

SOBRE A LUZ: DISCRETA OU CONTÍNUA? UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO PARA ENSINAR FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

ABOUT LIGHT: DISCRETE OR CONTINUOUS? A TEACHING SEQUENCE FOR TEACHING MODERN PHYSICS IN HIGH SCHOOL

TIAGO PEREIRA ALMEIDA  *¹, JOSÉ VICTOR BEZERRA TEIXEIRA  ⁺¹,
DENILSON DA SILVA BORGES  ‡²

¹Secretaria de Educação do Estado do Amazonas SEDUC-AM.

²Universidade Federal do Amazonas UFAM.

Resumo

A física moderna está presente em séries, filmes, noticiários e diversas tecnologias atuais. No entanto, pesquisas em ensino de física indicam que o currículo escolar não tem acompanhado essas mudanças. Em relação ao tema da luz, os alunos geralmente têm contato apenas com a óptica geométrica, sem explorar aspectos mais atuais da luz. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo geral avaliar as contribuições da utilização de experimentos e animações computacionais para a inserção e aprendizagem da física moderna no ensino médio. Para alcançar esses objetivos, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o uso de experimentos e animações computacionais para introduzir conceitos de óptica física. Em seguida, desenvolveu-se uma sequência de ensino para abordar os conceitos de luz, utilizando animações computacionais e experimentos como recursos didáticos. Posteriormente, essa sequência foi aplicada em sala de aula e, por fim, foram avaliadas as contribuições do método utilizado. Para coletar dados, foram utilizados questionários e mapas conceituais. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e fundamentou-se nos princípios da aprendizagem significativa para a análise dos dados. A aplicação da sequência de ensino resultou em maior motivação dos estudantes e bom desempenho nas atividades, indicando evidências de aprendizagem com significado.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa. Animação computacional. Experimentação. Óptica Física.

*tiago.p221@gmail.com

†j.victorteixeira@hotmail.com

‡dsborges@ufam.edu.br

Abstract

Modern physics is evident in tv shows, movies, news broadcasts, and various contemporary technologies. Nonetheless, research in physics education suggests that the school curriculum has not adapted to these advancements. Particularly concerning the topic of light, students typically only have contact with geometric optics, without exploring more current aspects of light. Given this scenario, this dissertation aims to evaluate the contributions of using experiments and computer animations to introduce and facilitate the learning of modern physics in high school. To achieve these objectives, a literature review was conducted on the use of experiments and computer animations to introduce concepts of physical optics. Subsequently, a teaching sequence was developed to address light concepts, using computer animations and experiments as didactic resources. Later, this sequence was applied in the classroom, and the contributions of the method used were evaluated, resulting in recommendations. To collect data, questionnaires, conceptual maps, and experimental activity scripts were used. The research adopted a qualitative approach and was based on the principles of meaningful learning for data analysis. This study contributes scientifically by addressing optics beyond the geometric perspective, through experiments and computer animations grounded in learning theories. The application of the teaching sequence resulted in greater motivation among students and good performance in experimental activities and scripts, indicating the construction of knowledge and evidence of meaningful learning by learners.

Keywords: Significant Learning. Computer Animation. Experimentation. Physical Optics.

I. INTRODUÇÃO

A física é uma ciência natural abordada no ensino fundamental e médio da educação básica, com a função de explicar fenômenos naturais e a construção tecnológica possibilitados por seu desenvolvimento. Embora os conhecimentos físicos estejam presentes no cotidiano, muitos estudantes alegam não conseguir perceber a relação entre os assuntos estudados e a realidade. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) destacam a importância de ressaltar aspectos históricos da ciência e da tecnologia, evidenciando o papel da física e das ciências naturais na transformação e construção da vida humana ao longo das diferentes épocas (BRASIL, 2002).

É importante ressaltar que o formalismo utilizado para ensinar óptica na educação básica se limita à visão do raio de luz, não considerando aspectos da Física Moderna (FM) e conceitos mais atuais, como a dualidade onda-partícula, essenciais para o entendimento da óptica física. Lino (2010) critica o fato de que, apesar de estarmos no século XXI, ainda ensinamos predominantemente a física clássica nas escolas, o que limita a atualização do ensino e desconsidera os avanços científicos que têm transformado a forma de viver e se relacionar.

A literatura sugere que atualizar o currículo de física, incluindo tópicos de FM, é crucial para uma alfabetização científica e cultural no século XXI. Isso permite que os alunos se conectem com os novos conhecimentos de física presentes em noticiários, filmes de ficção

científica e seriados (MACHADO e NARDI, 2006). A inserção da FM no ensino médio visa mostrar aos estudantes a importância da física na construção das tecnologias atuais e motivá-los para carreiras científicas.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as contribuições da utilização de experimentos e animações computacionais para a inclusão da física moderna no ensino médio, bem como para o ensino-aprendizagem da luz. Para alcançar esse objetivo geral, o estudo estabeleceu os seguintes objetivos específicos: realizar um levantamento bibliográfico sobre a utilização de experimentos e animações computacionais para inserir a física moderna no ensino médio; construir uma sequência de ensino para ensinar os conceitos da luz com o auxílio de animações computacionais e experimentos; aplicar a sequência didática na sala de aula e avaliar as contribuições da sequência de ensino desenvolvida para formular recomendações.

II. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O USO DE ANIMAÇÕES COMPUTACIONAIS E EXPERIMENTOS PARA ENSINAR ÓPTICA FÍSICA

É notável o aumento de trabalhos que aplicam teorias de aprendizagem, especialmente pela atratividade de propostas que utilizam jogos, experimentos e vídeos, que aprimoram o ensino. Esta seção discute os principais estudos que empregaram experimentação e animações computacionais para ensinar conceitos de óptica física no ensino básico.

A dissertação de Silva (2015) explora o ensino de Física Moderna usando vídeos e animações computacionais, fundamentada na epistemologia de Thomas Kuhn e na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. O autor utilizou a plataforma PHET para testar o efeito fotoelétrico com os estudantes, revelando que, por meio da interação com as animações, eles compreenderam que o efeito depende da frequência da radiação e da função trabalho do material. A aplicação das animações despertou o interesse dos alunos e facilitou a compreensão dos fenômenos estudados, permitindo a identificação de dúvidas que poderiam ser ignoradas em uma aula tradicional.

De Freitas (2017) aponta a escassez de recursos para ensinar óptica física na literatura e nos livros didáticos, o que torna o ensino desse tema desafiador. O autor desenvolveu um material educativo utilizando a história da física, experimentos demonstrativos e animações da plataforma PHET, criando o 'Kit Ótico Educacional'. Esse material facilitou a compreensão dos fenômenos naturais pelos estudantes e estimulou seu interesse. Os resultados foram positivos, com bom desempenho dos alunos em testes sobre a natureza da luz e tópicos de física moderna.

Pires (2017) elaborou uma sequência de ensino para conceitos de luz no nono ano do ensino fundamental, fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, na teoria sócio-histórica de Vygotsky e nas ideias de Paulo Freire. O estudo demonstrou que experimentos melhoraram a compreensão dos alunos sobre a luz e mantiveram seu interesse, especialmente com experimentos práticos como o sensor LDR, que simulou situações cotidianas como o acendimento automático das luzes.

Cipriano (2017) realizou um trabalho interdisciplinar de física e química usando TICs e a metodologia do grupo focal, baseado na Teoria Histórico-Social de Vygotsky. O estudo

envolveu a construção de um espectrômetro ultravioleta com Arduino, onde os alunos realizaram medidas experimentais e elaboraram gráficos. O uso de TICs e experimentos fomentou o trabalho em equipe e a resolução de problemas.

Monico (2018) propôs uma sequência de ensino investigativa para a dualidade onda-partícula, com experimentos que ilustram a luz como onda e partícula. Usando a teoria da aprendizagem significativa, a autora investigou o conhecimento prévio dos alunos e realizou experimentos com laser e fios de cabelo, destacando a difração da luz e o efeito fotoelétrico. As atividades experimentais mostraram-se eficazes, resultando em bom desempenho nos questionários finais.

Pereira (2019) desenvolveu uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar física quântica, elaborando um interferômetro de Mach-Zehnder com materiais alternativos para alunos do terceiro ano do ensino médio. A autora destacou a importância das indagações durante o experimento e o papel das TICs na explicação de conceitos complexos, observando diferenças entre experimentos virtuais e reais.

Fajardo (2021) ressaltou a importância de sequências didáticas para abordar física moderna. O trabalho envolveu experimentos de baixo custo para ensinar o comportamento ondulatório e corpuscular da luz, destacando que atividades experimentais permitem aos alunos construir seu conhecimento ativamente. As avaliações foram positivas, com excelentes resultados nos testes finais.

Neto, Ostermann e Prado (2011) usaram uma simulação do interferômetro de Mach-Zehnder no curso de radiologia médica para introduzir conceitos de física moderna. Fundamentado na teoria sócio-histórica de Vygotsky, o estudo revelou que as TICs ajudam os alunos a aprender e relacionar conhecimentos com outros tópicos do curso, promovendo discussões sobre os resultados das simulações.

Os trabalhos discutidos foram fundamentais para a construção do produto educacional apresentado e aplicado em sala de aula. Os resultados positivos, obtidos com o uso de experimentação e TICs, motivaram a criação da sequência de ensino para conceitos de luz.

III. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel em 1963, é uma abordagem cognitivista que busca tornar a aprendizagem mais relevante e significativa em contextos formais de ensino. Para Ausubel (2002), a principal variável para um aprendizado significativo é o conhecimento prévio do aprendiz.

Conforme Moreira (2012, p. 2), “Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe.” A interação deve ocorrer com conhecimentos relevantes e não apenas qualquer ideia prévia, pois apenas esses conhecimentos relevantes servirão como âncoras para novas informações.

Moreira (2017) destaca que, para que a nova informação seja internalizada de forma significativa, ela deve interagir com conhecimentos preexistentes que sejam relevantes. O conceito de subsunção é crucial aqui: é o conhecimento pré-existente na estrutura cognitiva do aprendiz que dá significado a novas informações (MOREIRA, 2012, p. 2).

Correia, Silva e Júnior (2010, p. 2) afirmam que “a aprendizagem somente é significativa quando o aluno consegue relacionar significativamente a nova informação com os conhecimentos prévios existentes na sua rede cognitiva.” Portanto, o papel do professor é criar ambientes que permitam aos alunos expressar e conectar seus conhecimentos prévios, promovendo um diálogo ativo entre alunos e instrutor. Paulo Freire (1988) enfatiza que a educação deve ser dialogada e crítica, permitindo que o aluno atue ativamente na construção do conhecimento e não apenas como um receptor passivo de informações.

A TAS também destaca a importância dos organizadores prévios, que são recursos utilizados para conectar novos conhecimentos aos já existentes. Ausubel (2000) define esses organizadores como ferramentas que ligam o que o aluno já sabe com o que precisa aprender, facilitando a aquisição significativa de novos conhecimentos. Organizadores prévios podem incluir enunciados, perguntas, demonstrações, filmes, leituras introdutórias, entre outros (MOREIRA, 2012).

Os organizadores prévios são divididos em dois tipos: expositivos, utilizados quando os alunos não têm familiaridade com o tema, e comparativos, quando o tema já é familiar e ajuda a fazer diferenças com o conhecimento pré-existente (MOREIRA, 2012, p. 11). Moreira (2017) observa que a eficácia dos organizadores prévios aumenta quando eles conectam o novo material aos subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aluno.

A TAS identifica dois requisitos para a aprendizagem significativa: o material deve ser potencialmente significativo, com uma sequência lógica e conexão com conhecimentos prévios, e o aprendiz deve estar disposto a relacionar o novo conhecimento com o que já sabe (MOREIRA, 2017). A disposição do aprendiz é essencial para garantir que a relação entre novos e antigos conhecimentos seja substancial e não-arbitrária.

A teoria diferencia entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica envolve memorização e repetição, enquanto a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento é integrado de maneira relevante aos conhecimentos prévios (CICUITO e CORREIA, 2012). Na aprendizagem significativa, o conhecimento novo deve estar relacionado ao conhecimento pré-existente, proporcionando um contexto mais amplo e significativo.

Além disso, a TAS inclui os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva organiza os conceitos de forma hierárquica, começando com os mais gerais e indo para os mais específicos (MOREIRA, 2017). A reconciliação integrativa busca identificar semelhanças e diferenças entre os subsunçores, ajudando a simplificar e organizar a cognição (MOREIRA, 2017). Mapas conceituais são uma ferramenta eficaz para ilustrar essas relações e hierarquias, proporcionando uma visão gráfica das conexões entre conceitos. O uso de sequências didáticas e ferramentas avaliativas apropriadas pode promover um aprendizado mais efetivo e motivador para professores e alunos.

IV. SEQUÊNCIA DE ENSINO PARA ENSINAR ÓPTICA FÍSICA

A pesquisa foi conduzida no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e utilizou o método indutivo para avaliar a eficácia de experimentos e animações computacionais no aprimoramento do ensino da óptica física. A amostra foi composta por cinco turmas, totalizando 129 alunos do terceiro ano do ensino médio em uma

escola estadual de Manaus-AM. A sequência de ensino foi elaborada com base na teoria da aprendizagem significativa, visando promover uma aprendizagem mais profunda através do uso de experimentos e animações.

O planejamento da sequência didática seguiu a BNCC, com foco na competência 02: “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis” (habilidades EM13CNT201 e EM13CNT205). O objetivo era promover uma formação integral do estudante, incluindo aspectos conceituais, procedimentais e atitudinais.

Objetivo Geral de Ensino: Compreender os diferentes modelos teóricos sobre a luz, destacando a construção do conhecimento científico e explorando as limitações e potencialidades de cada modelo, com uma visão não linear da evolução da óptica.

Objetivos Específicos de Ensino:

- 1 Compreender o modelo corpuscular da luz, abordando aspectos históricos e conceituais fundamentais.
- 2 Estudar o modelo ondulatório da luz, com ênfase nos aspectos históricos e conceituais essenciais.
- 3 Analisar as limitações dos modelos anteriores e entender a construção da teoria dual da luz, diferenciando as atuações dos modelos e sua importância para a física moderna.

A sequência didática foi estruturada em cinco dias, com aulas de 48 minutos cada. As atividades foram avaliadas com base no desempenho dos alunos em roteiros experimentais, mapas conceituais e questionários. Categorias fundamentadas na teoria da aprendizagem significativa foram usadas para avaliar os instrumentos de coleta de dados.

O foco da pesquisa foi a Física Moderna, com ênfase na óptica física, explorando conceitos de luz tanto como onda quanto como partícula. A Tabela 1 apresenta a sequência de ensino em detalhes.

Sequência de Ensino		
Aula	Objetivos	Atividade desenvolvida
1 ^a	Aprender a construir mapas conceituais. Observar a presença de subsunçores nos mapas conceituais e teste inicial.	Apresentação da atividade (5 minutos). Aplicação do questionário inicial (10 minutos). Explicação sobre mapa conceitual e os passos básicos para a sua construção, utilizando o aplicativo de smartphone Canva (15 minutos). Avaliação da atividade com a elaboração de um mapa conceitual sobre a diferença entre ondas e partículas (18 minutos).

Continua na próxima página

Aula	Objetivos	Atividade desenvolvida
2 ^a	Diferenciar características de ondas e partículas. Aprender o comportamento ondulatório da luz. Calcular o comprimento de onda da luz com o experimento de Young.	Aula dialogada sobre a diferença de partículas e ondas (15 minutos). Divisão dos grupos para a realização do experimento de Young (3 minutos). Realização do experimento de Young (30 minutos). A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento do experimento, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da atividade experimental.
3 ^a	Revisar os conceitos da luz como onda. Calcular o comprimento de onda da luz com o experimento de Young.	Revisão dos conceitos aprendidos com uma aula dialogada (10 minutos). Divisão dos grupos para utilizar a plataforma PHET (3 minutos). Utilização do experimento de Young na plataforma PHET com o roteiro experimental (35 minutos). A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento da atividade simulada, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da animação computacional.
4 ^a	Entender o fenômeno do efeito fotoelétrico. Aprender o conceito de fóton e suas implicações tecnológicas.	Explicação conceitual do efeito fotoelétrico (10 minutos). Divisão de grupos de 5 alunos (3 minutos). Experimento do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico (35 minutos). Para avaliar a atividade desenvolvida foram utilizados os roteiros experimentais e as respostas de perguntas feitas no roteiro.
5 ^a	Entender o conceito de frequência de corte. Calcular a função trabalho. Calcular o comprimento de onda e frequência de corte.	Utilização da animação computacional da plataforma PHET sobre o efeito fotoelétrico (30 minutos). Reflexão sobre os principais resultados obtidos na sequência de ensino. Explicação da proposta de construção de um mapa conceitual final dos assuntos estudados que foi entregue por e-mail em um prazo de 3 dias (5 minutos). Questionário final (13 minutos).

Tabela 1: Sequência de ensino detalhada.

IV.1. Aula 01: construção de mapas conceituais e identificação de conhecimentos prévios

No primeiro dia, será apresentado o funcionamento do curso e os objetivos de aprendizado a serem abordados ao longo das atividades. Em seguida, os alunos realizarão um teste inicial para avaliar seus conhecimentos prévios sobre os conceitos de ondas e partículas. Este teste, composto por cinco questões objetivas, tem como objetivo identificar os subsunçores dos alunos nas seguintes áreas: I) Conceito de Luz, II) Definição de Partícula, III) Definição de Onda e IV) Dualidade da Luz. A Tabela 2 apresenta o teste aplicado para essa finalidade.

Teste inicial	
Questões	Alternativas
Como podemos definir uma onda?	<p>A) É uma quantidade de matéria que possui posição e energia bem definidos.</p> <p>B) É uma perturbação em um meio que transporta energia, mas não transporta matéria.</p> <p>C) É uma perturbação em um meio material que transporta matéria, mas não transporta energia.</p> <p>D) É uma quantidade de matéria que não possui posição nem energia bem definido.</p>
Como podemos definir de maneira padrão uma partícula?	<p>A) É uma quantidade de matéria que possui posição e energia bem definidos.</p> <p>B) É uma perturbação em um meio que transporta energia, mas não transporta matéria.</p> <p>C) É uma perturbação em um meio material que transporta matéria, mas não transporta energia.</p> <p>D) É uma quantidade de matéria que não possui posição nem energia bem definido.</p>
Em qual situação do cotidiano temos a presença de um fenômeno físico exclusivo de ondas?	<p>A) Uma pessoa sendo empurrada pela onda do mar.</p> <p>B) Uma pessoa conseguindo escutar uma conversa do outro lado de um muro.</p> <p>C) Uma pessoa observando seu reflexo na água de um lago.</p> <p>D) Uma pessoa brincando com colisões de bolas de gude.</p>

Continua na próxima página

Questões	Alternativas
Em qual situação do cotidiano temos a presença de um fenômeno físico que é mais bem explicado pelo modelo de partículas?	<p>A) Uma onda do mar passando pela pessoa e não mudando sua posição.</p> <p>B) Uma pessoa conseguindo observar seu reflexo em um espelho.</p> <p>C) Um jogador de futebol chutando uma bola.</p> <p>D) Uma pessoa fazendo uma ligação com seu celular.</p>
Segundo a perspectiva da física moderna, como podemos definir a luz?	<p>A) A luz é uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, porém possui uma interpretação corpuscular que afirma que a luz é formada por partículas sem massa dotadas de movimento linear chamadas de fótons.</p> <p>B) A luz é exclusivamente uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, essa ideia foi comprovada com o experimento de Young e não abre margem para outras interpretações.</p> <p>C) A luz é um conjunto de raios de luz que se propagam em linha reta, que pode explicar fenômenos como os da reflexão da luz em um espelho e a refração da luz em lentes.</p> <p>D) A luz só pode ser entendida como pequenas partículas sem massa dotadas de movimento linear, chamadas de fótons, essa teoria é capaz de explicar todos os fenômenos ópticos.</p>

Tabela 2: *Teste inicial aplicado.*

Na próxima etapa do primeiro dia, os alunos aprenderão a construir um mapa conceitual utilizando o aplicativo Canva em seus smartphones. O Canva é uma plataforma de design gráfico que permite criar gráficos, apresentações, infográficos e pôsteres. Disponível online e em dispositivos móveis, o acesso à internet é necessário para utilizar a plataforma.

Os alunos receberão instruções sobre a estrutura e elaboração de um mapa conceitual. Para verificar a compreensão dos estudantes e investigar seus conhecimentos prévios, a etapa final do dia envolverá a construção de um mapa conceitual inicial. O mediador da atividade deve formar grupos e orientar os alunos a criar um mapa que destaque as diferenças entre ondas e partículas. Esta atividade ajudará a identificar os subsunçores dos alunos, que serão utilizados na aula dialogada seguinte como organizador prévio.

IV.2. Aula 02: aula dialogada e o experimento de Young

Com base nos resultados do mapa conceitual inicial e do questionário, o segundo dia começará com uma aula dialogada. Nesta aula, o professor discutirá com os alunos as diferenças entre ondas e partículas, destacando os fenômenos ondulatórios, a troca de

energia entre ondas e partículas, e as aplicações desses conceitos no cotidiano.

Após a discussão, os alunos serão divididos em equipes para realizar medições experimentais usando o experimento de Young. Cada grupo receberá um kit experimental contendo os seguintes materiais, conforme visualizado na Figura 1: 1) laser, 2) trena, 3) régua e 4) uma rede de difração com dimensões específicas.

Os grupos receberão lasers com diferentes comprimentos de onda, o que resultará em medidas distintas para cada equipe. Na perspectiva da aprendizagem significativa, é essencial que os alunos compartilhem e discutam seus resultados para construir seu conhecimento de forma colaborativa.

O experimento consiste em acionar o laser para fazer a luz passar pela dupla fenda. Devido ao comportamento ondulatório da luz, ocorre difração ao passar pelas fendas, criando novas frentes de onda que interferem umas com as outras, gerando padrões de interferência construtiva e destrutiva.

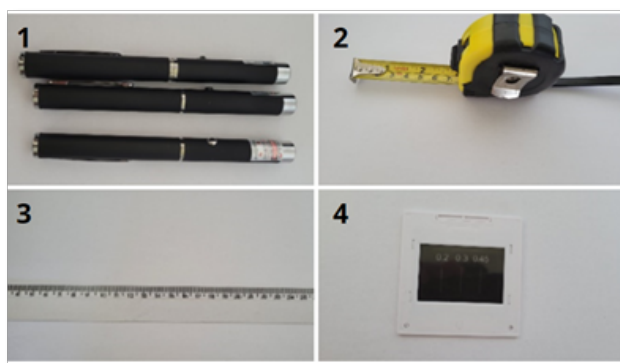


Figura 1: Materiais utilizados para fazer a medida experimental do comprimento de onda da luz: acervo dos autores.

A Figura 2 mostra uma ilustração retirada da animação computacional denominada “interferência de onda” da plataforma PHET: *Interactive Simulations*. Ressalta-se que a figura foi editada pelo autor.

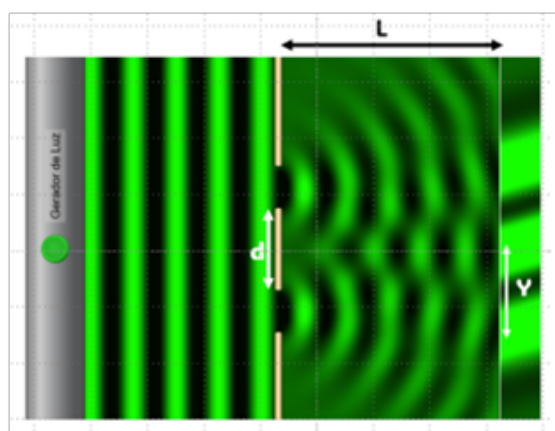


Figura 2: Esquema que mostra os parâmetros utilizados para o cálculo do comprimento de onda: Fonte: plataforma PHET.

Na Figura 2, a luz sai do gerador de luz, incide sobre a fenda dupla que possui separação indicada por d , difrata e interfere, sendo capturado em um anteparo os padrões de interferência a uma distância L das fendas, a distância entre a franja central de interferência construtiva até uma próxima de interferência construtiva é indicado por Y .

Halliday e Resnick (2016) mostram que para o caso em questão, uma boa aproximação para o cálculo do comprimento de onda λ é dado pela equação:

$$\lambda = \frac{2Yd}{n} \quad (1)$$

Como estamos considerando a diferença de caminhos, entre as franjas de interferência construtiva, n assume valores pares, ou seja, $n = [0, 2, 4, 6, \dots]$. Por exemplo, no caso da Figura 3 temos $n = 2$.

A avaliação das atividades desenvolvidas no segundo dia pode ser feita com base nas medidas de comprimento de ondas feitas pelos estudantes, pela participação e perguntas levantadas no decorrer do desenvolvimento da atividade experimental.

IV.3. Aula 03: o experimento de Young com animação computacional e retenção do conhecimento

No terceiro dia, a atividade começará com uma revisão dos conceitos aprendidos na aula anterior, conduzida através de uma aula dialogada. O mediador deve destacar que o experimento realizado anteriormente é histórico e foi crucial para demonstrar que a luz possui comportamento ondulatório, evidenciado pelos fenômenos de interferência e difração.

Para reforçar esses conceitos, os alunos serão divididos em equipes e utilizarão a animação computacional “Interferência de Onda” da plataforma PHET em seus smartphones, acessando-a através de um navegador de internet. A animação simula o experimento de Young, permitindo que os alunos escolham diferentes cores de luz para incidência e realizem medições necessárias para calcular o comprimento de onda. O conteúdo pode ser acessado utilizando o Código QR fornecido na Figura 3.



Figura 3: Código QR para acesso a animação interferência de ondas. Fonte: acervo do autor.

Ao entrar no site o estudante irá para a página inicial da animação “interferência de ondas”. Assim, deve selecionar a opção fendas, como mostra a Figura 4.



Figura 4: Página inicial da animação “interferência de ondas”. Fonte: *phet.colorado.edu*

Para realizar o experimento de Young e demonstrar o comportamento ondulatório da luz, os alunos devem selecionar as opções “duas fendas” e “ondas luminosas” na animação. Essas opções estão localizadas conforme indicado pela seta vermelha na Figura 5.

Os estudantes devem escolher uma cor para a luz (azul, vermelho ou verde) e ativar o gerador de luz, conforme indicado pela seta azul. Com essas configurações, será possível observar os fenômenos de difração e interferência. Para uma melhor visualização dos padrões de interferência, os alunos devem selecionar a opção “tela”.

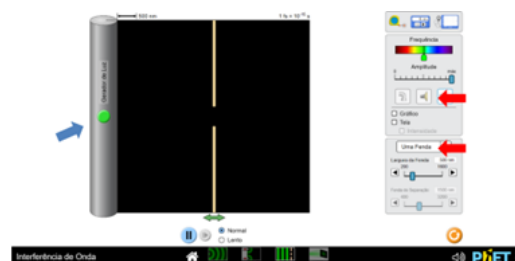


Figura 5: Painel da animação computacional. Fonte: *phet.colorado.edu* (adaptado pelo autor)

A avaliação do terceiro dia será baseada na participação dos grupos, na colaboração em equipe e nas medições dos comprimentos de onda da luz escolhida pelos alunos. A metodologia para o cálculo do comprimento de onda será a mesma utilizada na atividade anterior, e os estudantes deverão aplicar a equação (1) para suas medições. Esta atividade visa revisar e consolidar os conhecimentos sobre a luz como onda, facilitando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, que são essenciais na teoria da aprendizagem significativa. Os alunos deverão observar que as ondas se espalham no espaço e sofrem os fenômenos de difração e interferência.

IV.4. Aula 04: o experimento do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico

O quarto dia começará com o mediador levantando questões para estimular a curiosidade dos alunos, como: o funcionamento automático das luzes dos postes de iluminação pública, o mecanismo das portas automáticas e a conversão de energia luminosa em elétrica pelas placas solares. Esses questionamentos visam despertar o interesse dos estudantes.

Em seguida, será feita uma breve introdução conceitual sobre o efeito fotoelétrico, destacando os aspectos históricos essenciais para a teoria corpuscular da luz. Após essa introdução, os alunos serão divididos em grupos e receberão um roteiro para a atividade experimental, que tem como objetivo verificar a compreensão dos conceitos abordados. O professor poderá também realizar questionamentos pontuais para auxiliar os alunos na compreensão do funcionamento do experimento.

Os materiais para a atividade experimental são: (1) placa Arduino UNO, (2) protoboard, (3) lâmpada LED, (4) resistências, (5) fios condutores, (6) LDR, (7) multímetro e (8) laser, conforme ilustrado na Figura 6.

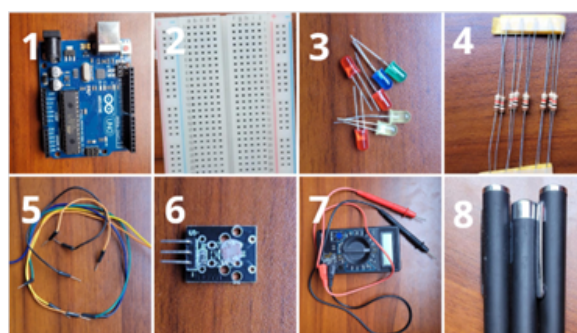


Figura 6: Materiais utilizados para a elaboração dos experimentos que mostram comportamento corpuscular da luz. Fonte: elaborado pelo autor.

Com os materiais fornecidos, serão realizados dois experimentos pelos estudantes. No primeiro experimento, os alunos devem iluminar o LDR com um laser. O LED deverá acender em resposta à luz do laser. O experimento pode ser invertido usando a programação da placa Arduino UNO, de forma que o LED acenda ao diminuir a intensidade luminosa no LDR.

O professor deve explicar que o funcionamento do experimento está relacionado ao efeito fotoelétrico, e que o conceito é semelhante ao usado em sistemas de iluminação pública automáticos. Assim, os estudantes poderão compreender como a luz pode acionar dispositivos, ilustrando o princípio do efeito fotoelétrico.

A Figura 7 ilustra o circuito com os componentes eletroeletrônicos e a configuração necessária para o funcionamento do experimento. O circuito requer os seguintes componentes: 5 fios conectores, 1 lâmpada LED, 1 resistência, 1 LDR e a placa Arduino UNO. A programação necessária para o experimento está apresentada na Tabela 3. Para montar o experimento, o professor deve seguir o circuito mostrado na Figura 7 e, em seguida, copiar e colar o código fornecido na Tabela 3 no Arduino.

No segundo experimento, os LEDs serão posicionados na protoboard em uma configuração em série. Após a instalação dos LEDs, os alunos devem iluminá-los e medir a diferença de potencial nos terminais dos LEDs utilizando um multímetro.

Para a montagem deste experimento, os LEDs devem ser conectados em série ou em paralelo na protoboard. Em seguida, a luz deve ser direcionada para os LEDs, e dois fios condutores devem ser conectados aos terminais dos LEDs para medir a diferença de potencial com o multímetro.

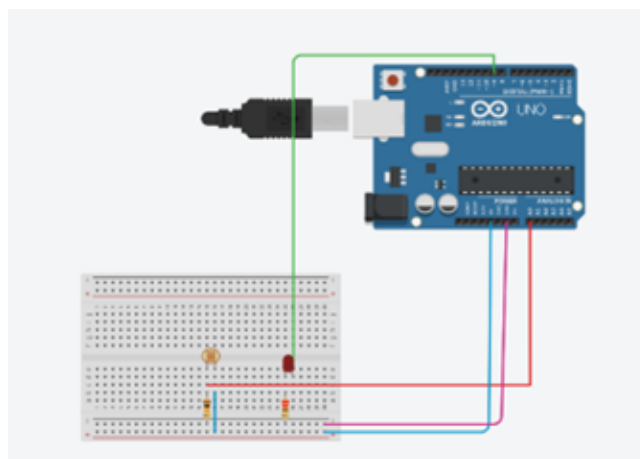


Figura 7: Esquema para a montagem experimental do experimento com o sensor LDR. Fonte: www.tinkercad.com

Código no Arduino para a realização do experimento

```

1  int limite = 600;
2  // Ligue o LED ao pino digital 9
3  int led = 9;
4  // O LDR é conectado ao pino analógico 0
5  int LDR = A0;
6  // Armazena o valor de leitura analógica
7  int sensorValue = 0;
8  void setup() {
9      // Define o LED como uma saída
10     pinMode(led, OUTPUT);
11     // Define o LDR como uma entrada
12     pinMode(LDR, INPUT);
13     // Inicia a comunicação serial com uma taxa de transmissão de 9600 baud
14     Serial.begin(9600);
15 }
16 void loop(){
17     // Lê o valor atual do LDR
18     sensorValue = analogRead(LDR);
19     // Se o valor estiver abaixo de um determinado "limite", então o LED
20     // liga, caso contrário o LED permanece desligado
21     if (sensorValue < limite) {
22         digitalWrite(led, HIGH);
23     }
24     else {
25         digitalWrite(led, LOW);
26     }
27     // Imprime as leituras atuais no monitor serial da IDE do Arduino
28     Serial.print ("Leitura atual do sensor: ");
29     Serial.println(sensorValue);
30     delay(130);
31 }

```

Tabela 3: Código utilizado para a realização do experimento com LDR.

A Figura 8 mostra quatro LEDs ligados em paralelo, conectados por seus terminais ao multímetro. Ao incidir luz sobre os LEDs, será possível medir uma diferença de potencial, demonstrando que a luz pode ser convertida em eletricidade, funcionando de forma análoga às placas fotovoltaicas.

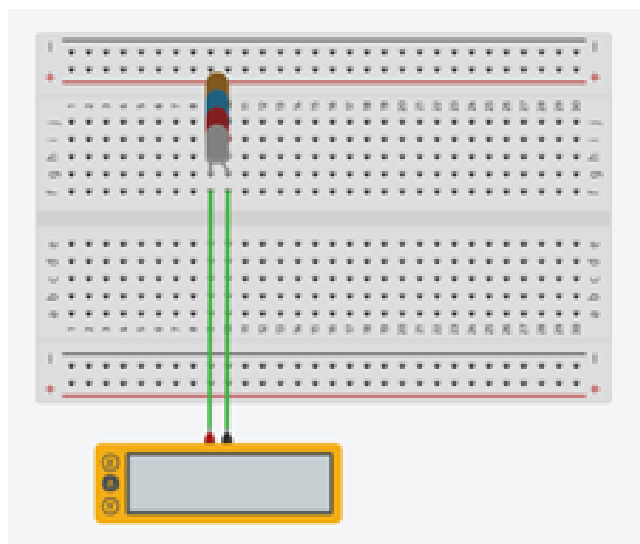


Figura 8: Exemplo de LEDs em paralelo conectados ao multímetro. Fonte: www.tinkecad.com

O mediador deve explicar que essa configuração funciona como uma “mini placa solar”, pois transforma energia luminosa em energia elétrica. Foi ressaltado também que o efeito fotovoltaico explica tal fenômeno.

Para a avaliação do quarto dia, devem ser analisados os roteiros experimentais, a participação dos estudantes, as perguntas feitas e o trabalho em equipe para a solução e conclusões dos experimentos realizados.

IV.5. Aula 05: animação computacional sobre o efeito fotoelétrico, retenção do conhecimento e aferição de indícios de aprendizagem significativa

No quinto e último dia, deve-se utilizar a animação ‘Efeito Fotoelétrico’ da plataforma PHET, que permitirá aos alunos revisarem os temas abordados nas aulas práticas. A animação pode ser acessada diretamente pelo navegador do smartphone, e o professor pode criar um roteiro para orientar sua utilização. Nesse momento, os alunos serão divididos em grupos para realizarem simulações que calculem a função trabalho do sódio e identifiquem as frequências em que o fenômeno ocorre.

Para essa atividade, o aluno poderá acessar o simulador através do Código QR mostrado na Figura 9.



Figura 9: Código QR para a animação do efeito fotoelétrico. Fonte: www.canva.com

Na Figura 10, podemos observar que a animação do efeito fotoelétrico permite a alteração de diversos parâmetros. É possível modificar o tipo de material, como indicado pela seta vermelha, a intensidade da luz, indicada pela seta verde, adicionar uma diferença de potencial, representada pela seta roxa, e controlar a frequência da radiação luminosa, indicada pela seta azul. A animação também oferece outros recursos, como a adição de gráficos e a visualização dos fótons, entre outros, mas os mencionados são os principais para esta proposta.

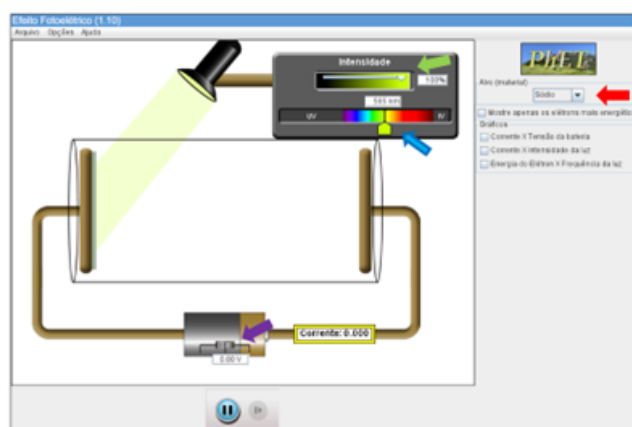


Figura 10: Interface da animação computacional do efeito fotoelétrico. Fonte: phet.colorado.edu

Após a interação com a animação, os estudantes devem responder ao teste final, que busca proporcionar novas situações relacionadas aos temas estudados ao longo dos cinco dias. O teste utilizado está disposto na Tabela 4.

Teste final	
Questões	Alternativas
Segundo a perspectiva da física moderna, como podemos definir a luz?	<p>A) A luz é exclusivamente uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, essa ideia foi comprovada com o experimento de Young e não abre margem para outras interpretações.</p> <p>B) A luz é um conjunto de raios de luz que se propagam em linha reta, que pode explicar fenômenos como os da reflexão da luz em um espelho e a refração da luz em lentes.</p> <p>C) A luz só pode ser entendida como pequenas partículas sem massa dotadas de movimento linear, chamadas de fótons, essa teoria é capaz de explicar todos os fenômenos ópticos.</p> <p>D) A luz é uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, porém possui uma interpretação corpuscular que afirma que a luz é formada por partículas sem massa dotadas de movimento linear chamadas de fótons.</p>
O experimento do efeito fotoelétrico pode ser explicado:	<p>A) Com a luz se comportando como uma onda eletromagnética arrancando elétrons de uma placa metálica.</p> <p>B) Com a luz se comportando como um fóton, partícula de luz, arrancando elétrons de uma placa metálica.</p> <p>C) Com a luz se comportando como um raio de luz, se propagando em linha reta.</p> <p>D) Com a luz se comportando como onda mecânica, arrancando elétrons de uma placa metálica.</p>
O experimento de Young, que consiste na luz passando por uma fenda dupla, pode ser explicado:	<p>A) Com a luz se comportando como uma partícula, sofrendo os fenômenos da difração e interferência.</p> <p>B) Com a luz se comportando como onda, sofrendo os fenômenos da difração e interferência.</p> <p>C) Com a luz se comportando como um conjunto de luz sofrendo os fenômenos da reflexão e refração.</p> <p>D) Com a luz se comportando como uma onda, como a luz sofrendo os fenômenos da reflexão e refração.</p>

Continua na próxima página

Continuação da Tabela

Questões	Alternativas
O funcionamento básico de uma placa solar consiste:	<p>A) Os fótons, partículas de luz, colidem com os átomos do material semicondutor da placa solar, ocasionando o deslocamento dos elétrons.</p> <p>B) As ondas eletromagnéticas de diferentes frequências colidem com a estrutura interna da placa solar, arrancando elétrons.</p> <p>C) Nos fótons, ondas eletromagnéticas de alta frequência, colidem com a estrutura atômica interna das placas, arrancando os elétrons.</p> <p>D) As ondas eletromagnéticas de alta frequência colidirem com o material semicondutor da placa, movimentando os prótons.</p>
No experimento do efeito fotoelétrico como podemos definir a frequência de corte?	<p>A) A frequência máxima que a luz deve ter para que ocorra o efeito fotoelétrico.</p> <p>B) Qualquer frequência do espectro visível.</p> <p>C) A frequência mínima que a luz deve ter para que ocorra o efeito fotoelétrico.</p> <p>D) A energia necessária para arrancar um elétron de uma placa metálica.</p>

Tabela 4: *Teste final aplicado. Fonte: elaborado pelos autores.*

Na perspectiva da aprendizagem significativa, é importante colocar os alunos diante de novas situações para verificar indícios de aprendizado. Para avaliar a proposta, pode ser solicitado que os acadêmicos, em equipes de 5 participantes, elaborem um mapa conceitual final sobre os assuntos aprendidos, destacando a luz como onda e a luz como partícula. O professor pode conceder um prazo maior para a entrega da tarefa, considerando que o tempo de aula pode não ser suficiente para a elaboração do mapa.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO PARA ENSINAR ÓPTICA FÍSICA

Segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa, o conhecimento prévio é a variável mais importante para que o indivíduo aprenda. Por isso, investigamos, por meio de um teste inicial com 5 questões objetivas, quais conhecimentos os estudantes já possuíam sobre os conceitos de partículas e ondas.

A Figura 11 apresenta o gráfico com os resultados gerais do teste inicial, que revelou que mais da metade dos estudantes reconhecem a definição de onda. No entanto, a maioria não compreende o conceito de partículas. As aplicações do conceito de onda mostraram um equilíbrio entre erros e acertos; por outro lado, a aplicação do conceito de partículas no dia a dia resultou em um desempenho insatisfatório. Esse resultado faz sentido, já que, se o conceito não está claro, os estudantes têm dificuldade em reconhecer e aplicar esses conceitos em situações práticas.

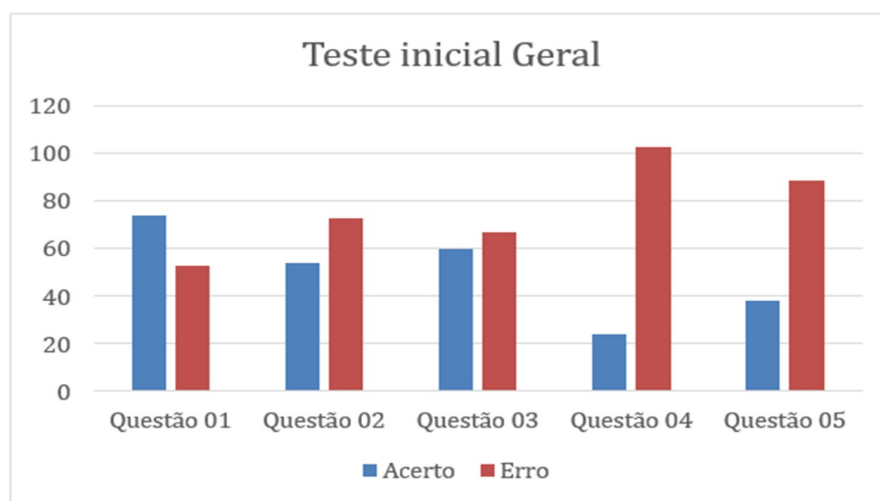


Figura 11: Gráfico do resultado do teste inicial. Fonte: elaborado pelos autores.

Em relação aos conceitos mais modernos da luz, a maioria dos estudantes não acertou a questão. Sob a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), o questionário inicial foi essencial para o planejamento do organizador prévio.

Na elaboração da aula dialogada, enfatizamos a diferença entre os conceitos de onda e partícula, reforçando que as ondas transportam energia, não matéria. Também explicamos que as partículas trocam energia por meio de colisões, trazendo exemplos de aplicações cotidianas desses conceitos.

Outra forma de coletar os conhecimentos prévios dos estudantes foi a construção de um mapa conceitual inicial. Os alunos, em grupos de três, elaboraram os mapas, sendo que alguns finalizaram a tarefa no mesmo dia, enquanto outros entregaram no dia seguinte via e-mail. No total, foram produzidos 45 mapas conceituais, com uma média de 9 por turma.

Para avaliar o conteúdo dos mapas, utilizamos o método desenvolvido por Moreira (2017), que sugere as seguintes categorias de avaliação:

- Os conceitos mais importantes estão presentes nos mapas?
- Existe uma hierarquização conceitual, com os conceitos mais importantes em destaque?
- As linhas de conexão e as palavras associadas sugerem relações adequadas entre os conceitos, considerando a matéria em questão?
- Há relações cruzadas entre os conceitos, indicando reconciliações integrativas?

Segundo Moreira (2017), não há um mapa conceitual “correto”; nesta etapa, é fundamental a negociação de significados entre professor e alunos, bem como entre os próprios estudantes, já que a aprendizagem significativa é progressiva e ocorre ao longo das atividades. Por isso, decidimos que os mapas iniciais fossem feitos em pequenos grupos.

A Figura 12 apresenta um quadro, onde estão analisados os mapas conceituais, classificados em diferentes categorias. A avaliação dos mapas seguiu os critérios sugeridos por Moreira (2017).

Tipo de mapa	Quantidade de mapas
Mapa tipo 1	12
Mapa tipo 2	12
Mapa tipo 3	21
Mapa tipo 4	0

Figura 12: Classificação dos mapas conceituais iniciais. Fonte: elaborado pelos autores.

- Os mapas do Tipo 1 foram classificados assim por apresentarem apenas os conceitos, sem uma hierarquia clara entre eles.
- Os mapas do Tipo 2 mostraram os conceitos e uma hierarquia, mas não incluíram palavras de ligação que estabelecessem relações entre os conceitos.
- Os mapas do Tipo 3 apresentam os conceitos com hierarquias adequadas e palavras de ligação, porém sem relações cruzadas.
- Nos mapas do Tipo 4, todas as características estão presentes: conceitos, hierarquia, palavras de ligação e relações cruzadas.

É importante ressaltar que a tabela classifica os mapas apenas quanto à sua estrutura, reforçando que não existem mapas “corretos” ou “errados”. Consideramos positiva a primeira construção dos mapas conceituais pelos estudantes, pois 21 grupos conseguiram alcançar uma boa estrutura, sendo classificados como Tipo 3. Os demais grupos apresentaram os conceitos, mas em alguns casos, a hierarquia não estava clara; em outros, os alunos construíram mapas mentais, já que estavam familiarizados com essa metodologia usada por outros professores.

A Figura 13 mostra que os estudantes destacaram os conceitos de ‘onda’ e ‘partícula’ como principais. No entanto, não é possível visualizar a hierarquia entre esses conceitos, e a diferenciação entre eles não está clara. Sem uma explicação do mapa, não é possível determinar quais conceitos estão associados às partículas ou às ondas. Doze grupos produziram mapas com essa classificação, cuja estrutura se assemelha mais a mapas mentais.

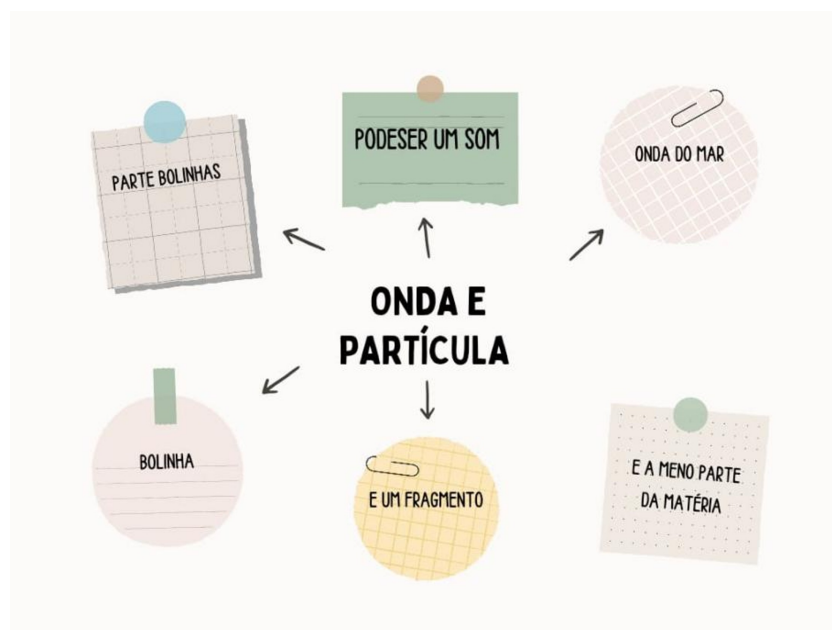


Figura 13: Exemplo de mapa conceitual classificado como tipo 1. Fonte: elaborado pelos autores.

No mapa da Figura 14, é possível perceber a presença dos conceitos, com uma hierarquia clara e uma diferenciação entre ondas e partículas. No entanto, os conceitos não estão conectados por palavras de ligação, o que dificulta a identificação de como eles se relacionam entre si. Essa característica foi observada nos mapas de 12 grupos de estudantes.

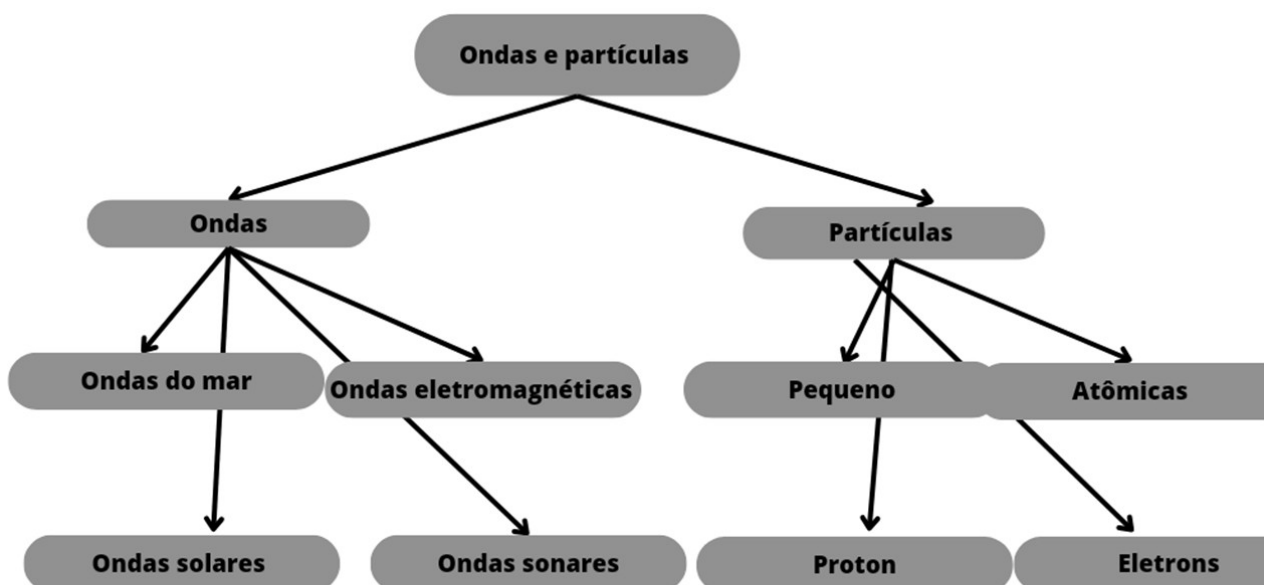


Figura 14: Exemplo de mapa conceitual classificado como tipo 2. Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 15, temos um exemplo de mapa classificado como Tipo 3. Neste mapa, os

estudantes conseguem relacionar bem os conceitos usando palavras de ligação, e a hierarquia dos conceitos está clara. A maioria dos conceitos está correta do ponto de vista da matéria de ensino, com exceção de que os elétrons possuem carga negativa, e não neutra, e de que o nêutron não é uma partícula elementar. Apesar disso, o mapa demonstra um bom domínio dos conhecimentos básicos sobre ondas. No entanto, como não há relações cruzadas entre os conceitos, o mapa não foi classificado como Tipo 4. Dezesesseis grupos de estudantes construíram mapas com essas características.

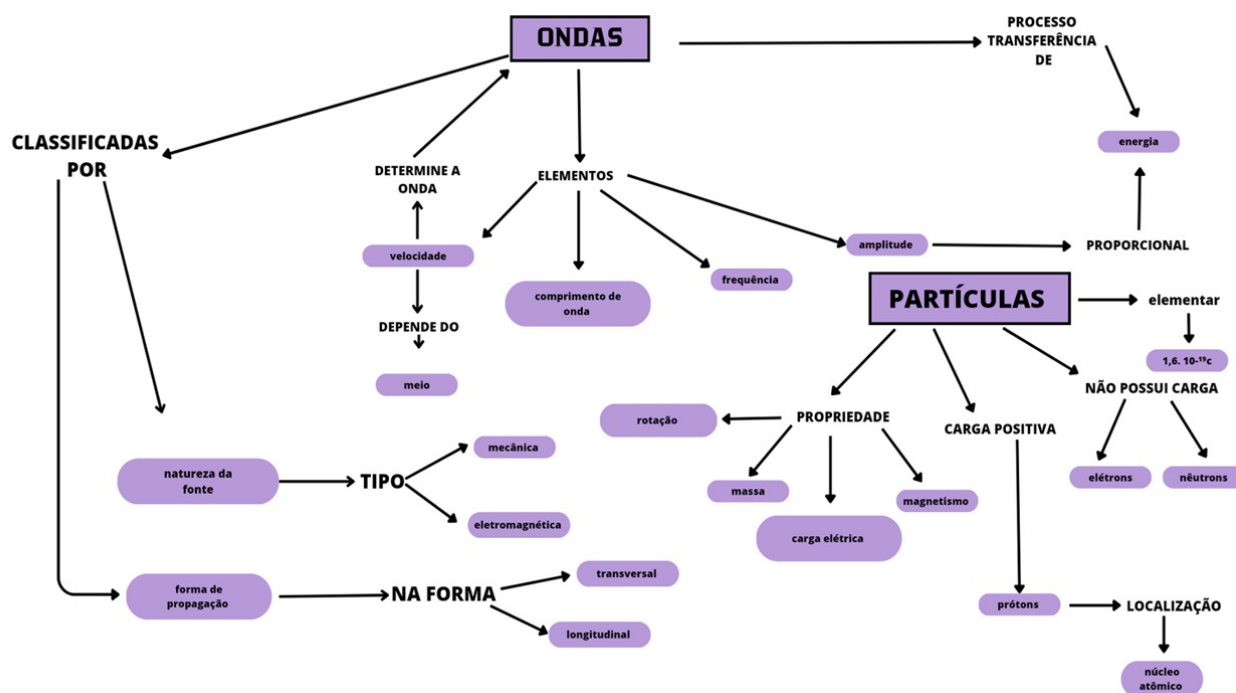


Figura 15: Exemplo de mapa conceitual classificado como tipo 3. Fonte: elaborado pelos autores.

Com base nos resultados do primeiro dia, foi planejada uma aula dialogada de revisão como organizador prévio, para que os alunos pudessem revisar ou até mesmo aprender a diferenciar aspectos relacionados a ondas e partículas. A avaliação do segundo dia ocorreu por meio da interação dos alunos com a atividade experimental e das medidas do comprimento de onda realizadas. A tabela abaixo apresenta as medidas feitas pelos grupos de estudantes em suas respectivas turmas.

A Figura 16 apresenta a tabela com os comprimentos de onda calculados por todos os grupos em suas respectivas turmas. Destaca-se que os Grupos 1 e 2 de todas as turmas utilizaram o laser vermelho, enquanto o Grupo 3 utilizou o laser verde. Na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), é fundamental que o professor organize atividades em que o aluno seja o protagonista, realizando medições e construindo seu próprio conhecimento. Moreira (2017) afirma que a visão construtivista da TAS, proposta por Ausubel, sugere que o estudante construa ou reconstrua o conhecimento socialmente compartilhado, sendo o sujeito principal do processo de aprendizagem, ou seja, estando ativo na construção do conhecimento.

Medidas do comprimento de onda (nm)			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Turma A	640	650	550
Turma B	757	818	692
Turma C	750	650	320
Turma D	850	776	352
Turma E	690	742	1500

Figura 16: : Medida feita pelos aprendizes do comprimento de onda da luz.

Para o cálculo do comprimento de onda, os alunos utilizaram a equação (1). Destaco os resultados experimentais do Grupo 1 da Turma E, que obtiveram uma excelente medida, com o comprimento de onda na região da cor vermelha. A medida do comprimento de onda do Grupo 3 da Turma A também mostrou uma ótima aproximação para a luz verde. Esses resultados foram possíveis graças à excelente organização dos grupos e ao cuidado na realização das medições e anotações.

A avaliação das atividades do segundo dia foi considerada positiva, uma vez que os estudantes demonstraram interesse e entusiasmo com as tarefas propostas. Para a análise do terceiro dia, também utilizamos como parâmetros o envolvimento com a tarefa, o trabalho em equipe, a troca de significados entre os aprendizes e o mediador, além das medições realizadas com a animação computacional sobre a interferência de ondas da plataforma PHET.

A Figura 17 apresenta as medidas de comprimento de onda realizadas por meio do experimento de Young, utilizando a animação computacional da plataforma PHET chamada 'Interferência de Ondas'. Como essa atividade envolvia uma animação computacional, permitimos que os estudantes escolhessem livremente a cor da luz, o que resultou em diferentes comprimentos de onda observados. É importante ressaltar que todas as medidas realizadas corresponderam exatamente ao comprimento de onda escolhido. Devido à precisão da animação computacional, os erros experimentais foram mínimos, e todos os grupos obtiveram excelentes resultados.

Medidas do comprimento de onda (nm)					
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Turma A	739	519,72	362,62	435,81	636,7
Turma B	552,91	819,19	638,64	591	692
Turma C	545	448	768	682,332	746,92
Turma D	474,16	785	750	487,91	424,34
Turma E	578,5	694,2	608,429	503,79	-

Figura 17: Medida feita pelos aprendizes do comprimento de onda da luz.

É importante destacar que a quantidade de grupos participantes nessa atividade foi superior à da primeira tarefa experimental, devido à limitação de materiais disponíveis para o primeiro experimento, que restringia a participação a três grupos. No caso da animação, como foi utilizado o smartphone, foi possível formar mais de três grupos por turma.

A avaliação do quarto dia considerou a participação e a motivação dos estudantes nas aulas experimentais sobre o conceito de fóton, bem como as respostas dos grupos aos experimentos. O dia foi avaliado como positivo, pois a maioria dos grupos demonstrou excelente participação e interesse pelos temas discutidos, além de curiosidade sobre o funcionamento dos experimentos. Embora o ideal fosse que cada grupo construísse seu próprio experimento, a limitação de materiais impediu essa abordagem. Ainda assim, as respostas dos estudantes indicaram que eles entenderam a ideia principal: é possível construir dispositivos que funcionam com a luz, comportando-se como partícula, seja no efeito fotoelétrico ou no efeito fotovoltaico. Além disso, foram discutidos conceitos introdutórios sobre fótons, essenciais na sociedade moderna e de grande importância na formação dos jovens.

O quinto e último dia de atividade foi avaliado com base nos roteiros da animação computacional preenchidos pelos grupos de estudantes. As perguntas dos roteiros visaram ajudar os alunos a entender que existe uma frequência de corte necessária para que o efeito fotoelétrico ocorra e que o efeito não depende da intensidade da luz incidente. No total, foram formados 31 grupos distribuídos em 5 turmas.

De maneira unânime, os grupos concluíram, com base na animação, que o efeito fotoelétrico independe da intensidade da luz incidente. Ainda no quinto dia, para avaliar o aprendizado dos estudantes e coletar indícios de aprendizagem significativa com a aplicação da sequência didática proposta, foi aplicado um teste final com 5 questões objetivas, respondido individualmente pelos alunos das 5 turmas.

A Questão 1 do teste final investigou se os estudantes compreenderam que a luz pode apresentar comportamento dual, dependendo do experimento ao qual é submetida, mostrando comportamentos de partícula ou de onda. A segunda questão buscou avaliar se os estudantes entenderam que o efeito fotoelétrico pode ser explicado considerando a luz como um fóton. A Questão 3 verificou se os alunos compreenderam que o experimento de Young é explicado pelos fenômenos de difração e interferência, associados à natureza ondulatória da luz. A Questão 4 avaliou a compreensão dos estudantes sobre o efeito fotovoltaico, que explica o funcionamento das placas solares e é fundamentado no conceito de fóton. Finalmente, a Questão 5 investigou a compreensão dos alunos sobre o conceito de frequência de corte.

A Figura 18 apresenta o gráfico que mostra o número de acertos e erros por questão para o total de participantes. Nota-se que, na Questão 1, houve uma taxa de acertos de 74,41%. Na Questão 2, os acertos foram de 72,09%. Na Questão 3, os acertos atingiram 86,04%. Na Questão 4, os acertos foram de 69,76%. Por fim, na Questão 5, os acertos foram de 58,91%.

A análise do gráfico revela que, em todas as questões, os estudantes tiveram um rendimento superior a 50%. Destaca-se o elevado número de acertos na Questão 3, que abordava o experimento de Young. Um possível motivo para isso pode ser a familiaridade dos estudantes com os conceitos de ondas, o que facilitou o aprendizado das ideias relacionadas à luz como onda.

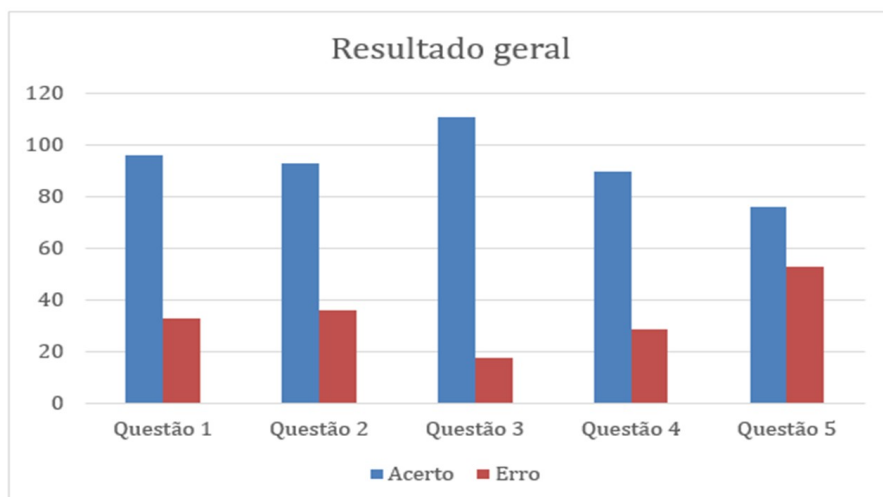


Figura 18: Resultados com o total de alunos do teste final.

A questão com o menor número de acertos foi aquela que abordava o conceito de frequência de corte. Avaliamos que isso ocorreu principalmente porque esse conceito foi apresentado mais recentemente, e, portanto, os estudantes ainda não estavam completamente familiarizados com ele.

Ainda na tentativa de coletar indícios de aprendizagem significativa, avaliamos os mapas conceituais finais elaborados pelos grupos de estudantes. Os critérios utilizados para essa análise foram os mesmos aplicados na avaliação dos mapas conceituais iniciais. A Figura 19 apresenta a quantidade de mapas analisados e suas classificações segundo os critérios estabelecidos por Moreira (2017).

Tipo de mapa	Quantidade de mapas
Mapa tipo 1	16
Mapa tipo 2	11
Mapa tipo 3	27
Mapa tipo 4	0

Figura 19: Resultados dos mapas conceituais finais segundo os critérios de avaliação sugeridos por Moreira 2017.

Foram construídos 54 mapas conceituais, a maioria elaborada por grupos de três alunos. No entanto, alguns estudantes optaram por trabalhar em duplas ou em grupos de quatro pessoas.

A análise dos mapas revelou que 16 grupos entregaram mapas conceituais classificados como Tipo 1. Observamos que, por estarem acostumados com a metodologia de mapas mentais, muitos estudantes tendem a confundir as duas abordagens, tratando-as como sinônimos, o que os leva a produzir mapas com os quais já estão familiarizados. No entanto,

os temas apresentados estavam diretamente relacionados à proposta da atividade.

A Figura 20 mostra um exemplo de mapa conceitual final classificado como Tipo 1. Embora o mapa não siga a estrutura de um mapa conceitual tradicional, os temas desenvolvidos ao longo do curso estão presentes. Essa característica se repete na maioria dos mapas entregues pelos grupos de acadêmicos. Ressalta-se que alguns mapas contêm erros conceituais que precisam ser revistos e aprimorados pelos estudantes.

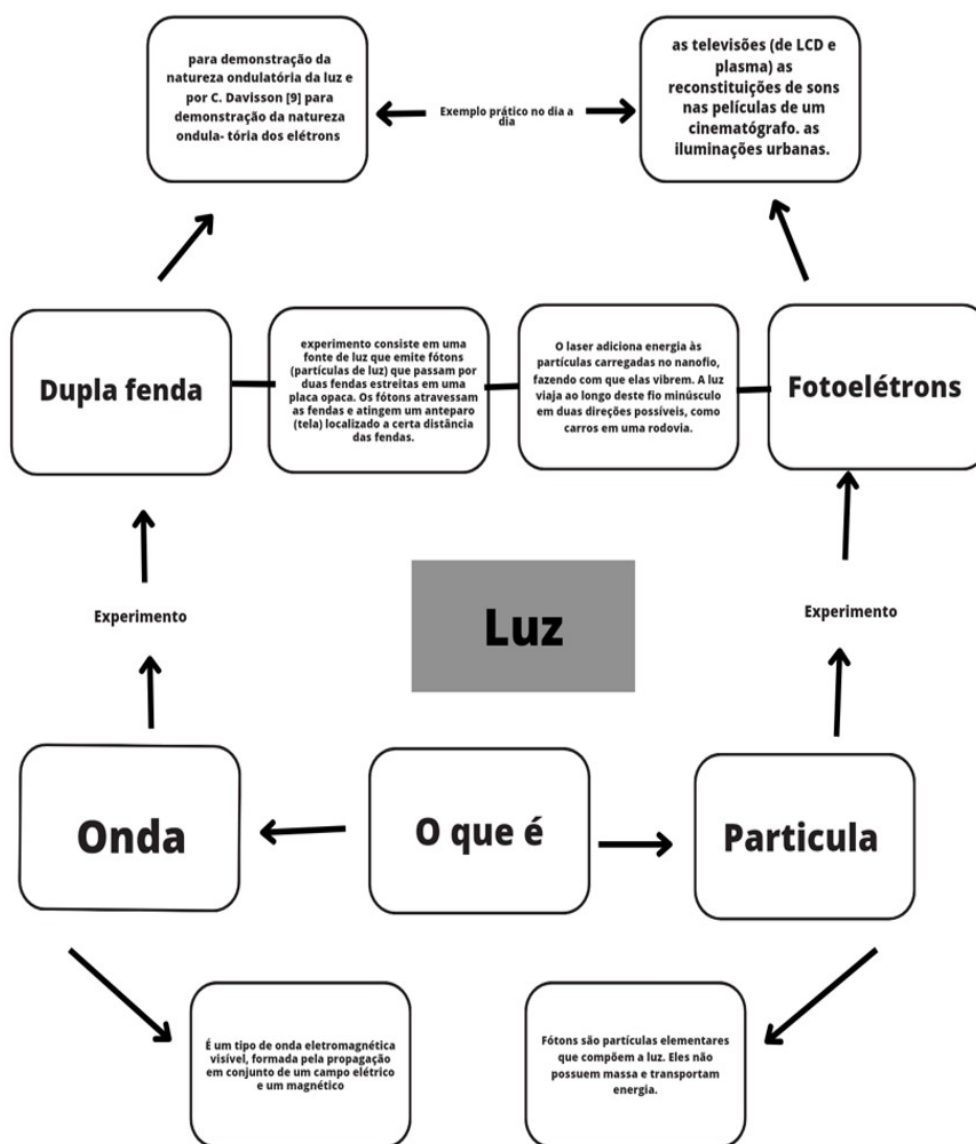


Figura 20: Mapa conceitual classificado como tipo 1.

Destacamos que, devido à estrutura do mapa mental, não é possível relacionar os conceitos de maneira autônoma. É indispensável que os estudantes forneçam uma explicação do mapa para que ele seja avaliado adequadamente. Isso nos permite compreender se os acadêmicos conseguem, de fato, relacionar os conceitos, diferenciando e integrando as proposições.

Na avaliação dos mapas conceituais finais, identificamos 11 mapas classificados como Tipo 2. Embora esses mapas mantenham uma estrutura hierárquica, não há palavras de ligação entre os conceitos, o que impede a identificação de como os estudantes pensam as relações entre os conceitos apresentados. Ressaltamos também que os 11 mapas contêm informações discutidas nas atividades de animação computacional e experimentação.

A Figura 21 apresenta um exemplo de mapa final classificado como Tipo 2. Nele, percebe-se a hierarquia dos conceitos, onde a luz é o conceito central e possui duas ramificações, representando sua natureza como onda ou partícula. No entanto, faltam palavras de ligação que estabeleçam conexões claras entre os conceitos. Assim como no caso dos mapas Tipo 1, para uma análise mais precisa da aprendizagem por meio do mapa, seria indispensável a explicação dos acadêmicos. Dessa forma, o mediador poderia identificar como os estudantes compreendem os conceitos apresentados.

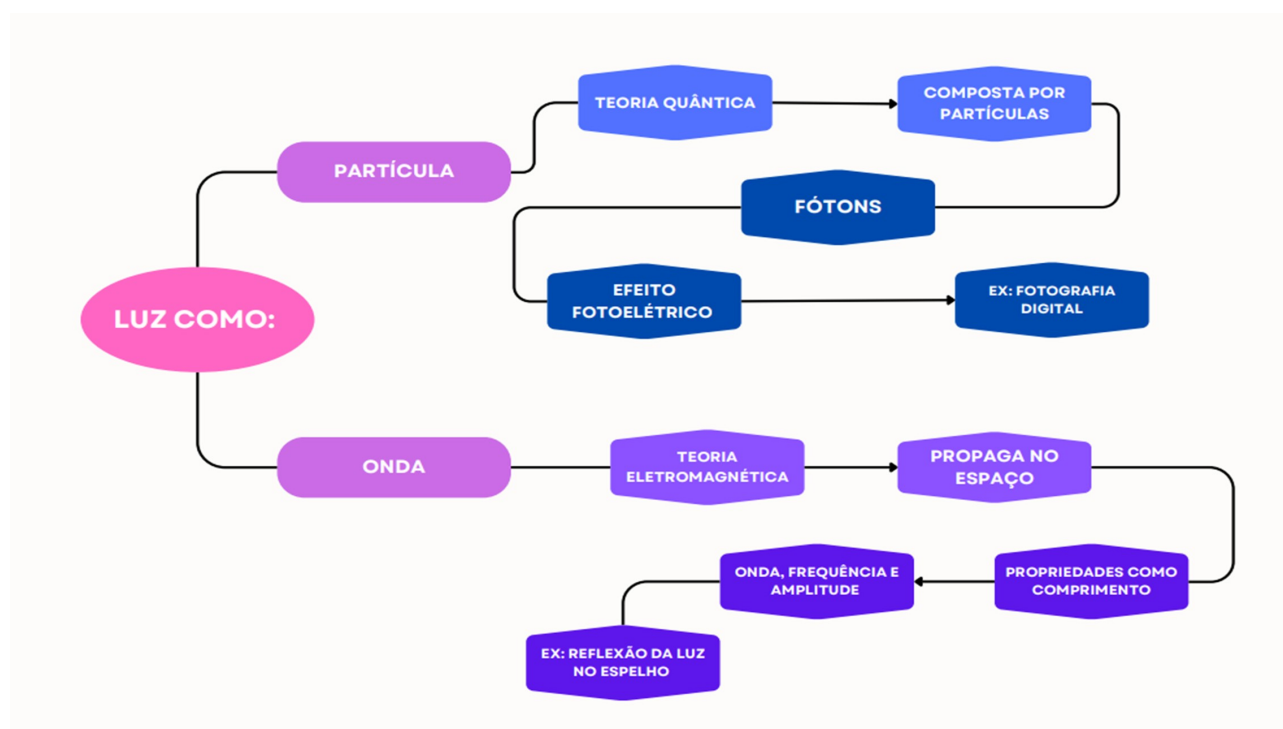


Figura 21: Mapa conceitual classificado como tipo 2.

Além disso, identificamos 27 mapas classificados como Tipo 3. Esses mapas, além de apresentar os conceitos e a hierarquia entre eles, incluem palavras de ligação que ajudam a identificar como os estudantes pensam as relações entre os conceitos estudados. Assim, a avaliação da forma de pensar do estudante torna-se mais facilitada.

Na Figura 22, apresentamos um exemplo de mapa conceitual final classificado como Tipo 3. Observa-se que o tema central do mapa é a Luz, e o grupo de alunos utiliza a palavra de ligação 'como' para diferenciar as propriedades da luz, indicando seu comportamento dual. Eles descrevem as aplicações das duas perspectivas da luz e mostram os experimentos realizados em sala de aula que ajudaram a comprovar cada uma dessas perspectivas. Ressalta-se que a presença das palavras de ligação facilita a leitura do mapa conceitual, permitindo entender como os acadêmicos pensam as informações apresentadas sem a

necessidade de uma explicação adicional, tornando o mapa conceitual autoexplicativo.

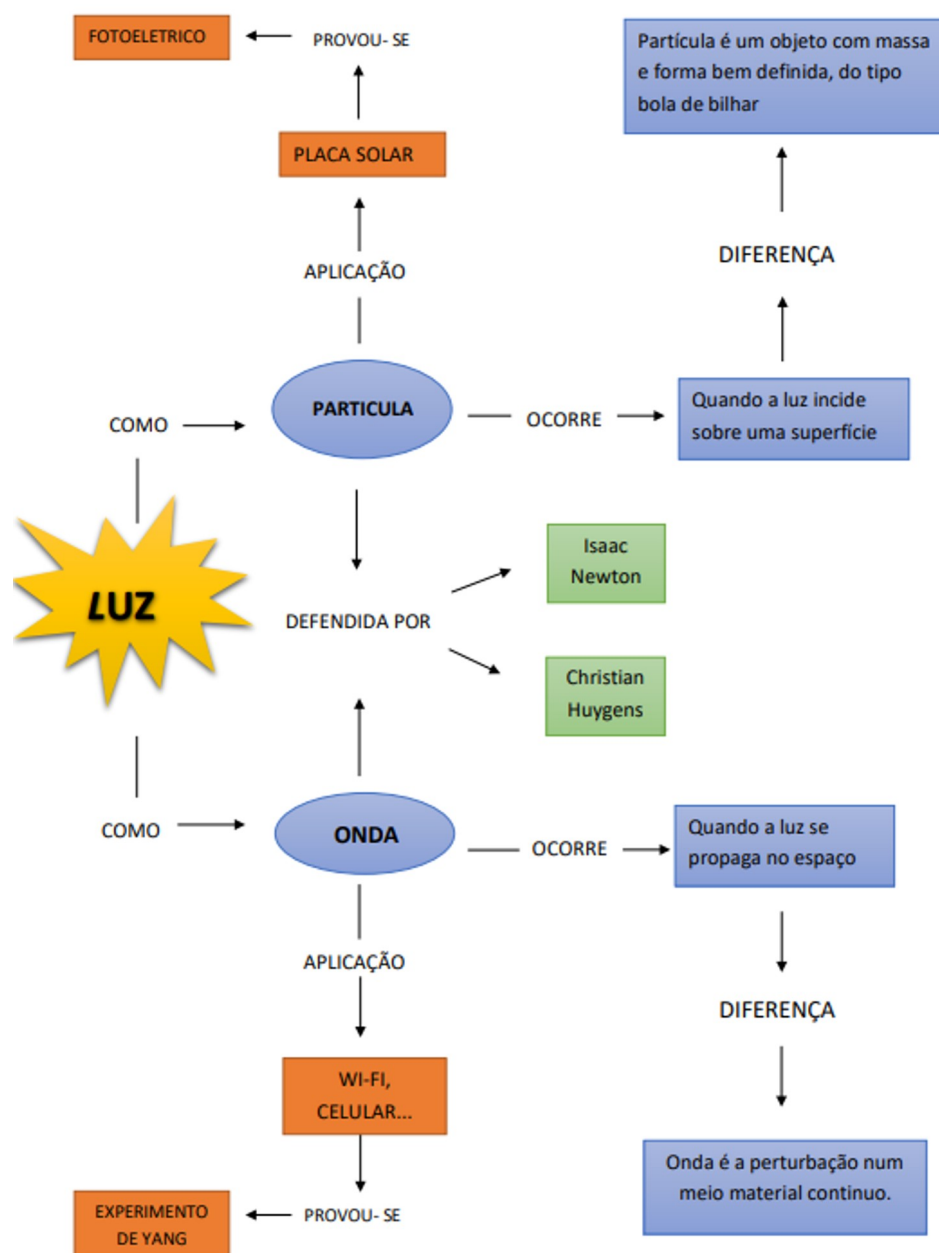


Figura 22: Mapa conceitual classificado como tipo 3.

A ausência de mapas classificados como Tipo 4 está relacionada à falta de experiência dos acadêmicos na estruturação e construção de mapas conceituais, além da necessidade de uma compreensão mais abrangente dos assuntos abordados. Os temas foram introduzidos de maneira básica, discutindo elementos gerais e fundamentais para o entendimento dos modelos de luz. Apesar disso, consideramos as atividades desenvolvidas positivas, pois os estudantes puderam reconhecer a existência de diferentes perspectivas sobre a luz, além da óptica geométrica, e tiveram contato com as ideias de construção dos modelos de luz.

Com os resultados obtidos ao longo dos cinco dias de aplicação da sequência de ensino, foi possível perceber a motivação e o engajamento dos estudantes em aprender e participar das atividades de experimentação e animação computacional. Assim, avaliamos que atividades como esta são estimulantes para o desenvolvimento do conhecimento em física. Além disso, é importante ressaltar que, embora não possamos afirmar com certeza que houve uma aprendizagem significativa, o bom desempenho médio no questionário final, em novas situações-problema, e a construção dos mapas conceituais com base nos assuntos estudados sugerem indícios de aprendizagem significativa.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional proposto nesta dissertação teve como objetivo geral avaliar a contribuição do uso de animações computacionais e experimentos para o ensino da óptica física, considerando que, na educação básica, os estudantes frequentemente têm contato apenas com a óptica geométrica. A aplicação da sequência de ensino demonstrou que a associação de tendências de ensino com a teoria da aprendizagem significativa gera resultados promissores, uma vez que os estudantes mostraram interesse e participação ativa nas atividades propostas, resultando em bom rendimento acadêmico.

O teste inicial revelou que, por já possuírem conhecimentos prévios sobre ondas, os estudantes conseguiram ter um bom desempenho ao reconhecer os conceitos e, na maioria das vezes, aplicá-los. No entanto, os conceitos relacionados às partículas ainda não estavam muito claros, assim como suas aplicações. Conforme a teoria da aprendizagem significativa sugere, a variável mais importante são os conhecimentos prévios dos alunos. Assim, com base nos resultados do questionário inicial e na construção do mapa conceitual inicial, foi possível planejar e elaborar organizadores prévios para que os assuntos discutidos na sequência de ensino se tornassem compreensíveis e potencialmente significativos para os estudantes.

Dessa forma, o resultado geral da sequência de ensino mostrou-se motivador, principalmente devido à grande adesão dos estudantes às atividades propostas, nas quais puderam construir seus conhecimentos por meio da interação com atividades experimentais e animações computacionais. A teoria da aprendizagem significativa mostrou-se eficiente para a atividade realizada, permitindo que os estudantes trabalhassem em equipe, trocando significados entre si e construindo seus conhecimentos, interagindo diretamente com os experimentos e animações computacionais.

Destaca-se a importância do mapa conceitual final, que permitiu identificar os conceitos mais importantes trabalhados durante os cinco dias de atividades. Além disso, o trabalho em equipe contribuiu para o desenvolvimento de habilidades essenciais para o crescimento acadêmico dos estudantes.

É reconhecido que o foco dado ao efeito fotoelétrico na sequência de ensino foi principalmente na ocorrência do fenômeno, dependendo da radiação incidente. Para trabalhos futuros, é importante abordar outras implicações fundamentais, como a função trabalho e as limitações da mecânica clássica para explicar certos resultados experimentais do fenômeno. Também é relevante que o conceito do efeito fotovoltaico foi introduzido de forma básica; atividades futuras poderiam aprofundar o funcionamento dos LEDs e demonstrar como é

possível converter luz em energia elétrica com o auxílio de semicondutores.

A óptica física desempenha hoje um papel fundamental em nossa forma de ver o mundo e de nos relacionarmos, especialmente nas grandes aplicações das tecnologias de informação e nos avanços do modelo corpuscular da luz. Com a sequência de ensino aplicada, embora não possamos afirmar com certeza que houve aprendizagem significativa, os resultados dos roteiros experimentais, do questionário final e dos mapas conceituais elaborados pelos estudantes sugerem indícios de que esse tipo de aprendizagem pode ter ocorrido.

VII. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). À Secretaria de Educação do Estado do Amazonas (SEDUC-AM). À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. *The psychology of meaningful verbal learning*. NY: Grune & Stratton, 1963.

AUSUBEL, D. *Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Platon edições técnicas, 2002.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio*. Brasília: MEC/SEF, 2000.

CIPRIANO, A. *Tecnologias baseadas na luz: abordagem contextualizada e interdisciplinar entre física e química*. f. 120. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CICUITO, C.; CORREIRA, P. Título do artigo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, 2012. doi: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000100012>>.

FAJARDO, G. *Sequência didática para estudar o comportamento da luz através de experimentos*. f. 110. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba-SP, 2021.

FREITAS, F. *Utilização das tecnologias de informação para o ensino de física moderna no ensino médio*. f. 115. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física*, v. 2 e 4. São Paulo: Grupo Gen-LTC, 2016.

LINO, A. *Inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectiva da aprendizagem significativa*. f. 130. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MACHADO, D.; NARDI, R. Título do artigo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, 2006. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

MONICO, K. *Dualidade onda-partícula: uma sequência didática para o ensino médio com foco em atividades investigativas*. f. 140. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

MOREIRA, M. A. *Unidade de ensino potencialmente significativas*UEPS. *Temas de ensino e formação de professores de ciências*. Natal, RN: EDUFRRN, p. 45-57, 2012.

MOREIRA, M. *Ensino e aprendizagem significativa*. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

NETO, J.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. Título do artigo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, 2011. doi: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000100012>>.

PIRES, C. *Sequência didática para o ensino da luz em turmas do 9º ano do ensino fundamental*. f. 95. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

SILVA, P. *Física moderna para o ensino médio: relato de uma experiência*. f. 100. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física MNPEF), 2015.
