

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 58**

ERICK CARVALHO BEZERRA JÚNIOR

PRODUTO EDUCACIONAL

**FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: INVESTIGANDO A NATU-
REZA DA LUZ POR MEIO DE APRENDIZAGEM ATIVA.**

Recife
2024

ERICK CARVALHO BEZERRA JÚNIOR

FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: INVESTIGANDO A NATUREZA DA LUZ POR MEIO DE APRENDIZAGEM ATIVA.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: INVESTIGANDO A NATUREZA DA LUZ POR MEIO DE APRENDIZAGEM ATIVA. Desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 58 – UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos André Bosco

Recife
2024

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional explora a aplicação da física quântica nos anos finais do ensino fundamental, focando especialmente na construção do conceito de luz da concepção clássica a moderna por meio de métodos de investigação e experimentação. A luz, desde tempos antigos, tem sido um fenômeno que fascina a humanidade, e nesta pesquisa, mergulho profundamente na história e na ciência por trás desse fenômeno, abordando um dos conceitos mais complexos e intrigantes da física moderna: a dualidade onda-partícula. Mas de que forma tratar deste tema tão complexo ainda no nível do ensino fundamental? O desafio central do meu trabalho é buscar uma resposta concisa para esta pergunta.

A metodologia utilizada é cuidadosamente desenhada para envolver os alunos em uma aprendizagem ativa e investigativa, seguindo os princípios defendidos por Jerome Bruner e David Ausubel. Começo buscando o conhecimento prévio dos alunos para ancorar as descobertas em contextos já conhecidos por eles. Seguindo com aulas expositivas que têm um enfoque histórico, oferecendo uma viagem no tempo através das descobertas fundamentais sobre a luz, desde as primeiras teorias até os desenvolvimentos mais recentes na física quântica. Utilizo simulações computacionais e demonstrações experimentais para tornar visíveis fenômenos que seriam mais difíceis de observar diretamente em uma sala de aula tradicional, facilitando a compreensão dos alunos sobre a dualidade onda-partícula. Os alunos são incentivados a realizar experimentos em grupo, nos quais trabalham juntos para não só ilustrar, mas também problematizar suas ideias preconcebidas sobre a luz. Além disso, incorporei a gamificação ao processo, através da ferramenta digital *Kahoot* que desafia os alunos a aplicar o conhecimento adquirido de forma lúdica e interativa, reforçando o aprendizado.

Os resultados dessa abordagem têm sido profundamente reveladores. Os alunos não apenas desenvolvem uma compreensão mais sólida da natureza da luz, mas também demonstram uma maior motivação e envolvimento nas aulas de ciências. A experimentação e a investigação permitem que eles construam o conhecimento de forma significativa, resultando em um aprendizado duradouro. Acredito que, para os educadores que estão em busca de novas maneiras de inspirar seus alunos, este produto educacional oferece insights valiosos sobre como integrar conceitos avançados da ciência em níveis educacionais mais básicos. Ela demonstra que, com as metodologias adequadas, é possível não só ensinar física quântica aos jovens, mas também despertar neles uma paixão pela investigação científica.

Ademais, este estudo evidencia que o ensino investigativo, quando aliado a tecnologias educacionais como simulações e gamificação, pode transcender as limitações tradicionais da

sala de aula. A abordagem centrada no aluno, defendida por Bruner e Ausubel, se mostra crucial para o ensino de conceitos abstratos, pois permite que os estudantes sejam agentes ativos na construção de seu conhecimento. Essa autonomia no processo de aprendizagem não só solidifica o entendimento dos conceitos científicos, mas também desenvolve habilidades críticas e de resolução de problemas, que são fundamentais para o sucesso acadêmico e pessoal dos alunos.

Por fim, este trabalho abre caminho para novas pesquisas que possam aprofundar ainda mais a aplicação da física quântica no ensino básico. Através de ajustes e expansões na metodologia apresentada, há a possibilidade de explorar outros tópicos complexos de forma acessível e envolvente para os estudantes. Acredito que a integração de ciência avançada no currículo escolar é essencial para preparar os alunos para os desafios do século XXI, onde a compreensão das ciências será cada vez mais crucial e, como sempre foi, libertadora.

Convido todos os professores e pesquisadores da área de educação e ciências a explorar este estudo e aplicá-lo em sua sala de aula, pois acredito que juntos podemos transformar a maneira como o conhecimento científico é transmitido às novas gerações, preparando-os para um futuro onde a ciência e a inovação desempenham papéis centrais.

Sumário

1. APRESENTAÇÃO.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 Aprendizagem Significativa	6
2.2 Aplicação das ideias de Bruner no ensino de Ciências: Aprendizagem por Descoberta. 6	
2.3 O currículo em espiral	9
3. METODOLOGIA.....	11
3.1 Sequência Didática	11
3.2 Discorrendo sobre cada aula da sequência didática	13
Aula 1: Introdução à Natureza da Luz	13
Aula 2: Revisão e Debate sobre a Natureza da Luz.....	13
Aula 3: Experimento de Dupla Fenda e Natureza Ondulatória da Luz	14
Aula 4: Reproduzindo o Experimento da Dupla Fenda com Materiais de Baixo Custo ..	17
Aula 5: Evolução Histórica do Conceito de Luz e Introdução ao Efeito Fotoelétrico.....	18
Aula 6: Experimento e Discussão sobre o Efeito Fotoelétrico e a Dualidade da Luz	19
Aula 7: Avaliação e Revisão do Conteúdo por Meio de Jogo Interativo.....	21
4. CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS	28

Lista de Figuras

Figura 1: Vídeo animação que demonstra a dupla fenda em ondas e partículas	14
Figura 2: Tela de seleção da variação experimental a ser utilizada para a aula: Interference ..	15
Figura 3: Padrão de interferência pode ser facilmente observado	16
Figura 4: Simulação representando novas frentes de onda provocadas pela fenda dupla	16
Figura 5: Imagem de apresentação do jogo	22
Figura 6: Exemplo de visualização na tela do professor (à direita) e do aluno (à esquerda)....	24
Figura 7: Tela com pergunta.....	25
Figura 8: Tela demonstrativa do placar geral parcial	25

Lista de Tabelas

Tabela 1: Sequência Didática	12
------------------------------------	----

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção discorreremos sobre o alicerce da sequência didática, em ordem: A aprendizagem significativa proposta por Ausubel, sob a perspectiva de Moreira; o ensino de ciências através da aprendizagem por descoberta e o currículo em espiral, ambas proposições de Jerome Bruner.

2.1 Aprendizagem Significativa

A Aprendizagem Significativa ocorre quando novas informações são integradas de forma relevante com conhecimentos já existentes na mente do aluno, chamados de "subsunçores" por Ausubel. Ao contrário da Aprendizagem Mecânica, onde a nova informação é apenas memorizada sem conexão com o que o aluno já sabe, a Aprendizagem Significativa permite que os novos conhecimentos adquiram sentido e fortaleçam os conceitos prévios, facilitando a retenção e reaprendizagem.

Moreira destaca que, mesmo que o aluno esqueça parte do que aprendeu, a reaprendizagem será mais rápida, pois a base de conhecimento ainda existe. Essa abordagem é especialmente importante no ensino fundamental, onde se busca solidificar e expandir os subsunçores para o desenvolvimento contínuo ao longo da vida acadêmica.

A estrutura dos subsunçores é dinâmica, evoluindo através da "diferenciação progressiva," que refina e amplia os conceitos, e da "reconciliação integradora," que organiza e harmoniza esses conceitos. Trabalhar esses processos desde cedo é crucial para evitar a ancoragem em subsunçores equivocados, que podem prejudicar o aprendizado futuro.

Para que a Aprendizagem Significativa ocorra, é necessário que o material de ensino seja relevante e que o aluno esteja disposto a aprender. Isso representa um desafio para os professores, que devem tornar o conteúdo significativo e engajar os alunos. Metodologias ativas e o currículo em espiral de Bruner, que adapta o ensino de ciência a qualquer idade, são estratégias eficazes para promover a Aprendizagem Significativa, colocando o aluno no centro do processo de aprendizagem.

2.2 Aplicação das ideias de Bruner no ensino de Ciências: Aprendizagem por Descoberta.

Jerome Bruner, um dos psicólogos mais influentes do século XX, desenvolveu a teoria da Aprendizagem por Descoberta, uma abordagem que ganhou relevância especialmente durante a reforma educacional motivada pela corrida espacial entre os Estados Unidos e a União

Soviética. Essa abordagem centra-se na ideia de que os alunos devem descobrir conhecimentos por si mesmos, em vez de apenas receber informações passivamente dos professores.

Bruner (1960) acreditava que a aprendizagem é mais eficaz quando os estudantes estão ativamente envolvidos no processo, manipulando materiais e explorando questões para encontrar respostas. Segundo o autor, "A educação deve ser concebida como um processo de desenvolvimento contínuo, não como uma transmissão de conhecimentos já prontos. Os alunos precisam ser ativos na construção de suas próprias ideias, em vez de apenas absorver passivamente o conhecimento" (BRUNER, 1960, p. 72). Essa abordagem se baseia em princípios como a estruturação do conhecimento, onde qualquer conceito, por mais complexo que seja, pode ser ensinado em qualquer estágio de desenvolvimento, desde que seja apresentado de maneira adequada ao nível de compreensão do aluno. Bruner (1969) afirma que "o objetivo principal da educação deve ser o de ensinar as crianças a pensarem, a tornarem-se descobridores por conta própria" (BRUNER, 1969, p. 72).

Outro ponto crucial é na aprendizagem por descoberta é a resolução de problemas, destacada por Bruner (1966) como essencial para o aprendizado. Ao serem desafiados por problemas contextualizados, os alunos são motivados a aplicar seus conhecimentos e habilidades, o que facilita a retenção do conhecimento. Ele comenta que "A maneira mais eficaz de ensinar é aquela que faz com que o aprendiz tenha a sensação de que ele próprio descobriu o que está sendo ensinado. A descoberta, na aprendizagem, é um processo que engaja as habilidades cognitivas em níveis mais altos, como a análise e a síntese, o que resulta em uma retenção mais duradoura do conhecimento" (BRUNER, 1966, p. 37).

Bruner (2008) também enfatiza a motivação intrínseca, que é aumentada quando os alunos têm controle sobre seu processo de aprendizagem. A oportunidade de explorar e descobrir por si mesmos promove maior engajamento e persistência no aprendizado. Ele argumenta que "um dos desafios de ensinar uma criança é libertá-la do controle de punições e recompensas externas, que muitas vezes podem minar o seu desenvolvimento cognitivo. A aprendizagem significativa ocorre quando o aluno está motivado de forma intrínseca, ou seja, quando ele encontra valor e prazer na própria descoberta" (BRUNER, 2008, p. 45).

Ao discutir o papel do professor, Bruner (1966) afirma que ele deve atuar como facilitador, incentivando os alunos a descobrirem princípios por si mesmos, mas de maneira estruturada e planejada. "O professor deve ser mais um guia que instiga a curiosidade e orienta a descoberta, do que uma fonte única de informação. Cabe ao professor reformular a informação

de forma que ela seja compreensível para o aluno, levando em conta suas capacidades e conhecimentos prévios" (BRUNER, 1966, p. 42).

Para Bruner, a aprendizagem deve ser um processo ativo, em que os alunos são protagonistas na construção do próprio conhecimento. Sua teoria também ressalta a importância do desenvolvimento de habilidades cognitivas através de métodos como a experimentação investigativa, que permite ao aluno raciocinar, questionar e elaborar hipóteses com base em seus conhecimentos prévios. Como ele mesmo diz, "A aprendizagem pela descoberta não é um processo caótico, mas sim uma atividade altamente organizada e planejada, onde o aluno é guiado a partir de suas próprias experiências e conhecimentos para chegar a novas conclusões e insights" (BRUNER, 1969, p. 88).

Esta abordagem apresenta várias vantagens, como:

Envolvimento Ativo: A aprendizagem por descoberta envolve ativamente os alunos no processo de aprendizagem, o que pode levar a uma melhor retenção do conhecimento e a um maior desenvolvimento das habilidades cognitivas.

Estímulo à Curiosidade: Ao explorar e descobrir por si mesmos, os alunos são incentivados a serem curiosos e a desenvolverem uma paixão pelo aprendizado.

Aprendizagem Personalizada: Este método permite que o processo de aprendizagem seja adaptado ao ritmo e ao estilo de aprendizagem de cada aluno, promovendo uma experiência mais personalizada.

Porém também apresenta algumas desvantagens que o professor deve ficar atento: *Risco de Confusão:* Se não houver uma estrutura adequada, os alunos podem se sentir perdidos ou confusos durante o processo de descoberta. É essencial que o professor forneça um suporte adequado para evitar a frustração. Também deve-se estar atento a *Necessidade de Tempo e Recursos.* A aprendizagem por descoberta pode exigir mais tempo e recursos do que métodos tradicionais de ensino, o que pode ser um desafio em ambientes educacionais com recursos limitados.

A aprendizagem por descoberta, como proposta por Jerome Bruner, oferece uma abordagem rica e envolvente para o ensino e a aprendizagem. Ela coloca o aluno no centro do processo educacional, incentivando-o a ser um participante ativo e um descobridor de novos conhecimentos. Embora essa abordagem apresente desafios, especialmente em termos de planejamento e recursos, seus benefícios potenciais para o desenvolvimento cognitivo e a motivação dos alunos são significativos.

Em última análise, a aprendizagem por descoberta promove uma educação que vai além da memorização de fatos, capacitando os alunos a se tornarem pensadores críticos e solucionadores de problemas, habilidades essenciais para a vida em um mundo cada vez mais complexo e em constante mudança.

2.3 O currículo em espiral

O currículo em espiral, conforme proposto por Jerome Bruner, é uma abordagem pedagógica que enfatiza a importância de apresentar conceitos em sua forma mais simples, mas de maneira que permita sua compreensão por qualquer aluno. À medida que os estudantes avançam em seu desenvolvimento, esses conceitos são revisitados com maior profundidade e complexidade. Bruner (1960b) destaca que "envolver as informações em espiral ajuda as crianças a organizar o conhecimento em uma estrutura que o torna cada vez mais acessível e utilizável em áreas além da situação de aprendizagem imediata." Dessa forma, o currículo em espiral não se preocupa apenas com a introdução de novos conceitos, mas também com a consolidação do conhecimento ao longo do tempo, o que fortalece a compreensão e a aplicabilidade dos conteúdos aprendidos.

Uma das grandes vantagens desse modelo é que ele permite que os alunos voltem a estudar os mesmos temas em diferentes momentos, mas sempre com novos desafios que correspondam ao seu nível de desenvolvimento intelectual. Segundo Bruner (1969, p. 39), "O desenvolvimento intelectual se baseia numa interação sistemática e contingente entre um professor e um aluno, na qual o professor, amplamente equipado com técnicas anteriormente inventadas, ensina a criança". Ou seja, o processo de ensino-aprendizagem se torna dinâmico, adaptando-se às necessidades do estudante à medida que ele cresce cognitivamente.

Além disso, o currículo em espiral promove a interdisciplinaridade, incentivando os alunos a perceberem como diferentes áreas do conhecimento se conectam e se complementam. Esse aspecto é essencial para a formação de uma compreensão mais integrada e holística do mundo, que é uma característica fundamental no desenvolvimento de habilidades transferíveis e adaptáveis a diferentes contextos. Como Bruner (1960a) sugere, a aprendizagem deve ser contínua e revisitada, o que não apenas reforça o conhecimento adquirido, mas também corrige possíveis mal-entendidos ao longo do processo educativo.

Além das contribuições de Jerome Bruner, outros educadores e pesquisadores também destacaram as vantagens do currículo em espiral. Ausubel (1968) argumenta que "a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são relacionadas de maneira substantiva e não arbitrária ao que o aluno já sabe." O currículo em espiral facilita essa conexão

continua entre o conhecimento prévio e os novos conceitos, reforçando o entendimento e promovendo uma aprendizagem mais duradoura. Essa abordagem garante que o conteúdo seja sempre relevante para o nível de desenvolvimento cognitivo do aluno, permitindo uma assimilação mais eficaz.

A importância da repetição e da complexificação gradual dos conteúdos é ainda enfatizada por Vygotsky (1978), que destaca a "zona de desenvolvimento proximal" (ZDP) como o espaço entre o que o aluno já pode fazer sozinho e o que ele pode fazer com ajuda. O currículo em espiral, ao revisar temas com maior profundidade, ajuda a expandir a ZDP do estudante, permitindo que ele avance em sua compreensão de maneira estruturada e guiada.

Oliva (2009) também discute a relevância do currículo em espiral ao afirmar que "a repetição dos conceitos com níveis crescentes de complexidade ajuda a construir um entendimento mais completo e maduro ao longo do tempo." Oliva aponta que essa abordagem é particularmente eficaz em disciplinas que envolvem conceitos abstratos e complexos, como a matemática e as ciências, pois permite que os alunos desenvolvam uma base sólida antes de enfrentar desafios mais avançados. A estrutura espiral facilita a transição entre níveis de dificuldade, proporcionando um ambiente de aprendizagem que se adapta ao crescimento intelectual dos estudantes, garantindo que eles estejam sempre preparados para os próximos desafios.

Em suma, o currículo em espiral proporciona uma estrutura educacional que não apenas assegura a aquisição de conhecimento, mas também promove uma compreensão profunda e a capacidade de aplicar esse conhecimento em diversas situações. Essa metodologia prepara os alunos para enfrentarem os desafios intelectuais de forma mais prática e adaptável, tanto dentro quanto fora da sala de aula, desenvolvendo uma mente crítica e pronta para o complexo mundo moderno.

3. METODOLOGIA

Para a vivência do conteúdo de física no ensino fundamental anos finais é montada uma sequência didática com abordagem no estudo histórico da natureza da luz e foco na descoberta de sua dualidade onda-partícula à partir da explicação quântica para o efeito fotoelétrico. Sabemos que toda sequência didática deve ser projetada para alcançar um objetivo que atenda às necessidades dos estudantes, permitindo-lhes compreender o tema ou conteúdo apresentado pelo professor. Por isso, é essencial selecionar e criar sequências didáticas adequadas para serem utilizadas em sala de aula.

O desempenho de cada estudante será avaliado com base na participação dos experimentos em sala, pela produção de pesquisa individual sobre o efeito fotoelétrico, por meio do desempenho em jogo interativo e pela produção final do projeto: “Linha do tempo da luz”. O objetivo desta pesquisa foi, conforme a análise dos dados obtidos, proporcionar uma aprendizagem mais eficaz dos participantes após a aplicação da sequência didática.

3.1 Sequência Didática

Em turma do nono ano do ensino fundamental anos finais, um dos conteúdos de física proposto para a segunda unidade do currículo de ciências são as ondas eletromagnéticas e suas aplicações. Até esta unidade é trabalhado o conteúdo básico de ondulatória, contendo o conceito de onda, suas principais características, os tipos de ondas eletromagnéticas, sua natureza e suas aplicações. Os alunos já tem conhecimento básico também sobre átomos e partículas subatômicas como prótons e elétrons.

A sequência didática segue alguns pontos da BNCC e do currículo de Física na disciplina de Ciências para o nono ano do Ensino Fundamental do estado de Pernambuco. A própria BNCC propõe uma abordagem das ciências da natureza de forma desafiadora e que estimule o aluno a compreender conceitos mais complexos da ciência. Assim “é importante motivá-los com desafios cada vez mais abrangentes, o que permite que os questionamentos apresentados a eles, assim como os que eles próprios formulam, sejam mais complexos e contextualizados.” (BNCC, p. 343).

De acordo com o currículo de ciências de Pernambuco, para o nono ano do ensino fundamental anos finais deve-se trabalhar as habilidades EF09CI05PE (Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e som, a partir da compreensão de ondas eletromagnéticas e das ondas mecânicas, as quais revolucionaram o sistema de comunicação e suas implicações na vida humana.), EF09CI06APE (Conhecer os diversos tipos

de ondas eletromagnéticas e relacioná-las às situações do cotidiano, compreendendo seus efeitos e consequências.) e EF09CI06BPE [Classificar as radiações eletromagnéticas de acordo com a frequência, comprimento de onda e amplitude da onda, correspondente à desejada aplicação (controle remoto, telefone celular, raio x, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.)) que procuram desenvolver o conhecimento das ondas eletromagnéticas, suas características e fenômenos, bem como suas implicações tecnológicas nos diversos campos da ciência, medicina entre outros.

Como o currículo aponta para um estudo, ainda que superficial, das ondas eletromagnéticas no nono ano do ensino fundamental, então neste momento é possível aprofundar um pouco mais nos estudos da física deste conteúdo. É neste ponto em que vale uma abordagem conceitual sobre a natureza dual das ondas eletromagnéticas. É importante ressaltar que estes conceitos só são abordados após o aluno ter estudado sobre os átomos, sua composição e características. Isto será importante para uma abordagem mais profunda sobre a natureza da luz e na introdução de alguns conceitos da mecânica quântica.

Desta forma, a sequência didática busca propor por meio de metodologias ativas o aprofundamento do conhecimento da luz, proporcionando um contato com a física moderna. Para este fim, serão utilizados diversos recursos como simulações computacionais, experimentos demonstrativos e realizados em grupo, gameficação com o aplicativo *Kahoot*, interação com os colegas e consumo de mídias digitais.

A sequência didática é composta de 9 aulas, podendo ser adaptada de acordo com a realidade do professor e da turma. Baseada na filosofia educacional proposta pelo autor, pode-se entender os passos de cada aula na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Sequência Didática

Aula	Atividade	Metodologia	Duração
1	Analisar conceitualmente a luz e tentar entender fenômenos luminosos sob a ótica já presente no aluno.	Formulário elaborado pela ferramenta <i>Google Forms</i> e respondido em sala de aula através dos <i>smartphones</i> dos próprios alunos	1 aula (50min)
2	Exploração histórica da natureza da luz	Discussão das respostas e comparação com a pesquisa científica.	1 aula (50min)

3	Confirmar a natureza ondulatória da luz	Apresentação de vídeos e simulação experimental que demonstra o comportamento ondulatório da luz.	2 aulas (1h40min)
4	Experimento em Grupo	Realização de experimento da dupla fenda com materiais de baixo custo.	1 aula (50min)
5	Linha do tempo	Debate e discussão sobre o experimento. Explanação das pesquisas científicas.	1 aula (50min)
6	Demonstração do efeito fotoelétrico	Experimento demonstrativo e debate em sala.	2 aulas (1h40min)
7	Avaliação da aprendizagem	Gemificação: Aplicação de jogo online interativo.	1 aula (50min)

3.2 Discorrendo sobre cada aula da sequência didática.

Aula 1: Introdução à Natureza da Luz.

Objetivo: Descobrir os conhecimentos prévios dos alunos sobre a luz, seus fenômenos e características.

Atividade Proposta: Apresentar uma situação-problema para que os alunos reflitam sobre a luz, sua importância e as consequências de uma civilização sem luz. Discutir exemplos de tecnologias que dependem ou produzem luz. Utilizar o *Google Forms* para coletar respostas dos alunos sobre questões relacionadas à natureza da luz e suas características, sem consulta a fontes externas e colegas.

Ferramenta: *Google Forms*.

Discussão: As respostas dos alunos servirão como base para uma discussão na aula posterior.

Aula 2: Revisão e Debate sobre a Natureza da Luz

Objetivo: Revisar e aprofundar a compreensão dos alunos sobre a natureza da luz, explorando a historicidade do estudo de seu caráter onda ou partícula.

Atividade Proposta: Revisar as respostas do formulário da aula anterior. Conduzir um debate sobre a natureza da luz: é uma onda ou uma partícula? Apresentar o contexto histórico das teorias de Isaac Newton (corpuscular) e Christiaan Huygens (ondulatória).

Discussão: Incentivar os alunos a refletirem sobre a ausência de consenso histórico sobre a natureza da luz e a importância de questionar e explorar o conhecimento científico.

Aula 3: Experimento de Dupla Fenda e Natureza Ondulatória da Luz

Objetivo: Demonstrar o caráter ondulatório da luz utilizando o experimento de dupla fenda e reforçar essa característica por meio de uma simulação.

Atividades Propostas:

1. Introdução ao Experimento de Young:

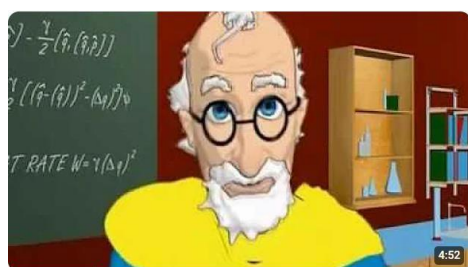
O professor começa explicando o experimento de dupla fenda realizado por Thomas Young em 1808. A discussão se concentra nos fenômenos de difração e interferência da luz, que são característicos de ondas.

O professor recapitula conceitos de fenômenos ondulatórios e como eles se aplicam à luz, preparando os alunos para entenderem a importância do padrão de interferência observado por Young.

2. Exibição de Vídeo Educativo:

É exibido um trecho do vídeo "Física Quântica (Dr. Quantum) Fenda Dupla – Dublado PT" até o minuto 1:52. Esse vídeo está disponível gratuitamente na plataforma *Youtube*. Pode ser acessado através do link citado na figura abaixo. O vídeo utiliza uma animação para ilustrar como o experimento de dupla fenda revela padrões de interferência em ondas aquosas, ajudando os alunos a visualizarem o conceito de forma simplificada antes de abordar o fenômeno com a luz.

Figura 1: Vídeo animação que demonstra a dupla fenda em ondas e partículas



Física Quântica (Dr. Quantum) Fenda Dupla - Dublado PT

106 mil visualizações · há 7 anos

Grupo Modulação D.

Experimento da Fenda Dupla - Dr. Quantum Alteração de comportamento das partículas, devido a observação! Acesse nosso ...

Fonte:

<[https://www.youtube.com/results?search_query=F%C3%ADsica+Qu%C3%A2ntica+\(Dr.+Quantum\)+Fenda+Dupla+%E2%80%93+Dublado+PT](https://www.youtube.com/results?search_query=F%C3%ADsica+Qu%C3%A2ntica+(Dr.+Quantum)+Fenda+Dupla+%E2%80%93+Dublado+PT)>

3. Simulação Experimental com "Wave Interference":

3.1 Configuração do Simulador: O professor acessa o simulador "Wave Interference" no site *phet.colorado.edu* através do link <<https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-interference>>. Em seguida faz uma configuração para usar um laser monocromático de qualquer cor, para demonstrar o padrão de interferência criado por uma luz coerente passando por duas fendas. O professor também configura a simulação para exibir um anteparo onde o padrão de interferência será observado, similar ao experimento de Young.

3.2 Demonstração e Exploração: Durante a simulação, o professor ajusta as fendas e as características da luz para que os alunos possam visualizar os padrões de interferência construtiva e destrutiva que aparecem no anteparo. A interação com a simulação permite alterar parâmetros como a largura das fendas e a distância entre elas, demonstrando como essas variáveis afetam o padrão de interferência.

4. Discussão em Sala:

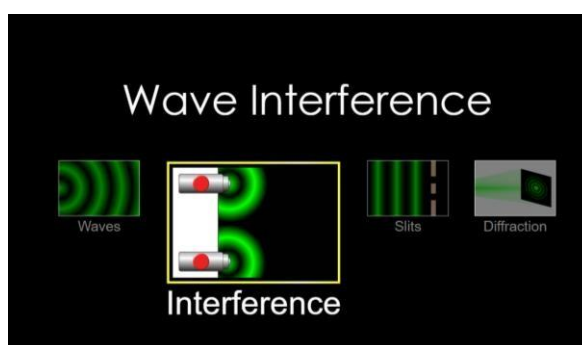
Após a simulação, é feita uma discussão sobre as observações, reforçando como os padrões de interferência evidenciam o caráter ondulatório da luz. O professor também pode perguntar aos alunos como mudanças nos parâmetros da simulação afetaram o resultado e o que isso implica sobre a natureza da luz.

5. Discussão Final:

A aula é encerrada consolidando a ideia de que a luz se comporta como uma onda, o que é claramente demonstrado pelos fenômenos observados no experimento de dupla fenda. O debate sobre a natureza da luz iniciado nas aulas anteriores é concluído com base nas evidências experimentais apresentadas.

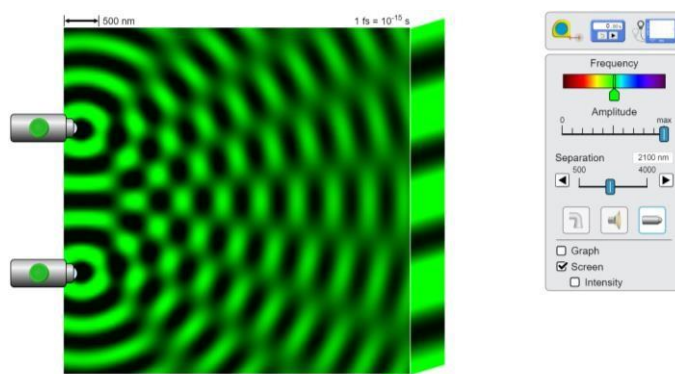
Figura 2: Tela de seleção da variação experimental a ser utilizada para a aula:

Interference



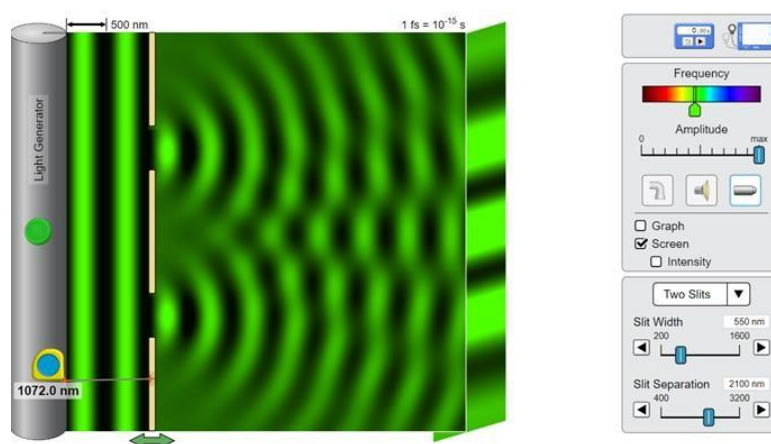
Fonte: < <https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-interference> >

Figura 3: Padrão de interferência pode ser facilmente observado



Fonte: <<https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-interference>>

Figura 4: Simulação representando novas frentes de onda provocadas pela fenda dupla



Fonte: <<https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-interference>>

Observe que as fendas da figura 4 geram praticamente os mesmos Padrões de interferência observados anteriormente nas fontes independentes da figura 3. Outras modalidades podem ser exploradas dentre desta simulação, porém essas são consideradas suficientes para demonstrar o caráter ondulatório da luz e simular o experimento realizado por Thomas Young.

Nesta etapa o ideal é utilizar duas aulas seguidas (germinadas) para explicação detalhada de cada etapa da simulação e também para que haja tempo suficiente para debate e questionamento dos alunos. Alguns conceitos ou fenômenos podem precisar ser retomados algumas vezes durante a aula para melhor compreensão da turma como um todo. É imprescindível que para esta aula ocorrer de forma fluida, o professor deve antecipadamente além de preparar todo o material audiovisual também se familiarizar com a ferramenta de simulação, a qual é fácil, intuitiva e pode funcionar até de forma off-line.

Aula 4: Reproduzindo o Experimento da Dupla Fenda com Materiais de Baixo Custo

Objetivo: Construir e observar o experimento de dupla fenda em sala de aula, utilizando materiais simples, para reforçar o conceito de que a luz tem comportamento ondulatório.

Materiais Necessários (por grupo) para o experimento:

1 caixa de sapato;

1 pente fino de cabelo;

Fita isolante preta;

Cartolina preta ou escura;

Tesoura;

Laser monocromático (qualquer cor);

Passo a Passo:

1. Preparação da Câmara Escura:

Forre o interior da caixa de sapato com cartolina preta ou escura para criar uma câmara escura. Feche a caixa e use a fita isolante para cobrir todas as aberturas, exceto aquelas necessárias para o experimento.

2. Criação das Fendas:

Pegue o pente fino de cabelo e cubra todos os seus dentes com a fita isolante preta, deixando apenas duas fendas centrais descobertas, representando a "dupla fenda" por onde a luz passará.

3. Montagem do Experimento:

Faça um pequeno buraco em uma das laterais menores da caixa de sapato, grande o suficiente para que o laser possa ser direcionado através dele. Prenda o pente com as fendas descobertas na lateral interna da caixa, alinhado com o buraco.

4. Realização do Experimento:

Direcione o laser monocromático através do buraco e pelas fendas do pente. Observe o padrão de interferência formado na parede interna oposta da caixa de sapato, onde aparecerão as “franjas” características.

Discussão Final: Após a observação, discuta com os alunos como o padrão de interferência observado comprova o comportamento ondulatório da luz, reforçando os conceitos abordados nas aulas anteriores.

Aula 5: Evolução Histórica do Conceito de Luz e Introdução ao Efeito Fotoelétrico

Objetivo: Explorar a evolução do conceito de luz desde a teoria ondulatória até a introdução do efeito fotoelétrico, seguindo uma abordagem cronológica para instigar a curiosidade dos alunos e desafiar suas concepções anteriores.

Estrutura da Aula:

1. Revisão e Contextualização:

Comece revisando o que foi observado na simulação e no experimento da aula anterior sobre o comportamento ondulatório da luz. Introduza o conceito de luz como uma onda eletromagnética, baseando-se nas teorias de James Maxwell. Explique que, segundo Maxwell, a luz é uma radiação resultante da vibração de campos elétricos e magnéticos. Relembre as classificações de ondas quanto à sua natureza (mecânicas e eletromagnéticas) discutidas em aulas anteriores, conectando-as ao conceito de vibração de campos.

2. Discussão Histórica:

Apresente o experimento das faíscas oscilantes de Heinrich Hertz, destacando como ele comprovou experimentalmente a natureza eletromagnética da luz. (Este experimento deve ser abordado de maneira simples, sem entrar em detalhes técnicos profundos). Introduza o conceito do efeito fotoelétrico, mencionando que Hertz descobriu um fenômeno que desafiava a teoria ondulatória da luz. Explique que, apesar de a teoria clássica da luz ser amplamente aceita, ela não conseguia explicar esse fenômeno.

3. Desafio Conceitual:

Após explicar o efeito fotoelétrico, promova uma discussão com os alunos: "Se a luz é uma onda, como ela pode causar o efeito fotoelétrico?" Deixe que os alunos expressem suas opiniões e reflexões, incentivando-os a reconsiderar suas conclusões anteriores sobre a natureza da luz.

4. Introdução à Solução:

Apresente a solução proposta por Albert Einstein, explicando de forma simples que ele introduziu a ideia de que a luz poderia ser composta por partículas chamadas fótons, cada uma carregando uma quantidade específica de energia. Associe o termo "fóton" a palavras familiares, como "fotografia" e "energia fotovoltaica", para ajudar os alunos a entender e memorizar o conceito.

5. Atividade Extraclasse:

Peça aos alunos que façam uma pesquisa em casa sobre o efeito fotoelétrico, abordando os seguintes pontos: Definição do efeito fotoelétrico e as aplicações práticas do efeito fotoelétrico no cotidiano (por exemplo, em portas automáticas e painéis solares). Os alunos devem registrar suas pesquisas no caderno ou em uma folha pautada para discussão nas próximas aulas.

Algumas dicas importantes para o professor: Mantenha a abordagem histórica e cronológica durante toda a aula, simplificando conceitos complexos para adequá-los ao nível dos alunos. Use analogias e exemplos do cotidiano para ajudar os alunos a compreenderem conceitos abstratos, lembre-se de que ainda estão no nível fundamental e que alguns conceitos não serão absorvidos tão rapidamente. Não esqueça de sempre incentive a curiosidade e a participação ativa dos alunos, permitindo que eles descubram as respostas por si mesmos, conforme sugerido pela metodologia de aprendizagem por descoberta de Bruner.

É importante salientar que essa aula detém muito conteúdo e alguns pontos cruciais para o entendimento geral do tema. Por isso, é interessante além da pesquisa para aprofundamento do próprio aluno também uma retomada dos fundamentos e problemas do efeito fotoelétrico na aula subsequente.

Aula 6: Experimento e Discussão sobre o Efeito Fotoelétrico e a Dualidade da Luz

Objetivo: Demonstrar experimentalmente o efeito fotoelétrico e discutir a dualidade da luz, enfatizando a relação entre a frequência da luz e a energia dos fótons.

Materiais necessários no experimento demonstrativo do efeito fotoelétrico:

- . *Eletroscópio experimental* – Um dispositivo comprado online, usado para demonstrar a eletrização e medir a carga elétrica (também pode ser construído de forma caseira);
- . *Canudo de plástico* – Utilizado para eletrizar o eletroscópio por meio de atrito;
- . *Guardanapo de papel* – Utilizado para atritar o canudo de plástico;
- . *Lâmpada de LED de 12W (pode ser de 9W também)* – Fonte de luz para testar a influência da intensidade da luz no eletroscópio;
- . *Lâmpada de luz Ultravioleta (UV-A)* – Utilizada para demonstrar o efeito fotoelétrico, descarregando o eletroscópio;
- . *Base com bocal e tomada* – Para acender as lâmpadas de LED e UV-A;

Estrutura da Aula:

1. Revisão e Introdução ao Eletroscópio:

Revise brevemente o conteúdo discutido na aula anterior, incluindo as pesquisas realizadas pelos alunos sobre o efeito fotoelétrico. Apresente o eletroscópio, explicando seu funcionamento básico. Mostre como carregar o eletroscópio utilizando um canudo de plástico atritado em um guardanapo de papel. Explique que, ao aproximar o canudo carregado da base metálica do eletroscópio, os elétrons são transferidos, carregando as hastes e afastando as lâminas internas devido à repulsão elétrica. Apresente brevemente a eletrização por atrito, caso os alunos não conheçam, exemplificando com situações comuns como o cabelo arrepiado ao penteá-lo em ambiente muito seco. Fique à vontade para reforçar a ideia de que cargas de mesmo sinal se repelem também.

2. Execução do Experimento:

Inicialmente, carregue o eletroscópio com o canudo atritado, garantindo que as lâminas fiquem afastadas. Explique que o experimento vai testar como diferentes tipos de luz afetam o eletroscópio, relacionando isso ao conceito do efeito fotoelétrico.

Agora, tente descarregar utilizando as lâmpadas. Primeiro ilumine a base metálica do eletroscópio com a lâmpada de **LED**. Mostre que, apesar de a luz ser intensa, ela não descarrega o eletroscópio, e as lâminas permanecem afastadas.

Em seguida, repita o experimento utilizando a lâmpada de luz **ultravioleta** (UV-A). Desta vez, a luz UV-A, apesar de ser menos intensa, descarrega o eletroscópio, fazendo com que as lâminas se unam novamente. Use este resultado para ilustrar que a energia da luz não depende de sua intensidade, mas de sua frequência, contradizendo a teoria clássica da luz.

4. Discussão e Introdução ao Conceito de Fóton:

Explique que a experiência demonstrou que a luz ultravioleta, com frequência mais alta, tem mais energia e é capaz de arrancar elétrons do metal, descarregando o eletroscópio. Apresente o conceito de fóton, explicando que a luz é composta de partículas com energia proporcional à sua frequência. Relacione esse conceito com a dualidade da luz: ela se propaga como onda, mas interage com a matéria como partícula.

Aplicações Cotidianas:

Discuta as aplicações do efeito fotoelétrico que os alunos já pesquisaram, como portas automáticas, iluminação pública e painéis solares. Explique como esses dispositivos utilizam o conceito de fótons para funcionar, consolidando o aprendizado.

Conclusão da Aula:

Encerre a aula destacando a importância do conceito de dualidade da luz: ela possui características tanto de onda quanto de partícula. Anote e discuta o conceito com os alunos,

incentivando perguntas e esclarecendo dúvidas. Se possível, peça aos alunos que registrem o conceito de dualidade da luz em seus cadernos para futuras referências.

Dicas para o Professor:

Certifique-se de que todos os alunos possam visualizar o experimento e participe ativamente da discussão. Utilize sempre que necessário analogias e exemplos cotidianos para ajudar na compreensão do conceito de fóton e dualidade da luz. Encoraje os alunos a fazer perguntas e discutir suas observações para aprofundar o entendimento do fenômeno.

Recursos disponíveis na web:

Vídeo do experimento original realizado pelo departamento de física da USP intitulado: “Tema 01 - Luz | Experimentos - Efeito fotoelétrico” está disponível na plataforma *Youtube* e pode ser acessado em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vyA&t=86s>>. Também é possível visualizar a descarga do eletroscópio pela luz UV-A sendo executada pelo autor deste trabalho, conforme descrito no experimento, na plataforma do *Youtube*. Acessível através do link: <<https://www.youtube.com/shorts/ZmBpV6uZCVU>>.

Aula 7: Avaliação e Revisão do Conteúdo por Meio de Jogo Interativo

Objetivo: Avaliar a aprendizagem dos alunos de maneira interativa e revisar os principais conceitos sobre a natureza da luz, utilizando a plataforma online *Kahoot*.

Materiais Necessários:

Acesso à internet estável.

Um computador com boa performance e acesso à internet para o professor.

Uma TV ou projetor para projetar a tela do jogo e as perguntas para a turma.

Smartphones dos alunos com o aplicativo Kahoot instalado (apenas um celular por equipe).

Passos para Implementação:

1. Formação das Equipes:

Divida a turma em equipes de no máximo 5 alunos para melhor precisão dos resultados e dinâmica do jogo. Cada equipe precisará de apenas um smartphone conectado à internet para participar do jogo.

2. Acesso à Plataforma Kahoot:

Acesse a plataforma *Kahoot* (<https://kahoot.com/>) e crie uma conta gratuita. Lembre-se de que a versão gratuita tem ferramentas limitadas, mas permite criar quizzes de múltipla escolha e de Verdadeiro ou Falso e explorar jogos já disponíveis.

3. Acesso ao jogo avaliativo:

O professor pode criar seu próprio questionário avaliativo, porém será disponibilizado neste material um Quiz totalmente pronto já testado e preparado para este fim. O jogo foi criado na versão gratuita do *Kahoot*. O título do jogo é “A trajetória da luz”, disponível em: <<https://create.kahoot.it/share/a-trajetoria-da-luz/b9d2e39e-5368-453f-94b1-cef5b54ff1b4>>.

O jogo é composto por 13 perguntas, sendo 7 no formato de Quiz sendo de múltipla escolha com até 4 opções e 6 no formato de Verdadeiro ou falso. Na versão gratuita, apenas esses dois formatos de perguntas são permitidos. É importante variar a dinâmica das perguntas para tornar o jogo mais imprevisível e divertido para os alunos.

É importante reforçar que trata-se de um jogo online, logo é preciso uma boa conexão com a internet para que a experiência seja completa. Recomenda-se também um bom computador e TV ou projetor para o professor rodar o jogo e todas as perguntas fiquem bem visíveis a toda a turma. Aos alunos basta instalar o aplicativo pelo celular e “parear” com o código que é gerado quando o professor inicia a partida.

Figura 5: Imagem de apresentação do jogo



4. Perguntas do Quiz:

As questões, em sequência, foram:

1. Qual destes cientistas defendiam que a luz era um feixe de partículas?
 - a. Isaac Newton
 - b. Huygens
 - c. Clark Maxwell
 - d. Gauss
2. Verdadeiro ou Falso: O experimento de dupla fenda de Young comprovou que a luz era uma onda.
3. Verdadeiro ou Falso: O som é mais rápido do que a luz.
4. Os estudos teóricos de Maxwell demonstravam que a luz era

- a. Partículas provenientes de elétrons;
 - b. Onda mecânica proveniente de choque de elétrons;
 - c. Onda proveniente de campos elétricos e magnéticos;
 - d. Onda proveniente de movimento de ímãs.
5. Qual fenômeno descoberto por Hertz ficou sem explicação?
- a. Efeito Compton;
 - b. Efeito Doppler;
 - c. Efeito eletromagnético;
 - d. Efeito fotoelétrico
6. O que é o efeito fotoelétrico?
- a. A luz ao incidir em um metal emite um som;
 - b. A emissão de luz ao aquecer um filamento metálico;
 - c. A emissão de luz com muita energia vindo de eletroímãs;
 - d. A luz com certa frequência incide em metal arrancando elétrons.
7. Verdadeiro ou Falso: A teoria de Maxwell sobre a luz conseguia explicar o efeito fotoelétrico.
8. Qual cientista conseguiu explicar o efeito fotoelétrico?
- a. Frederic Lenz;
 - b. Albert Einstein;
 - c. Nicola Tesla;
 - d. Heinrich Hertz.
9. Verdadeiro ou falso: Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein recorreu a Física Quântica. Afirmando a luz ser um feixe de partículas.
10. Verdadeiro ou falso: A energia da partícula da luz depende da frequência e não de sua intensidade.
11. Qual o nome da partícula da luz?
- a. Fóten;
 - b. Fóton;
 - c. Eletrolumens;
 - d. Neutrino.
12. Verdadeiro ou falso: Finalmente, a luz então caminha como onda, mas interage como partícula.
13. Podemos então dizer que a natureza da luz é:

- a. Neutra;
- b. Dual: Onda e partícula;
- c. Única: Sempre partícula;
- d. Especial: Onda energética.

5. Condução do Jogo:

Ao iniciar o jogo um código de sala é exibido na tela em formato de QR Code e numérico também. Os alunos devem então escanear o QR Code ou digitar o código numérico em seus celulares que os direcionar a tela de formação das equipes. O aluno escolhe o nome da equipe e adiciona seus integrantes, quando todas as equipes finalizarem o processo o jogo pode ser iniciado pelo professor.

Figura 6: Exemplo de visualização na tela do professor (à direita) e do aluno (à esquerda)



Fonte: <<https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=b9d2e39e-5368-453f-94b1-cef5b54ff1b4>>

Jogo iniciado, será exibida na tela questão por questão na ordem escolhida pelo professor. Cada equipe deverá discutir e escolher a resposta correta dentro do tempo estipulado. Apenas um aluno de cada equipe deverá estar com o celular conectado para registrar a resposta. Após cada pergunta, a resposta correta é revelada e assim o tema pode ser discutido e revisto pelo professor e alunos esclarecendo dúvidas e reforçando conceitos importantes.

Nesta tela é mostrado quantas equipes que acertaram e erraram a pergunta. Em seguida é exibido o placar geral. As pontuações são feitas de forma inversamente proporcional ao tempo de resposta. Também só pontua a equipe que acertar, o programa não faz diferenciação entre um erro muito evidente e um erro próximo de um acerto. Apenas acertos são considerados para pontuação. Essa análise qualitativa das escolhas dos alunos pode ser feita após o término do

jogo com as estatísticas completas fornecidas pela própria plataforma ou ao término de cada questão de forma mais dinâmica.

Figura 7: Tela com pergunta



Fonte: <<https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=b9d2e39e-5368-453f-94b1-cef5b54ff1b4&single-player=true>>

Figura 8: Tela demonstrativa do placar geral parcial

Pontuações

1	Shima	1,933	▲
2	MetalG3	1,840	
3	Robyn	1,794	
4	Nancy	1,283	▲
5	Mal	796	

Fonte: <<https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=b9d2e39e-5368-453f-94b1-cef5b54ff1b4&single-player=true>>

O jogo segue até a última pergunta. Após esta, o placar final é exibido e pode-se verificar a equipe vencedora bem como as equipes que tiveram maior dificuldade nas respostas. Todo o andamento do jogo deve ser monitorado pelo professor e devem ser feitas considerações e revisões nos temas das perguntas à partir dos resultados obtidos. Mesmo que uma equipe erre a resposta, isso servirá como uma chance de aprendizado. A competição saudável pode incentivar os alunos a se engajarem mais com o conteúdo.

6. Atividade Pós-Jogo:

Após o jogo, peça aos alunos que construam uma linha do tempo sobre a evolução dos conceitos de luz. Essa produção pode ser feita de forma digital ou manual em forma de mapa mental, slides, tópicos, texto ou outras formas a julgar pelo professor. Deve haver certa liberdade para que eles construam suas próprias linhas do tempo desde que sejam considerados os conteúdos abordados, a veracidade dos fatos históricos e as discussões em sala de aula. É uma ótima maneira de todo o assunto ser revisitado por eles para maior fixação dos conceitos e experimentos envolvidos na sequência didática. Essa atividade pode ser feita em casa, com um prazo maior para entrega ao professor.

Dicas Finais:

Certifique-se de que todos os alunos entendam as regras do jogo e como utilizá-lo. Mantenha o ambiente de competição saudável e motivador. Use o jogo para identificar pontos de dificuldade e trabalhar esses conceitos em aulas futuras.

4. CONCLUSÃO

A sequência de aulas sobre a luz foi projetada para maximizar a aprendizagem por descoberta e a aprendizagem significativa, alinhando-se com as teorias educacionais de Bruner e Ausubel. Através de atividades práticas, como a simulação da interferência da luz e o experimento da dupla fenda, os alunos são encorajados a explorar e construir seu próprio conhecimento. Bruner (1961) defende que a aprendizagem por descoberta promove uma compreensão mais profunda ao permitir que os alunos investiguem e experimentem, em vez de receberem informações passivamente. Ao experimentar diretamente com os fenômenos da luz, os alunos têm a oportunidade de vivenciar o processo científico, facilitando uma aprendizagem mais engajada e duradoura.

David Ausubel (1963) afirma que a aprendizagem significativa ocorre quando novos conhecimentos são conectados ao conhecimento prévio de maneira relevante. A sequência de aulas incorpora esta abordagem ao relacionar os conceitos de luz com situações do cotidiano e descobertas históricas. O debate inicial sobre a importância da luz e a contextualização de experimentos clássicos, como o efeito fotoelétrico de Einstein, ajudam a conectar os novos conhecimentos com o que os alunos já sabem, tornando o aprendizado mais relevante e significativo. Esta conexão com o conhecimento prévio não só fomenta o aprofundamento da compreensão dos alunos, mas também ressalta a aplicabilidade dos conceitos científicos em suas vidas diárias.

A integração de diferentes metodologias, como simulações interativas e avaliações dinâmicas com *Kahoot*, proporciona uma experiência de aprendizagem envolvente. As ferramentas interativas ajudam a consolidar o conhecimento de forma colaborativa e divertida, reforçando a aprendizagem significativa. A combinação de abordagens práticas e teóricas demonstrou que um ensino bem estruturado e diversificado pode levar a uma compreensão mais robusta e crítica dos conceitos científicos, preparando os alunos para uma apreciação mais profunda e aplicada da ciência. Alguns resultados desta sequência didática aplicada em uma turma de nono ano de escola pública municipal em Pernambuco podem ser visualizados nos anexos deste trabalho.

Espera-se que este trabalho contribua para o ensino de física na educação básica, ajudando professores a integrar conceitos mais complexos em ambientes menos favoráveis de aprendizado de forma que alcance um entendimento científico (ainda que não muito aprofundado) bem estruturado no aluno.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. *A aprendizagem significativa: a teoria de uma educação eficaz*. Rio de Janeiro: E.P.U., 1963.
- BRUNER, Jerome S. *The Process of Education*. Cambridge: Harvard University Press, 1960.
- BRUNER, Jerome S. *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
- BRUNER, Jerome S. *The Culture of Education*. Cambridge: Harvard University Press, 1996.
- BRUNER, Jerome S. *Acts of Meaning*. Cambridge: Harvard University Press, 2008
- BRUNER, Jerome. *O processo da educação*. São Paulo: Nacional, 1960a.
- BRUNER, Jerome. *The Process of Education*. Cambridge: Harvard University Press, 1960b.
- BRUNER, J. S. *O processo de educação*. São Paulo: Edusp, 1961
- CLARK, Sheldon. *Educational Psychology and the Spiral Curriculum: An Analysis of Jerome Bruner's Contributions*. New York: Teachers College Press, 2010.
- MOREIRA, M. A.; *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. Editora Livraria da Física, 1 edição, Cap 1, p 13-55, 2012.
- OLIVA, Peter F. *Developing the curriculum*. 7th ed. Boston: Allyn and Bacon, 2009. Disponível em: https://www.academia.edu/3848751/Developing_the_Curriculum_by_Peter_F_Oliva. Acesso em: 09 ago. 2024.
- RABATINI, F. *O Currículo em Espiral e o Desenvolvimento Cognitivo dos Alunos*. In: GÓES, M. N. A. P.; LEÃO, L. M. S. *Abordagens Contemporâneas do Currículo Escolar*. São Paulo: Pearson, 2021. p. 43-44
- VYGOTSKY, Lev Semyonovich. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978. Disponível em: <https://monoskop.org/images/1/1c/Vygotsky_Lev_Mind_in_Society.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2024.