

O estudo da natureza dual da luz no Ensino Médio

The study of the dual nature of light in High School

El estudio de la naturaleza dual de la luz en la Escuela Secundaria

Recebido: 29/04/2022 | Revisado: 06/05/2022 | Aceito: 06/05/2022 | Publicado: 11/05/2022

Oscar Rodrigues dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0987-1465>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: oscarsantos@utfpr.edu.br

Eliane Kovalek Scheifer

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7803-0398>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: elianscheifer@gmail.com

Debora Ferreira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3885-2634>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: deborauem@gmail.com

Wladimir Sérgio Braga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1354-0922>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: wladimirbragautfpr@gmail.com

Adriana da Silva Fontes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0085-5020>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: asfontes@professores.utfpr.edu.br

Resumo

As pesquisas sobre o comportamento onda-partícula da luz deram início a Física Quântica, partindo da ideia de quantização da energia, sugerida por Max Planck. Neste sentido, é importante que os estudantes compreendam que a luz tem comportamento ondulatório ao se propagar e comportamento corpuscular ao interagir com a matéria. Esse trabalho tem como objetivo reportar a potencialidade de uma proposta didática para o ensino da natureza dual da luz. Para tanto, a proposta em análise foi fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa, promovendo também, uma valorização da História da Ciência nas aulas de Física, como ferramenta metodológica. E ainda, traz dois experimentos para promover uma melhor compreensão da dualidade da luz. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, os dados foram coletados durante todas as ações da mesma, constituída de questionários, falas transcritas, mapas conceituais e diário de campo. Constatou-se que, os alunos tiveram uma boa receptividade às atividades propostas, apresentando ao final, relações importantes sobre a dualidade da luz, remetendo a uma nova significação de conceitos a partir de seus conhecimentos prévios, obtendo novos conhecimentos científicos com os aspectos sociais conforme preconizam as Diretrizes Curriculares da Educação Básica do estado do Paraná.

Palavras-chave: Dualidade de luz; Aprendizagem significativa; História da ciência; Ensino de física.

Abstract

Research on the wave-particle behavior of light gave rise to Quantum Physics, based on the idea of quantization of energy, suggested by Max Planck. In this sense, it is important that students understand that light has wave behavior when propagating and corpuscular behavior when interacting with matter. This work aims to report the potential of a didactic proposal for teaching the dual nature of light. Therefore, the proposal under analysis was based on the theory of Meaningful Learning, also promoting an appreciation of the History of Science in Physics classes, as a methodological tool. And yet, it brings two experiments to promote a better understanding of the duality of light. The research is characterized as qualitative, the data were collected during all its actions, consisting of questionnaires, transcribed speeches, conceptual maps and a field diary. It was found that the students had a good receptivity to the proposed activities, presenting at the end, important relationships about the duality of light, referring to a new meaning of concepts from their previous knowledge, obtaining new scientific knowledge with the social aspects as advocate the Curriculum Guidelines for Basic Education in the state of Paraná.

Keywords: Duality of light; Meaningful learning; History of science; Physics teaching.

Resumen

La investigación sobre el comportamiento onda-partícula de la luz dio origen a la Física Cuántica, basada en la idea de cuantización de la energía, sugerida por Max Planck. En este sentido, es importante que los estudiantes entiendan que

la luz tiene un comportamiento ondulatorio cuando se propaga y un comportamiento corpuscular cuando interactúa con la materia. Este trabajo tiene como objetivo informar sobre el potencial de una propuesta didáctica para la enseñanza de la naturaleza dual de la luz. Por lo tanto, la propuesta bajo análisis se basó en la teoría del Aprendizaje Significativo, promoviendo también una apreciación de la Historia de la Ciencia en las clases de Física, como herramienta metodológica. Y, sin embargo, trae dos experimentos para promover una mejor comprensión de la dualidad de la luz. La investigación se caracteriza como cualitativa, los datos fueron recolectados durante todas sus acciones, constando de cuestionarios, discursos transcritos, mapas conceptuales y diario de campo. Se encontró que los estudiantes tuvieron una buena receptividad a las actividades propuestas, presentando al final relaciones importantes sobre la dualidad de la luz, refiriéndose a un nuevo significado de los conceptos a partir de sus conocimientos previos, obteniendo nuevos conocimientos científicos con los aspectos sociales como propugnación. las Directrices Curriculares para la Educación Básica en el estado de Paraná.

Palabras clave: Dualidad de la luz; Aprendizaje significativo; Historia de la ciência; Enseñanza de la física.

1. Introdução

Ensinar Física não é somente abordar os fenômenos com base na racionalidade, mas sim, pensar em metodologias que sejam capazes de levar o aluno a refletir sobre o mundo da ciência, sobre as coisas e fenômenos que o cercam, entendendo que a Física não é somente racionalidade e números (Aguiar, 2020), mas também a compreensão dos fenômenos e princípios inerentes aos saberes científicos. Da mesma forma, que as demais disciplinas, a Física como componente curricular deve formar cidadãos capazes de compreender o mundo que o cerca, considerando a dimensão científica dos fenômenos. Conforme preconizam as Diretrizes Curriculares da Educação Básica do estado do Paraná (DCE's), a disciplina de Física, no Ensino Médio, forma para a cidadania, para a vida, envolvendo os conhecimentos científicos com os aspectos sociais, econômicos, políticos e culturais que envolvem o universo do aluno.

Dentre os diversos conteúdos que são explorados na disciplina de Física, destacamos neste trabalho a dualidade da luz. O ensino sobre a luz normalmente ocorre de maneira a se explorar o comportamento da luz, enfatizando principalmente suas características geométricas, com informações não aprofundadas sobre sua natureza e o contexto histórico que envolve as discussões e conclusões de seu caráter dual.

Segundo Gircoreano e Pacca (2006), é recorrente no Ensino Médio uma abordagem tradicional ao se ensinar Óptica, restringindo-se apenas aos aspectos geométricos, analisando características e elementos específicos. Os autores complementam dizendo que,

Todos esses elementos sempre são indicados por retas e pontos num plano, sem ficar evidente que a luz se propaga num espaço tridimensional, que há uma fonte de luz e que existem obstáculos para a propagação. Os aspectos concernentes à natureza da luz, sua interação com a matéria e sua ligação com o processo de visão, também, são, em geral, desconsiderados (Gircoreano & Pacca, 2006, p. 60).

A luz é um ente presente em nossa vida desde o primeiro instante, permitindo que concepções intuitivas se formem a respeito de sua natureza. Assim, torna-se importante uma discussão mais apropriada sobre as perspectivas científicas e as implicações das mesmas no cotidiano do aluno, uma vez que o ensino de Física deve formar o cidadão para que o mesmo compreenda os fenômenos do universo que o cerca e o desenvolvimento dos conhecimentos científicos e sua não-neutralidade.

Ao ensinar a dualidade onda-partícula da luz é necessário adentrar na Física Quântica, sendo essa abordagem muito valiosa no Ensino Médio, pois os alunos demonstram curiosidade sobre assuntos modernos encontrados em vídeos, reportagens, postagens, entre outros presentes na internet. Muitas vezes, por diferentes fatores, o ensino de Física nas escolas públicas acaba contemplando em sua grande maioria ou, em alguns casos, na sua totalidade, apenas a Física Clássica. Obviamente, a Física Clássica deve estar presente no currículo sendo essencial para o entendimento de inúmeros fenômenos. O que destacamos aqui é a importância do ensino de alguns conceitos que só podem ser explicados dentro da Física Quântica e que são fundamentais para o entendimento de uma série de equipamentos presentes na vida do aluno.

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau (Terrazzan, 1992, p.210).

Este trabalho surge da reflexão sobre como ensinar o caráter dual da luz para alunos do Ensino Médio, destacando o contexto histórico, que é muito importante na construção do conhecimento científico, de experimentos que possam facilitar a compreensão da dualidade da luz através da observação de seu comportamento ondulatório ao se propagar e seu comportamento corpuscular ao interagir com a matéria.

Assim, o objetivo desse trabalho será o de reportar o potencial pedagógico de uma proposta didática elaborada com o intuito de apoiar o ensino da natureza dual da luz, moderada na Aprendizagem Significativa de David Ausubel (Ausubel, 1982, Silva (2020)), buscando estimular o interesse do aluno em conhecer o contexto histórico por trás dos conceitos apresentados na disciplina de Física e contribuir para que o mesmo compreenda a dualidade da luz, utilizando um vídeo, criado pelos autores, intitulado “O julgamento da luz” e experimentos de baixo custo.

2. Luz: Uma Introdução a Dualidade Onda - Partícula

Nessa seção será analisado a luz dentro do estudo da Física, exibindo a concepção atual reconhecida no meio científico. Cabe ressaltar que esse trabalho aborda mais especificamente ao espectro visível e que, em muitos momentos, será utilizado apenas o termo luz, ao referir-se a luz visível. O que é a luz, afinal?

De acordo com Ben-Dov (1996, p.86), “[...] a luz é uma forma de energia que é emitida por certos corpos e que se propaga livremente no espaço até chocar-se com o objeto observado, que a envia para o olho”.

Entre diversas definições, encontramos também:

[...] Luz, com a qual enxergamos, é apenas uma pequena parte do vasto espectro de um mesmo tipo de coisa, as várias partes deste espectro sendo distinguidas pelos diferentes valores de uma mesma grandeza a qual varia. Esta grandeza variável poderia ser chamada de “comprimento de onda”. Conforme esta varia na faixa do espectro do visível, a luz aparentemente muda de cor do vermelho para o violeta [...] (Feynman et al., 2008, p. 26-1).

A luz é uma forma de radiação eletromagnética que transporta energia que, dependendo de sua frequência, torna-se visível ao olho humano. A intensidade de energia tem relação direta com a frequência: quanto maior a frequência, maior a energia.

A radiação eletromagnética é uma oscilação nos campos elétrico e magnético de forma simultânea, ou seja, apresenta comportamento ondulatório. A energia transportada por ondas de luz (radiação eletromagnética visível) ocorre de forma concentrada em pacotes, denominados fótons; essa quantização da luz só é possível se um raio de luz for caracterizado como um feixe de partículas materiais. Essa é a dualidade onda - partícula da luz, na qual duas propriedades distintas tornam-se complementares para o estudo em relação a natureza da luz.

As características ondulatórias e corpusculares da luz, que indicavam ser contraditórios, foram reportados em 1930, com o desdobramento da eletrodinâmica quântica, uma vasta teoria que esclarece ao mesmo tempo essas duas singularidades. É possível descrever a propagação da luz aplicando um modelo ondulatório. Entretanto, para justificar a emissão e a absorção da luz, há a necessidade de levar em conta sua natureza corpuscular (Young & Freedman, 2016).

Mais à frente veremos as principais características e elementos da luz, analisando separadamente seu comportamento ondulatório e corpuscular. Como a luz é energia em movimento, possui velocidade determinada, que varia de acordo com o meio

em que se propaga: quanto mais denso o meio de propagação, menor será sua velocidade. A maior velocidade reportada na literatura é a da luz no vácuo.

A medida da velocidade da luz foi fundamental para determinar o caráter da mesma. Diversos filósofos e físicos dedicaram-se em diferentes experimentos para atingir esse objetivo, sendo que alguns notáveis obtiveram resultados próximos dos valores atuais: o astrônomo dinamarquês Ole Römer, em 1675, obteve a velocidade de $2,15 \cdot 10^5$ km/s, o astrônomo inglês James Bradley, em 1727, determinou o valor da velocidade da luz em 299.714 km/s, o físico francês Armand Hippolyte Luis Fizeau, em 1849, encontrou o valor de $3,15 \cdot 10^5$ km/s, o físico francês Jean Bernard Léon Foucault, em 1862, obteve o valor de $2,98 \cdot 10^5$ km/s. Destacamos ainda Albert Abraham Michelson e Edward Williams Morley que, realizaram um experimento para detectar e comprovar a existência do éter (meio que se acredita preencher todo o espaço, sendo a substância na qual se propagavam as ondas eletromagnéticas) e calcular a velocidade da luz em tal meio. A experiência foi frustrante, pois o experimento de Michelson-Morley provou que não existia o éter. Porém, tratava-se de um grande avanço para a física: a constatação da existência do vácuo.

Entre 1887 e 1905, muitos tentaram explicar o resultado do experimento Michelson-Morley em termos de objetos se contraindo e relógios andando mais devagar ao se moverem pelo éter, em especial o físico holandês Hendrik Lorentz. Entretanto, em um famoso artigo científico de 1905, um funcionário até então desconhecido do escritório de patentes suíço, Albert Einstein, afirmou que toda a ideia de éter era desnecessária, contanto que abandonássemos a ideia de tempo absoluto (Hawking, 2015).

A velocidade da luz no vácuo atualmente é uma constante universal e, de acordo com Barthem (2005), com o avanço de tecnologias como lasers e diodos metal-isolante-metal passou a ser comprovada. Afirma ainda que “[...]em 1983, a velocidade da luz passou a ser considerada como um padrão primário de velocidade e o metro, uma grandeza a ser medida” (Barthem, 2005, p. 29). Portanto, essa constante universal assume o valor $c = 299.792.458$ m/s. Foi escolhido a letra c para simbolizar a velocidade da luz no vácuo, tendo se originado da palavra *celerita* que, do latim, significa celeridade, rapidez.

2.1 Comportamento ondulatório da luz

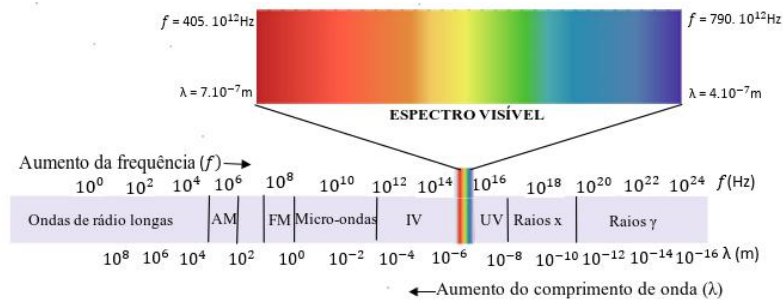
Onda é uma perturbação causada no meio, que realiza o transporte de energia sem transportar matéria. As ondas são classificadas em mecânicas, quando precisam de um meio material para se propagar e eletromagnéticas, quando não precisam, ou seja, se propagam também no vácuo. A luz é uma onda eletromagnética que tem como fonte fundamental cargas elétricas aceleradas. James Clerk Maxwell constatou que a luz é uma onda eletromagnética, verificando que a velocidade de qualquer onda eletromagnética no vácuo é aproximadamente igual à velocidade da luz no vácuo.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}} = 2,999 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (1)$$

Em que, μ_0 ($4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A) e ϵ_0 ($8,854 \cdot 10^{-12}$ C².N/m²) são, respectivamente, a permeabilidade magnética e a permissividade elétrica no vácuo.

Na sequência, apresentamos um esquema do espectro eletromagnético (Figura 1), onde é possível visualizar e comparar os comprimentos de onda e frequências das distintas radiações eletromagnéticas, que são divididas em sete faixas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama.

Figura 1 - Representação do espectro eletromagnético.



Fonte: Autores (2021).

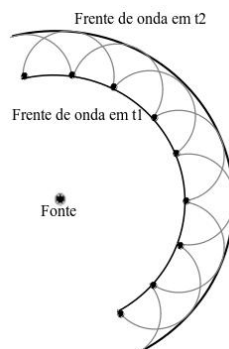
Como podemos observar, a luz visível ocupa uma pequena fração do espectro das radiações eletromagnéticas, perceptíveis a olho nu. A variação de cores indica diferentes comprimentos de onda com capacidade de sensibilizar a visão humana. As cores variam do vermelho, que possui a menor frequência, ao violeta, que apresenta maior frequência. Quanto a energia, esta pode ser calculada em função da frequência. Neste sentido, a radiação violeta é a de maior energia.

A radiação eletromagnética propaga-se perpendicularmente aos campos elétrico e magnético e são utilizadas as funções trigonométricas (seno e cosseno) para demonstrar as oscilações de onda.

• Princípio de Huygens e a difração da luz

O princípio enunciado por Christian Huygens em 1678 serve de suporte para a teoria ondulatória da luz. Com este enunciado foi possível compreender a ocorrência da difração da luz. “Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo t , a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a estas ondas secundárias” (Halliday et al., 2012, p. 72). Essas ondas secundárias se propagam em todas as direções e possuem a mesma velocidade e frequência das ondas primárias (Figura 2).

Figura 2 - Representação das ondas secundárias a partir dos pontos de uma frente de onda.



Fonte: Autores (2021).

A difração é um fenômeno atribuído às ondas, em que a onda contorna um determinado obstáculo ou atravessa a abertura de um obstáculo e se espalha no lado oposto a ele. Assim, um pequeno ponto da onda primária atinge e atravessa o obstáculo, originando a sua onda secundária, usualmente denominada onda de Huygens.

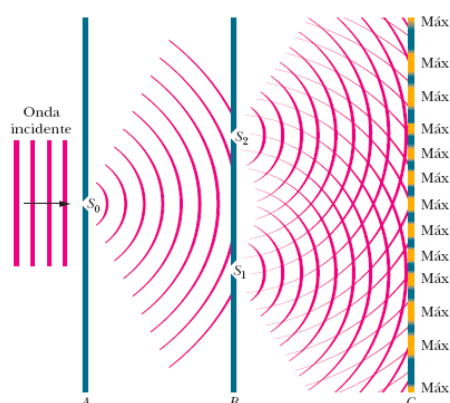
É importante destacar que: a difração será mais perceptível se o tamanho da abertura no obstáculo e o comprimento da onda forem de dimensões próximas, e ainda mais acentuada para comprimentos de onda maiores que a abertura. A difração da luz é um fenômeno pouco observado no dia a dia, pois a faixa de comprimento da radiação visível é da ordem de 10^{-7} m .

A dupla fenda de Young

A partir do princípio de Huygens, Thomas Young realizou um experimento que provou a natureza ondulatória da luz; ele foi capaz de demonstrar que a luz sofre interferência tal qual as ondas mecânicas. Quando duas ondas se encontram ocorre o que chamamos de interferência, podendo ser destrutiva, quando ocorre a superposição de ondas simetricamente opostas (diferença de fase de 180° ou $\pi \text{ rad}$), ou construtiva, quando ocorre a superposição de duas ondas em fase.

Em seu experimento, Young utilizou uma fonte de luz monocromática e três anteparos. O primeiro possuía uma pequena fenda que difratava a luz incidente, tornando-a, a partir daí, uma fonte pontual. No segundo anteparo, com dois pequenos orifícios, a luz incidente era duplamente difratada, projetando franjas claras e escuras no terceiro anteparo (Figura 3).

Figura 3 - Representação do experimento de Young.



Fonte: Halliday et al., (2012, p.78).

O princípio de Huygens fica evidente nesse experimento, comprovando que cada ponto de uma frente de onda dá origem a uma nova onda, e assim sucessivamente. As franjas claras, denominadas máximos, são regiões em que as fases das ondas são iguais, produzindo interferência construtiva; as franjas escuras, denominadas mínimos, são regiões em que as fases são opostas, ocorrendo interferência destrutiva.

2.2 Comportamento corpuscular da luz

Certamente essa foi a concepção mais aceita na antiguidade, em que a luz é composta por partículas que se deslocam em movimento retilíneo, com grande velocidade. Tal entendimento explica fenômenos da luz como a reflexão e refração, que são representadas por raios incidentes, refletidos e refratados, que formam ângulos e trajetórias e podem ser calculados a partir de conceitos geométricos, como se fossem minúsculas bolas maciças com comportamento e deslocamento previsíveis.

Assim, a luz, entendida como onda, tem por característica principal o fato de se propagar por todo o espaço. Entretanto, a luz, entendida como partículas, ocupa um lugar determinado no espaço. Apesar de ser facilmente observado, o modelo corpuscular foi de fato consagrado no advento da Física Quântica, quando em uma concepção moderna foi o único modelo satisfatório para explicar o efeito fotoelétrico.

• A partícula de luz

A luz é formada por minúsculos pacotes de energia, uma forma quantizada elementar, que são responsáveis pelo transporte de energia da radiação eletromagnética. Esses pacotes são denominados fótons, ou quanta de luz. Apesar de ser usualmente denominado como partícula, o fóton tem características bem singulares; sua velocidade é igual a velocidade da luz, sua massa de repouso é nula e tem características de onda, tais como frequência e comprimento de onda.

A quantização da energia pode ser comparada ao nosso sistema monetário: o menor valor é de R\$ 0,01, portanto só poderemos obter quantidades que sejam múltiplos inteiros deste valor; por exemplo, $15 \times \text{R\$ } 0,01 = \text{R\$ } 0,15$. Não é possível admitir valores como R\$ 0,155; para isso seria necessário multiplicar o valor R\$ 0,01 por um número não inteiro (15,5). Assim, o fóton é quantizado e definido como um pacote de energia para o qual devemos considerar como um todo. Outras quantidades discretas são tomadas como múltiplas inteiras desse. Albert Einstein, em 1905, postulou sobre a quantização da radiação eletromagnética, mas o primeiro a pensar na quantização de energia foi Max Planck, em 1900, procurando descrever a radiação do corpo negro. Assim, a energia do Fóton foi definida como:

$$E = hf \quad (2)$$

Em que:

E = energia do fóton (utiliza-se usualmente, J ou eV , como unidade de medida);

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

f = frequência da luz.

“A menor energia que uma onda luminosa de frequência f pode possuir é hf , a energia de um único fóton. Se a onda possui uma energia maior, esta deve ser múltiplo inteiro de hf [...]” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 179).

Emissão de fótons: quando um átomo emite um fóton de frequência f , transfere uma energia hf para a luz, e um fóton é criado.

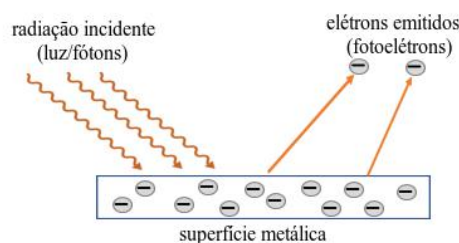
Absorção de fótons: quando um fóton de frequência f transfere sua energia hf da luz para um átomo, esse fóton é extinto.

• Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico não é explicável no domínio da Física Clássica; surge, então, a Física Quântica (com a proposta de quantização da luz), em que é necessário considerar a luz como partícula, o fóton.

Esse fenômeno é verificado quando uma placa de metal é atingida por luz de determinada frequência e elétrons são retirados de sua superfície (Figura 4). Porém, verifica-se que não é em todos os casos que o elétron é desprendido do metal. A energia do fóton (E) depende de sua frequência (quanto maior a frequência, maior será a energia do fóton) e para que ocorra o efeito fotoelétrico, a energia do mesmo precisa ser igual ou maior do que a energia de interação do elétron com a placa. Observou-se que mesmo aumentando a intensidade da luz incidente não ocorria o desprendimento dos elétrons, ou seja, mesmo aumentando a quantidade de fótons o fenômeno não ocorria.

Figura 4 - Representação do efeito fotoelétrico.



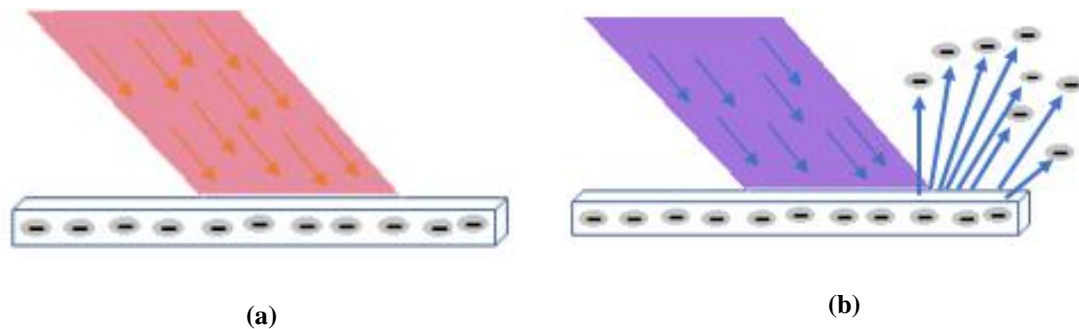
Fonte: Autores (2021).

O primeiro a observar o efeito fotoelétrico foi Heinrich Rudolf Hertz, em 1886. Um fato curioso é que foi nesse experimento que Hertz comprovou a natureza de onda eletromagnética da luz, mas observou também que a incidência de raios ultravioleta gerava faíscas na placa coletora.

A energia mínima necessária para a emissão do fotoelétron é chamada de função trabalho (Φ). Essa é uma característica determinada pelo material da placa metálica; quanto maior for a função trabalho, maior será a dificuldade de desprender elétrons da superfície metálica. Vale ressaltar que só ocorrerá o efeito fotoelétrico se $E > \Phi$.

Lembrando que a energia do fóton depende da frequência do mesmo, fica estabelecida uma energia mínima, que corresponde a uma frequência mínima, denominado potencial de corte (V_0). Ou seja, o fóton deverá conter essa energia mínima para que o elétron a absorva e se desprenda do metal (Figura 5 (a)). No caso de o fóton conter energia maior do que a energia de corte, o fotoelétron será desprendido e a diferença de energia será absorvida pelo fotoelétron, o que corresponderá à sua energia cinética ($K_{m\acute{a}x}$) (Figura 5 (b)).

Figura 5 – (a) Fótons com energia insuficiente e (b) Fótons com energia suficiente.



Fonte: Autores (2021).

Para determinar a energia cinética de um elétron, temos:

$$K_{m\acute{a}x} = eV_0 \quad (3)$$

Em que:

$K_{m\acute{a}x}$ = energia cinética do elétron – a unidade de medida de energia no SI é o Joule (J), porém convenientemente utiliza-se o Elétron-Volt (eV); e = valor absoluto da carga do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}C$); V_0 = potencial de corte – a unidade de medida é o Volt (V).

Matematicamente, a equação do Efeito Fotoelétrico é a seguinte:

$$hf = K_{m\acute{a}x} + \phi \quad (4)$$

Em que:

$hf = E$ (Energia do fóton); $K_{m\acute{a}x} = eV_0$ (Energia cinética do elétron); ϕ = Função trabalho (característica do metal da placa metálica). A unidade de medida utilizada é o Joule (J) ou Elétron-Volt (eV).

É importante enfatizar que fótons com uma baixa frequência não são capazes de desprender elétrons da placa metálica; se aumentarmos a intensidade da luz, a qual ficará mais brilhante, isso só faz aumentar o número de fótons que atingem a placa, mas nenhum desses fótons tem energia suficiente para desprender um elétron, existirão muitos fótons, porém, com energia insuficiente para o efeito fotoelétrico. A função trabalho dos elétrons é usualmente expressa em elétron-volt (eV), que tem a seguinte relação com o joule:

$$1eV = 1,602 \cdot 10^{-19}J \quad (5)$$

Assim, a constante de Plank assume o seguinte valor:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34}J \cdot s = 4,136 \cdot 10^{-15}eV \cdot s \quad (6)$$

O efeito fotoelétrico é muito utilizado atualmente e nem damos conta de tal fenômeno que é fundamental no funcionamento de dispositivos presentes no nosso dia a dia como, portas que abrem e fecham automaticamente, luzes que

acendem ao anoitecer, fotômetro de máquinas fotográficas que controlam o tempo de exposição do filme, painéis solares, entre vários outros aparatos modernos. Um experimento que pode ser aplicado em sala de aula pode ser encontrado em Batista *et al.* (2021).

3. Metodologia

O presente estudo é caracterizado como de natureza qualitativa, conforme reportado por Dourado e Ribeiro (2021, p. 20), na pesquisa de cunho qualitativo “[...] a realidade é construída em conjunto entre pesquisador(a) e pesquisado(a) por meio das experiências individuais de cada sujeito”. Por se tratar de uma pesquisa onde o resultado é um produto aplicado com alunos do Ensino Médio, isso a caracteriza como qualitativa, pois teve como fonte as experiências vivenciadas pelos alunos

De acordo com Dourado e Ribeiro (2021, p. 20),

[...] na pesquisa qualitativa, a realidade é múltipla e subjetiva (Ontologia), sendo que as experiências dos indivíduos e suas percepções são aspectos úteis e importantes para a pesquisa. A realidade é construída em conjunto entre pesquisador/a e pesquisado/a por meio das experiências individuais de cada sujeito (Epistemologia). Sendo assim, os pesquisadores entendem que não há neutralidade e que estão, no processo da pesquisa, influenciando e sendo influenciados pelo que está sendo pesquisado (Axiologia). O raciocínio ou a lógica da pesquisa qualitativa é a indutiva, partindo do específico para o geral. Não se parte de uma teoria específica, mas ela é produzida a partir das percepções dos sujeitos que participam da pesquisa.

O método de abordagem escolhido foi uma pesquisa bibliográfica e posteriormente, a elaboração de um produto, resultado da pesquisa prática realizada durante as experiências vividas com os alunos. A pesquisa bibliográfica é aquela oriunda de estudos já publicados sobre a temática, em que se analisa documentos científicos que versem acerca do tema estudado, e visam estabelecer um aporte teórico para as experiências práticas (Fontana & Pereira, 2021).

3.1 Coleta de dados

A coleta de dados para a pesquisa ocorreu por meio de questionários, confecção de mapas conceituais, observação participante, diário de campo dos pesquisadores e todos os documentos produzidos pelos sujeitos durante a pesquisa, que teve caráter qualitativo. A pesquisa em análise tinha o objetivo de ensinar a dualidade da luz a partir de uma abordagem significativa do conteúdo. A grade curricular para essa turma contempla duas aulas semanais da disciplina.

O roteiro das atividades foi dividido em seis módulos, que foram desenvolvidos durante oito aulas (Quadro 1). A sequência de ensino apresenta uma proposta didática com textos e questões a serem discutidos nas aulas, traz um roteiro para produção e aplicação de dois experimentos feitos com materiais de baixo custo; o primeiro com o objetivo de demonstrar o comportamento ondulatório da luz, lembrando o experimento da dupla fenda realizado por Young, e o segundo com a finalidade de simular o comportamento corpuscular da luz constatado no efeito fotoelétrico, dando destaque à situação que ocorre com a iluminação pública, ao acender e apagar as luzes sem interferência humana.

Essas atividades experimentais foram propostas com a intenção de tornar os conhecimentos apresentados mais concretos, possibilitando ao aluno compreender as conclusões obtidas por físicos e seus impactos na sociedade, percebendo que os fenômenos estudados estão presentes no seu cotidiano.

Ainda como recurso didático, a proposta, sugere a exibição de um vídeo intitulado “O Julgamento da Luz”, em que os personagens são os principais filósofos e físicos que contribuíram para os estudos sobre a natureza da luz ao longo dos anos. No roteiro desse julgamento os personagens descrevem seus pensamentos e sua compreensão acerca do que é a luz. O vídeo exibido foi produzido pelos autores da proposta (Scheifer, 2021) e para a produção do mesmo foi necessária a criação inédita desses personagens de forma digital, a construção de frames (cenas) com movimento dos mesmos e a elaboração de um roteiro que

resgatasse os principais momentos da história. Para tanto, o filme foi produzido com a utilização de *software* para a criação de vídeos (*Open Shot* e *Affter Effects*), sendo necessária, também, a gravação dos áudios por diferentes vozes a fim de interpretar os diferentes personagens, para a gravação dos áudios foi utilizado o *software Audacity*.

A proposta do vídeo a ser exibido aos alunos tem a intenção de atrair a atenção para a história da ciência, mostrando que todo conhecimento científico é solidificado a partir de hipóteses e comprovações, que mesmo as hipóteses já refutadas são de grande importância para a construção do conhecimento e devem ser apreciadas e valorizadas, não como anedotas, mas sim como importante passo para a construção do conhecimento.

As atividades propostas no roteiro das aulas foram embasadas na Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que focaliza principalmente a aprendizagem cognitiva. Utilizou-se também os argumentos de Joseph Novak e Marco Antônio Moreira, que são sucessores de Ausubel e seguiram divulgando e aprimorando a Teoria de Aprendizagem Significativa.

A avaliação é fundamental em todo o processo educativo, afinal é necessário observar se os objetivos propostos foram atingidos parcialmente, totalmente ou não foram atingidos. Os resultados da avaliação refletem a prática pedagógica do professor; além de avaliar o conhecimento obtido pelo aluno, permite ao professor refletir sobre sua prática docente, a aprimorando constantemente. Assim, a avaliação ocorreu de forma contínua em todas as etapas das atividades, ao final, os alunos produziram um mapa conceitual a fim de demonstrar sua compreensão sobre a luz.

3.2 A Sequência de ensino

A organização das atividades propostas e o desenvolvimento das aulas constam, de forma resumida, no Quadro 1.

Quadro 1 - Proposta didática.

Módulo 1 (1 Aula)	Identificando os subsunçores	✓ Mapa conceitual e questões sobre a luz, para identificar os conhecimentos prévios presentes na estrutura de conhecimentos dos alunos.
Módulo 2 (1 Aula)	Organizador prévio do tipo comparativo – I	✓ Leitura e discussão do texto “A carta e o e mail” em que é feita uma analogia com partícula e onda respectivamente, com objetivo de estabelecer uma “âncora” para o novo conhecimento. Nessa aula o professor deve relembrar principais características e comportamento de ondas e partículas.
Módulo 3 (2 Aulas)	Organizador prévio do tipo comparativo – II	✓ Leitura e discussão dos textos “Arco-íris” e “Periscópio”, o primeiro aborda a formação do arco-íris e o segundo fala sobre o instrumento óptico denominado periscópio. A intenção de se explorar esses textos é levar o aluno a perceber que ambos são possíveis devido a presença de luz. Espera-se que o aluno já conheça o fenômeno do arco-íris e já tenha visto em filmes ou outros recursos, o periscópio, assim são objetos de estudo familiares ao aluno, possibilitando a integração e discriminação de novas informações e conceitos.
Módulo 4 (2 Aulas)	Material potencialmente significativo – I	✓ Experimento 1: Dupla fenda. ✓ Experimento 2: Simulando a iluminação pública. ✓ Explicação sobre a difração da luz e sobre o Efeito fotoelétrico.
Módulo 5 (1 Aula)	Material potencialmente significativo – II	✓ Apreciação do vídeo “O julgamento da luz”. ✓ Socialização oral sobre o vídeo. ✓ Questões para verificar a compreensão dos alunos sobre o exposto no vídeo
Módulo 6 (1 Aula)	Avaliação	✓ Elaboração de mapa conceitual individual pelos alunos, questões sobre a dualidade da luz, avaliação da proposta didática.

Fonte: Autores (2021).

Módulo 1 – Segundo David Ausubel (1982), é de extrema importância identificar os conhecimentos prévios dos estudantes, a fim de direcionar o trabalho, neste sentido é relevante compreender o que o aluno já domina, quais pontos requerem uma retomada ou são desconhecidos, para isso, foi utilizado um questionário e solicitado aos alunos a confecção de um mapa conceitual. É natural que os alunos tenham diversas ideias e relações sobre a luz, pois está presente no nosso cotidiano. De acordo com Moreira (2011, p. 19), deve ser considerado “[...]como um conhecimento prévio especificamente relevante para uma nova aprendizagem”, e para tanto considerou-se que é importante que os alunos definam e compreendam o comportamento de partícula e onda.

A partir da análise feita nas questões iniciais, foi considerada a necessidade de reativar os conhecimentos prévios dos alunos com relação a esses aspectos. Nessa perspectiva, o material proposto como organizador prévio, previsto para o módulo 2, mostra-se importante como uma atividade introdutória.

O Organizador prévio é uma estratégia didática utilizada para facilitar a aprendizagem significativa. Trata-se de um material utilizado para a introdução, sendo apresentado antes do material do novo conteúdo em si. Moreira (2011, p.46) diz que “Muitas vezes, o aluno tem conhecimentos prévios adequados, mas não percebe a relacionabilidade e a discriminabilidade entre esses conhecimentos e os novos que lhe estão sendo apresentados nas aulas e nos materiais educativos”.

Módulo 2 – Com objetivo de apresentar organizadores prévios para o ensino da natureza corpuscular e a natureza ondulatória da luz, realizar uma revisão conceituando e definindo partículas e ondas eletromagnéticas e reforçar a compreensão sobre o comportamento das partículas e das ondas, os alunos realizaram a leitura do texto “A carta e o e-mail”, adaptado de Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP, que faz uma analogia entre carta e partícula e e-mail com onda, ao mencionar que a carta é um meio material possuidor de massa que transporta a informação, assim como a partícula transporta energia por meio da matéria, e o e-mail realiza o transporte de informação, sem a necessidade de que massa nenhuma o carregue, bem como uma onda, que transmite energia pelo espaço sem o transporte da matéria.

A utilização de analogias está muito presente nas aulas de física, os professores em geral buscam algo conhecido pelo aluno para lhe apresentar novidades, de acordo com Francisco Junior *et al.* (2011, p.86) “As analogias, em geral, configuram-se numa comparação entre dois eventos: um que se pretende explicar e, portanto, desconhecido, e o já conhecido e que servirá de referência”, os autores afirmam ainda que, a utilização de analogias está enraizada no cotidiano das pessoas.

O texto proposto aos alunos foi pensado para agir como um organizador prévio do tipo comparativo, um material que contemple o conhecimento prévio, necessário para uma aprendizagem significativa do conteúdo a ser ensinado, atuando como um ancoradouro provisório para a nova aprendizagem ou estabelecendo uma relação entre o que o aprendiz já sabe e o novo conceito a ser ensinado. De acordo com Moreira:

Quando o novo material é relativamente familiar, o recomendado é o uso de um *organizador comparativo* que ajudará o aprendiz a integrar novos conhecimentos à estrutura cognitiva e, ao mesmo tempo, a discriminá-los de outros conhecimentos já existentes nessa estrutura que são essencialmente diferentes, mas que podem ser confundidos (Moreira, 2011, p.30).

Módulo 3 – Para o módulo três a proposta pedagógica implementada aborda mais um material com a intenção de atuar como organizador prévio do tipo comparativo. Os objetivos desse módulo são: Apresentar outro organizador prévio, para o ensino da natureza corpuscular e a natureza ondulatória da luz e levar o aluno a observar que, tanto no fenômeno do arco íris como no funcionamento do periscópio há a presença da luz, comportando-se de diferentes formas.

Assim, foram disponibilizados para os alunos os textos: “Arco-íris” e “Periscópio” elaborados pelos autores, após a leitura e reflexão sobre os textos, a professora/pesquisadora falou mais sobre como ocorre o arco-íris e também explicou como

funciona o periscópio, essa atividade possibilitou o início de uma diferenciação progressiva em que o novo conteúdo ou conceito, é apresentado partindo das características mais gerais para as mais específicas.

Para que ocorra uma aprendizagem significativa o ensino deve começar com aspectos mais gerais, mais amplos e inclusivos, e então de forma progressiva deve-se diferenciá-los. Dar uma ideia geral do todo e logo partir para aspectos específicos.

Moreira (2011, p.43) afirma que “Não seria, no entanto, uma abordagem dedutiva. Uma vez introduzidos os conceitos e proposições mais gerais e inclusivos, eles devem, imediatamente, serem exemplificados, trabalhados em situações de ensino”.

Os textos explorados possibilitam que o aluno perceba a luz em duas diferentes situações familiares (arco-íris) ou não (periscópio) e compreendam o seu comportamento em cada uma. A intenção é levar o aluno a perceber que tanto no arco-íris que é um fenômeno natural quanto no periscópio que é um instrumento óptico, há a presença da luz, porém com algum comportamento comum e outros distintos, e solicitar se o aluno caracteriza o comportamento da luz como ondulatório, corpuscular ou dual.

3.3 Materiais potencialmente significativos

Um material potencialmente significativo deve ser um facilitador da aprendizagem. “[...] o material deve ser relacionável a determinados conhecimentos e o aprendiz deve ter esses conhecimentos prévios necessários para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não-litera” (Moreira, 2011, p. 25).

➤ Experimento 1: Fenda Dupla

Com esse experimento pretendeu-se demonstrar ao aluno, de forma simples, o comportamento ondulatório da luz ao propagar-se, levando-o a perceber que, se a luz for compreendida apenas como partícula, o resultado esperado seria somente a projeção dos dois furos ou fendas, e que o fenômeno de interferência é um comportamento próprio de ondas. Esperava-se ainda que o aluno percebesse a importância de se conhecer a história e os fatos importantes para a ciência que se tem hoje.

O experimento é realizado com a utilização de um pente, com espaço muito pequeno entre os dentes, um apontador laser e fita isolante. A fita isolante é empregada para cobrir os dentes do pente deixando apenas dois espaços entre eles, que serão as duas fendas. Aponta-se o laser na direção das fendas do pente e observa-se o resultado em uma parede ou quadro da sala de aula; tal resultado é a visualização dos efeitos da difração e da interferência entre as ondas de luz.

Módulo 4 - foi realizada a demonstração de dois experimentos, na intenção de que estes proporcionassem uma melhor compreensão sobre a dualidade da luz, a partir do conhecimento que os estudantes já possuíam sobre o comportamento de partículas e ondas. Assim durante o experimento a professora/pesquisadora explicou sobre o comportamento da luz nas duas situações: experimento 1 – fenda dupla– comprova o comportamento ondulatório da luz, experimento 2 – simulando a iluminação pública – comprova o comportamento corpuscular da luz.

Figura 6 - (a) Alunos realizando o experimento com o pente e o laser **(b)** Difração da luz formada no quadro.



(a)



(b)

Fonte: Autores (2021).

Antes de realizar o experimento da fenda dupla (Figura 6), os alunos foram questionados sobre o que acreditavam que iria acontecer quando incidisse luz do laser nas duas fendas. Os alunos que se sentiram à vontade para responder, disseram que iria formar dois pontos ou duas faixas no quadro, alguns acharam que poderia ser apenas uma porque o raio de luz do laser era muito fino, mas ficou claro que o esperado pelos alunos era que a luz demonstrasse seu princípio de propagação retilínea. Ao observar a rede de difração formada no quadro branco, os alunos ficaram surpresos, e muitos aproximaram-se para ver (Figura 6). A partir daí a professora/pesquisadora explicou o que estava acontecendo e que isso comprovava o comportamento ondulatório da luz.

Nos relatos escritos, quando solicitado para comentar sobre o experimento feito com o pente e o laser, os resultados foram muito satisfatórios, dezoito dos vinte e cinco relatos entregues apresentam explicações sobre o fenômeno que ocorreu, utilizando termos como: difração da luz, interferência e comportamento de onda para a luz, e muitos mencionam o quanto ficaram surpresos como o que observaram, que foi muito diferente de suas expectativas.

➤ Experimento 2: Simulando a iluminação pública

Não é tão simples reproduzir o efeito fotoelétrico e torná-lo perceptível aos alunos, com uma intenção didática de demonstrar a interação da luz com a matéria num comportamento de partícula. Foi realizado um experimento que simula o funcionamento de um poste de iluminação pública; nesse caso não há a emissão de elétrons, mas sim a passagem de uma corrente elétrica.

O experimento proposto aos alunos objetivou abordar o fenômeno do efeito fotoelétrico destacando a interação da luz com a matéria e sua aplicação no dia a dia. Após explicar como ocorre tal fenômeno, foi demonstrado, com a montagem de um circuito simples, como funciona a iluminação pública, que acende e apaga as luzes dos postes de forma automática, sem a interferência de uma pessoa.

Para isso, foi utilizado um dispositivo chamado LDR (*Light Dependent Resistor*) que ao ser incidido por luz tem o número de elétrons livres aumentado, o que faz a resistência elétrica diminuir, permitindo a existência de uma corrente elétrica que aciona o relé fotoelétrico (um dispositivo que apaga a lâmpada), e quando a intensidade da luz à qual o LDR está exposto é diminuída e ocorre o contrário, há uma diminuição dos elétrons livres, que faz aumentar a resistência e dificulta a passagem da corrente elétrica, fazendo com que o relé acenda a luz.

Com essa atividade pretendia-se mostrar ao aluno o comportamento corpuscular da luz ao interagir com a matéria, bem como evidenciar a importância de tal desenvolvimento científico para nossas vidas, apresentando diferentes situações em que o

efeito fotoelétrico está presente, como portas que abrem e fecham automaticamente, diversas situações em que luzes acendem ao anoitecer, fotômetro de máquinas fotográficas que controlam o tempo de exposição do filme, entre vários outros aparatos modernos.

Esse experimento foi montado a partir do circuito, e posteriormente acomodado dentro de uma caixa, que deixava expostos: a lâmpada, o interruptor e o LDR. Foi solicitado que os alunos tentassem propor formas de apagar a luz que estava acesa, mas eles não podiam tocar com as mãos no aparato, posteriormente a professora/pesquisadora demonstrou como apagar a luz, incidindo luz de laser sobre o LDR, e explicou que o funcionamento dos postes de iluminação pública tem o mesmo princípio, os detalhes dos experimentos podem ser encontrados em (Scheifer, 2022).

Para iniciar a demonstração e discussão, a professora mostrou o aparato (caixa com lâmpada acesa) (Figura 7 (a)), disponibilizou os objetos: bola de borracha, régua de madeira, laser e mola e questionou aos alunos se eles eram capazes de apagar a luz que estava acesa (Figura 7(b)), sem colocar a mão no interruptor, utilizando algum dos objetos disponíveis, prontamente alguns alunos iniciaram suas sugestões, sempre pensando no objetivo de mover a tecla do interruptor, nem perceberam que ao lado dele havia o LDR. Na sequência a professora/pesquisadora demonstrou como apagar a luz usando o laser, logo, muitos alunos quiseram tentar também e se divertiram ao testar sua firmeza na mão, já que o LDR é muito pequeno e o feixe de luz do laser precisava atingir esse componente e ser mantido incidindo luz sobre ele para que a lâmpada ficasse apagada (Figuras 7 (a e b)).

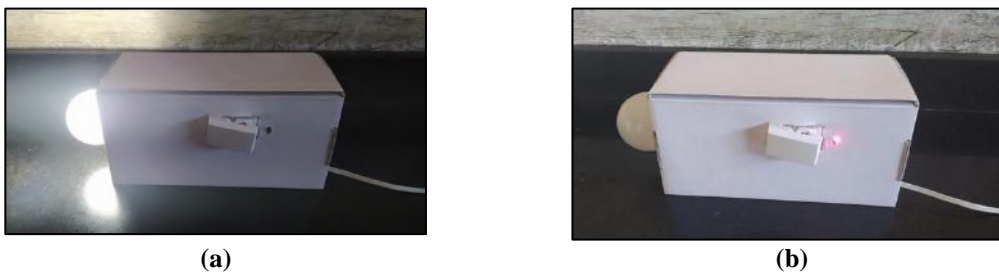
Seguiu-se com a explicação do que estava acontecendo, e falando sobre o funcionamento das luzes de iluminação pública que se apagam ao amanhecer, ou seja, ao receber a luz solar. Os alunos ficaram surpresos, muitos afirmaram acreditar que alguém apagava em uma central, outros achavam que tinha um timer com horário programado, esse resultado também foi constatado na pesquisa realizada por Batista (2016), em que os estudantes dividiam suas respostas em acendimento mecânico e acendimento eletrônico. Essa discussão foi muito pertinente pois fortaleceu a compreensão de que os conceitos estudados em Física estão presentes no dia a dia do aluno. Falou-se também de outras aplicações desse fenômeno em aparatos do cotidiano, e explicou-se que isso só é possível a partir do comportamento corpuscular da luz, explicando na sequência o efeito fotoelétrico e a quantização da luz.

Os alunos gostaram muito do experimento, e descreveram em seus relatos que não imaginavam que as luzes públicas eram apagadas dessa forma, a maioria dos alunos mencionou a comprovação do comportamento corpuscular da luz presente no efeito fotoelétrico.

Esse experimento possibilitou aproximar o conhecimento adquirido no ambiente escolar de situações presentes na vida das pessoas, o que comprova que esse recurso metodológico é muito viável pois, muitas vezes, os alunos não conseguem atribuir significados aos conteúdos estudados, os resultados obtidos por Moraes e Moraes (2000) também apontam para uma melhoria da aprendizagem a partir de “exemplo que simulem a realidade cotidiana observada pelos alunos” (Moraes & Moraes, 2000, p. 242).

A utilização de experimentos nas aulas de Física permite uma melhor compreensão do que está sendo ensinado, de acordo com Domingui (2016, p. 25-26), “O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais significativas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física”.

Figura 7 – (a) Sem incidência de luz no LDR e (b) Com incidência de luz no LDR.



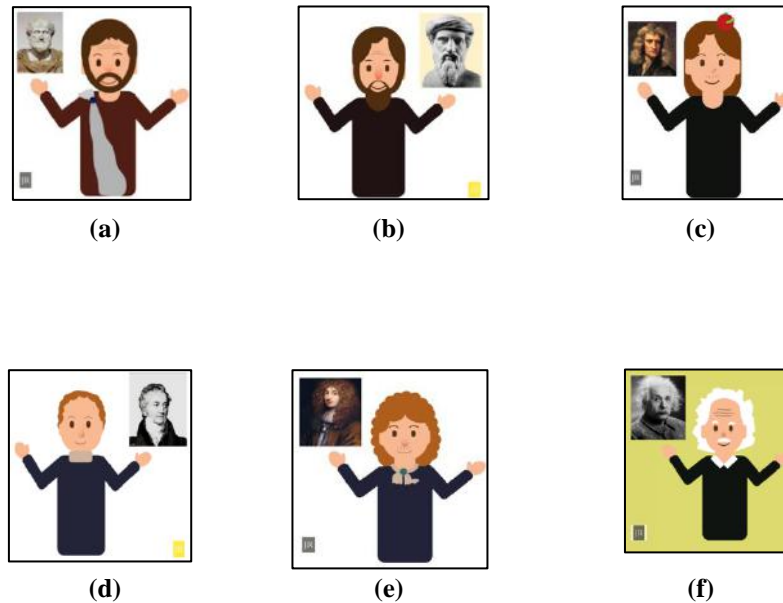
Fonte: Autores (2021).

Módulo 5 - O objetivo da exibição do vídeo era despertar o interesse do aluno em conhecer o contexto histórico por trás dos conceitos apresentados na disciplina de Física e contribuir para que o mesmo compreenda a dualidade da luz. O roteiro para o vídeo que foi utilizado na abordagem sobre a história da evolução das concepções sobre a natureza da luz foi elaborado a partir de revisão bibliográfica, objetivando contemplar as principais contribuições e seus defensores desde a antiguidade para chegarmos ao que se sabe nos dias atuais.

Trata-se de um julgamento fictício em que o personagem de Pitágoras defende a natureza corpuscular da luz e o personagem de Aristóteles defende a natureza ondulatória da luz. No decorrer desse julgamento são convocadas algumas testemunhas: Newton, Huygens, Young e Einstein; estes falam de seus feitos bem como narram algumas hipóteses e contribuições de grandes personalidades como Homero, Platão, Robert Hooke, Grimaldi, Foucault, Maxwell, Hertz, Kirchhoff e Planck. E, como já sabemos, esse julgamento terminará empatado, uma vez que a conclusão científica atual é de que a luz tem caráter dual: comportamento ondulatório ao se propagar e corpuscular ao interagir com a matéria. Após a exibição do vídeo, foi realizada uma conversa com os alunos e os mesmos apontaram o que lhes chamou a atenção no vídeo, também responderam algumas questões relacionadas ao vídeo, o que comprovou que os alunos prestaram atenção e compreenderam.

A produção do vídeo foi realizada no *software OpenShot* (disponível em www.openshot.org) e *After Effects* (disponível em www.adobe.com); as imagens e frames (cenas) dos personagens foram criados exclusivamente para esse trabalho (Figura 8), procurando trazer traços dos personagens reais; os áudios foram gravados separadamente por diferentes vozes, utilizando o *software Audacity* (disponível em www.audacityteam.org), posteriormente, os áudios foram enquadrados com as cenas. O vídeo está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=F4ZwMv0dkCk>.

Figura 8 – Personagens presentes no vídeo: a) Aristóteles, b) Pitágoras, c) Isaac Newton, d) Thomas Young, e) Christian Huygens e f) Albert Einstein.



Fonte: Autores (2021).

Módulo 6 – Foi proposto a elaboração de um mapa conceitual individual sobre a luz, abordando de uma forma diferente, os aspectos da dualidade da luz. Moreira (2019) fala sobre a evidência da aprendizagem significativa, o autor descreve que, para Ausubel, os estudantes acabam se habituando a memorizar: proposições, fórmulas, causas, exemplos, explicações e maneiras de resolver problemas tradicionais, devido a experiência que adquirem fazendo esses tipos de exames, por esses fatores a utilização de MC caracteriza-se como um bom instrumento de avaliação, permitindo que o aluno demonstre as concepções e respectivas relações que lhes foram mais significativas durante o aprendizado.

De acordo com Moreira (2011, p. 129) “Como instrumento de avaliação da aprendizagem, mapas conceituais podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento”. Com essa finalidade, os alunos realizaram os MCs de forma individual, iniciaram a construção dos mesmos em sala de aula, mas não conseguiram concluir durante uma aula, então terminaram essa proposta em casa, e os entregaram na aula seguinte, nem todos os alunos entregaram o seu MC, foram entregues 24 (vinte e quatro) MCs no total.

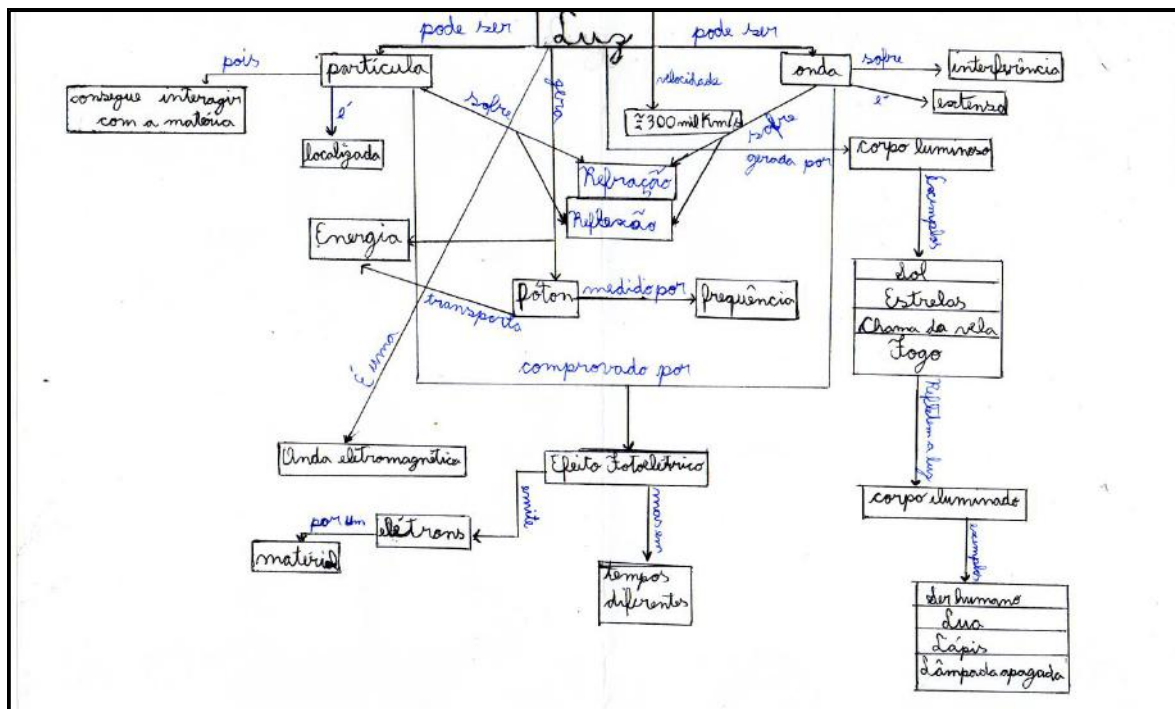
Um MC é muito individual, representa as relações e compreensões conceituais de cada um, mesmo os alunos tendo assistido exatamente as mesmas aulas e explicações, certamente vão expressar seus significados atribuídos de forma diferente, portanto, não existe o mapa certo ou errado, para Moreira (2011) o professor não deve esperar que o aluno apresente o mapa conceitual “correto”. “O que o aluno apresenta é o seu mapa e o importante não é se esse mapa está certo ou não, mas sim se ele dá evidências de que o aluno está aprendendo significativamente” (Moreira, 2011, p. 133).

A Figura 9, mostra um dos mapas conceituais construídos, neste caso pelo aluno A23, que utiliza palavras “*pode ser*” para relacionar onda e partícula com o conceito de luz, para essas ele coloca características de cada uma e relaciona ambas com os fenômenos de reflexão e refração, apresentando relações cruzadas, foi observado que o aluno havia utilizado as palavras “*comprovado por*” e ligou com “*efeito fotoelétrico*”, formando uma proposição tanto com partícula como com onda (Figura 9). Ao ser convidado a explicar seu mapa conceitual, o aluno disse que lembrava que Hertz havia feito esse experimento e comprovou que a luz é onda, depois Einstein usou esse experimento para comprovar que a luz é partícula. E nesse ponto o aluno está certo, ocorre que quando Hertz realizou seu experimento, o fenômeno observado de faíscas saindo da placa de metal não foi

explicado e nem denominado de efeito fotoelétrico, por isso o aluno forma uma última proposição: “mas em – tempos diferentes”. Esse aluno também relaciona a luz com fóton, que transporta energia, e é medido por sua frequência.

O mapa conceitual é uma ferramenta muito interessante para avaliar o aprendizado dos alunos, uma vez que, os mesmos se expressam de uma forma mais livre, mas ainda é um instrumento pouco utilizado em sala de aula. É necessário que sejam desenvolvidas mais abordagens de conteúdos e avaliações com a utilização desse instrumento para que os alunos se familiarizem com sua elaboração, o que irá enriquecer o processo de ensino e aprendizagem.

Figura 9 - Mapa conceitual do aluno A23.



Fonte: Autores (2021).

5. Considerações Finais

O objetivo desse trabalho foi investigar o potencial pedagógico de uma proposta didática para o ensino da dualidade da luz, apoiando-se em materiais considerados potencialmente significativos, a fim de percorrer os pressupostos da teoria de Aprendizagem Significativa. A utilização de experimentos possibilitou uma abordagem mais dinâmica da dualidade da luz, o que permitiu demonstrar aos alunos, de forma mais concreta, situações em que a luz se comporta como onda e situações que se comporta como partícula. Também foi possível contextualizar a importância da compreensão do efeito fotoelétrico, não só para comprovar o comportamento dual da luz, mas também para o avanço de tecnologias, como o desligamento automático de iluminação pública ao receber luz, entre outros sistemas do dia a dia.

A proposta didática investigada, contemplou ainda, a criação e exibição de um vídeo animado, que abordou a história da dualidade da luz, a partir de um roteiro que trouxe os principais físicos e filósofos e suas concepções a cerca da natureza da luz, permitindo que o aluno percebesse que, para chegarmos aos conceitos estudados em sala de aula, há muita história de erros e acertos, muito tempo de pesquisas, observações, experimentações e discussões, que nenhum conhecimento é concebido da noite para o dia.

É possível concluir por meio da pesquisa realizada em diferentes fontes, e pela implementação da pesquisa que, o uso da história da ciência constitui numa metodologia importante para o ensino de Física, tornando-se um facilitador do aprendizado,

promovendo uma melhor compreensão do conteúdo ensinado. Mas é preciso manter a atenção, pois essa metodologia não deve ser tomada como única estratégia para ensinar e, sim, como uma ferramenta de apoio na abordagem dos diferentes conteúdos propostos.

E por fim, após análise dos dados coletados por meio de questionários, diário do pesquisador e comparação do mapa conceitual inicial com o mapa conceitual final, realizado individualmente, foi possível observar a presença de conceitos e termos que antes não haviam sido apresentados pelos alunos, bem como trocas de significados e ligações feitas entre diferentes conceitos, o que leva a identificar diferenciação progressiva e reconciliação integradora, dando indícios de uma possível aprendizagem significativa. Com isso, reiteramos que a proposta didática em discussão é considerada um material potencialmente significativo para o ensino da natureza dual da luz, no Ensino Médio.

Referências

- Aguiar, M. D., Souza, F. S. C. S., Machado, F. S., & Santos, A. M. (2020). O mal-estar docente no ensino de física: perspectivas e desafios. *Research, Society and Development*, 9(6), e106963265.
- Ausubel, D. P. (1982). *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. Moraes.
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção dos conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Tradução: Lígia Teopisto. Plátano Edições Técnicas.
- Barthem, R. (2005). *A Luz: Temas atuais de física*. Editora livraria da física: Sociedade Brasileira de Física, 2005.
- Batista, D. C. (2016) *Uma proposta para se ensinar efeito fotoelétrico no ensino médio*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.
- Batista D. C., Batista, M. C., Fusinato, P. A., & Santos, O. R. (2021). Atividade Experimental para o ensino de física: Efeito fotoelétrico. *Caderno de Física da UEFS*, 19(1), 1-15.
- Ben-Dov, Y. (1996). *Convite à física*. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. Revisão técnica: Henrique Lins de Barros. Jorge Zahar Ed.
- Brasil. (2018). *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica.
- Dominguini, F. (2016). *Experimentos de física em sala de aula com o enfoque na produção e execução autônoma por parte dos alunos*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Física, Universidade Federal de Santa Catarina: Araranguá.
- Dourado, S., & Ribeiro, E. (2021). *Metodologia qualitativa e quantitativa*. In: Magalhães JR., C. A. O., Batista, M. C. *Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências*. Maringá: Massoni.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2008). *Lições de física de Feynman: volume I* [recurso eletrônico]: edição definitiva. Tradução: Adriana Válio Roque da Silva, Kaline Rabelo Coutinho. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman.
- Fontana, F., & Pereira, A. C. T. (2021). Pesquisa Documental. In: Magalhães JR., C. A. O., & Batista, M. C. *Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências*. Maringá: Massoni.
- Francisco JR., W. E., Barros, A. A. D., Garcia, V. M., & Oliveira, C. G. de. (2011). Um estudo das analogias sobre o equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM 2007. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, 13(2), 85-100.
- Gircoreano, J. P., & Pacca, J. L. A. (2006). O Ensino da Óptica na Perspectiva de Compreender a Luz e a Visão. In: Studart, N. *Coleção Explorando o Ensino – Física*. Seleção e Organização, Zylbersztajn, A. et al, v.7. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica, p. 59-69.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2012). *Fundamentos de física: Volume 4*. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. (9a ed.), LTC.
- Hawking, S. W. (2015). *Uma Breve História do Tempo*. Ilustração Ron Miller, tradução Cássio de Arantes Leite. Intrínseca.
- Moraes, A. M., & Moraes, I. J. (2000). A avaliação conceitual de força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(2).
- Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. Livraria da Física, 2011.
- Moreira, M. A. (2019). *Teorias de aprendizagem*. (2a ed.), Ampl. E.P.U.
- Paraná. (2008). Secretaria do Estado da Educação. *Diretrizes Curriculares Estaduais da Educação Básica: Física*. Curitiba.
- Pereira, N. V., Oliveira, T. I., Bogui, C., Schimiguel, J., & Shitzuca, D. M. (2017). História da física: uma proposta de ensino a partir da evolução de suas ideias. *Research, Society and Development*, 4(4), 251-269.
- Sheifer, E. K. (2022). *Uma proposta didática para o ensino da natureza dual da luz*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 150f.

Silva, J. B. (2020). A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel: uma análise das condições necessárias. *Research, Society and Development*, 9(4), e09932803.

Terrazzan, E. A. (1992). A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, 9(3), 209-214.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). *Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna*. Colaborador: A. Lewis Ford. Tradução: Daniel Vieira. Revisão técnica: Adir Moysés Luiz. (14a ed.), Pearson Education do Brasil.