

PROPOSTA DE UM CIRCUITO SIMPLES PARA A OBTENÇÃO EXPERIMENTAL DA CONSTANTE DE PLANCK

João Lucas Gomes Ancelmo;
Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças.

RESUMO

O entendimento das constantes da natureza, sua utilização e obtenção na ciência e na tecnologia são temas importantes e devem ser abordados em sala de aula. Quando a teoria é combinada com uma abordagem experimental, a intervenção didática se torna potencialmente mais significativa. A constante de Planck, presente em diversos fenômenos da física quântica, representa um desafio no ensino, tanto no ensino médio quanto no superior. Aprendizagem científica correta de conceitos da mecânica quântica, aliada à exposição a experimentos nos quais os conceitos são apresentados, discutidos e verificados, mesmo com as limitações inerentes, pode compor uma ferramenta didática para aulas experimentais dinâmicas e ao mesmo tempo simples. Essas aulas permitem a obtenção de parâmetros que estão presentes em equipamentos cotidianos, como um simples LED nas cores vermelha, verde ou azul. O experimento proposto utiliza componentes eletrônicos acessíveis e de baixo custo, de fácil montagem, e pode ser replicado em ambientes educacionais com resultados satisfatórios para a obtenção constante de Planck. A partir da relação entre a corrente elétrica e o potencial elétrico, é possível realizar um estudo gráfico e identificar o potencial elétrico mínimo necessário para o acendimento do LED de determinada cor, o potencial de corte. Esse potencial tem uma relação matemática direta com o comprimento de onda do fóton emitido e, consequentemente, com a constante de Planck.

Palavras-chave: Mecânica quântica. Dispositivo eletrônico. LED. Potencial elétrico. Corrente elétrica. Experimento.

ABSTRACT

Understanding the constants of nature, their use, and their determination in science and technology are important topics that should be addressed in the classroom. When theory is combined with an experimental approach, the didactic intervention becomes potentially more meaningful. Planck's constant, present in various phenomena of quantum physics, represents a teaching challenge, both at the high school and university levels. The correct scientific learning of quantum mechanics concepts, combined with exposure to experiments where concepts are presented, discussed, and verified—even with inherent limitations—can serve as a didactic tool for dynamic yet simple experimental classes. These classes allow for the determination of parameters that are present in everyday equipment, such as a simple red, green, or blue LED. The proposed experiment uses accessible and low-cost electronic components, is easy to assemble, and can be replicated in educational environments with satisfactory results for

determining Planck's constant. By analyzing the relationship between electric current and electric potential, it is possible to conduct a graphical study and identify the minimum potential required to turn on an LED of a specific color, known as the cutoff potential. This potential has a direct mathematical relationship with the wavelength of the emitted photon and, consequently, with Planck's constant.

Keywords: Quantum mechanics. Electronic device. LED. Electric potential. Electric current. Experiment.

1. INTRODUÇÃO

A física tem como um de seus principais objetivos explicar os fenômenos da natureza por meio da observação, da elaboração de teorias e da realização de experimentos em ambiente controlado. Esses experimentos permitem tanto a comprovação e a explicação dos fenômenos naturais observados quanto a refutação de hipóteses e teorias que não se alinham com os dados obtidos através da experimentação (Feynman; Leighton; Sands, 2008).

No ensino de física, a mecânica quântica representa um desafio recorrente em sala de aula, principalmente no que se refere à linguagem e aos conceitos abstratos envolvidos. Apesar dessas dificuldades, ela não deve ser negligenciada, dada sua importância para o entendimento das tecnologias modernas (Paulo; Moreira, 2011). Quando se trata da abordagem experimental no nível de ensino médio, o desafio torna-se é ainda maior, o que tem preocupado professores e pesquisadores dedicados a essa temática (Hoernig; Massoni; Hadjimichief, 2021; Ostermann; Moreira, 2000; Pantoja; Moreira; Herscovitz, 2011).

Há diversas propostas didático-pedagógicas para o ensino da mecânica quântica, abordando temas como excitações eletrônicas, radiação eletromagnética e fotoluminescência (Oliveira et al., 2024b), fenômenos de interferência (Kaur Et Al., 2017; Lima; Heidemann; Becker, 2024), semicondutividade (Longen; Gonçalves, 2020), espalhamento de partículas (Pinheiro; Magno, 2023), modelos atômicos (Andrade; Vivas; Silva, 2022) e computação quântica (Frare; Araujo; Veit, 2024). No entanto, apesar dessas ferramentas, a abordagem dessa temática em sala de aula ainda é limitada e, em muitos casos, ausente nos livros didáticos (Pinheiro; Magno, 2023).

Fenômenos e parâmetros intrínsecos à mecânica quântica são fundamentais para o entendimento dos semicondutores, que têm ganhado cada vez mais relevância no debate cotidiano. Um dispositivo comum e de fácil identificação é o diodo de emissão de luz (LED) (Callister; Rethwisch, 2012). Originariamente, os LEDs eram utilizados em equipamentos eletrônicos principalmente como indicadores luminosos. No entanto, atualmente, eles se consolidaram como uma alternativa eficiente para a iluminação de ambientes, destacando-se tanto pela qualidade da luz emitida quanto pela economia de energia elétrica.

Desse modo, o LED pode ser utilizado como uma ferramenta didática para a observação de fenômenos relacionados à semicondutividade, por meio de montagens de circuitos simples e de fácil reprodução em sala de aula. Além disso, ele permite o estudo empírico de fenômenos diretamente ligados à mecânica quântica e, conseqüentemente, a uma das constantes fundamentais da natureza: a constante de Planck. O entendimento das constantes fundamentais da natureza pode ser abordado de forma interdisciplinar em sala de aula, promovendo a articulação entre o conhecimento científico, os processos tecnológicos e sua implementação sociocultural (Angotti, 1993).

Essas constantes fundamentais têm sido utilizadas recentemente para a definição oficial dos padrões de pesos e medidas. Por exemplo, a velocidade da luz no vácuo é usada para definir o metro padrão, enquanto o segundo padrão é baseado na frequência de oscilação da radiação eletromagnética necessária para efetuar a transição entre os estados níveis hiperfinos do átomo de Césio-133. Além disso, o quilograma padrão, que antes era definido por um artefato físico,

passou a ser determinado com o auxílio da constante de Planck (Damaceno et al., 2019; SBF, [s.d.])

Portanto, a aprendizagem científica correta de termos associados à mecânica quântica, bem como a utilização de experimentos que abordem conceitos científicos de forma precisa e contextualizada, devem ser práticas recorrentes em sala de aula. Essa abordagem pedagógica, que inclui temas muitas vezes negligenciados, é relevante não apenas para sua inclusão no currículo escolar, mas também para a alfabetização científica dos estudantes, evitando o uso do recorrente e equivocados de termos relacionados à mecânica quântica (Pigozzo; Monteiro Nascimento; Willig Lima, 2022; Rocha; Carvalho; Felicio, 2020). Ademais, é possível ampliar essa temática com um caráter interdisciplinar, abordando, por exemplo, a radiação ultravioleta, seus efeitos na saúde da pele e a importância do uso de filtro solar (Silva et al., 2015).

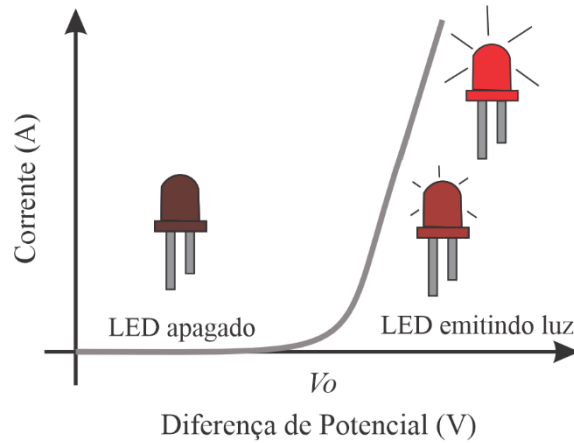
A presente proposta didática consiste em um experimento simples para utilização em sala de aula de física, com o objetivo de observar a semicondutividade, por meio de um LED. Experimentos didáticos que utilizam LEDs para a determinação da constante de Planck são acessíveis, de fácil montagem e permitem a visualização de conceitos complexos de forma prática, sem a necessidade de materiais de difícil acesso. O uso de LEDs é particularmente interessante porque esses dispositivos operam em faixas específicas de energia e comprimento de onda, que estão diretamente relacionadas à constante de Planck, fornecendo uma base empírica para o estudo da quantização de energia (Castro; Souza; Rebouças, 2022; Oliveira et al., 2024a).

2. O LED E A CONSTANTE DE PLANCK

Ao ser submetido a uma diferença de potencial V variável, um LED de determinada cor permite a passagem de corrente elétrica I em apenas um sentido, devido à sua polaridade. Isso ocorre somente quando o potencial elétrico V aplicado ultrapassa um valor mínimo, conhecido como potencial de corte V_0 . A partir desse ponto, com a passagem da corrente I , o LED passa a emitir radiação eletromagnética, que pode estar no espectro visível ou no infravermelho (Callister; Rethwisch, 2012).

Para um LED, ao aplicar uma diferença de potencial V entre seus polos, a função da corrente elétrica I apresenta uma curva característica, conforme ilustrado na Figura 1. Considerando a polaridade correta do LED, ao aplicar uma diferença de potencial V a partir do zero, inicialmente não há passagem de corrente elétrica I , e o dispositivo permanece desligado. À medida que o potencial V se aproxima do valor de corte V_0 , começa a ocorrer a passagem de corrente elétrica I , e um brilho fraco é observado. Esse brilho aumenta gradualmente à medida que o potencial elétrico V se aproxima do regime linear da corrente elétrica I . A Figura 1 apresenta, de forma esquemática, o comportamento do brilho do LED nessa região.

Figura 1. Comportamento esquemático da corrente elétrica I através do LED em função da diferença de potencial V aplicada em seus pólos. As ilustrações mostram, de forma esquemática, o acendimento do LED e o aumento gradual do brilho após o início da emissão da luz.



Fonte: Os autores (2025)

O potencial de corte V_0 está relacionado à energia elétrica mínima E_0 necessária para a emissão de fótons pelos LEDs, conforme a equação:

$$E_0 = eV_0 \quad (1)$$

onde e é a carga do elétron, responsável pela corrente elétrica. A energia mínima E de emissão do fóton é descrita por:

$$E = h\nu \quad (2)$$

onde h é a constante de Planck e ν a frequência do fóton emitido pelo LED. A Equação (2), também conhecida como Lei de Planck, pode ser escrita como $E=hc/\lambda$, onde c é a velocidade da luz no vácuo e λ é o comprimento de onda do fóton (Diffey, 2002). Dessa forma, para cada cor de LED, que corresponde a um comprimento de onda específico, tem-se uma energia de emissão de fótons característica.

Assim, relacionando as Equações (1) e (2), na região de acendimento dos LEDs, é possível obter a constante de Planck por meio da equação:

$$h = \frac{eV_0}{\nu}. \quad (3)$$

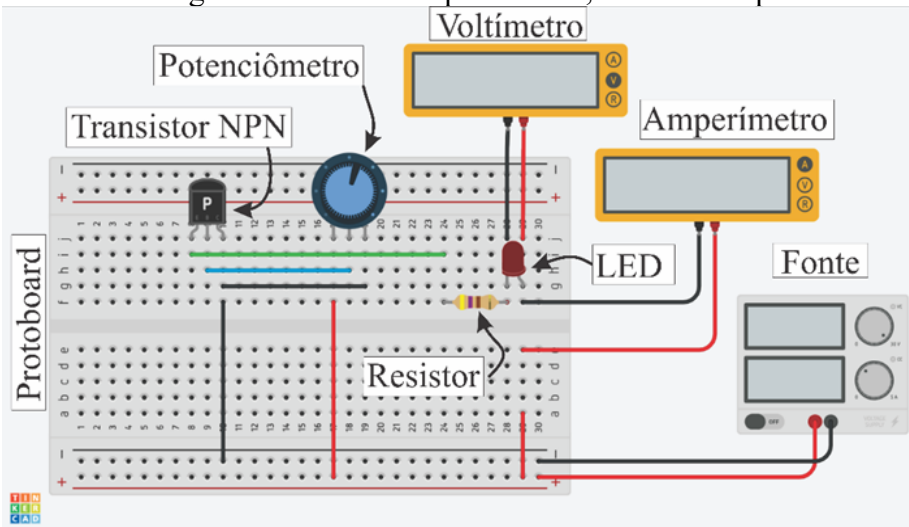
Como serão utilizadas as frequências de emissão de LEDs comerciais (vermelho, verde e azul), que apresentam faixas de frequências de fótons bem definidas, e sabendo que a carga do elétron é $e \approx 1,6 \times 10^{-19}$ C, é possível, por meio de um experimento que identifique o valor do potencial de corte V_0 , determinar a constante de Planck. O valor experimental da constante de Planck é $h \approx 6,62 \times 10^{-34}$ J.s (Haynes; Lide; Bruno, 2017). Essa explicação foi simplificada e envolve algumas aproximações para que possa ser aplicada no ensino médio ou nos semestres iniciais de cursos de engenharia e física. Para uma descrição mais detalhada sobre o funcionamento de diodos, recomenda-se consultar Rezende (2004).

3.PROPOSTA EXPERIMENTAL

Para controlar a diferença de potencial elétrico V aplicado aos terminais do LED e, consequentemente, obter os dados necessários para analisar o comportamento da diferença de potencial elétrico V em função da corrente I , foi construído um circuito com dispositivos simples e de fácil acesso. A Figura 2 apresenta o protótipo desenvolvido na plataforma Tinkercad (Autodesk, 2025), o circuito pode ser acessado e testado virtualmente (Rebouças, 2025). O circuito permite o controle da diferença de potencial V nos polos do LED por meio

do potenciômetro. Para medir a diferença de potencial elétrico V e a corrente I , são utilizados dois multímetros, um configurado como voltímetro e outro como amperímetro. Isso possibilita ao aluno anotar cada valor de diferença de potencial elétrico V e a respectiva corrente I que atravessa o LED.

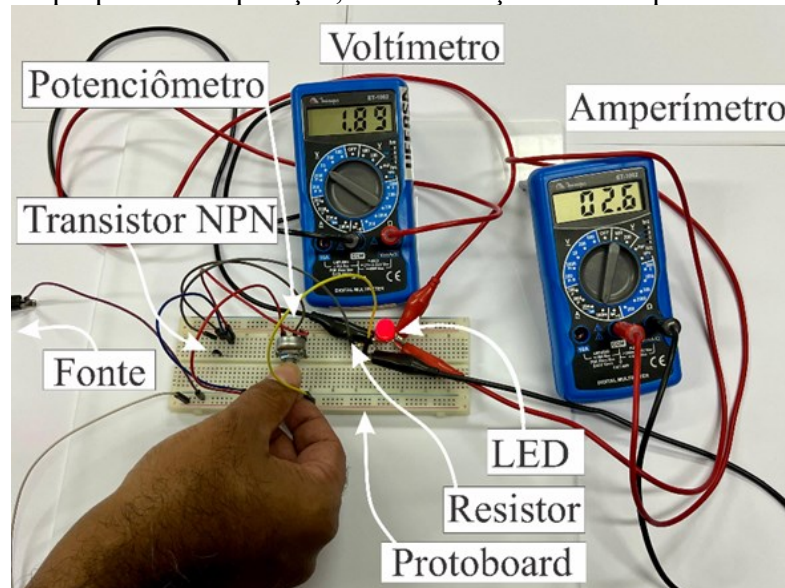
Figura 2. Esquema da montagem do circuito em protoboard, com os componentes indicados.



Fonte: REBOUÇAS (2025).

A Figura 3 apresenta uma foto do circuito montado para a realização das medições da diferença de potencial elétrico V e corrente I . A partir dessas medições, foi possível construir o gráfico correspondente, identificar o potencial de corte V_0 e determinar a constante de Planck para cada um dos três LEDs utilizados: vermelho, verde e azul.

Figura 3. Circuito proposto em operação, com indicação dos componentes utilizados.



Fonte: Os autores (2025).

Os materiais utilizados na montagem do circuito foram: protoboard de 830 pontos, resistor de $470 \, \Omega$, dois multímetros (um como voltímetro e outro como amperímetro), potenciômetro de $10k\Omega$; transistor NPN (BC 547), fonte variável de alimentação DC e LEDs nas cores vermelha, verde e azul.

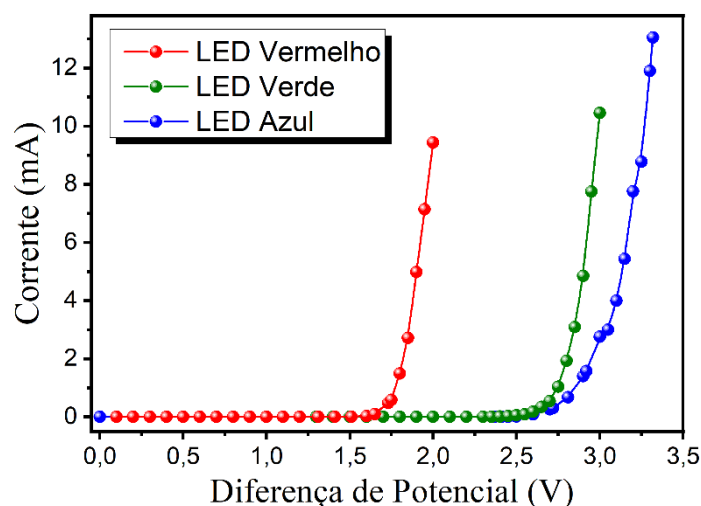
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização do circuito montado, conforme sugerido, permite a execução do experimento de forma simples em sala de aula ou em laboratórios didáticos, caso a escola disponha dessa estrutura. Além disso, a simulação online, utilizando o projeto apresentado na Figura 2, já possibilita o estudo do sistema de maneira virtual.

O professor pode optar por sugerir a montagem do circuito pelos alunos ou trazer o sistema já montado e testado para a atividade experimental. Nesse caso, o aluno controla a diferença de potencial elétrico V aplicado ao LED, mede seu valor e registra a respectiva corrente elétrica I que atravessa o dispositivo. Com esses dados, é possível construir uma tabela de valores da diferença de potencial (tensão) V versus corrente elétrica I .

A Figura 4 apresenta os resultados gráficos da relação entre a diferença de potencial V e corrente elétrica I para os LEDs vermelho, verde e azul. É possível identificar claramente o comportamento esperado para essas medidas, bem como determinar graficamente os valores do potencial de corte V_0 para cada um dos LEDs. Conforme previsto, quanto maior a frequência ν de emissão do LED, maior será o valor de V_0 . Isso está em concordância com a Equação (3), uma vez que a frequência do fóton azul (ν_B) é maior que a do verde (ν_G) que, por sua vez, é maior que a frequência do fóton vermelho (ν_R). Em outras palavras, $\nu_B > \nu_G > \nu_R$ e, consequentemente, $V_{0B} > V_{0G} > V_{0R}$.

Figura 4. Resultados gráficos das medidas experimentais da relação entre a diferença de potencial V e corrente elétrica I para os LEDs vermelho, verde e azul.



Fonte: Os autores (2025).

A Tabela 1 apresenta os valores do potencial de corte V_0 obtidos experimentalmente. Para cada cor de LED, foi utilizada a frequência central da faixa de emissão de fótons de luz visível correspondente. A quarta coluna da tabela mostra os valores calculados da constante de Planck para cada um dos LEDs, com base nos dados experimentais.

Tabela 1. Valores medidos e utilizados para a obtenção da constante de Planck utilizando cada um dos LEDs.

LED	V_0 (V)	Faixa de ν (10^{12} Hz)	h (10^{-34} J.s)
Vermelho (R)	1,70	480 – 405	6,18
Verde (G)	2,30	600 – 520	6,57
Azul (B)	2,50	680 – 620	6,15

Fonte: Os autores (2025).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a montagem de um circuito simples para a determinação experimental da constante de Planck utilizando LEDs de diferentes cores, bem como a construção gráfica da diferença de potencial elétrico V em função da corrente elétrica I . A metodologia proposta permitiu explorar a relação entre a energia dos fótons emitidos e o potencial de corte V_0 correspondente a cada LED, resultando em um experimento prático e acessível para a compreensão da quantização de energia.

Os resultados obtidos indicam que os valores experimentais da constante de Planck, calculados com base nos potenciais de corte V_0 dos LEDs, estão próximos do valor teórico esperado. Além disso, observou-se uma boa correlação gráfica entre a variação da diferença de potencial V e a corrente elétrica I , validando a metodologia proposta.

Considerando a simplicidade do aparato experimental, esta proposta apresenta resultados satisfatórios e demonstra como é possível utilizar materiais simples e acessíveis para a realização de um experimento didático na sala de aula. O experimento permite o estudo e a demonstração de conceitos fundamentais da Física Quântica, como a quantização da energia e a determinação da constante de Planck, contribuindo para a formação científica dos estudantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANDRADE, M. F. S.; VIVAS, P. G.; SILVA, S. L. L. A história do átomo: uma abordagem profunda e interdisciplinar para o Ensino Médio. **A Física na Escola**, p. 210407, 2022.

ANGOTTI, J. A. P. Conceitos Unificadores e Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 15, p. 191, 1993.

AUTODESK. **Tinkercad**. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

CALLISTER, D. W.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais - Uma Introdução**. 8ª Edição ed. [s.l.] LTC, 2012.

CASTRO, A. G. G.; SOUZA, H. T. C. M.; REBOUÇAS, G. O. G. Construção de um Dispositivo Simples para a Obtenção da Constante de Planck. Em: **Estratégias e Práticas Docentes com Produtos Educacionais**. [s.l: s.n.]. v. 2p. 177.

DAMACENO, L. P. et al. A nova definição do quilograma em termos da constante de Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. e20180248, 2019.

DIFFEY, B. L. What is light? **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 18, n. 2, p. 68–74, 9 abr. 2002.

- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física de Feynman. Vol. I.** Porto Alegre: Bookman, 2008.
- FRARE, V. L. F.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma revisão sistemática da literatura sobre o ensino de Computação Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240253, 2024.
- HAYNES, W. M.; LIDE, D. R.; BRUNO, T. J. **CRC Handbook of Chemistry and Physics.** 97 th ed. London-New York: CRC Press, 2017.
- HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; HADJIMICHEF, D. Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210044, 2021.
- KAUR, T. et al. Teaching Einsteinian physics at schools: part 2, models and analogies for quantum physics. **Physics Education**, v. 52, n. 6, p. 065013, nov. 2017.
- LIMA, N. W.; HEIDEMANN, L. A.; BECKER, M. H. T. É possível promover aprendizado sobre Mecânica Quântica em projetos de divulgação científica? Análise estatística sobre a potencialidade de um curso de extensão virtual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240062, 2024.
- LONGEN, F. R.; GONÇALVES, E. J. Prática experimental no ensino de semicondutores fotorresistivos. **A Física na Escola**, p. 210807, 2020.
- OLIVEIRA, G. S. X. et al. UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DA QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA: DETERMINANDO A CONSTANTE DE PLANCK COM ARDUINO E LED. **Revista do Professor de Física**, v. 8, p. 118, 2024a.
- OLIVEIRA, N. C. et al. Caixa de cores: produto educacional para o ensino da física da luz e cor, uma introdução a mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240007, 2024b.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ÁREA DE PESQUISA “FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, p. 23, 2000.

PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de Mecânica Quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 4, p. 1, 2011.

PAULO, I. J. C. DE; MOREIRA, M. A. O problema da linguagem e o ensino da mecânica quântica no nível médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, n. 2, p. 421–434, 2011.

PIGOZZO, D.; MONTEIRO NASCIMENTO, M.; WILLIG LIMA, N. Uma revisão de literatura da área de educação em ciências sobre o fenômeno cultural do misticismo quântico. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 63–85, 16 maio 2022.

PINHEIRO, J.; MAGNO, F. B. Efeito Compton: uma proposta de ensino aprendizagem utilizando sequência didática. **A Física na Escola**, v. 21, p. 220601-, 19 jun. 2023.

REBOUÇAS, G. **Projeto do Circuito no Tinkercad**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/things/1KxMxOpM5Om-copy-of-led/editel?returnTo=https%3A%2F%2Fwww.tinkercad.com%2Fdashboard%2Fdesigns%2Fcircuits&sharecode=gakcf45J6FXW_nlQy1uIArpMqaEWDE73rGcO4n4-Jlg>. Acesso em: 23 fev. 2025.

REZENDE, S. M. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. 2ª ed. [s.l.] Livraria da Física, 2004.

ROCHA, T. R.; CARVALHO, T. M. DE; FELICIO, C. M. Física quântica e misticismo no ensino de ciências. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e18791211131, 18 dez. 2020.

SBF. **O Novo Sistema Internacional de Unidades**. Disponível em: <https://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2019/07/Cartilha_O_novo_SI_29.06.2029.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2025.

SILVA, R. R. DA et al. The Light and the Sunscreens: A Social-Theme. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 218, 2015.

