiodo emissor e um fotodiodo receptor dispostos frente a frente.

O código de barras é a atribuição em um sistema binário, de zeros e uns, para as barras brancas e pretas.

O leitor capta as variações da luz incidente sobre o fotodiodo receptor quando o código é manualmente movido entre os dois componentes do leitor. Através de um programa na linguagem C, converte-se os dados do sistema binário para o seu correspondente decimal (ALENCAR, 2019).

H. Nanotecnologia

Na eletrônica a nanotecnologia tem sido usada em displays de telefonia celular

e computadores, nos quais leds orgânicos estão sendo produzidos usando finas camadas de filmes feitos com nanoestruturas. Muitos discos rígidos de computadores utilizam uma combinação de mídia com nanoestruturas e uma cabeça de leitura feita de magnetoresistência gigante. Que foram formados quando pesquisadores usaram estruturas formadas por sanduiches de ferro recheados com uma camada de três átomos de cromo e mediram a resistência elétrica do sistema para diferentes campos magnéticos aplicados. Hoje utiliza-se esse material também na nova área da física denominada de eletrônica de spin, ou spintrônica.

O comportamento desses materiais obedece às leis da mecânica quântica. Por exemplo, cada bit de um computador clássico só pode ter dois valores (0 ou 1) mutuamente excludentes. Entretanto na mecânica quântica, cada bit pode adquirir também os dois valores ao mesmo tempo (0 e 1). Essa propriedade é chamada de superposição dos estados quânticos, já demonstrada em laboratório, representando um grande avanço na velocidade de processamento, pois todas as sequencias de bits possíveis em um computador poderiam ser manipuladas simultaneamente (ALENCAR, 2019).

I. LASER

Trata-se de um amplificador ótico capaz de gerar um feixe de luz intenso, direcionado e com uma frequência bem definida. Composto por um meio ativo, onde a luz é gerada e amplificada, inserida entre dois espelhos paralelos, um dos espelhos reflete quase totalmente a luz nele incidente. O segundo é semitransparente deixando passar uma fração do feixe incidente. A luz gerada é refletida várias vezes pelos dois espelhos, ficando assim confinada na cavidade ótica, possibilitando a amplificação da luz.

O laser tem aplicações nas telecomunicações, medicina, metrologia (ALENCAR, 2019).

J. Tomografia por emissão de Pósitrons (PET)

É por definição uma técnica de diagnóstico por imagem, usado na medicina nuclear, que usa conceitos de física moderna, que permitem a investigação da fisiologia do nosso corpo (ALENCAR, 2019).

Seu uso permite a detecção de:

Tumores; Aneurismas; Investigação do funcionamento da Tireoide, e Pulmões.

A partir da injeção no corpo de substâncias radioativas, marcadas com um átomo radioativo que tem um tempo de decaimento curto.

A PET detecta os raios gama emitidos no local onde um pósitron, emitido da substância radioativa, colide com um elétron do tecido a ser investigado.

Por meio de vários tubos de detectores de raios gama, que possui uma série de cristais de cintilação, conectados a um tubo fotomultiplicador. Os cristais convertem os fótons em sinais elétricos e os amplificam. Estes sinais elétricos são processados por um programa de computador onde são geradas as imagens. Pelo movimento da mesa onde o paciente é colocado, obtém-se uma série de imagens de finas fatias da região de interesse, gerando uma imagem tridimensional do órgão investigado.

A PET mostra imagens da corrente sanguínea ou de outras funções bioquímicas, dependendo do tipo de molécula que é radioativamente marcada.

Trata-se de um exame minimamente invasivo e as doses de radioatividade absorvidas pelo paciente, são mínimas.

Em 1950 estudava-se a possibilidade de uso da radiação proveniente da aniquilação do pósitron, melhorar a qualidade da imagem do cérebro. Algumas substâncias são emissoras de pósitrons e quando eles entram em contato com o nosso corpo, viajam uma pequena distância e interagem com um elétron do meio. O contato da matéria com a antimatéria resulta na aniquilação de ambas as partículas. Devido à conservação de energia e momento, suas massas são convertidas em um par de fótons que viajam em direções opostas. A detecção simultânea desses fótons torna possível, a produção de imagens tomográficas.

Conceitos funcionais da PET

A tomografia por emissão de pósitrons baseia-se no fato da matéria aniquilar-se com a antimatéria.

O nosso corpo é constituído de elétrons que se aniquilam com a antimatéria emitida por um radionuclídeo emissor de pósitrons. Um núcleo emissor de pósitrons é aquele que apresenta um excesso de prótons em relação aos nêutrons, e que para alcançar a estabilidade sofre decaimento.

Radiofármacos são moléculas de maior afinidade com o órgão ou tecido a ser estudado.

A obtenção de uma imagem PET obedece a três etapas:

- 1 - Aquisição dos dados
- 2 - Processamento e reconstrução dos dados
- 3 - Obtenção da imagem

A imagem PET é formada em um conjunto de detectores de radiação envolvendo o corpo do paciente. Quando um detector intercepta a radiação de um fóton, um sinal elétrico é produzido. Esses sinais são processados por um programa de computador, que gera uma imagem digital.

Aplicações práticas da PET

1. PET poupa tempo e vidas
2. PET é seguro, eficaz e não invasivo
3. PET mostra todos os órgãos e sistemas num único exame, indicando se o câncer está ou não disseminado
4. PET mostra progressão da doença e avalia a resposta ao tratamento
5. A combinação PET em um único aparelho oferece imagens anatômicas associadas a informações metabólicas
6. PET pode eliminar a necessidade de outros exames e procedimentos cirúrgicos diagnósticos
7. PET reduz significativamente custos e desconforto ao paciente

Na oncologia a PET revela:

1. Se o tumor está presente
2. Onde está o tumor
3. Se o tratamento do tumor está sendo eficaz
4. Se o câncer está sendo disseminado
5. A agressividade do tumor
6. A presença de recorrência tumoral

Na neurologia a PET revela

- As imagens adquiridas através do PET podem identificar regiões de baixo metabolismo da glicose no cérebro, demonstrando com alta sensibilidade o foco da epilepsia.
- O PET é indicado na avaliação de crises convulsivas refratárias ao tratamento. Atualmente existem técnicas cirúrgicas disponíveis para remover este tecido cerebral comprometido, levando um grande número de pacientes à cura definitiva.
- Diagnóstico precoce e diferencial de demências, principalmente na suspeita de Doença de Alzheimer (ALENCAR, 2019)

Após a leitura dos textos e discussão nos grupos, efetuaremos a discussão no grande grupo, ou seja, na turma, com a mediação do professor sem, no entanto, termos a pretensão de chegar a um resultado conclusivo sobre o assunto.

Figura 10 – Alunos em grupos fazendo a leitura dos textos.



Fonte: Arquivo do Autor

4.3 TERCEIRA ETAPA

Esta etapa deve ser iniciada com uma revisão do assunto ministrado até este momento, de forma expositiva e dialogada com o uso, se possível, de retroprojetor. A aula em powerpoint, que ministramos, será disponibilizada na Apêndice, assim como no *Google Drive*, onde enfatizaremos os pontos positivos e negativos dos textos apresentados até o momento, e também os conhecimentos adquiridos até então. Em seguida, fizemos a exibição de vídeos.

Ressaltamos a importância do que foi exposto nos vídeos e pedimos que os alunos anotassem todas as indagações que surgiram, para que pudessem ser discutidas nos grupos; além do que também solicitamos que as equipes elaborassem um texto que evidenciasse os conhecimentos que os membros do grupo adquiriram nos vídeos, enfatizando que o texto final deveria ser entregue ao professor.

O primeiro vídeo a ser apresentado foi:

1. A IDEIA DO QUANTUM - EFEITO FOTOELÉTRICO

Este vídeo expõe conceito sobre a ideia de quantum, bem como explica como ocorre o Efeito Fotoelétrico (Figura 11), com duração de 9min e 25s.

Figura 11 - Vídeo - A Ideia do Quantum - Efeito Fotoelétrico

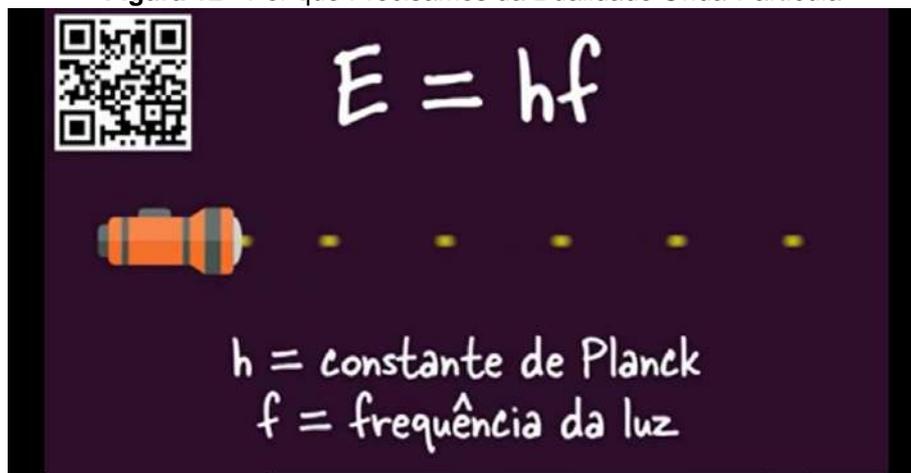


Fonte: <https://youtu.be/CEuMmMxD-vI>

Ao término do primeiro vídeo, exibimos o segundo vídeo, que tem duração de 11min 31s (Figura 12).

2. POR QUE PRECISAMOS DA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA?

Figura 12 - Por que Precisamos da Dualidade Onda-Partícula



Fonte: <https://youtu.be/CEuMmMxD-vI>

Daremos continuidade com a exibição ao vídeo 3 (Figura 13), que tem duração de 17min 1s.

3. FÓTONS

Figura 13 - Fótons

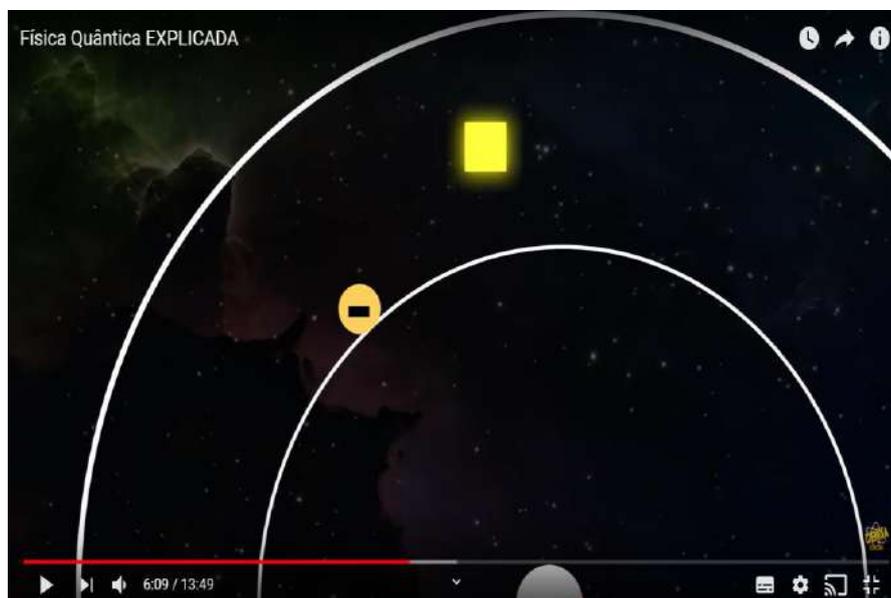


Fonte: <https://youtu.be/QwKTU2tvLug>

Posteriormente exibiremos o vídeo de número 4, que tem duração de 13min49s (Figura 14).

4. FÍSICA QUÂNTICA EXPLICADA

Figura 14 – Vídeo Física Quântica Explicada

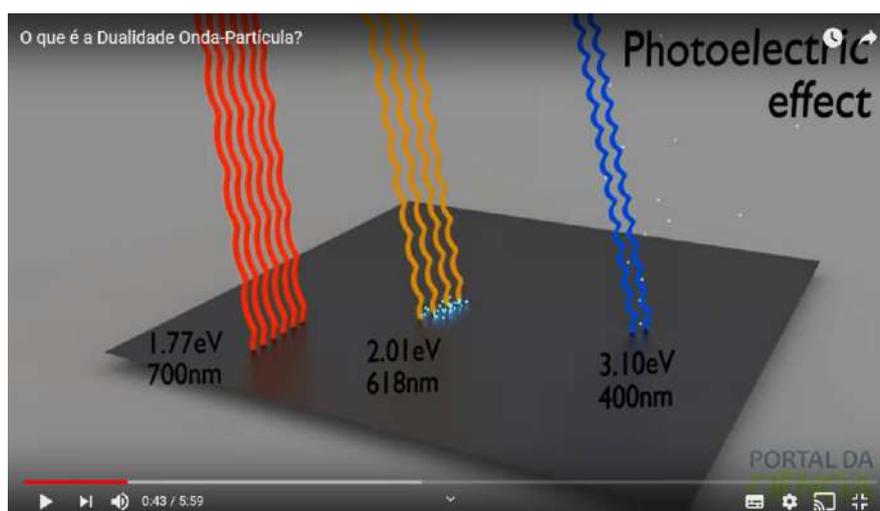


Fonte: <https://youtu.be/eA1E2HGdbKq>

Finalmente, será exibido o vídeo 5, com duração de 5min59s (Figura 15).

5. O QUE É A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA?

Figura 15 – Vídeo O que é a dualidade onda-partícula?



Fonte: <https://youtu.be/2vRyLAPxyEs>

Todos os vídeos podem ser encontrados no YouTube. Informamos aos

alunos o endereço, para que pudessem acessá-los no momento em que desejassem, assim como podem ser encontrados no drive, cujo o endereço será disponibilizado.

Após a exibição dos filmes, solicitamos aos discentes que se dividissem nos mesmos grupos, para que fizessem a discussão sobre os assuntos expostos nos vídeos e, posteriormente, formularam um texto que pudesse evidenciar os conhecimentos sugeridos nos vídeos.

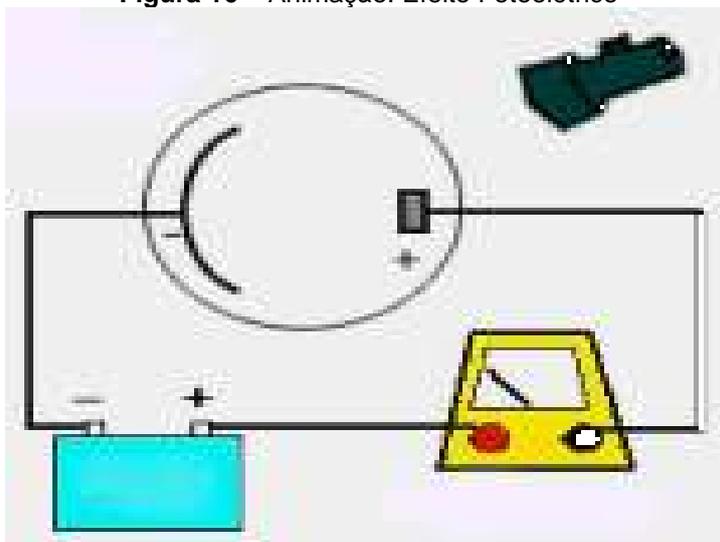
4.4 QUARTA ETAPA

Abrimos esta etapa propondo novas situações-problemas, agora em maior nível de complexidade, exibindo à turma simulações e animações sobre o Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton; todo este material será disponibilizado publicamente.

Mostramos cada animação com a respectiva explicação, expondo os conceitos ligados às mesmas.

Nesta primeira animação, toda vez que uma luz de determinada frequência incide sobre a placa, possuindo energia suficiente para arrancar os elétrons, observamos o movimento do ponteiro, indicando a presença de corrente elétrica (Figura 16).

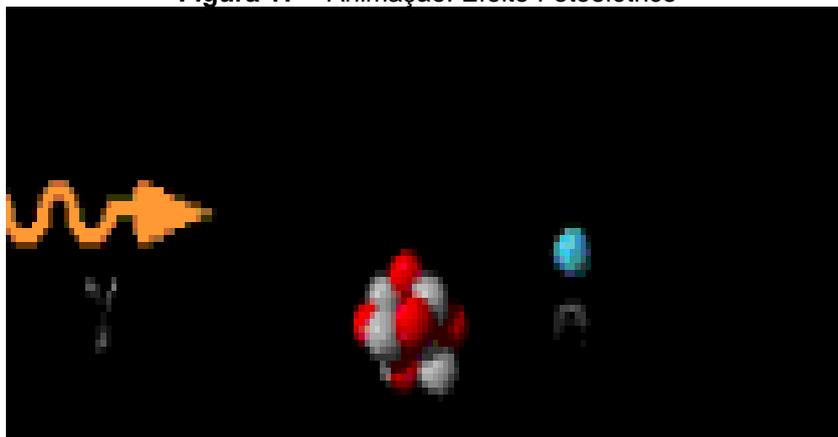
Figura 16 – Animação: Efeito Fotoelétrico



Fonte: <https://www.geocities.ws/saladefisica6/fisicamoderna/fotoelettrico11.gif>

Esta segunda animação (Figura 17) mostrou como o elétron se comporta quando recebe um quantum de energia, sendo esta energia é suficiente para arrancá-lo do material. Mostrou-nos que o elétron absorve toda a energia do fóton.

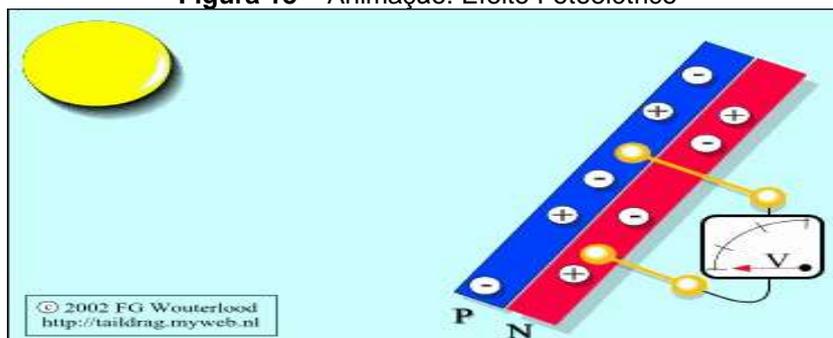
Figura 17 – Animação: Efeito Fotoelétrico



Fonte: <http://www.geocities.ws/saladefisica6/fisicamoderna/efeitofotoele15.gif>

Na terceira animação (Figura 18), foi enfatizado o que acontece quando a luz incide sobre uma célula fotovoltaica, ressaltando que esta é uma importante aplicação do Efeito Fotoelétrico.

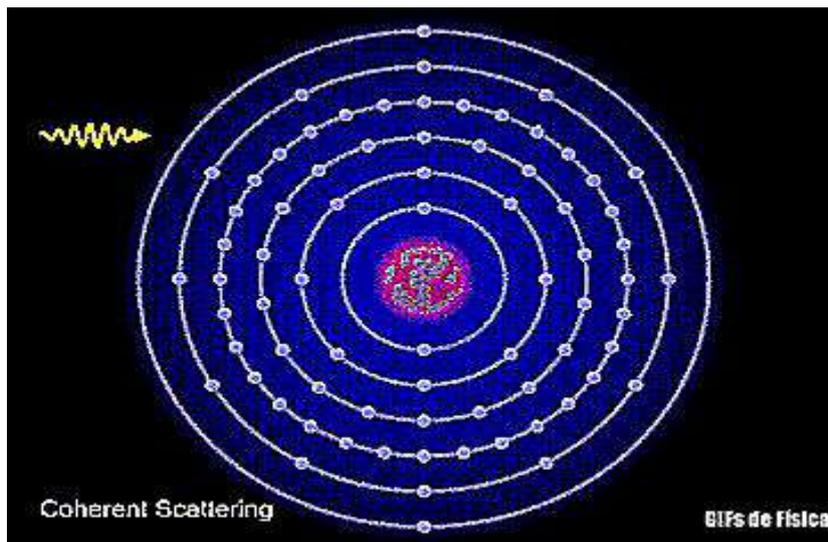
Figura 18 – Animação: Efeito Fotoelétrico



Fonte: http://www.zonnepanelen.wouterlood.com/wp-content/uploads/2013/12/pv_principle_m-300x210.gif

Através desta animação mostramos novamente uma aplicabilidade do Efeito Fotoelétrico (Figura 19). Introduzimos a explicação sobre o Efeito Compton, mostrando como ele acontece, assim como as diferenças entre estes dois Efeitos. Além disto, a animação ainda traz dois novos fenômenos que são: a produção de pares e a fotodesintegração.

Figura 19 – Animação: Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton



Fonte: <https://gifsdefisicacom.files.wordpress.com/2018/12/jfbeicjdgiphy.gif?w=740>

Na quinta animação (Figura 20) expressamos como ocorre o Efeito Compton, que esse efeito só acontece quando um fóton de alta energia (geralmente raios X ou raios gama) colide com um alvo, que possui elétrons frouxamente ligados em sua camada externa. Após o fóton incidir sobre o elétron, ele irá absorver parte da energia do fóton, arrancando o mesmo de sua órbita, deixando sair uma radiação de maior comprimento de onda, isto é, de menor energia. Vale lembrar que o fóton incidente tem energia E e momento linear p .

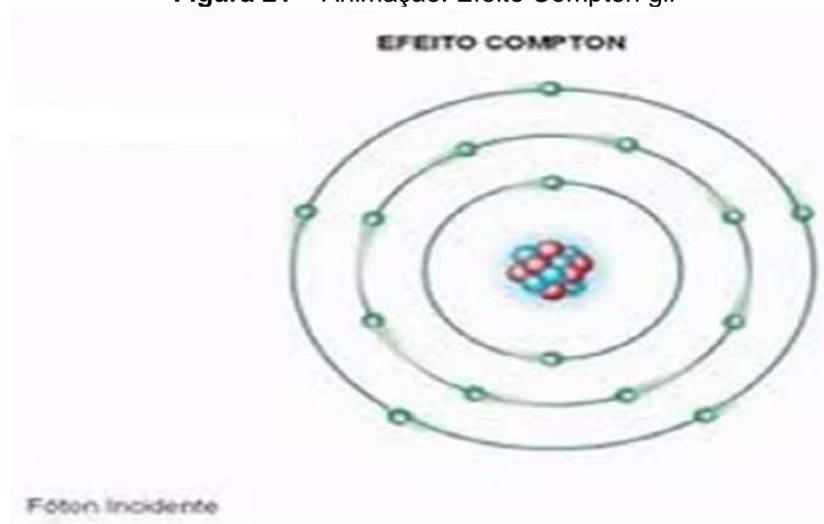
Figura 20 – Animação: Efeito Compton



Fonte: Próprio Autor

Na sexta animação (Figura 21), continuaremos enfatizando o Efeito Compton, apresentando as características do fóton incidente como energia, frequência e comprimento de onda, expondo as diferenças entre o fóton incidente e o fóton espalhado, bem como as características do elétron ejetado.

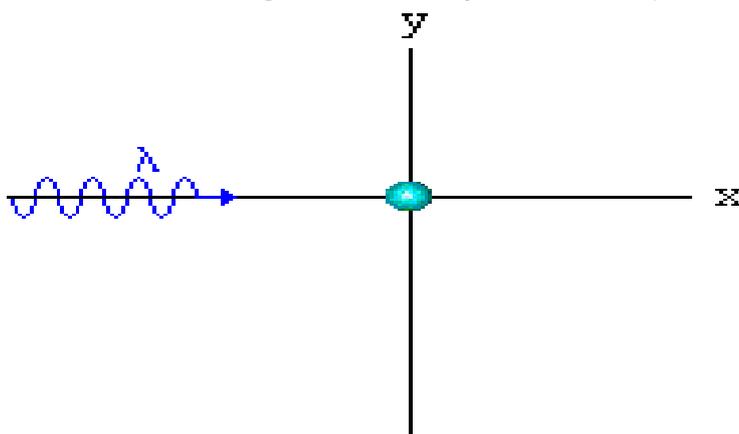
Figura 21 – Animação: Efeito Compton gif



Fonte: <https://gfycat.com/tanfaircuttlefish>

Na sétima e última animação (Figura 22) mencionamos que o fóton fornece parte de sua energia a um dos elétrons quase livres, na forma de Energia Cinética, como esperado em uma colisão de partículas quando a energia total e o momento linear devem ser conservados.

Figura 22 – Animação: Efeito Compton



Fonte: <http://www.cursosvirt2.dominiotemporario.com/EaD/qq/aula-5/aula-5.htm>

Dando continuidade a esta etapa, o passo seguinte foi trabalhar as simulações do Efeito Fotoelétrico e do Efeito Compton, e descrever cada uma

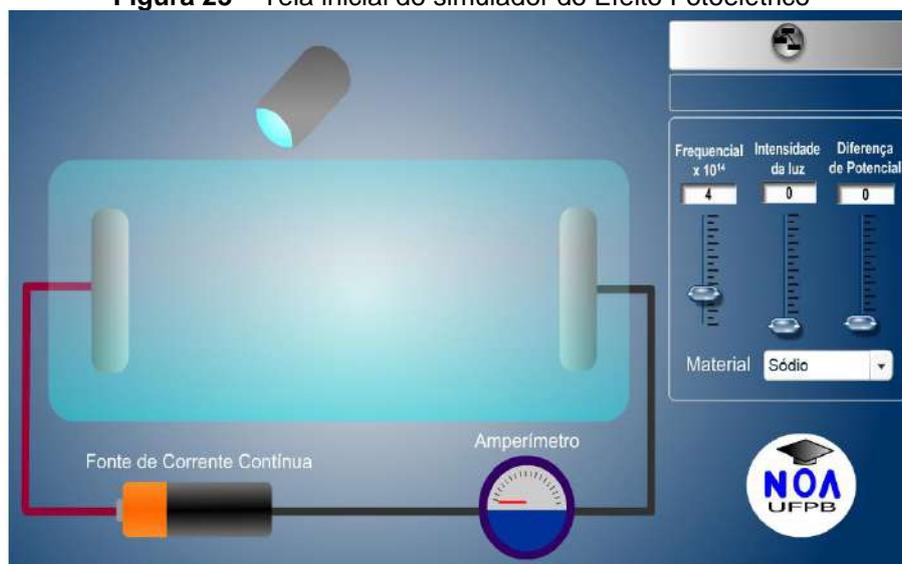
dessas simulações.

O objeto de aprendizagem mostrado na Figura 23 é de domínio público, podendo ser encontrado na fonte listada e também pode ser baixado e executado na animação do Internet Explore ou no Microsoft Edge no seguinte endereço: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/>. Apresentamos a tela inicial de cada variável que pode ser mudada no simulador, que são: frequência, intensidade da luz, diferença de potencial e material do qual a placa é feita.

Inicialmente, fizemos a variação da frequência sem, no entanto, mudarmos os valores da intensidade da luz e da diferença de potencial, mostramos que mesmo que a frequência seja máxima, se a intensidade luminosa for nula nenhum elétron será arrancado.

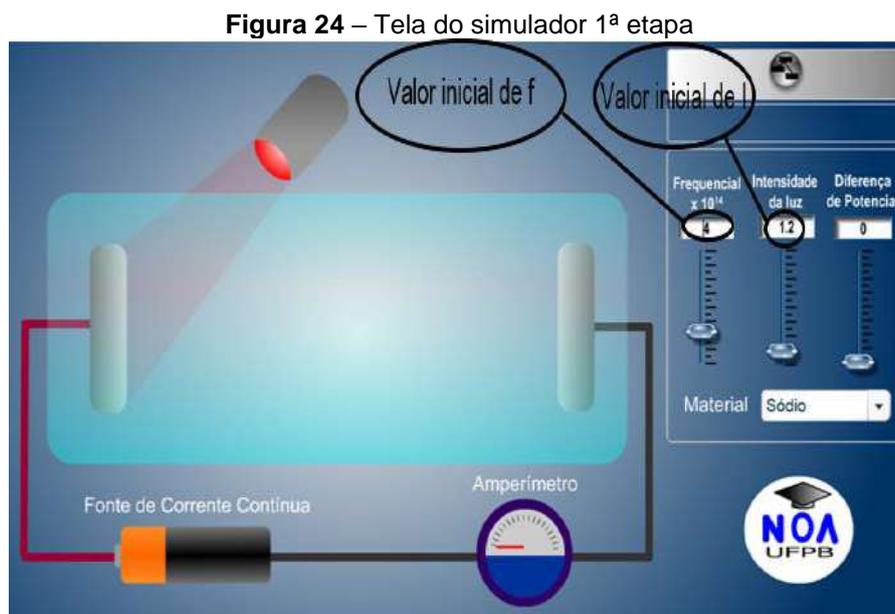
A próxima etapa (Figura 23) consistiu em atribuir um valor mínimo para a intensidade luminosa (I) e variar a frequência (f) da luz. Atribuímos inicialmente o valor de 4×10^{14} Hz (luz vermelha – não arranca o elétron); logo após mudamos o valor para $5,6 \times 10^{14}$ Hz (luz verde - o elétron é ejetado com velocidade pequena); ao alterarmos a frequência para $7,4 \times 10^{14}$ Hz (luz anil - o elétron é ejetado com velocidade de valor médio); e finalmente variamos para $12,5 \cdot 10^{14}$ Hz (luz ultravioleta - o elétron é ejetado com a maior velocidade). Demostramos que quanto maior a frequência, maior será a velocidade com que o elétron será ejetado, relacionando assim a energia do fóton com a energia cinética do elétron.

Figura 23 – Tela inicial do simulador do Efeito Fotoelétrico



Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoelétrico/Site/Animacao.htm>

No próximo passo (Figura 24) foi atribuído um valor para a frequência (f), que mantivemos constante e fizemos variar o valor da intensidade (I), observando que, ao mudarmos os valores de I , ocasionou que o número de elétrons ejetados também alterou; sendo que com o aumento da intensidade luminosa aumenta a quantidade de fótons que incidem sobre a placa e como consequência temos o aumento do número de elétrons ejetados.



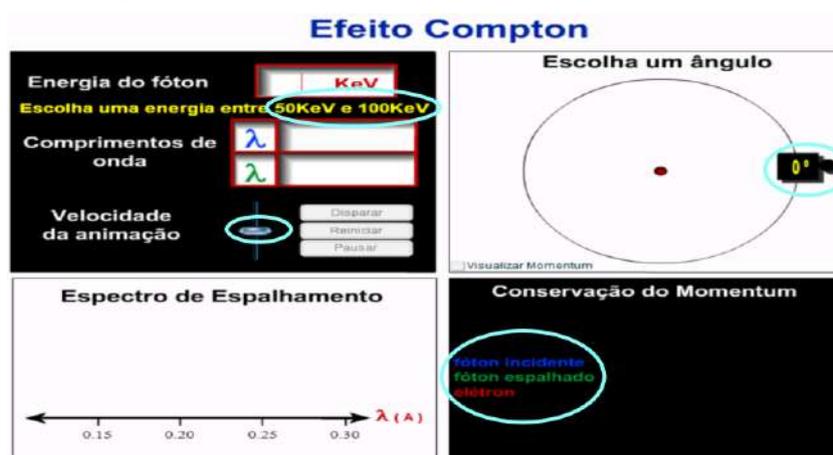
Fonte: Próprio Autor

Demonstramos que quando aumentamos o valor da diferença de potencial, maior será a energia que o fóton terá de ter para arrancar o elétron.

Passamos, a seguir, à análise da simulação do Efeito Compton, através da simulação da Figura 25.

Fizemos, então, a apresentação do simulador do Efeito Compton, cuja tela inicial foi mostrada aos discentes na Figura 40, onde puderam notar que o simulador limitou a energia do fóton a um intervalo entre 50 KeV e 100 KeV; perceberam ainda um botão deslizante que serviu para ajustar a velocidade com que a animação foi exibida; puderam também mudar o ângulo de desvio do fóton espalhado em relação ao fóton incidente. Após a apresentação do simulador os estudantes mudaram os valores de energia e do ângulo de espalhamento.

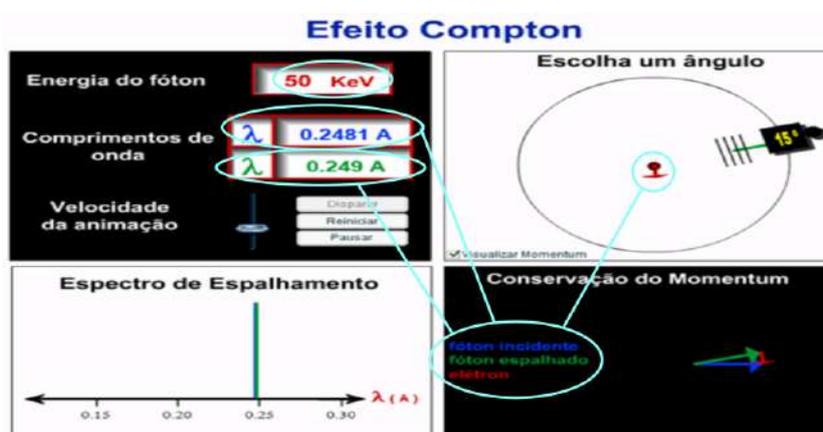
Figura 25 – Tela inicial do simulador do Efeito Compton



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/efCompt/apsEC/ec_10_08_05.swf

Primeiramente, foi atribuído o valor de 15° para o ângulo do fóton espalhado e o valor de 50 KeV para a energia do fóton incidente. Foi solicitado aos alunos que anotassem os valores do comprimento de onda do fóton incidente e do fóton espalhado. Ressaltamos que o momento do elétron com essa energia é pequeno, como mostrado na Figura 26.

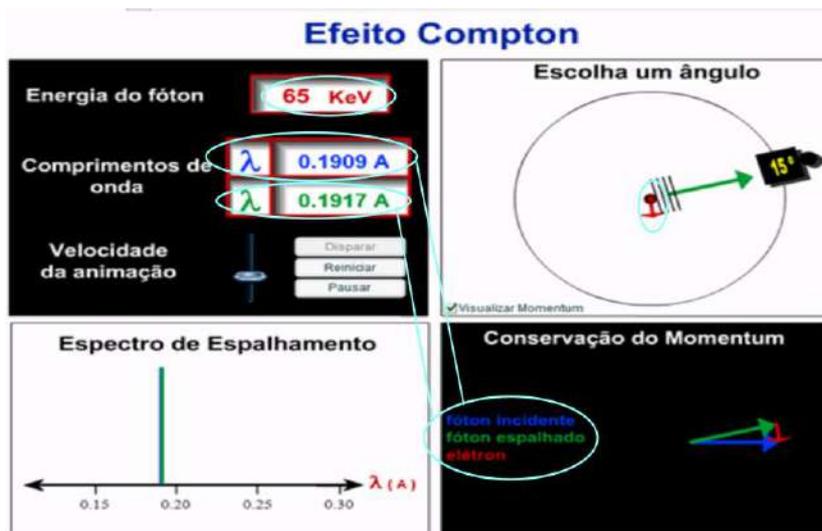
Figura 26 – Primeira tela do simulador do Efeito Compton



Fonte: Próprio Autor

No momento seguinte foi mudado o valor da energia do fóton para 65 KeV, mantendo o ângulo anterior, sendo obtida a tela da Figura 27. Pedimos aos alunos que anotassem, novamente, os valores do comprimento de onda dos fótons incidente e espalhado, mostrando a eles que o momento do elétron sofreu um pequeno aumento.

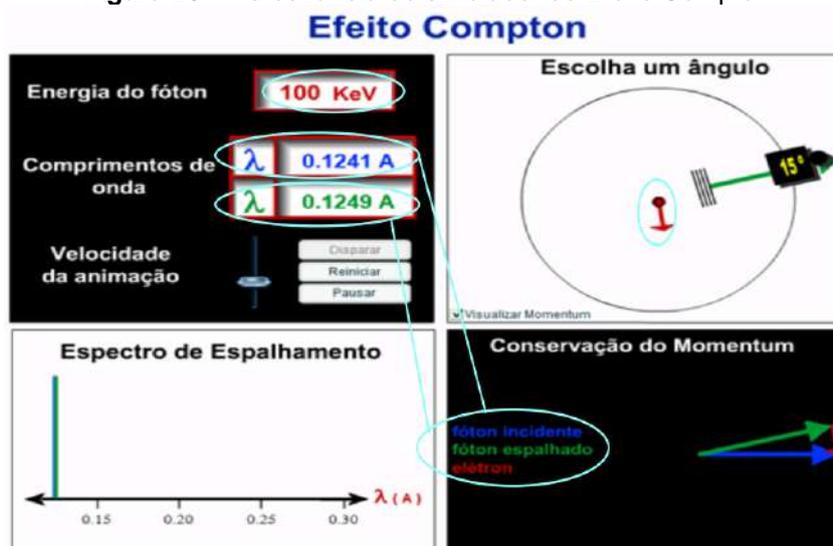
Figura 27 – Segunda tela do simulador do Efeito Compton



Fonte: Próprio Autor

Continuando, foi mantido o valor do ângulo de espalhamento, sendo feita a alteração no valor da energia do fóton incidente para 100 KeV, observamos a tela reproduzida na Figura 28. Novamente solicitamos que os alunos anotassem os valores dos comprimentos de onda do fóton incidente e do fóton espalhado, mostrando, como esperado, que o valor do momento do elétron aumentou, como pudemos verificar na Figura 28, aqui apresentada.

Figura 28 – Terceira tela do simulador do Efeito Compton



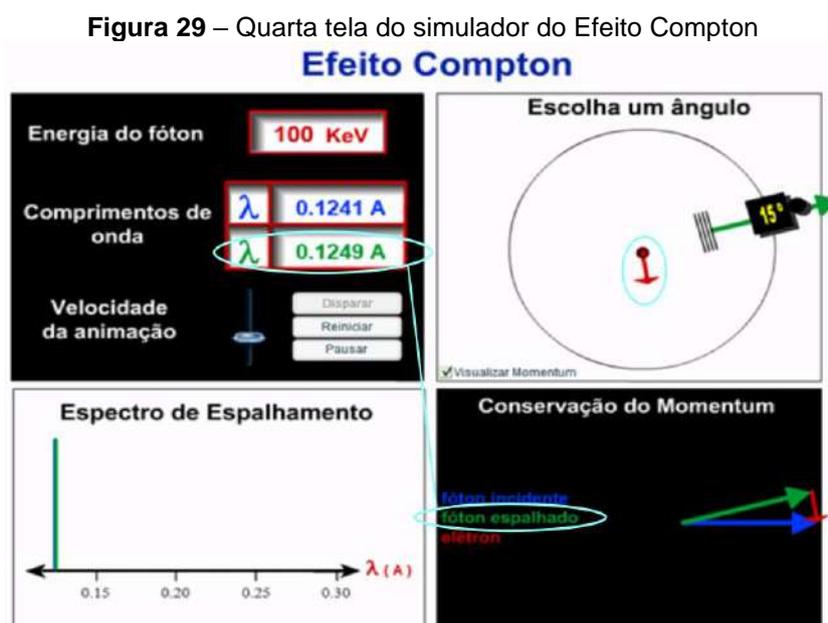
Fonte: Próprio Autor

Salientamos que quanto maior a energia do fóton incidente, maior será o momento do elétron e mais rápido o mesmo escapa; evidentemente, enquanto

a energia do fóton incidente aumenta, seu comprimento de onda diminui, diminuindo também o comprimento de onda do fóton espalhado.

Na fase seguinte, passamos ao estudo do comportamento do fóton espalhado e do elétron quando alteramos o valor do ângulo de espalhamento, mantendo o valor da energia do fóton incidente constante.

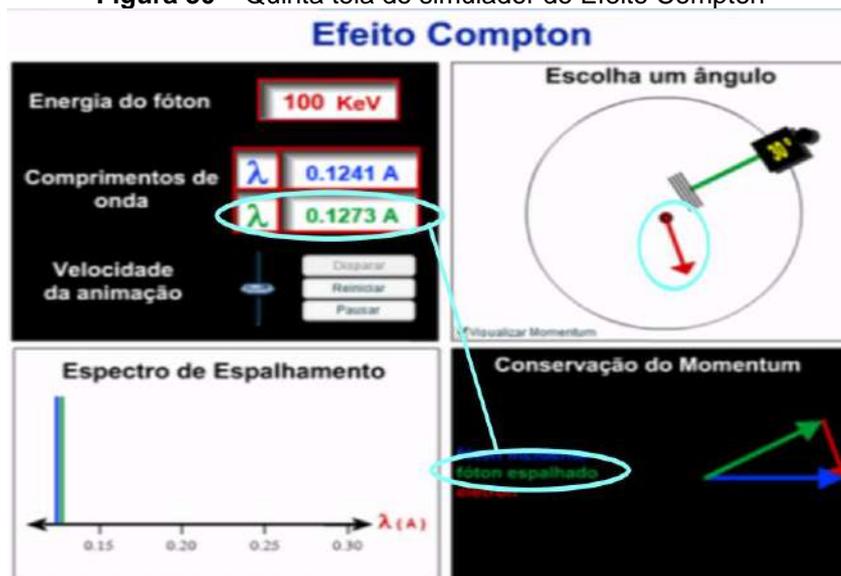
Começamos nosso estudo com o valor da energia do fóton incidente em 100 KeV e variamos o ângulo de espalhamento do fóton espalhado. O primeiro valor de ângulo utilizado foi de 15° ; nosso objetivo era observar quais valores iríamos obter para o comprimento de onda do fóton espalhado e o que aconteceria com o momento do elétron. Por este motivo, solicitamos aos estudantes que fizessem as anotações pertinentes, para sanar as dúvidas relativas às demandas citadas. A Figura 29 traz os resultados da primeira simulação.



Fonte: Próprio Autor

Foi estabelecido para o ângulo seguinte o valor de 30° , e a Figura 30 mostra o que foi observado pelos discentes com o valor das variáveis.

Figura 30 – Quinta tela do simulador do Efeito Compton

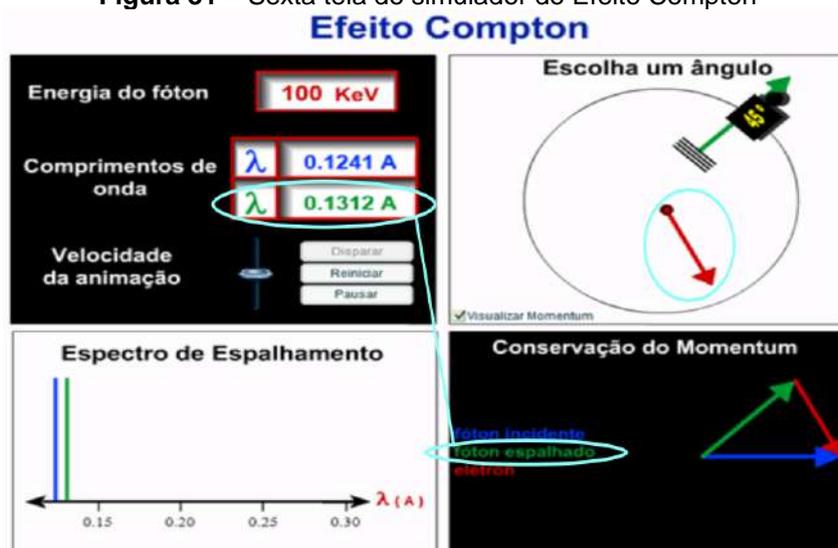


Fonte: Próprio Autor

Analisando a Figura 30 podemos observar que dobrando o ângulo de espalhamento, de 15° para 30° , ocorre um pequeno aumento no comprimento de onda do fóton espalhado, e um aumento considerável no momento do elétron.

Examinando o valor 45° para o ângulo de espalhamento e fazendo as mesmas análises que foram feitas para os ângulos adotados anteriormente, a Figura 31 mostra o resultado do uso desse ângulo, que foi investigado com os estudantes.

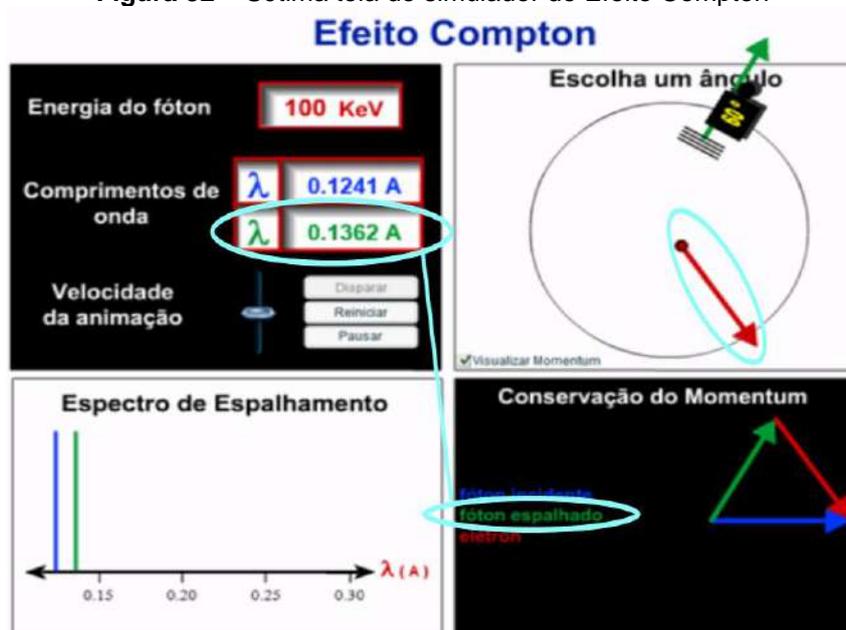
Figura 31 – Sexta tela do simulador do Efeito Compton



Fonte: Próprio Autor

A seguir estudamos o ângulo de 60° . A Figura 32 foi o resultado obtido na tela, da simulação, para esse ângulo.

Figura 32 – Sétima tela do simulador do Efeito Compton



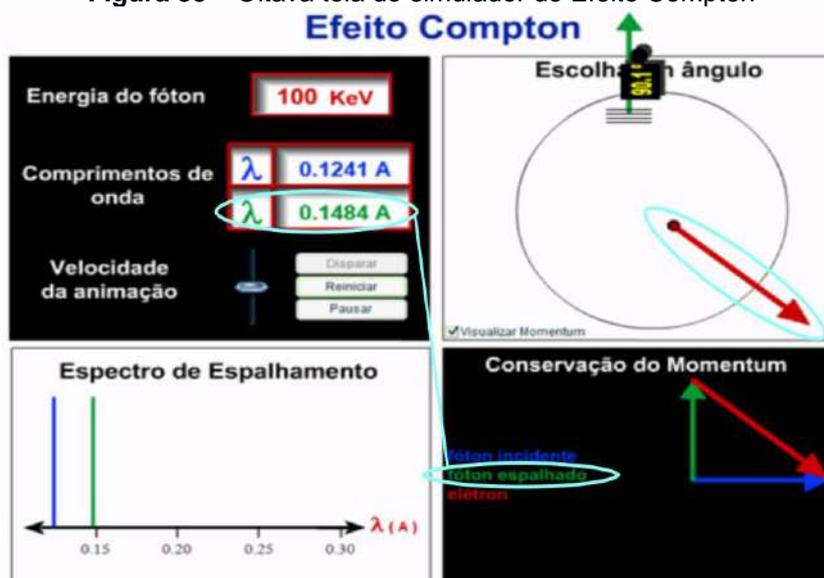
Fonte: Próprio Autor

Neste momento foi investigado o nível de compreensão dos alunos. Para isto, solicitamos que os discentes fizessem uma análise do comportamento do fóton espalhado e do momento do elétron.

Finalmente, estabelecemos o valor aproximado de 90° para o ângulo de espalhamento e, após isso, solicitamos novamente que os alunos fizessem uma análise das mudanças que haviam ocorrido no comprimento de onda do fóton espalhado e no momento do elétron. A Figura 33 traz os resultados dessa simulação.

Ressaltamos que o valor máximo do momento do elétron será obtido quando o ângulo de espalhamento for igual a 90° , dependendo também da energia do fóton incidente, o que aconteceu com os estudantes que executaram esta UEPS.

Figura 33 – Oitava tela do simulador do Efeito Compton



Fonte: Próprio Autor

Em continuidade, realizamos uma revisão, em *PowerPoint*, dos assuntos que foram tratados nas animações e simulações, enfatizando o Efeito Compton; onde o docente citou exemplos e aplicações destes Efeitos no cotidiano, explicando o que são estes fenômenos e como acontecem.

Figura 34 – Alunos em grupo confeccionando o Mapa.



Fonte: Próprio Autor

Em seguida, solicitamos aos discentes que, novamente, se dividissem nos grupos formados no primeiro encontro e que cada equipe procedesse a construção de um Mapa Conceitual sobre os assuntos abordados até o momento; foi estabelecido um tempo máximo 25 minutos para esta atividade. Ao término, fotografamos todos os mapas construídos e os apresentamos à turma, através de projeção, mas, no caso de não haver *datashow* na Escola, o professor pode solicitar a construção dos mapas em cartolina, para que sejam apresentados à classe fazendo uma exposição. O objetivo de fazermos a apresentação dos mapas foi estimular a discussão de cada mapa entre os discentes e, ainda, o propósito de fazer com que todos tomem conhecimento da opinião dos outros estudantes, levando assim a discussão dos mapas construídos, instigando os estudantes a proporem modificações nos mapas elaborados pelas outras equipes. Sugerimos que cada grupo anote as sugestões propostas pela classe, para que posteriormente fizesse a atualização do seu mapa, antes de entregar ao professor. Esta etapa foi ser desenvolvida em três horas-aulas.

Ao final deste encontro, anunciamos que no próximo será realizado uma nova avaliação individual.

Figura 35 – Alunos realizando o teste.



Fonte: Próprio Autor

4.5 QUINTA ETAPA

Iniciamos esta etapa com a aplicação do Questionário de Avaliação somativa individual, que consta no Apêndice. As questões que serão aplicadas serão as mesmas do Teste Individual Inicial, com pequenas modificações em relação ao que foi aplicado anteriormente; esta atividade ocupará as duas primeiras aulas desta etapa. Após o término da atividade, foi reunida a turma, devolvido o teste para os alunos e proposto aos discentes que corrigissem seus testes; para executarem tal tarefa disponibilizamos o gabarito e estimulamos os alunos que realizassem uma autoavaliação do seu desempenho, no teste, o que foi feito.

Anotamos todas as reações dos estudantes, assim como os relatos, para que conseguíssemos analisar o desempenho alcançado pelos discentes na avaliação. Propusemos que os alunos procedessem a avaliação do nível de complexidade do teste, anotando todas as observações destes.

Ressaltamos aos alunos que a avaliação dos testes se daria utilizando a metodologia da Teoria de Respostas ao Item, onde as questões que tivessem maior número de acertos valeria menos e os que apresentassem menor número de acertos valeria mais, pois no teste temos questões fáceis, médias e difíceis, de acordo com sua classificação.

4.6 SEXTA ETAPA

Principiamos esta etapa com uma aula de revisão, em *PowerPoint*, onde retomamos todos os conceitos que foram expostos durante as etapas anteriores da aplicação da UEPS, com a retomada das simulações do Efeito Fotoelétrico e do Efeito Compton.

Continuamos a explicação do funcionamento das simulações, ressaltando que a mudança nos parâmetros destas provoca uma mudança no resultado. Esta tarefa foi executada no laboratório de informática, porém se a escola não possuir um laboratório de informática que esteja funcionando, o professor que estiver aplicando a UEPS poderá apenas mostrar as projeções e, também, se a escola não dispuser de um projetor, esta explicação poderá ser mostrada através de infográficos. O docente, durante a discussão, forneceu novamente exemplos de

aplicação dos conteúdos estudados até o momento.

Apresentamos várias animações sobre o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton, que foram acessadas pelos alunos através dos links disponibilizados; comentamos cada um deles, ressaltando os potenciais de aplicação, para que os discentes percebessem a melhoria da qualidade de vida do homem, proporcionada por este ramo da Física, a Física Moderna e Contemporânea (FMC), em especial o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton. Todo este material utilizado será disponibilizado no drive, para que os outros professores, caso queiram, possam acessá-lo e aplicar a UEPS.

Requisitamos aos grupos que fizessem a atualização dos Mapas Conceituais que foram construídos na quarta etapa da aplicação da UEPS levando em conta, agora, todas as informações que haviam sido transmitidas até o momento, e que deveriam ser agregadas ao mapa anterior, como por exemplo, novos conceitos e exemplos de aplicações dos dois efeitos.

Para finalizar esta etapa, foi elaborado o Mapa Conceitual final, que foi acompanhado, em todos os detalhes, por este professor; tendo sido verificadas as dúvidas em todas as equipes, orientando-as como deveriam selecionar os conceitos que os membros do grupo já tinham escolhido, explicando como deveria ser feito o entrelaçamento entre os conceitos citados anteriormente e os que tinham sido sugeridos pelos membros das outras equipes e que agora fariam parte do mapa, para que assim pudessem concluir o Mapa Conceitual.

Ao término desta etapa, percebemos que tínhamos elaborado 4 (quatro) mapas, o que era a nossa meta, evidenciando os conhecimentos adquiridos. Reservamos os quinze minutos finais desta etapa para que pudéssemos aplicar uma pesquisa (Apêndice A) entre os alunos, com a finalidade de avaliar se a metodologia aplicada ajudou na compreensão dos conteúdos explanados e se o aprendizado se tornou mais significativo para os alunos.

4.7 SÉTIMA E OITAVA ETAPAS

As etapas sete e oito da UEPS foram realizadas por este professor, pois fomos nós que aplicamos a avaliação da aprendizagem, através da execução da Sequência Didática proposta.

Para o processo de avaliação dos discentes tomamos como base os trabalhos feitos pelos alunos, as observações dia após dia durante as aulas e a avaliação somativa individual.

Ressaltamos que a avaliação proposta pela UEPS foi um processo pedagógico contínuo, uma vez que a forma avaliativa funciona como um elemento de integração e motivação para o processo de ensino-aprendizagem, sempre levando em consideração os resultados esperados para que os alunos tenham uma Aprendizagem Significativa.

Lembramos que quando esta Sequência Didática for aplicada por outro docente e, principalmente, em outro local, algumas atividades terão que ser reformuladas, ou seja, adaptadas para a realidade local, afim de que se possa ter êxito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. L. **Introdução à física moderna no ensino médio através da discussão do dualismo onda-partícula**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física, Porto Alegre, 2008.

BRASIL, MEC, **Base Nacional Comum Curricular – BNCC**, versão aprovada pelo CNE, novembro de 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wpcontent/uploads/2018/02/bncc-20dez-site.pdf>. Acesso em: 01 outubro 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília, DF: MEC, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: set. 2016.

CANATO Jr, O. **Física quântica e formação docente**: confluência de várias redes. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

EISBERG R., RESNICK R. **Física Quântica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1985.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**: Ensino Médio. São Paulo: Ática, 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 4: Ótica e Física Moderna**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. 355p.

INSTITUTO GALILEO GALILEI PARA A EDUCAÇÃO. **Um Mundo de Incertezas**. Disponível em: http://www.passo-a-passo.com/mec/7.3.9/05_teorias.htm. Acesso em: 10 ago. 2019.

MOREIRA, M. A. (1980). **Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa**. *Ciência e Cultura*, 32(4): 474-479.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS**. Aprendizagem Significativa em Revista. v. 1, N. 2, pp. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**, 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2019.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Porto Alegre: Ed. do autor, 2005.

OLIVEIRA, A. de. Departamento de Física; Universidade Federal de São Carlos. Adaptado do site: <http://cienciahoje.org.br/coluna/onda-ou-particula-uma-questao-de-interpretacao/>

POLYCARPO, E.; BARROSO, M. F. **Uma breve história do mundo dos quanta.** Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/mq-unicidade5.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SILVA, I.; JUNIOR, O. F. **A descoberta do efeito Compton: de uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica.** Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v. 36, n. 1, 1601 (2014).

TAVARES, R. **Animações interativas e mapas conceituais.** XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **O Elétron como Onda.** Disponível em: <http://coral.ufsm.br/gef/Moderna/moderna06.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

VIDEOS

<https://youtu.be/CEuMmMxD-vI>

https://youtu.be/CqY_zBuK2Cw

<https://youtu.be/eA1E2HGdbKq>

<https://youtu.be/2vRyLAPxyEs>

SIMULAÇÕES

<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric

http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/efCompt/apsEC/ec_10_08_05.swf

Apêndice B

DISCIPLINA: FÍSICA

3º ANO

ALUNO: _____ Nº: _____

TURMA: _____ TURNO: _____ DATA: ___/___/___

AVALIAÇÃO DIAGNOSTICA INICIAL

1. A Física Moderna estuda o mundo micro, onde as leis da Mecânica Clássica não se aplicam. Neste mundo o elétron apresenta natureza:

- a) corpuscular (de partícula).
- b) elétrica.
- c) ondulatória.
- d) dual, pois pode se comportar como onda ou como partícula.
- e) magnética.

2. (UFPA - Adaptada) Roberval vai ao dentista e, antes de ser submetido a uma radiografia, solicita o *protetor de tireóide* (pequeno avental de chumbo que envolve o pescoço). Como a clínica não dispunha de tal equipamento, Roberval citou o Código de Proteção Radiológica em Odontologia, Parte 2, item 35, “... **É recomendado o uso adicional de blindagem para tireóide nas radiografias intra-orais, ...**” e se retirou perguntando “Se eu não preciso usar o protetor, por que você se retira da sala e dispara o feixe por controle remoto?”

Apesar de o feixe de raios X ser direcional e apontar para o paciente o espalhamento desta radiação pode levar perigo ao dentista. **Identifique** o fenômeno responsável por este espalhamento.

- a) Efeito fotoelétrico
- b) Efeito Doppler
- c) Efeito magnético
- d) Efeito Compton
- e) Efeito Gravitacional.

3. (IFSC/2015 - adaptada) Um feixe de luz incide em uma lâmina metálica provocando a emissão de alguns elétrons. A respeito desse fenômeno, denominado de Efeito Fotoelétrico, leia e analise as proposições e assinale no cartão-resposta a soma da(s) **CORRETA(S)**.

01. O Efeito Fotoelétrico só ocorre a partir de uma frequência de corte,

denominada Função Trabalho.

02. Quaisquer que sejam a frequência e o comprimento de onda da luz incidente, é possível que sejam arrancados elétrons do metal.

04. Quaisquer que sejam a frequência, o comprimento de onda e a intensidade da luz, os elétrons são emitidos com a mesma Energia Cinética.

08. Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o metal.

16. Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.

Analise as afirmativas e dê como resposta a soma dos números que precedem as proposições corretas.

- a) 3 b) 17 c) 23 d) 9 e) 30

4. A Física Moderna afirma que as radiações eletromagnéticas apresentam natureza dual, que pode ser comprovada quando as mesmas sofrem determinados fenômenos, como por exemplo as radiações se comportam como partícula quando sofrem o Efeito Fotoelétrico ou o Efeito Compton. De acordo com a explicação fornecida pelo Efeito Compton, o comprimento de onda dos raios X espalhados por elétrons livres:

- a) sofre um aumento em decorrência da natureza ondulatória dos fótons, que transferem quantidade de movimento aos elétrons.
- b) sofre um aumento em decorrência da natureza corpuscular dos fótons, que transferem quantidade de movimento aos elétrons.
- c) sofre uma diminuição em decorrência da natureza corpuscular dos fótons, que transferem quantidade de movimento aos elétrons.
- d) permanece constante, uma vez que os raios X podem atravessar grandes espessuras de diversos materiais sem sofrer qualquer tipo de espalhamento.
- e) sofre um grande aumento em decorrência do fenômeno chamado de emissão radioativa.

5. (UEPB) – Em 1905, Albert Einstein apresentou seu trabalho, referente ao Efeito Fotoelétrico. Este explicou, com base na hipótese de Max Planck, apresentada em 1900, segundo a qual a radiação térmica emitida por um corpo negro é constituída por quanta de energia, que a energia dos elétrons emitidos, por uma placa metálica iluminada, depende apenas da frequência da luz incidente. Naquele período, constatou-se que para alguns fenômenos que

ocorrem com a luz, ela se comporta como onda produzindo interferência (como no experimento da dupla fenda de Young); entretanto, em outros fenômenos ela apresenta comportamento de partícula (como efeito fotoelétrico). Diz-se, então, que a luz possui uma natureza dual: ora se comporta como uma onda, e ora como uma partícula. A respeito da dualidade onda-partícula da luz, apresentam-se as seguintes proposições:

- I. O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são simultâneos.
- II. O comportamento ondulatório da luz exclui seu comportamento corpuscular.
- III. O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são equivalentes.

Com relação às proposições apresentadas, é correto afirmar que:

- a) apenas II é verdadeira.
- b) II e III são verdadeiras.
- c) apenas I é verdadeira.
- d) I e III são verdadeiras.
- e) apenas a III é verdadeira.

6. (UEG-GO) Leia a tirinha a seguir.



Para validar a proposta do analista, ocorrência da dualidade onda-partícula, o senhor Fóton deve ser capaz de sofrer

- a) interferência e refração.
- b) interferência e polarização.
- c) difração e Efeito Fotoelétrico.
- d) Efeito Fotoelétrico e Compton.
- e) polarização e difração.

DISCIPLINA: FÍSICA**3º ANO****ALUNO:** _____ **Nº:** _____**TURMA:** _____ **TURNO:** _____ **DATA:** ___/___/___**AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA FINAL**

1. A Física Moderna estuda o mundo micro, onde as leis da Mecânica Clássica não se aplicam, neste mundo o elétron apresenta natureza:

- a) corpuscular (de partícula).
- b) elétrica.
- c) dual, pois pode ser comportar como onda ou como partícula.
- d) ondulatória.
- e) magnética.

2. (UFPA - Adaptada) Roberval vai ao dentista e, antes de ser submetido a uma radiografia, solicita o *protetor de tireóide* (pequeno avental de chumbo que envolve o pescoço). Como a clínica não dispunha de tal equipamento, Roberval citou o Código de Proteção Radiológica em Odontologia, Parte 2, item 35, “... **É recomendado o uso adicional de blindagem para tireóide nas radiografias intra-orais, ...**” e se retirou perguntando “Se eu não preciso usar o protetor, por que você se retira da sala e dispara o feixe por controle remoto ?”

Apesar de o feixe de raios X ser direcional e apontar para o paciente o espalhamento desta radiação pode levar perigo ao dentista. **Identifique** o fenômeno responsável por este espalhamento.

- a) Efeito fotoelétrico
- b) Efeito Compton
- c) Efeito magnético
- d) Efeito Doppler
- e) Efeito Gravitacional.

3. (IFSC/2015 - adaptada) Um feixe de luz incide em uma lâmina metálica provocando a emissão de alguns elétrons. A respeito desse fenômeno, denominado de Efeito Fotoelétrico, leia e analise as proposições e assinale no cartão-resposta a soma da(s) **CORRETA(S)**.

01. O Efeito Fotoelétrico só ocorre a partir de uma frequência de corte,

denominada Função Trabalho.

02. Quaisquer que sejam a frequência e comprimento de onda da luz incidente é possível que sejam arrancados elétrons do metal.

04. Quaisquer que sejam a frequência, comprimento de onda e a intensidade da luz, os elétrons são emitidos com a mesma energia cinética.

08. Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o metal.

16. Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.

Analise as afirmativas e dê como resposta a soma dos números que precedem as proposições corretas.

a) 3 b) 9 c) 17 d) 23 e) 30

4. A Física Moderna afirma que as radiações eletromagnéticas apresentam natureza dual, que pode ser comprovada quando as mesmas sofrem determinados fenômenos, como por exemplo as radiações, que se comportam como partícula quando sofrem o Efeito Fotoelétrico ou o Efeito Compton. De acordo com a explicação fornecida pelo Efeito Compton, o comprimento de onda dos raios X espalhados por elétrons livres:

a) sofre um aumento em decorrência da natureza corpuscular dos fótons, que transferem quantidade de movimento aos elétrons.

b) sofre um aumento em decorrência da natureza ondulatória dos fótons, que transferem quantidade de movimento aos elétrons.

c) sofre uma diminuição em decorrência da natureza corpuscular dos fótons, que transferem quantidade de movimento aos elétrons.

d) permanece constante, uma vez que os raios X podem atravessar grandes espessuras de diversos materiais sem sofrer qualquer tipo de espalhamento.

e) sofre um grande aumento em decorrência do fenômeno chamado de emissão radioativa.

5. (UEPB) – Em 1905, Albert Einstein apresentou seu trabalho, referente ao Efeito Fotoelétrico. Este explicou, com base na hipótese de Max Planck, apresentada em 1900, segundo a qual a radiação térmica emitida por um corpo negro é constituída por quanta de energia, que a energia dos elétrons emitidos, por uma placa metálica iluminada, depende apenas da frequência da luz incidente. Naquele período, constatou-se que para alguns fenômenos que

ocorrem com a luz, ela se comporta como onda produzindo interferência (como no experimento da dupla fenda de Young); entretanto, em outros fenômenos ela apresenta comportamento de partícula (como no Efeito Fotoelétrico). Diz-se, então, que a luz possui uma natureza dual: ora se comporta como uma onda e ora como uma partícula. A respeito da dualidade onda-partícula da luz, apresentam-se as seguintes proposições:

- I. O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são simultâneos.
- II. O comportamento ondulatório da luz exclui seu comportamento corpuscular.
- III. O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são equivalentes.

Com relação às proposições apresentadas, é correto afirmar que:

- a) apenas I é verdadeira.
- b) apenas II é verdadeira.
- c) II e III são verdadeiras.
- d) I e III são verdadeiras.
- e) apenas a III é verdadeira.

6. (UEG-GO) Leia a tirinha a seguir.



Para validar a proposta do analista, ocorrência da dualidade onda-partícula, o senhor Fóton deve ser capaz de sofrer

- a) difração e Efeito Fotoelétrico.
- b) interferência e polarização.
- c) interferência e refração.
- d) Efeito Fotoelétrico e Compton.
- e) polarização e difração.

**Perguntas Norteadoras para construção do Mapa Conceitual
Coletivo**

- a) Você conhece a Física Moderna?
- b) Do que a luz é composta?
- c) Qual a natureza das radiações eletromagnéticas, como a luz?
- d) Quais os tipos de ondas?
- e) Teria sentido pensar em comportamento dual da luz?
- e) Você sabe o que é o Efeito Fotoelétrico?
- f) Você já ouviu falar em Efeito Compton?

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM

_____, portador da Cédula de Identidade nº _____, inscrito no CPF sob nº _____, residente à Rua _____, nº _____, bairro _____, na cidade de _____, Estado do Pará. AUTORIZO o uso da imagem do menor _____,

atualmente sob nossa responsabilidade, em fotos ou filmes, sem finalidade comercial, para serem utilizados na Dissertação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Pará (UFPA), sob o título **“INSERÇÃO DO CONTEÚDO DE EFEITO COMPTON NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO: À uma visão da Aprendizagem Significativa Crítica”**, de autoria do Prof. Júlio Alexandrino Pinheiro, entre outras apresentações. Esta autorização é concedida gratuitamente, abrangendo o uso da imagem mencionada, em todo território nacional e no exterior, em todas as suas modalidades e, em destaque, das seguintes formas: (I) *home page*; (II) cartazes; (III) divulgação em geral. Por esta ser a expressão da nossa vontade. declaramos que autorizamos o uso acima descrito sem que nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à imagem ou a qualquer outro.

Benevides, _____ de dezembro de 2019.

Assinatura do responsável

Anexos

TEXTO 1**Como construir um mapa conceitual**

1. **Identifique os conceitos-chave** do conteúdo que vai mapear e ponha-os em uma lista. Limite entre 6 e 10 o número de conceitos.
2. Ordene os conceitos, colocando o(s) mais geral(is), mais inclusivo(s), no topo do mapa e, gradualmente, vá agregando os demais até completar o diagrama de acordo com o princípio da diferenciação progressiva. Algumas vezes é difícil identificar os conceitos mais gerais, mais inclusivos; nesse caso é útil analisar o contexto no qual os conceitos estão sendo considerados ou ter uma ideia da situação em que tais conceitos devem ser ordenados.
3. Se o mapa se refere, por exemplo, a um parágrafo de um texto, o número de conceitos fica limitado pelo próprio parágrafo. Se o mapa incorpora também o seu conhecimento sobre o assunto, além do contido no texto, conceitos mais específicos podem ser incluídos no mapa.
4. Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras-chave que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras-chave devem sugerir uma proposição que expresse o significado da relação.
5. Setas podem ser usadas quando se quer dar um sentido a uma relação. No entanto, o uso de muitas setas acaba por transformar o mapa conceitual em um diagrama de fluxo.
6. Evite palavras que apenas indiquem relações triviais entre os conceitos. Busque relações horizontais e cruzadas.
7. Exemplos podem ser agregados ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes. Em geral, os exemplos ficam na parte inferior do mapa.
8. Geralmente, o primeiro intento de mapa tem simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos acabam mal situados em relação a outros que estão mais relacionados. Nesse caso, é útil reconstruir o mapa.
9. Talvez neste ponto você já comece a imaginar outras maneiras de fazer o mapa, outros modos de hierarquizar os conceitos. Lembre-se que não há um único modo de traçar um mapa conceitual. À medida que muda sua compreensão sobre as relações entre os conceitos, ou à medida que você aprende, seu mapa também muda. **Um mapa conceitual é um instrumento dinâmico, refletindo a compreensão de quem o faz no momento em que o faz.**
10. Não se preocupe com “começo, meio e fim”, **o mapa conceitual é estrutural, não sequencial.** O mapa deve refletir a estrutura conceitual hierárquica do que está mapeado.
11. Compartilhe seu mapa com colegas e examine os mapas deles. Pergunte o que significam as relações, questione a localização de certos conceitos, a inclusão de alguns que não lhe parecem importantes, a omissão de outros que você julga fundamentais. **O mapa conceitual é um bom instrumento para compartilhar, trocar e “negociar” significados.**

* Há aplicativos especialmente desenhados para a construção de mapas conceituais. O mais conhecido deles é o Cmap Tools: <http://cmap.ihmc.us>

Marco Antonio Moreira Instituto de Física - UFRGS 90501-970 Porto Alegre - RS, Brasil moreira@if.ufrgs.br <http://moreira.if.ufrgs.br>

TEXTO 2**O que exatamente é a luz?**

Por **Rafael Kenski**

Na Bíblia, a criação começa pela luz, que inaugura o universo separando o dia da noite. É ela que nos permite enxergar o mundo e, no entanto, é quase impossível visualizar sua verdadeira natureza. Como se não bastasse, tem propriedades tão estranhas e contraditórias que confunde até os físicos mais experientes.

Até o começo do século XX, tudo indicava que a luz não passava de uma onda. Assim como o som ou o movimento do mar, ela é refletida ao encontrar algo como um espelho e sofre interferência ao cruzar com outras ondas de luz. A diferença é que a luminosidade se propaga no vácuo e não precisa ser conduzida por um meio como a água ou o ar.

Mas a concepção da luz como onda não conseguia explicar certos fenômenos, como o chamado efeito fotoelétrico: quando se emite luz contra determinados metais, observa-se que a superfície deles libera elétrons. O enigma começou a se desfazer em 1900, quando o físico alemão Max Planck publicou o primeiro estudo do que viria a ser conhecido como física quântica. Ele descobriu que os átomos não emitem energia de forma contínua, mas em minúsculas partículas chamadas quanta. Em 1905, Albert Einstein resolveu aplicar essa teoria à luz e percebeu que, se considerássemos que ela também é feita de partículas (posteriormente chamadas de fótons), o efeito fotoelétrico estaria explicado. A física quântica chocou toda a comunidade científica ao propor que a luz é simultaneamente onda e partícula, vibração e matéria – uma ambiguidade considerada absurda, incoerente, impossível. A teoria de Planck e Einstein já foi comprovada diversas vezes em laboratório. Mas ainda resta a pergunta: afinal, a luz é uma onda ou uma partícula? A física abraçou o mistério. “Quem disser que ela é onda está certo e quem disser que ela é partícula também está.

De acordo com o experimento, a luz apresenta características de uma ou de outra”, afirma o físico Adriano Natale, da Universidade Estadual Paulista (Unesp). “Não precisamos resolver o enigma. A luz funciona com uma lógica própria, diferente da que estamos acostumados”, diz Amir Caldeira, também físico, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Bibliografia:

Kenski, Rafael, " O que exatamente é a luz?"; publicado em 18 abril 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-exatamente-e-a-luz/>. Acesso em 07 de novembro de 2019.

TEXTO 3

Resolvido mistério sobre natureza fundamental da luz

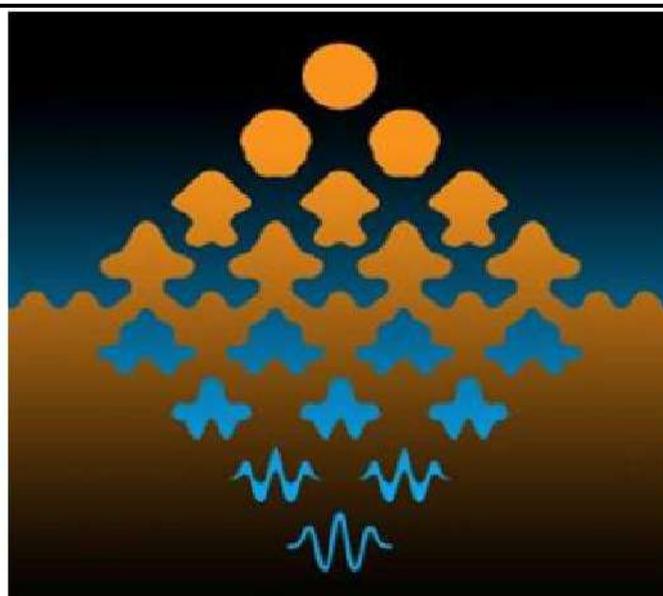
Redação do Site Inovação Tecnológica - 02/11/2012

Dualidade onda/partícula

Dois grupos de físicos, trabalhando de forma independente, garantem ter chegado a um veredito final sobre a chamada dualidade onda/partícula.

De Newton a Maxwell, a luz foi sempre considerada como uma onda. Foi Einstein quem ganhou o Prêmio Nobel de Física demonstrando o efeito fotoelétrico, cuja explicação depende de que os fótons sejam vistos como partículas.

E daí pôde então surgir toda a mecânica quântica, que prevê que os fótons, os elementos fundamentais da luz, assim como qualquer outro "sistema



Como a vida, e a mecânica quântica, imitam a arte, a eterna dualidade partícula/onda pode ser ilustrada no melhor estilo do artista M.C. Escher.

[Imagem: Alberto Peruzzo/Peter Shadbolt/Nicolas Brunner/Jamie Simmonds]

quântico", podem ser partículas e ondas simultaneamente.

Contudo, as discussões sobre o assunto nunca foram suspensas porque o resultado - onda ou partícula - dependerá de como a medição é realizada. Meça um fóton de um jeito, e ele lhe dirá que é uma partícula. Altere a medição, e ele se transmutará em partícula.

Isso criou correntes entre os físicos que gostariam de encontrar uma resposta "mais fundamental" - uns defendendo que fótons são essencialmente partículas e outros defendendo que eles são essencialmente ondas.

O que essas correntes buscam é a "verdadeira natureza da luz", porque parece esquisito demais ter que assumir que uma "coisa pode ser duas coisas".

As duas correntes assumem que o fóton se transmutaria em sua segunda personalidade sob condições a serem ainda especificadas ou descobertas.

Partículas e ondas simultaneamente

As equações da mecânica quântica, contudo, tranquilamente assentadas sobre uma história de extremo sucesso, preveem que uma partícula pode estar



Este foi o equipamento usado pela equipe da Universidade de Bristol em sua demonstração da dualidade partícula/onda.

[Imagem: Fernando Traquino]

em diferentes lugares ao mesmo tempo.

Na verdade, a partícula pode estar até mesmo em infinitos lugares ao mesmo tempo - como uma onda. E não apenas "parecendo" com uma onda, mas efetivamente "sendo" uma onda.

O que dois grupos de físicos agora conseguiram fazer foi demonstrar experimentalmente que esse jogo tem mesmo que terminar empatado.

Experimentos similares foram realizados por Alberto Peruzzo e colegas da Universidade de Bristol, no Reino Unido, e Florian Kaiser e equipe, do instituto francês CNRS.

Pela primeira vez, os físicos conseguiram observar os fótons não como partículas ou como ondas, mas como partículas e como ondas, ao mesmo tempo.

Longe de ser uma curiosidade científica, o experimento terá largas implicações para todos os sistemas quânticos, entre os quais os qubits usados pela computação quântica, os processadores fotônicos e as comunicações por fibras ópticas.

Medição quântica

A observação da dualidade partícula/onda é baseada em uma proposta feita pelo físico John Wheeler, nos anos 1980.

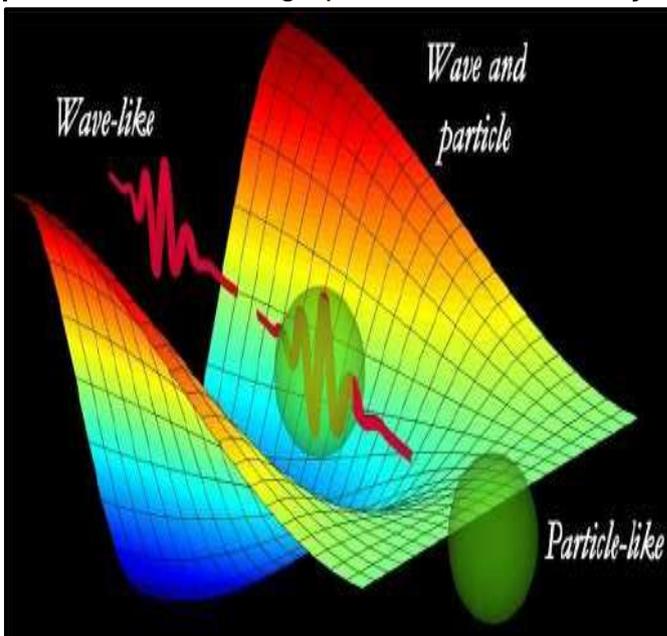
O experimento consiste em dividir os fótons e depois reuni-los novamente.

Dividir uma onda é trivial, mas não deveria ser possível dividir um fóton-partícula. A medição emprega dois interferômetros, o primeiro dividindo a onda de luz e o segundo reunindo-a novamente, e vendo o que acontece.

Quando um fóton, disparado individualmente, atravessa o primeiro interferômetro, o resultado no segundo interferômetro continua sendo um padrão de interferência, algo típico de ondas que se mesclam, mas nunca de partículas - ainda que o fóton não possa ser dividido. Assim fica demonstrada a famosa dualidade.

Mas o que falta é ver como e quando um fóton "vira" partícula, ou "vira" onda.

Para isso, os dois grupos idealizaram variações do experimento de Wheeler que



Na parte de trás, as oscilações sinusoidais indicam uma interferência de um único fóton - um fenômeno tipo onda. Na parte da frente da ilustração não há oscilações, indicando um comportamento típico das partículas. Entre esses dois extremos, o comportamento do fóton metamorfoseia-se continuamente de onda para partícula, indicando a superposição desses dois estados.

[Imagem: S. Tanzilli/CNRS]

permitem que o fóton seja rastreado o tempo todo e medido continuamente.

Gato de Schrodinger indeciso

As duas equipes usaram configurações ligeiramente diferentes, mas ambas usaram pares de fótons entrelaçados, aqueles que Einstein chamou de fantasmagóricos, porque o que acontece com um afeta o outro, independentemente da distância que os separe.

Um dos fótons é observado e detectado em um interferômetro, enquanto o outro fóton "decide" se a medição será feita de forma a resultar em partícula ou em onda - lembre-se que o tipo da medição determina se o fóton responderá como partícula ou como onda.

Como o que acontece com um fóton sempre interfere com seu companheiro entrelaçado, os cientistas podem observar o fóton continuamente se metamorfoseando entre partícula e onda.

Isso porque os dois compõem a estranha situação conhecida como gato de Schrodinger - um gato guardado dentro de um caixa, com um frasco de veneno cuja abertura é determinada pelo comportamento da partícula quântica, estará vivo e morto ao mesmo tempo, porque a condição da partícula só será definida quando ela for medida, isto é, quando a caixa for aberta.

Mesmo se o fóton de controle decide como medir a partícula depois que ela já passou pelo primeiro interferômetro, ela continua "indecisa", mantendo sua natureza dúbia.

Em termos do gato de Schrodinger, isso significa que, mesmo depois que já deveria estar definido se o gato está vivo ou morto, continua sendo possível determinar se ele está vivo ou morto, ou se ele continua vivo e morto ao mesmo tempo.

Dualidade definitiva

A vantagem dos experimentos é que, em vez de medições individuais, eles permitem explorar a "passagem" da luz de comportamento tipo onda para um comportamento tipo partícula - uma "passagem" que é constante.

Como, nos experimentos, a situação repete-se ao infinito, torna-se possível observar que o fóton assume constantemente as duas condições - ou seja, o fóton é mesmo uma partícula e uma onda, ao mesmo tempo.

A mecânica quântica acertou de novo, reforçando ainda mais seu jeito esquisito, mas muito eficaz, de explicar a natureza.

Bibliografia:

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Resolvido mistério sobre natureza fundamental da luz. 02/11/2012. Online. Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=dualidade-onda-particula. Capturado em 07/11/2019.

TEXTO 4**Aplicação prática da Física Moderna**

Por ROMERO MAGNO SAMPAIO DE ALENCAR

Introdução

A interpretação dos fenômenos físicos estimula o desenvolvimento de tecnologias, que proporcionam melhoria de vida à sociedade. Atualmente não conseguimos imaginar como seria viver sem o uso de um computador, de um celular, do controle remoto, de um laser e seu uso na medicina. Da revolução que o desenvolvimento das fibras óticas, influenciou na massificação das telecomunicações tudo isso graças a pesquisa de vários profissionais na busca de respostas à questões seculares, como o questionamento de nossa existência e nosso destino.

Base e aplicações da Física Moderna

A Física Moderna ancorada pela demonstração de Max Plank que a radiação eletromagnética é emitida por um corpo, em pacotes chamados de quanta, e pela teoria da relatividade proporcionou não só à ciência, mas a várias áreas do conhecimento uma nova visão do mundo, enfatizando a interligação e interdependência dos fenômenos naturais, favorecendo a construção de uma sociedade melhor.

A aplicação prática das pesquisas físicas, implicam na aproximação de pessoas, no melhor controle do mundo em que vivemos, permitindo que possamos evitar alguns desastres naturais, que poderiam abreviar a vida no mundo.

Assim, apresentamos a seguir algumas aplicações práticas que se baseiam nos princípios da física moderna.

1 - Fóton Emissor

A tecnologia de tratamento de cristais, permitiu à indústria eletroeletrônica, um desenvolvimento ímpar. As propriedades dos cristais, permitem que se possa armazenar, ampliar, direcionar, captar, emitir sinais que nos levaram a construção de fita cassete, antena parabólica, televisor, computador, monitores de cristal líquido, são exemplos de sua aplicação prática.

2 - Estimulante do TIMO

Um aparelho que tem as mesmas características de um fóton emissor, mas tem a possibilidade de criar múltiplos remédios. Por exemplo, ele pode criar um pente com informações de pele fetal, de elastina, colágeno, músculo. Permitindo que o corpo humano absorva as vitaminas que precisar, sem dor e sem substâncias e sem efeitos colaterais.

3 - Unidade Fotônica

Trata-se de um aparelho complexo que usa cristais. São sete spots computadorizados, com as sete cores do espectro luminoso, para serem colocados nos sete vórtices abertos. O milenar Chakras. Esse aparelho permite a indução do paciente a um estado de relaxamento profundo.

4 - Gerador de Prata Coloidal

Um eficaz antibiótico natural, obtido a partir da imersão de suas hastes de prata em um litro de água e aplicar uma corrente elétrica. Pode ser usado para desinfetar verduras, matar fungos nos condutores de ar condicionado.

5 - Bobina de Tesla

Trata-se de um equipamento que produz tensões alternadas da ordem de dezenas de quilovolts com frequências na faixa de MHz. Podendo ser usado em experimentos com descarga em gases rarefeitos, ionização do ar, produção de ozônio e propagação de ondas eletromagnéticas.

6 - Lâmpadas de vapor de mercúrio e de sódio utilizadas na iluminação pública

O tubo interno emite o espectro característico do Hg e também linhas no ultravioleta, que são barradas por um bulbo externo. Dispondo de uma rede e algumas lentes, pode-se fazer a projeção do espectro do mercúrio e medir o comprimento de onda das linhas.

7 - Leitor de código de barras

Aparelho constituído de um fotodiodo emissor e um fotodiodo receptor dispostos frente a frente.

O código de barras é a atribuição em um sistema binário, de zeros e uns, para as barras brancas e pretas.

O leitor capta as variações da luz incidente sobre o fotodiodo receptor quando o código é manualmente movido entre os dois componentes do leitor. Através de um programa na linguagem C, converte-se os dados do sistema binário para o seu correspondente decimal.

8 – Nanotecnologia

Na eletrônica a nanotecnologia tem sido usada em displays de telefonia celular e computadores, nos quais leds orgânicos estão sendo produzidos usando finas camadas de filmes feitos com nanoestruturas. Muitos discos rígidos de computadores utilizam uma combinação de mídia com nanoestruturas e uma cabeça de leitura feita de magnetoresistência gigante. Que foram formados quando pesquisadores usaram estruturas formadas por sanduíches de ferro recheados com uma camada de três átomos de cromo e mediram a resistência elétrica do sistema para diferentes campos magnéticos aplicados. Hoje utiliza-se esse material também na nova área da física denominada de eletrônica de spin, ou spintrônica.

O comportamento desses materiais obedece às leis da mecânica quântica. Por exemplo, cada bit de um computador clássico só pode ter dois valores (0 ou 1) mutuamente excludentes. Entretanto na mecânica quântica, cada bit pode adquirir também os dois valores ao mesmo tempo (0 e 1). Essa propriedade é chamada de superposição dos estados quânticos, já demonstrada em laboratório, representando um grande avanço na velocidade de processamento, pois todas as sequencias de bits possíveis em um computador poderiam ser manipuladas simultaneamente.

9 – LASER

Trata-se de um amplificador ótico capaz de gerar um feixe de luz intenso, direcionado e com uma frequência bem definida. Composto por um meio ativo,

onde a luz é gerada e amplificada, inserida entre dois espelhos paralelos, um dos espelhos reflete quase totalmente a luz nele incidente. O segundo é semitransparente deixando passar uma fração do feixe incidente. A luz gerada é refletida várias vezes pelos dois espelhos, ficando assim confinada na cavidade ótica, possibilitando a amplificação da luz.

O laser tem aplicações nas telecomunicações, medicina, metrologia.

10 - Tomografia por emissão de Pósitrons (PET)

É por definição uma técnica de diagnóstico por imagem, usado na medicina nuclear, que usa conceitos de física moderna, que permitem a investigação da fisiologia do nosso corpo.

Seu uso permite a detecção de:

Tumores; Aneurismas; Investigação do funcionamento da Tireoide, e Pulmões.

A partir da injeção no corpo de substâncias radioativas, marcadas com um átomo radioativo que tem um tempo de decaimento curto.

A PET detecta os raios gama emitidos no local onde um pósitron, emitido da substância radioativa, colide com um elétron do tecido a ser investigado.

Por meio de vários tubos de detectores de raios gama, que possui uma série de cristais de cintilação, conectados a um tubo fotomultiplicador. Os cristais convertem os fótons em sinais elétricos e os amplificam. Estes sinais elétricos são processados por um programa de computador onde são geradas as imagens. Pelo movimento da mesa onde o paciente é colocado, obtém-se uma série de imagens de finas fatias da região de interesse, gerando uma imagem tridimensional do órgão investigado.

A PET mostra imagens da corrente sanguínea ou de outras funções bioquímicas, dependendo do tipo de molécula que é radioativamente marcada.

Trata-se de um exame minimamente invasivo e as doses de radioatividade absorvidas pelo paciente, são mínimas.

Em 1950 estudava-se a possibilidade de uso da radiação proveniente da aniquilação do pósitron, melhorar a qualidade da imagem do cérebro. Algumas substâncias são emissoras de pósitrons e quando eles entram em contato com o nosso corpo, viajam uma pequena distância e interagem com um elétron do meio. O contato da matéria com a antimatéria resulta na aniquilação de ambas as partículas. Devido à conservação de energia e momento, suas massas são convertidas em um par de fótons que viajam em direções opostas. A detecção simultânea desses fótons torna possível, a produção de imagens tomográficas.

Conceitos funcionais da PET

A tomografia por emissão de pósitrons baseia-se no fato da matéria aniquilar-se com a antimatéria.

O nosso corpo é constituído de elétrons que se aniquilam com a antimatéria emitida por um radionuclídeo emissor de pósitrons. Um núcleo emissor de pósitrons é aquele que apresenta um excesso de prótons em relação aos nêutrons, e que para alcançar a estabilidade sofre decaimento. Radiofármacos são moléculas de maior afinidade com o órgão ou tecido a ser estudado.

A obtenção de uma imagem PET obedece a três etapas:

1 - Aquisição dos dados

2 - Processamento e reconstrução dos dados

3 - Obtenção da imagem

A imagem PET é formada em um conjunto de detectores de radiação envolvendo o corpo do paciente. Quando um detector intercepta a radiação de um fóton, um sinal elétrico é produzido. Esses sinais são processados por um programa de computador, que gera uma imagem digital.

Aplicações práticas da PET

1. PET poupa tempo e vidas
2. PET é seguro, eficaz e não invasivo
3. PET mostra todos os órgãos e sistemas num único exame, indicando se o câncer está ou não disseminado
4. PET mostra progressão da doença e avalia a resposta ao tratamento
5. A combinação PET em um único aparelho oferece imagens anatômicas associadas a informações metabólicas
6. PET pode eliminar a necessidade de outros exames e procedimentos cirúrgicos diagnósticos
7. PET reduz significativamente custos e desconforto ao paciente

Na oncologia a PET revela:

1. Se o tumor está presente
2. Onde está o tumor
3. Se o tratamento do tumor está sendo eficaz
4. Se o câncer está sendo disseminado
5. A agressividade do tumor
6. A presença de recorrência tumoral

Na neurologia a PET revela

- As imagens adquiridas através do PET podem identificar regiões de baixo metabolismo da glicose no cérebro, demonstrando com alta sensibilidade o foco da epilepsia.
- O PET é indicado na avaliação de crises convulsivas refratárias ao tratamento. Atualmente existem técnicas cirúrgicas disponíveis para remover este tecido cerebral comprometido, levando um grande número de pacientes à cura definitiva.
- Diagnóstico precoce e diferencial de demências, principalmente na suspeita de Doença de Alzheimer.

ROMERO MAGNO SAMPAIO DE ALENCAR

Romero Magno Sampaio de Alencar Formação: Licenciatura em Física pela UFRPE - 2014

<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/idiomas/aplicacao-pratica-da-fisica-moderna/55981>