



Efeito Compton: uma proposta de ensino-aprendizagem utilizando sequência didática

Júlio Pinheiro^{1#} , Fátima Baraúna Magno (*in memoriam*)²

¹Escola Estadual de Ensino Médio e Técnico Professora Ana Teles, Benevides, PA, Brasil.

²Faculdade de Física, Universidade Federal do Pará, Cidade Universitária José da Silveira Netto, Belém, PA, Brasil.

Palavras-chave

efeito Compton
ensino de física
física moderna
Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Resumo

O objetivo deste trabalho é verificar a efetividade da aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) com relação ao ensino-aprendizagem do Ensino Médio ao tratar da introdução do conceito de efeito Compton no conteúdo de física moderna e contemporânea. A UEPS foi estruturada em oito etapas, divididas em material diversificado, como aulas expositivas de revisão, textos, vídeos, mapas conceituais, autoavaliações etc. 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 deles no ensino de física. Quanto à metodologia, o trabalho apresentado caracterizou-se como uma pesquisa qualitativa orientada pelo professor na aplicação da sequência didática. Como resultado, este artigo aponta que, através do estudo feito, foi possível concluir que o tópico efeito Compton tem relevância suficiente para ser introduzido no conteúdo de física moderna, sendo uma ferramenta que pode contribuir para o desenvolvimento do ensino-aprendizagem destes estudantes.

1. Introdução

Durante décadas, a importância do estudo da física na educação básica tem sido debatida. Acoplados a estes debates, há projetos que provam essa importância, parecendo haver consenso entre pesquisadores da área que a forma como essa ciência vem sendo apresentada nos livros-textos e, conseqüentemente, na sala de aula está equivocada se comparada ao seu real sentido [1].

O século XX constituiu-se como um marco para a física ao quebrar o pensamento científico tradicional que existia até então, com o surgimento, nesta época, dos trabalhos de Max Planck [2] e Albert Einstein [3]. Sabe-se que este fato marcou o aparecimento do que se conhece hoje como física moderna e contemporânea (FMC) e, atualmente, conta com mais de um século de pesquisas nessa área de concentração e infinitos avanços tecnológicos.

Há consenso entre pesquisadores da educação básica que a forma como a física é apresentada nos livros-textos e na sala de aula está equivocada se comparada ao seu real sentido

Autor de correspondência. E-mail: julio.pinheiro@escola.seduc.pa.gov.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2023, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

cos, resultados de novas teorias. Porém, o que se notava no ensino de física formal, até poucos anos atrás, era que na quase totalidade de seus currículos constava apenas assuntos de física clássica [4].

A física moderna e, em particular, o efeito Compton, apesar de ser a base de vários fenômenos do cotidiano e de múltiplas aplicações tecnológicas manuseadas pelos estudantes, ainda é abordada de modo bastante descritivo e descontextualizado durante o ensino básico, sem o uso de outros meios tecnológicos além do livro didático. Baseados neste problema, vários autores 4-6 defendem a inserção da FMC no Ensino Médio, contribuindo para uma mudança no currículo de física da Educação básica. Este assunto já vem sendo discutido há duas décadas [7], mostrando que os conhecimentos e assuntos de física abordados em sala de aula estão compreendidos entre o início do século XII e o final do século XIX. Dessa forma, cria-se uma defasagem temporal no ensino de física, de modo que artefatos atuais e fenômenos criados/descobertos a partir da virada do século XX não sejam compreendidos e discutidos em sala de aula da Educação básica.

Considerando-se a aplicabilidade na indústria, na medicina, na agricultura, na segurança e na área militar, o uso da técnica do espalhamento Compton mostra-se adequada para diversas aplicações tecnológicas que apresentam potencial de desenvolvimento, principalmente porque ela já é usada em várias áreas, obtendo excelentes resultados. Assim, verifica-se a necessidade de a técnica ser abordada no Ensino Médio.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Considerações iniciais

A mecânica quântica é uma teoria científica desenvolvida por alguns físicos, como Heisenberg, Jordan, Pauli, Schrödinger, De Broglie, Bohr e Einstein, com a finalidade de explicar fenômenos que não podiam ser descritos pelas teorias clássicas, por exemplo, a mecânica de Newton e o eletromagnetismo de Maxwell.

Esta parte da física estuda os sistemas da escala atômica ou subatômica, como os átomos, as moléculas, os prótons os elétrons. Os estudos tornaram possível a explicação de muitos fenômenos da física, como a radiação do corpo negro e as órbitas estáveis do elétron. Ela também é usada para explicar fenômenos macroscópicos, cuja compreensão só é possível quando se leva em conta que o comportamento microscópico da matéria é quântico.

2.2. O efeito fotoelétrico

Um importante passo no desenvolvimento das concepções sobre a natureza da luz foi dado no estudo de

um fenômeno 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. 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 i-

onização do ar, o que facilitava o surgimento da faísca. Devido a este motivo, esse efeito ficou conhecido como efeito fotoelétrico (Fig. 1), pois era a incidência de luz que fazia os elétrons saírem do metal [8].

A luz, que até então era explicada e considerada apenas como onda luminosa, passou a ter uma caracterís-

tica corpuscular, pois seria formada por partículas: os fótons. Isso representou um golpe significativo dentro do pensamento racional e perturbou um dos princípios norteadores da natureza da luz, pois permitia que um mesmo fenômeno pudesse ter duas explicações até então excludentes.

A partir de tal constatação, a luz, em determinados momentos, se comporta como uma onda; e, em outros, como partícula. Podia-se dizer que ela apresentava, então, uma dualidade onda-partícula.

A luz, em determinados momentos, se comporta como uma onda; e, em outros, como partícula. Podia-se dizer que ela apresentava, então, uma dualidade onda-partícula

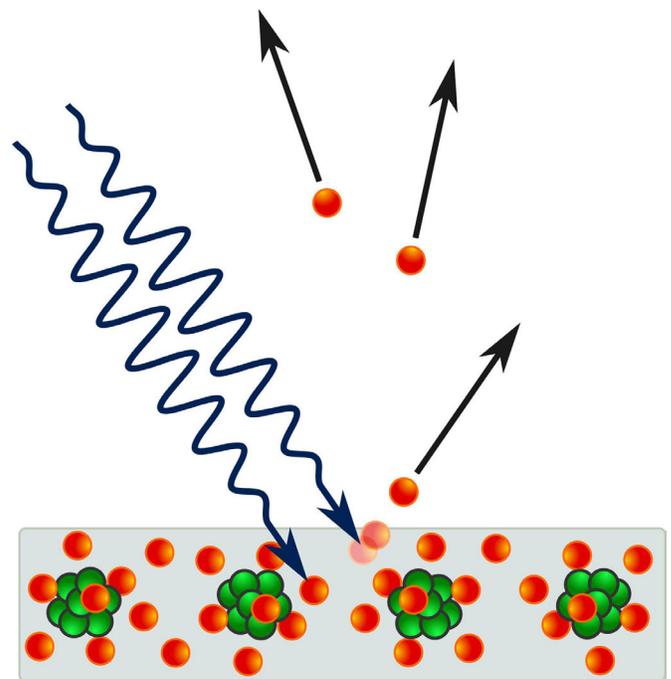


Fig 1 - Esquema do efeito fotoelétrico. Uma animação simples mas elucidativa desse efeito também pode ser encontrada em https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Photoelectric_effect_in_a_solid_diagram.svg.

2.3. Dualidade onda-partícula

Uma das grandes indagações do homem sempre foi relacionada ao comportamento da luz. Até o final do século XIX, acreditava-se que a luz se comportava apenas como uma onda eletromagnética, e isso era o suficiente para explicar o comportamento observado em sua propagação.

Foram apresentadas algumas outras teorias para explicar o comportamento da luz, dentre elas a do físico inglês Isaac Newton, que, em sua proposta, considerava a luz como um feixe de partículas (modelo corpuscular); porém, essa teoria tornou-se limitada, pois alguns episódios não puderam ser explicados por ela.

A seguir, uma segunda teoria apresentada detalhou o estudo da luz como um efeito eletromagnético (modelo ondulatório) estudada e explicada por James Clerk Maxwell. Esta teoria conseguiu explicar vários fenômenos, mas, quando testado com o efeito fotoelétrico, não conseguiu explicar a emissão instantânea de elétrons de uma placa de metal, em razão de a interação entre ondas eletromagnéticas e a placa ter se tornado parcial em algumas circunstâncias.

Foi Albert Einstein, 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, partindo do princípio de que na natureza existe simetria e considerando que a partícula se comporta como onda, relacionou o comprimento de onda de uma partícula, λ , à quantidade de movimento da mesma, p [9]

$$p = \frac{h}{\lambda}. \quad (1)$$

O que era notado tanto na época como ainda hoje é que a luz ora se comportava 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 explicá-los e a teoria corpuscular está associada aos fenômenos de absorção e emissão de energia.

Um dos equipamentos que utiliza em seu princípio de funcionamento o comportamento da partícula-onda é o microscópio eletrônico.

2.4. O efeito Compton

Mesmo sendo um problema bastante importante para a física, a radiação do corpo negro ainda não ha-

via sido resolvida por nenhum físico até o final do século XIX.

Porém, em 1901, o físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck, considerado o pai da física quântica, após pesquisar as radiações eletromagnéticas, resolveu este problema, utilizando como hipótese 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 deu-se o nome 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”. Atualmente, adota-se que a natureza da luz é de dualidade onda-partícula, dependendo do fenômeno que será analisado e considerando a luz como onda ou partícula.

2.4.1. Os fótons

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

$$E = h \cdot f, \quad (2)$$

sendo E a energia, em Joules, h a constante de Planck, que vale $6,626 \times 10^{-34}$ J.s e f é a frequência da radiação emitida, medida em Hertz.

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.

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.

2.4.2. O experimento de Arthur Holly Compton

Arthur Holly Compton, físico americano, constatou o efeito Compton no ano de 1923 e, em 1927, recebeu o Prêmio Nobel de Física por esta importante descoberta, que mostra que a luz não pode ser explicada simplesmente como um fenômeno ondulatório. Assim, estava explicada a natureza corpuscular da radiação através de um experimento.

O aparato experimental desenvolvido por Compton fez com que um feixe de raios X de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de carbono para que ele pudesse observar se havia um espalhamento dos raios. De início, não notou nada equivocado nesse espalhamento, pois as medidas indicavam frequências diferentes entre o feixe espalhado e o feixe incidente após atravessarem o alvo (Fig. 2).

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

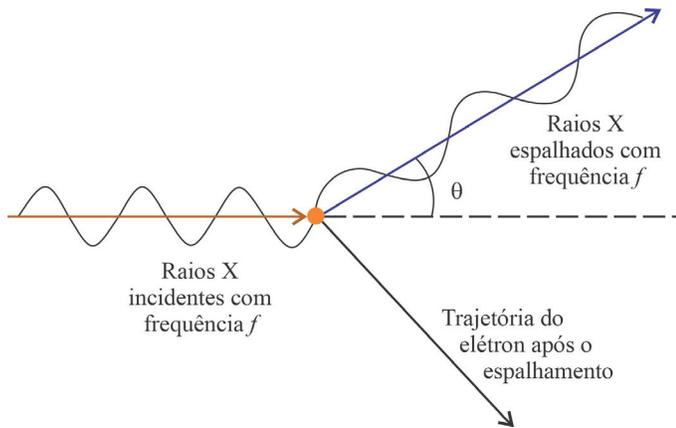


Fig 2 - Esquema da ocorrência do efeito Compton. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>.

Até a comprovação pelo experimento de Compton, 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. Porém, com sua prática experimental, ficou comprovada 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 feixes de partículas, e a interação com a matéria como sendo uma colisão de partículas. De acordo com Einstein e Planck, o fóton tinha valor de energia incidente $E = hf$, que fornece parte dela ao elétron, que recua; já o fóton espalhado tem energia menor, $E' = hf'$. Como $E' < E$, então $f' < f$, resultando em um comprimento de onda espalhado maior do que o incidente [10].

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 pela Eq. (1), este ficaria [9]

$$P_{\text{fóton}} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (3)$$

Esta lei valia para diversos ângulos de espalhamento, sendo c a velocidade da luz no vácuo, h a Constante de Planck e λ o comprimento de onda da radiação. Normalmente o efeito Compton é estudado tendo como base os raios X e raios gama, pois, a diferença entre os comprimentos de onda é muito pequena [11].

2.4.3. Aplicações do efeito Compton

O uso da técnica do espalhamento Compton mostra-se adequado para diversas aplicações tecnológicas que apresentam potencial de desenvolvimento, além de ela ser empregada em várias áreas, obtendo excelentes resultados [8].

- Na indústria, o espalhamento Compton é utilizado como técnica de inspeção não invasiva para detecção de falhas e irregularidades em estruturas;
- Na medicina, é empregado no estudo de variações de densidade em ossos, tecidos moles e órgãos, para diagnosticar precocemente patologias como o câncer e a osteoporose, sendo aplicado, ainda, para produzir imagens em duas ou três dimensões (raio X, tomografia computadorizada e ressonância magnética, por exemplo), permitindo exames morfológicos quantitativos de vários órgãos vivos, como pulmões, cérebro e rins;
- Na agricultura, parâmetros fundamentais para a otimização do solo, como a compactação e o teor de umidade, são obtidos utilizando tal técnica;
- Com relação à segurança, é usado na detecção de minas terrestres enterradas no solo e 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.;
- Na área militar, é utilizado para determinar se as peças de munição ainda são explosivas para que se possa descartá-las com segurança.

O fato de ter recebido o Prêmio Nobel de Física pela descoberta do efeito Compton e de ter participado da Conferência de Solvay, em que Bohr, Dirac, Heisenberg, Pauli, Schrödinger 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 [8].

3. Metodologia da pesquisa

3.1. Pesquisas quantitativa e pesquisa qualitativa

Esta pesquisa faz parte do trabalho desenvolvido no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal do Pará, Polo 37. Para este trabalho, foram feitas uma abordagem quantitativa e outra qualitativa, com o objetivo de verificar o resultado obtido na construção do conhecimento dos estudantes do terceiro ano do Ensino Médio ao usarem uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre a inserção do tema efeito Compton no conteúdo de física moderna e contemporânea [12].

O uso da técnica do espalhamento Compton mostra-se adequado para diversas aplicações tecnológicas

3.1.1. Abordagem quantitativa

Na Tabela 1, é apresentado um levantamento bibliográfico feito com livros de física do terceiro ano do Ensino Médio, que contêm ou não o tema efeito Compton, utilizados 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.

Nesta pesquisa realizada sobre a quantidade de livros ofertados no PNLD 2018 que abordam o efeito Compton, foi consultado um total de 12 livros, entre coleções e volumes únicos que foram oferecidos para o terceiro ano do Ensino Médio, conforme demonstrado, em forma de porcentagem, na Fig. 3.

Dessas 12 obras, apenas 1 apresentava o conteúdo sobre efeito Compton, mostrando, assim, que mais de 90% dos livros e das 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 pode-se observar na análise da Fig. 3.

3.1.2. Abordagem qualitativa

Após a análise quantitativa, foi feita uma análise qualitativa nos 12 livros citados na Tabela 1 com o objetivo de avaliar, nestas obras o grau alcançado, em extensão e profundidade, do estudo do efeito Compton.

Da análise sobre o conteúdo abordado nos livros didáticos fornecidos, foi observado que ele é muito resumido, pois é exposto de forma muito superficial e desconexa da realidade do aluno. Dessa forma, o conteúdo não consegue atingir todas as potencialidades que o assunto apresenta, o que o torna desinteressante para os estudantes. A aprendizagem também se torna pouco significativa e dificulta o entendimento dos dis-

Tabela 1: Lista dos livros didáticos de física.

Nº	Código	Título	Apresentação do conteúdo
01	0021P18133	Livro 1	Não
02	0025P18133	Livro 2	Não
03	0045P181333	Livro 3	Não
04	0071P18133	Livro 4	Não
05	0100P18133	Livro 5	Não
06	0101P18133	Física 6	Não
07	0118P18133	Livro 7	Não
08	0129P18133	Livro 8	Não
09	0131P18133	Física 9	Sim
10	0167P18133	Livro 10	Não
11	0188P18133	Livro 11	Não
12	0200P18133	Livro 12	Não

centes quando o tema da física moderna é abordado pelo professor.

Verificou-se, ainda, que o assunto efeito Compton foi apresentado no livro de uma forma difícil de ser assimilada pelos estudantes devido à sua linguagem científica, uma vez que eles ainda não foram completamente “alfabetizados cientificamente” neste conteúdo.

3.2. Aplicação da pesquisa

3.2.1 Aplicação prática da pesquisa

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

Para a escolha da turma que deveria ser submetida à investigação, realizou-se uma análise do número de alunos e da distribuição de aulas semanais do terceiro ano do Ensino Médio. O professor-pesquisador ministrava aulas nesta escola, o que facilitou a realização da pesquisa durante todo o processo metodológico. Os conhecimentos de tais fatores melhoraram o planejamento das etapas da sequência didática.

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

A maioria dos estudantes que participaram 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, ao entretenimento.

Para analisar os conhecimentos prévios dos alunos, foi elaborado um questionário em nível crescente de dificuldade sobre conceitos básicos de física moderna, passando pela definição do conceito de dualidade onda-partícula, pelo efeito fotoelétrico e, em seguida,



Fig 3 - Porcentagem de livros analisados que abordam o efeito Compton.

pelo efeito Compton. O questionário foi aplicado aos estudantes pelo professor-pesquisador e respondido pelos discentes em sala de aula.

3.2.2. Aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para aprendizagem do efeito Compton

O processo de aplicação da UEPS ocorreu em 18 aulas de 45 minutos cada, distribuídas ao longo de 6 semanas.

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 colocá-los como protagonistas do processo de construção do conhecimento, ou seja, as principais ações do processo de ensino-aprendizagem deveriam contar com a participação efetiva dos discentes.

Ressalta-se que esta sequência de ensino é inspirada em aspectos teóricos e sequenciais da UEPS, envolvendo características relevantes da Teoria da Aprendizagem Significativa. No entanto, em alguns momentos, as atividades ocorreriam de acordo com as peculiaridades das ferramentas de ensino trabalhadas e em concordância com a realidade do público local. A ferramenta metodológica foi apresentada aos discentes pelo professor-pesquisador, sendo explicado como ocorreriam as sequências de aulas até a sua conclusão.

Outro fator que contribuiu para a continuidade das etapas da sequência didática foi a distribuição das aulas de física na turma, que apresentava três horários de 45 minutos cada, auxiliando no aproveitamento e na interação com os conteúdos durante as situações formais de ensino.

Os tópicos de FMC foram ministrados no início do 4º bimestre do ano de 2019, tendo-se o cuidado de apresentá-los com muita cautela para que os alunos não se sentissem desorientados frente a novas informações e, principalmente, novos conceitos.

3.2.3. Relatos da implementação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

A maioria das atividades foi totalmente concluída, ou pelo menos iniciada em sala de aula, para que houvesse o mínimo de tarefas a serem trabalhadas em casa, pois, para muitos alunos, não seria fácil se encontrarem com os colegas em horários além do escolar, embora fosse incentivado o uso de outros espaços da instituição, como a biblioteca, a sala de informática ou os espaços arborizados.

3.2.3.1. 1º encontro

A primeira aula foi iniciada com a apresentação da proposta metodológica como subsídio para que o tra-

balho pudesse ser executado com os alunos, sobre o assunto física moderna, dando ênfase ao conteúdo efeito Compton. Foram expostos todos os temas a serem trabalhados no decorrer da sequência didática. Foi feita, ainda, a apresentação do texto “Como construir mapas conceituais”, do Prof. Dr. Marco Antônio Moreira, seguido de uma breve explicação sobre o porquê de construir um Mapa Conceitual, como fazer isso e onde ele seria utilizado nesta pesquisa [13].

Dando continuidade, foram escritas no quadro as perguntas norteadoras descritas a seguir para construir o Mapa Conceitual e para que os alunos externalizassem seus subsunçores sobre a FMC e o efeito Compton. A turma foi dividida em quatro grupos de, no máximo, dez alunos cada; estas equipes discutiram o texto lido e as perguntas a serem respondidas. Foi estabelecido o tempo de 25 minutos para as respostas, sendo que a discussão de cada grupo poderia ser feita em sala ou em outro local escolhido pela equipe.

Perguntas norteadoras:

1. Você conhece a física moderna?
2. Do que a luz é composta?
3. Qual é a natureza das radiações eletromagnéticas, como a luz?
4. Quais são os tipos de ondas?
5. Teria sentido pensar em comportamento dual da luz?
6. Você sabe o que é o efeito fotoelétrico?
7. Você já ouviu falar em efeito Compton?

Terminado o 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. Esse mapa foi construído por todos e seus resultados deveriam ser discutidos para posterior apresentação.

Após a construção e a discussão, entre os membros da equipe, da elaboração e da apresentação do Mapa Conceitual ao professor e à turma, foi aplicada uma avaliação diagnóstica individual, com questões que pudessem verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) que os alunos tinham sobre física moderna e efeito Compton. Essas questões foram extraídas de 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, o tempo foi de 75 minutos.

3.2.3.2. 2º encontro

Uma semana depois, o 2º encontro de aplicação foi iniciado com a devolução dos textos a seus respectivos grupos, com as respostas fornecidas às questões norteadoras que foram propostas no encontro anterior, sendo feita a discussão na classe. Após o debate sobre a validade das respostas dadas pelos grupos, cada um

deles analisou sua resposta para que fizessem as devidas correções. Depois de finalizadas, elas 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 preferiram realizar a leitura em sala de aula e outros, em local diferente.

Em seguida, foram distribuídas cópias individuais dos textos, com os seguintes títulos:

- 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 fornecido tempo aos discentes para que lessem os textos e, depois, os discutissem com seus grupos. Ao final do encontro, o procedimento foi novamente a discussão na turma e com a mediação do professor, sem, no entanto, chegar a um resultado conclusivo sobre o assunto.

3.2.3.3. 3° encontro

A aula foi iniciada com uma revisão do assunto estudado até o encontro anterior, de forma expositiva. Como apoio, foi utilizada a apresentação em slides, onde foram enfatizados os pontos positivos dos textos e dos conhecimentos adquiridos. Depois, foram exibidos os seguintes vídeos:

- A ideia do quantum: efeito fotoelétrico;
- Por que precisamos da dualidade onda-partícula?
- Física quântica: história explicada;
- O que é a dualidade onda-partícula?

Todos os vídeos podem ser encontrados no YouTube e seus endereços devem ser disponibilizados aos alunos.

Foi solicitado aos discentes que se organizassem nos antigos grupos para que discutissem os assuntos propostos nos vídeos e, posteriormente, formulassem textos que evidenciassem os conhecimentos sugeridos nos vídeos. Para executarem a tarefa proposta, ou seja, elaborarem um texto por equipe, foi necessária a mediação do professor. Ao final, os textos produzidos pelos grupos foram entregues a ele.

3.2.3.4. 4° encontro

Este novo encontro iniciou-se propondo novas situações-problema, em maior nível de complexidade, apresentando à turma simulações e animações sobre o efeito fotoelétrico e o efeito Compton; todo este material é de domínio público.

Após esse momento, foi realizada uma exposição, em *PowerPoint*, sobre os assuntos tratados nas animações e nas simulações, enfatizando o efeito Compton.

Durante essa apresentação, foram citados exemplos e aplicações do cotidiano relacionados ao efeito fotoelétrico e ao efeito Compton, sendo explicado, novamente, o que são esses fenômenos e como eles acontecem.

Em seguida, foi solicitado aos discentes que se organizassem em grupos, como os que foram formados no primeiro encontro, e 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, houve o seguinte procedimento: todos os mapas construídos e apresentados pelos grupos da turma foram fotografados pelo professor para serem comprovados através de projeção. Porém, no caso de não haver projetor na escola, os mapas podem ser feitos pelos estudantes em cartolina para serem apresentados à classe.

A apresentação dos mapas teve o objetivo de estimular a discussão de cada um dos vários grupos e levá-los a tomar conhecimento da opinião dos outros estudantes, pois, durante a exibição, eles analisaram os mapas construídos pelas outras equipes, e muitos deles propuseram modificações nesses mapas. Foi proposto que todos anotassem as sugestões feitas pela classe para posterior análise e verificação de atualização do seu mapa antes de ser entregue ao professor; esta atividade foi desenvolvida em três horas-aulas.

Ao final deste encontro, anunciou-se que, no próximo, seria feita uma nova avaliação individual.

3.2.3.5. 5° encontro

Neste encontro, houve a aplicação de um questionário, com pequenas modificações nas alternativas daquele que foi aplicado anteriormente; esta atividade ocupou as duas primeiras aulas. Após todos terem terminado a atividade, a turma foi reunida e o teste, devolvido aos seus destinatários, propondo aos discentes que corrigissem os próprios testes através do gabarito fornecido, porém todos teriam de realizar uma auto-avaliação do seu desempenho. Foram observados os relatos de vários discentes, entre eles: “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!’”. Notou-se, ainda, que a maioria dos alunos se sentia satisfeito com seu desempenho, embora muitos não tenham alcançado a nota máxima na avaliação. Os discentes foram instigados a avaliar o nível de complexidade da prova, sendo que as análises dos que decidiram falar foram anotadas no Diário de Bordo da aplicação pelo professor/mediador.

3.2.3.6. 6° encontro

Dando continuidade às atividades, este encontro se iniciou com uma revisão, utilizando o *PowerPoint*,

sobre o que foi exposto durante a aplicação da UEPS nas etapas anteriores. Foi apresentada, novamente, a simulação do efeito fotoelétrico e do efeito Compton.

Foram apresentadas várias animações sobre o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, fazendo comentários sobre cada uma delas e ressaltando os potenciais de aplicação para que os discentes percebessem a melhoria da qualidade de vida do homem provocada por esta parte da física.

Os grupos construíram os novos Mapas Conceituais partindo dos mapas anteriores e considerando todas as informações a que tiveram acesso até o momento, agregando ao mapa anterior novos conceitos e exemplos de aplicações obtidos com os conhecimentos adquiridos.

Fez-se o acompanhamento da construção do mapa final em todas as equipes, orientando como deveriam ser selecionados os conceitos que os membros do grupo já haviam escolhido e descrito, além de 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 serem incluídos no novo Mapa Conceitual.

Ao término desta etapa, foram finalizados os quatro mapas onde constavam a descrição dos resultados da UEPS. Foram reservados 15 minutos desta etapa para a aplicação de 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 eles.

3.2.4. A finalização da implementação da UEPS

As etapas sete e oito da UEPS foram concluídas fazendo a avaliação da aprendizagem através da aplicação da sequência didática proposta. Para isso, analisaram-se os trabalhos realizados pelos alunos, observações feitas durante as aulas e o exame somativo individual.

É bom ressaltar que o teste ao qual os estudantes foram submetidos no decorrer da UEPS foi feito de forma contínua, sempre considerando o processo de construção do conhecimento, não esquecendo que a argumentação pode se dar pelo ato discursivo, pela oralidade ou por registros gráficos, e lembrando que algumas atividades foram reformuladas para que pudessem lograr êxito na sequência didática.

4. Resultados da pesquisa

Foi feita a análise da influência que a UEPS, voltada para a inserção de conceitos básicos da FMC no Ensino Médio, utilizando como tema central o efeito Compton, pode provocar no ensino-aprendizagem dos discentes,

enfatizando os aspectos pedagógicos, epistemológicos e metodológicos.

4.1. Análise das respostas às perguntas norteadoras e construção do Mapa Conceitual coletivo

Foram feitas várias discussões entre os grupos, sendo notado que, mesmo dentro das equipes que responderam que já conheciam a FMC, havia uma minoria que apenas tinha ouvido falar nela ou mesmo não a conheciam, contudo enfatizou-se que a resposta foi negociada pelo grupo, sendo adotada a resposta que a maioria considerava a mais correta.

Como exemplo, será feita a análise das respostas das perguntas norteadoras 1 e 7.

Notou-se que a maioria dos discentes já tinha ouvido falar em física moderna, porém a análise das respostas mostrou que eles não conseguiam defini-la corretamente, como foi percebido através do relato dos alunos sobre a resposta dada à questão (1) pelos grupos.

A questão (7) tinha como objetivo levantar os conhecimentos sobre o efeito Compton e a maioria dos alunos respondeu que não sabia do que se tratava, porém o Grupo 4 apresentou uma resposta mais elaborada, o que levou ao diagnóstico de que alguns estudantes já haviam tido contato com tal assunto.

Após esta etapa, foi solicitado aos alunos que construíssem um Mapa Conceitual, com significados, relações e hierarquias conceituais, utilizando como guia o artigo apresentado e os conceitos-chave: física moderna, partículas, luz, eletricidade, campo elétrico e campo magnético; que foram destacados pelos próprios alunos e explorados em outras questões norteadoras.

Foi construído um Mapa Conceitual para cada grupo; sendo notado que a maioria dos alunos respondeu que não sabia o que era o efeito Compton; porém, novamente, o Grupo 4, apresentou uma resposta mais elaborada, o que permite averiguar que alguns alunos já tiveram contato com o assunto (Fig. 4).

Mesmo dentro das equipes que responderam que já conheciam a FMC, havia uma minoria que apenas tinha ouvido falar nela ou mesmo não a conheciam, contudo enfatizou-se que a resposta foi negociada pelo grupo

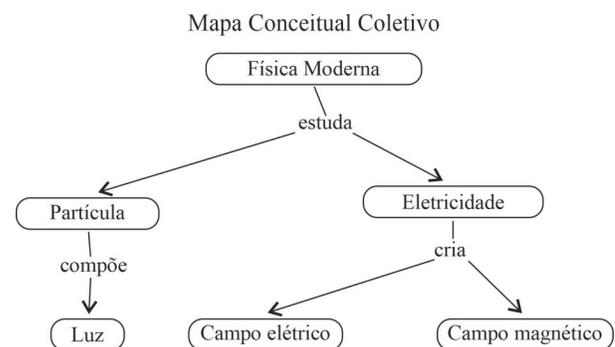


Figura 4 - Mapa Conceitual inicial coletivo.

O papel do professor foi apenas o de sistematizar a confecção do mapa com as observações dos alunos, não influenciando seu formato.

Após analisar os Mapas Conceituais dos quatro grupos, notou-se que, pelos mapas construídos inicialmente, os alunos apresentavam poucos conhecimentos sobre a física moderna e contemporânea e, especialmente, a respeito do efeito Compton, pois este conteúdo só é abordado nos livros didáticos de forma superficial.

4.2. Análise dos resumos dos vídeos

Nesta seção, foi feita a análise dos resumos elaborados pelas equipes após a terceira etapa da sequência didática, onde foram apresentados alguns vídeos com a intenção de verificar se os alunos conseguiram compreender as informações 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 Fig. 5 mostra, como exemplo, o resumo produzido pelo Grupo 1, em resposta à solicitação do professor.

Ao ser analisado, observou-se que, no texto produzido pelo Grupo 1 (Fig. 5), os membros da equipe conseguiram expressar conceitos básicos sobre a dualidade onda-partícula, assim como diferenciar ondas de partículas, e ainda expressaram conhecimentos básicos sobre a composição da luz; também convém salientar que os alunos deste grupo apresentaram evidências de Aprendizagem Significativa após a aplicação da UEPS.

Após a análise dos resumos apresentados pelas quatro equipes, percebeu-se que, até este momento da sequência didática, os alunos tinham conseguido assimilar satisfatoriamente os conteúdos propostos.

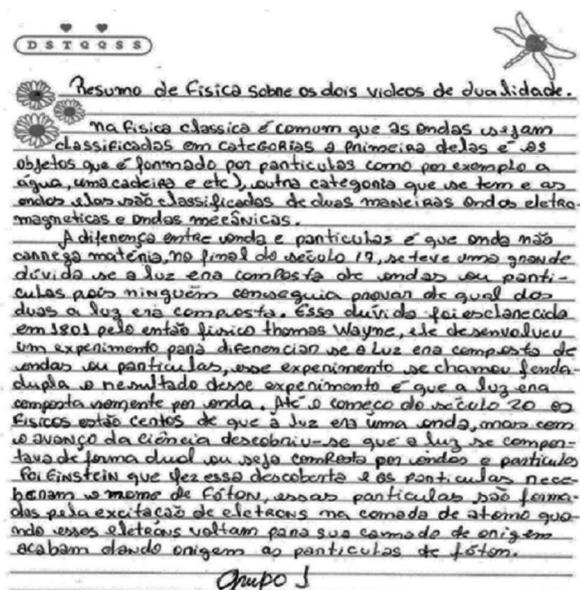


Figura 5 - Resumo do Grupo 1.

4.3. Análise do pré-teste e do pós-teste

Nesta seção, realizou-se a análise dos questionários, assim como o desenvolvimento de toda a sequência didática, descrevendo pontos que foram considerados fundamentais para a pesquisa. Além disso, os resultados obtidos através das informações coletadas foram apresentados, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, em que as categorias serão ilustradas com as respostas dos alunos; serão mostradas apenas duas questões como exemplo. Os dados obtidos pelo teste respondido, antes e depois da aplicação da sequência didática, são mostrados de forma comparativa.

Os resultados estão expostos em forma de gráfico, com o percentual de acertos e erros dos alunos do pré-teste, ou seja, o resultado dos conhecimentos prévios, antes da aplicação da sequência didática e o percentual de acertos e erros dos alunos do pós-teste, após a aplicação da sequência didática.

Segunda Questão: Roberval vai ao dentista e, antes de ser submetido a uma radiografia, solicita o protetor de tireoide (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 tireoide nas radiografias intraorais (...)”; 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 apenas para o paciente o espalhamento desta radiação, ainda pode colocar o dentista em perigo. Identifique o fenômeno responsável por esse espalhamento.

Com esta questão (Fig. 6), o objetivo era o de analisar quais conhecimentos os alunos tinham no início da sequência didática com relação às aplicações do efeito Compton.

A análise da Fig. 6 revela que a maioria dos alunos tinha conhecimentos básicos sobre as aplicações do efeito Compton, com apenas uma pequena porcentagem dos estudantes tendo errado a questão no pré-teste.

No pós-teste, a porcentagem de alunos que acertaram a resposta aumentou, chegando ao valor de 94% dos estudantes. Houve, portanto, uma evolução de 18% no percentual de acerto, como é possível observar na Fig. 7, pois as alternativas A e E representam, respecti-

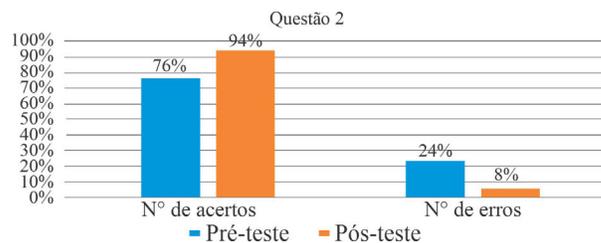


Fig. 6 - Respostas da questão 2.

Respostas da Questão 2

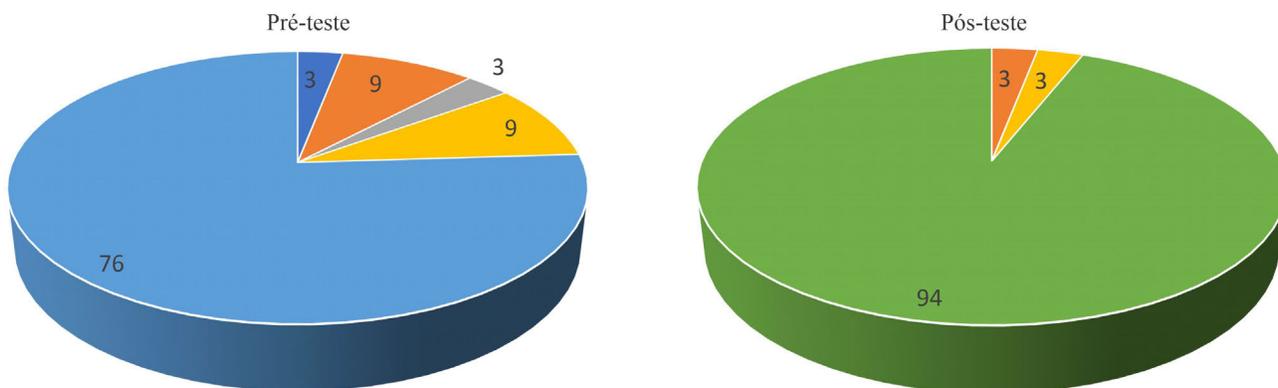


Figura 7 - Porcentagens de respostas da questão 2.

vamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário, em que pode ser notado que algumas alternativas não chegaram a ser marcadas.

Sexta Questão: Leia a tirinha a seguir (Fig. 8).

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

1. Interferência e refração.
2. Interferência e polarização.
3. Difração e efeito fotoelétrico.
4. Efeito fotoelétrico e efeito Compton.
5. Polarização e difração.

Através da aplicação da questão, tinha-se como propósito saber que entendimento os discentes tinham sobre a natureza ondulatória da luz, assim como descobrir o grau de compreensão de que os alunos dispunham, inicialmente, sobre o fóton e a dualidade onda-partícula. A Fig. 9 retrata os percentuais de estudantes que acertaram ou erraram a resposta.

De acordo com o mostrado na Fig. 9, pode-se 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 Fig. 9, apenas 26% tinham concepções sobre os conhecimentos físicos relacionados à luz, mas 71% não souberam

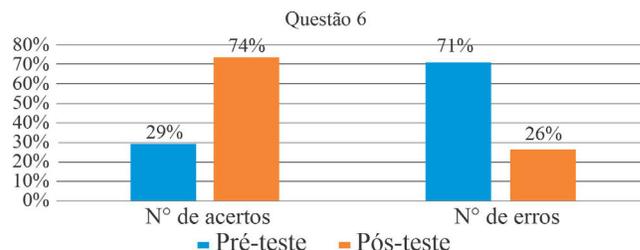


Figura 9 - Respostas da questão 6.

responder à questão de forma correta no pré-teste, sendo que o conceito de luz é de fundamental importância para o entendimento da FMC.

A Fig. 10, em que as letras A a E indicam, respectivamente, as opções de múltipla escolha que constam no questionário, mostra a evolução das respostas dadas pelos alunos antes e depois da aplicação da sequência didática.

Depois da aplicação da sequência didática, analisando os percentuais, percebe-se que houve um crescimento no número de acertos, da ordem de 45%, o que demonstra a importância da aplicação da metodologia na construção e no aperfeiçoamento de conceitos através da interação entre alunos e professor em sala de aula, onde os mesmos discutiram sobre conceitos e



Figura 8 - Tirinha referente à questão 6.

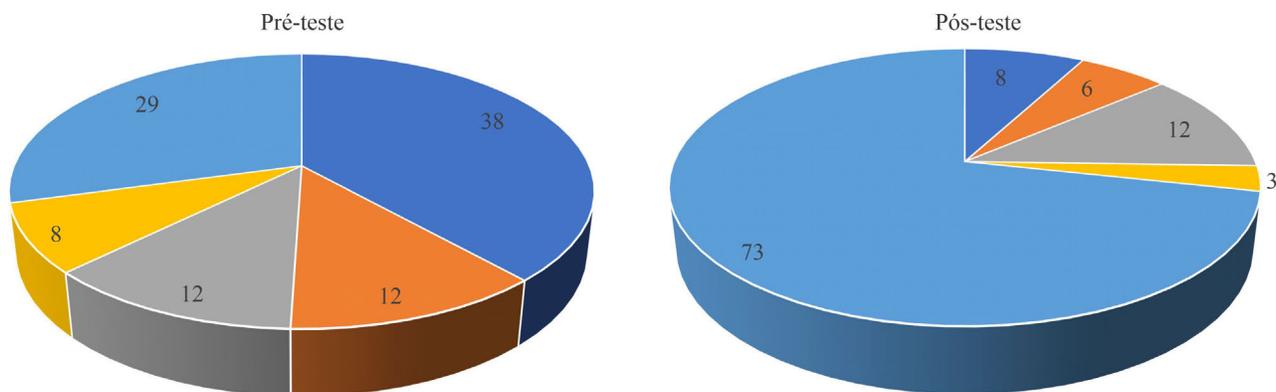


Figura 10 - Porcentagens de respostas da questão 6.

temas fundamentais da FMC, além do efeito fotoelétrico e do efeito Compton.

4.4. Análise dos Mapas Conceituais finais

Os Mapas Conceituais funcionam em grupo, fortalecendo as relações interpessoais, porém um sujeito com mais conhecimento acerca do conteúdo tratado tende a definir os horizontes a se seguir [14]; essencialmente, quando dois ou mais alunos se sentam para construir um Mapa Conceitual, aquele com mais conhecimento sobre o conteúdo proporciona uma maior intervenção na criação do mapa, embora os caminhos possam se inverter no decorrer do processo.

Segundo [15], os Mapas Conceituais são traçados de significados, relações significativas que o sujeito constrói, em que não se tem o objetivo de classificar os conceitos, mais sim o de organizá-los e relacioná-los via preposições, podendo-se buscar possíveis indícios de Aprendizagem Significativa. Além disso, eles podem se apresentar como uma ótima estratégia para avaliação [15], fato que confirma a sua utilização como instrumento para tal:

Como instrumento de avaliação da aprendizagem, Mapas Conceituais podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aluno atribui a um dado conhecimento. Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e as relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino segundo o ponto de vista do estudante. É mais apropriada para uma avaliação qualitativa, formativa, da aprendizagem [15].

Aqui, faz-se a análise comparativa entre os Mapas Conceituais elaborados, sendo o primeiro construído na 4ª etapa da sequência didática usando as perguntas norteadoras. Através desta análise, busca-se verificar se os alunos conseguiram internalizar conceitos, tendo, assim, uma Aprendizagem Significativa. Além de significativa, ela precisa ser crítica; apresenta-se, como

exemplo, apenas o do Grupo 4, comparando a Fig. 4 com a Fig. 11.

Adiante, tem-se a Fig. 11, ou seja, o segundo Mapa Conceitual do Grupo 4, que mostra uma estrutura bem elaborada e ideias organizadas e bem conectadas. Nota-se que o grupo apresentou domínio satisfatório dos conceitos da FMC, como é possível observar nas ligações entre os conceitos mostrados no mapa.

No Mapa Conceitual do Grupo 4, nota-se que a equipe demonstrou evidências de Aprendizagem Significativa, pois, ao comparar o mapa inicial (Fig. 4) com este (Fig. 11), consegue-se verificar que a mesma apresentou diferenciação progressiva, no mapa, partindo de conceitos mais gerais para outros mais específicos. Averiguou-se também que o grupo mostrou exemplos plausíveis de aplicação do efeito fotoelétrico e do efeito Compton, o que permite concluir que a aplicação da sequência didática proporcionou a este grupo um acréscimo no ensino-aprendizagem do assunto proposto.

Ao finalizar a análise dos Mapas Conceituais, pode-se afirmar que a aplicação da UEPS foi bem-sucedida, pois todos os quatro grupos apresentaram, embora em diferentes graus, evidências de Aprendizagem Significativa Crítica, uma vez que os mapas foram construídos através da negociação de conceitos entre os membros das equipes e entre a classe como um todo, o que provocou discussões entre os discentes e os levou a expor suas opiniões e a defender seus pontos de vista de forma lógica e coerente.

5. Considerações finais

Considerou-se o resultado da aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa bem-sucedido, pois, no início, os alunos tinham conhecimento aparentemente superficial e alcançaram graus relativamente altos de conceitualização com relação ao assunto proposto.

Verificaram-se as evidências da importância da inserção do tema efeito Compton, em física moderna, no terceiro ano do Ensino Médio. Essa inserção corres-

Mapa Conceitual do Grupo 4

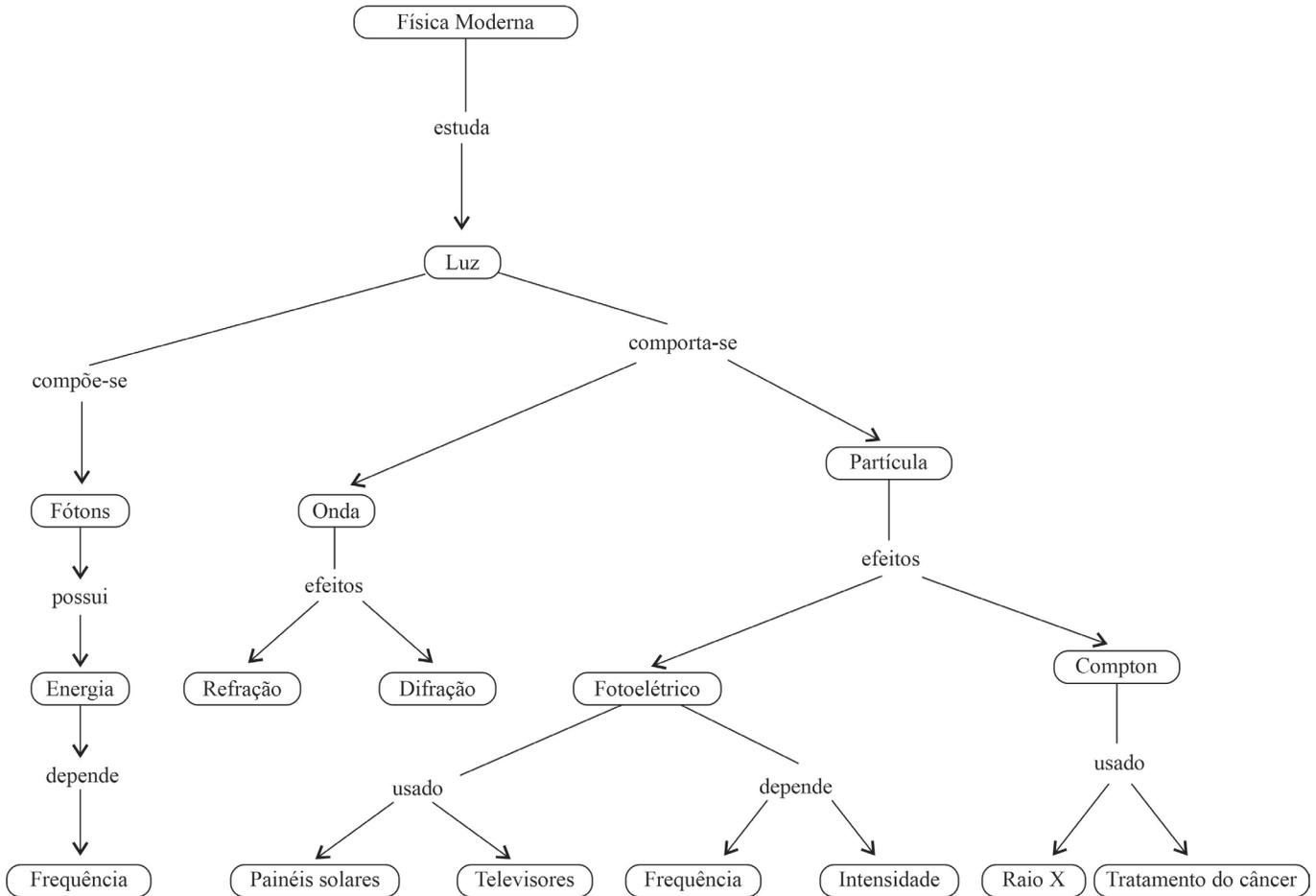


Figura 11 - Mapa Conceitual final do Grupo 4.

pondeu às expectativas, não apenas pelo que se revelou nas respostas dos testes e na construção dos mapas, mas, sobretudo, pela qualidade das discussões que ocorreram em sala de aula, o que permitiu o desenvolvimento do conhecimento dos discentes, resultando em uma Aprendizagem Significativa Crítica.

Outro aspecto a ser destacado é o motivacional. A metodologia no desenvolvimento da sequência didática mostra a importância da utilização de um conteúdo com ferramentas diversificadas, tais como debates, vídeos, animações e simulações, que são capazes de promover o interesse dos alunos e a boa organização do assunto 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, permitindo, assim, a construção de um cenário plenamente favorável ao desenvolvimento da intervenção pedagógica.

Evidenciou-se que o acréscimo ocorrido no conteúdo programático favoreceu o processo de argumentação, levando o aluno a se esforçar na busca pelo tema, contribuindo para as discussões em sala e para o

levantamento de dúvidas e questionamentos para que pudessem esclarecer suas ideias, e, assim, defendê-las diante do grupo e/ou da turma. Desse modo, um ambiente argumentativo, se bem mediado, favorece o ensino-aprendizagem e fortalece as reconstruções de aspectos ainda não tão claros, bem como enriquecem as ações intersociais. Ressalta-se que o uso dessas práticas mostra o papel do professor como sujeito mediador, pois ele proporciona o distanciamento do senso comum dos alunos, aproximando-os cada vez mais do conhecimento científico.

No desenrolar da sequência didática, foi identificada a necessidade de uma 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 primordiais para a organização de ideias e análise de fatos, elas são um ponto a ser repensado.

Recebido em: 9 de Junho de 2022

Aceito em: 31 de Julho de 2022

Referências

- [1] C.W. Rosa, A.B. Rosa, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencia **4** (2005). Disponível em http://reec.educacioneditora.net/volumenes/volumen4/ART2_Vol4_N1.pdf.
- [2] B. Feldens, P.M. Dias, W.M. Santos, Revista Brasileira de Ensino de Física **32**, 2602 (2010). doi
- [3] S.M. Arruda, A.Villani, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **13**, 32 (1996).
- [4] F. Ostermann, M.A. Moreira, Investigações em Ensino de Ciências **5**, 23 (2000).
- [5] C.A.S. Batista, M. Siqueira, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **34**, 880 (2017). doi
- [6] Y.A.R. Silva, L. Montanha, M. Siqueira, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **37**, 751 (2020). doi
- [7] E.D. Terrazzan, Caderno Catarinense de Ensino de Física **9**, 209 (1992). Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392>
- [8] J.A. Pinheiro, *Inserção do Conteúdo Efeito Compton na Unidade Física Moderna no Ensino Médio: À Uma Visão da Aprendizagem Significativa Crítica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 2019.
- [9] D. Griffiths, *Mecânica Quântica* (Editora Pearson, São Paulo, 2011), 2ª ed.
- [10] D. Halliday, R. Resnick, K.S. Krane, *Física 4* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro, 2004), 5ª ed.
- [11] P.A. Tipler, R.A. Llewellyn, *Física Moderna* (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2001), 3ª ed.
- [12] M.A. Moreira, *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa* (Centauru Editora, São Paulo, 2010).
- [13] R. Tavares, Ciências & Cognição. **13**, 99 (2008).
- [14] M.A. Moreira, *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, Curitiba, 2013).