



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPUS VIII**

**CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE**

**DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**MARIA FABÍOLA FERNANDES DA SILVA JUSTINO**

**MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE  
PLANCK, COM O USO DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)**

**ARARUNA-PB**

**2023**

MARIA FABÍOLA FERNANDES DA SILVA JUSTINO

**MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE  
PLANCK, COM O USO DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Coordenação /Departamento do Curso de  
Licenciatura em Física da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à  
obtenção do título de licenciada em Física.

**Área de concentração:** Física

**Orientador:** Prof. Dr. Mário César Soares Xavier

**ARARUNA-PB  
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

J96m Justino, Maria Fabiola Fernandes da Silva.  
Método experimental para determinação da constante de planck, com o uso do diodo emissor de luz (LED) [manuscrito] /  
Maria Fabiola Fernandes da Silva Justino. - 2023.  
25 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) -  
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências,  
Tecnologia e Saúde, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Mário César Soares Xavier,  
Coordenação do Curso de Licenciatura em Física - CCTS. "

1. Luz. 2. Física. 3. Física Quântica. I. Título

21. ed. CDD 535

MARIA FABÍOLA FERNANDES DA SILVA JUSTINO


**MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE  
PLANCK, COM O USO DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)**

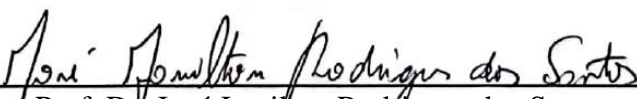
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Coordenação /Departamento do Curso de  
Licenciatura em Física da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à  
obtenção do título de licenciada em Física.

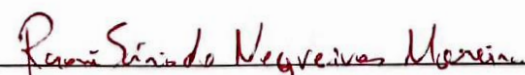
**Área de concentração:** Física

Aprovada em: 29/11/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mário César Soares Xavier (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Raoni Sávio de Negreiros Moreira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**FIGURA 1** - Tipos de Diodo (Tipo P e Tipo N)

**FIGURA 2** - Difusão dos elétrons e lacunas entre os Tipos P e N

**FIGURA 3** - Descrição da parte interior do LED

**FIGURA 4** - Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda

**FIGURA 5** - Diferentes modelos de LEDs e seus respectivos comprimentos de onda.

**FIGURA 6** - Representação esquemática do preenchimento da estrutura de bandas.

**FIGURA 7** - Representação esquemática de diagramas de banda.

**FIGURA 8** - Representação esquemática do circuito.

**FIGURA 9** - Gráfico  $i \times V$

**FIGURA 10** - Gráfico  $i \times V$

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>7</b>
2.1.	Diodos .....	7
2.2.	Diodos emissores de luz (LED).....	8
2.3.	O desenvolvimento dos primeiros LEDs coloridos .....	8
2.4.	O princípio de funcionamento do LED .....	9
2.5.	Aspectos fotométricos .....	10
2.6.	Materiais semicondutores.....	12
2.7.	A física quântica e o LED .....	13
2.8.	Constante de Planck.....	14
2.9.	Constante de Planck e os leds.....	14
2.10.	Obtenção da fórmula de cálculo da constante de Planck .....	16
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
3.1.	Procedimento experimental .....	17
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>

## MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK, COM O USO DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)

MARIA FABÍOLA FERNANDES DA SILVA JUSTINO\*

### RESUMO

No presente trabalho, apresenta-se o método experimental para determinação da constante de Planck, com o uso do diodo emissor de luz (LED), através de componentes eletrônicos utilizados para amostra real e comprobatória da constante de Planck. O LED, um dispositivo semicondutor que emite radiação eletromagnética quando uma tensão é aplicada, é fundamental na tecnologia contemporânea, com aplicações variadas na vida cotidiana, trabalho e ambientes públicos. Além disso, esses dispositivos são essenciais na transmissão de sinais ópticos modulados por lasers de semicondutores baseados em LEDs, através de fibras ópticas. Dessa forma, os LEDs se destacam como uma conexão vital entre eletrônica e fotônica, desempenhando um papel fundamental em uma variedade de contextos tecnológicos do cotidiano. O método experimental para determinar a constante de Planck, uma constante física fundamental, por meio do estudo das propriedades quânticas e ondulatórias do LED foi conduzido no Laboratório de Óptica e Física Moderna da Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII em Araruna-PB.

**Palavras chave:** LEDs; Constante de Planck; Protoboard.

### ABSTRACT

This paper presents the experimental method for determining the Planck constant using light-emitting diodes (LEDs), employing electronic components for a real and corroborative sample of the Planck constant. The LED, a semiconductor device that emits electromagnetic radiation when a voltage is applied, plays a crucial role in contemporary technology, with diverse applications in everyday life, work, and public spaces. Additionally, these devices are essential in the transmission of optically modulated signals by semiconductor lasers based on LEDs through optical fibers. Thus, LEDs emerge as a vital link between electronics and photonics, playing a fundamental role in various technological contexts of daily life. The experimental method to determine the Planck constant, a fundamental physical constant, through the study of the quantum and wave properties of the LED, was conducted at the Laboratory of Optics and Modern Physics of the State University of Paraíba, Campus VIII in Araruna-PB.

**Keywords:** LEDs; Planck constant; Protoboard.

---

\* Graduanda em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)  
e-mail: maria.fabiola.justino@aluno.uepb.edu.br

## 1 INTRODUÇÃO

Durante alguns estudos sobre o LED, o cientista Russo Oleg V. Losev forneceu informações e aplicações encontradas para esclarecer a distribuição de energia da quantidade de energia, foram necessários estudos e experimentos detalhados que mudaram pontos de vista presentes na física clássica. Pelas teorias quântica e da relatividade houve um impulso no surgimento da Física moderna atual.

Ele entendeu a natureza “fria” (não térmica) da emissão do LED, mediu seu atual limiar de emissão de luz, reconheceu que sua emissão está relacionada à ação de diodo e mediu, detalhadamente, a dependência tensão-corrente característica desse dispositivo eletrônico. Ele usou a teoria quântica de Einstein para explicar a ação do LED e chamou o processo de emissão de “efeito fotoelétrico inverso” (OLIVEIRA 2020).

Max Planck, precursor das teorias quânticas constatou que a luz é constituída de partículas, e estas partículas transportam energias em fragmentos a qual ele chamou de "pacotes de energia", porém esses "pacotes de energia" dependem da frequência da luz para serem menores ou maiores. Relacionando a energia com a frequência obteve-se a Constante de Planck. (RAMOS 2018).

Para compreender o funcionamento de um LED, é fundamental adquirir conhecimento sobre as definições por trás. Os LEDs (do inglês, light emitting diode ou “diodo emissor de luz”) são dispositivos semicondutores que emitem radiação eletromagnética, desde a região ultravioleta até o infravermelho próximo.

Esse componente eletrônico desempenha um papel importante na tecnologia atual. As suas aplicações estão presentes em diversas esferas da vida cotidiana, no trabalho, na vida doméstica e em ambientes públicos

No presente artigo, apresenta-se o método experimental para determinação da constante de Planck, uma das constantes físicas fundamentais, através do estudo das propriedades quânticas e ondulatórias do diodo emissor de luz (LED), através de componentes eletrônicos utilizados para amostra real e comprobatória da constante de Planck. O experimento apresentado neste trabalho foi realizado no Laboratório de Óptica e Física Moderna da Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII em Araruna-PB.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Diodos

O diodo semicondutor é um componente que pode comportar-se como condutor ou isolante elétrico, dependendo da forma como a tensão é aplicada aos seus terminais. Essa característica permite que o diodo semicondutor possa ser utilizado em diversas aplicações, como, por exemplo, na transformação de corrente alternada em corrente contínua. (BOTELHO; FERRONATO, s.d.). Sua formação acontece a partir da junção entre um semicondutor tipo p e um semicondutor tipo n.

Os diodos são componentes fabricados com materiais semicondutores na maioria dos casos de silício (Si). Há também diodos de germânio (Ge). Os diodos conduzem corrente elétrica apenas num único sentido, oferecendo uma altíssima resistência à sua circulação no sentido inverso. Seu símbolo e apresentação mais comum estão na Fig. 1

Figura 1: Tipos de Diodo (Tipo P e Tipo N)

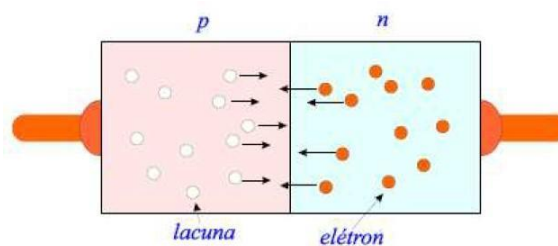


Fonte: Botelho (2003)

A região N é onde sobram elétrons (denominados elétrons livres ou portadores de carga negativa). Já a região P é onde há falta de elétrons (a falta de elétrons é chamada buraco, lacuna ou portadores de carga positiva).

Os elétrons livres se difundem após a junção dos diodos do tipo P e tipo N. De forma análoga, as lacunas existentes no semicondutor tipo P difundem para o semicondutor tipo N.

Figura 2: Difusão dos elétrons e lacunas entre os Tipos P e N



Fonte: Botelho (2003)

A curva característica de um diodo é um gráfico que relaciona os valores de cada tensão com a corrente elétrica que atravessa o diodo, que neste caso é uma curva exponencial. O gráfico se baseia em tensão sobre o diodo dado em volts (eixo x) e corrente sobre o diodo dado em mA eixo (y).

## **2.2. Diodos emissores de luz (LED)**

No diodo emissor de luz (LED), a energia é irradiada na forma de luz. Os LEDs substituíram as lâmpadas de incandescência em várias aplicações devido a sua baixa tensão, longa vida, e rápido chaveamento liga/desliga. Desde o seu desenvolvimento no ano 1963 (UNICAMP, 2004) o diodo emissor de luz, ou LED, não tinha encontrado tanta empregabilidade como atualmente, presente em telas de TV, iluminação residencial, monitor de computador, entre outros equipamentos.

Os LEDs são dispositivos semicondutores que emitem radiação eletromagnética, desde a região ultravioleta até o infravermelho próximo, quando uma tensão é aplicada sobre os seus terminais (NUSSENZVEIG, 2009).

Os diodos comuns são feitos de silício, envoltos num material opaco que bloqueia a passagem da luz. Os LEDs são diferentes. Usando-se elementos como o gálio, o arsênio e o fósforo, um fabricante pode produzir LEDs que irradiam no vermelho, verde, amarelo, azul, laranja ou infravermelho (invisível), que produzem radiação visível são úteis em instrumentos, calculadoras etc. Os LEDs infravermelhos encontram aplicação em sistemas de alarme contra roubo e outras áreas que exijam radiação invisível (ARMANDO, P. s.d.).

Devido à tecnologia utilizada no processo de fabricação, os LEDs emitem radiação em uma faixa espectral (intervalo de comprimentos de onda) cujo pico determina a frequência predominante na emissão (comprimento de onda de máxima emissão), definindo a cor do LED, e cuja largura pode conter algumas dezenas de nanômetros (CAVALCANTE; HAAG, 2005).

## **2.3. O desenvolvimento dos primeiros LEDs coloridos**

Embora o LED seja um elemento bastante discutido nos dias de hoje, o primeiro LED de espectro visível (vermelho) foi desenvolvido em 1962 por Nick Holonyak Jr., enquanto trabalhava na General Electric, inicialmente na cor vermelha e com uma baixa intensidade de luz de 1 mcd. Durante muito tempo, o LED foi utilizado principalmente para fins de indicação

de estado, ou seja, em rádios, televisores e outros dispositivos, sinalizando se o aparelho estava ligado ou desligado.

O LED de cor amarela foi introduzido no final dos anos 60. Somente por volta de 1975 surgiu o primeiro LED verde, com comprimento de onda ao redor de 550 nm, o que é muito próximo do comprimento de onda do amarelo, porém com intensidade um pouco maior, da ordem de algumas dezenas de milicandelas.

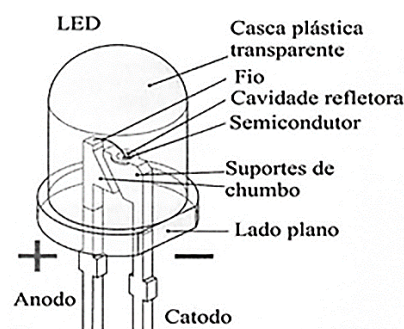
Para revolucionar a tecnologia da iluminação ainda faltava desenvolver o LED azul. Conforme é amplamente conhecido, apenas a combinação da tríade de cores vermelha, verde e azul é capaz de gerar luz branca. No entanto, o desenvolvimento do diodo emissor de luz azul representou um desafio persistente ao longo de décadas, enfrentado tanto pela comunidade científica quanto pela indústria eletrônica. Os trabalhos desenvolvidos pelos cientistas japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura culminaram com a invenção do LED azul. Nos anos 1990 os seus trabalhos possibilitaram a produção de LEDs azuis eficientes, com estruturas complexas. Em 2014 eles receberam o Prêmio Nobel de Física pelo desenvolvimento do LED azul (OLIVEIRA, 2020).

#### 2.4. O princípio de funcionamento do LED

O princípio de funcionamento do LED consiste na transformação da energia elétrica em radiação, que pode pertencer ao espectro visível ou infravermelho da luz. A estrutura do LED é uma transição elétron-buraco, por isso, os mecanismos de passagem da corrente através de um diodo de semicondutor e de um LED são iguais. (OLIVEIRA, 2020).

A luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado ao tipo de material utilizado na composição do semicondutor.

Figura 3 – Descrição da parte interior do LED



Fonte: Oliveira (2020)

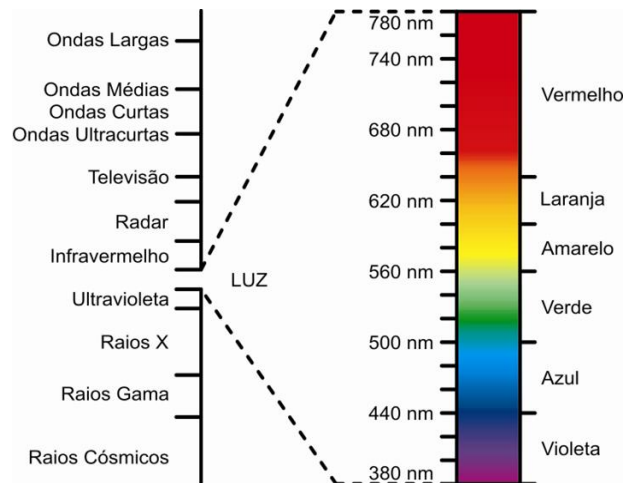
Um LED deve ser ligado de forma correta, o circuito de ligação deve ter o +(positivo) para o ânodo e -(negativo) para o cátodo. O cátodo é a ponta mais curta e deve ter um corte no lado da cápsula do LED.

Os materiais da transição elétron-buraco da estrutura do LED são escolhidos de forma que os elétrons livres na região N (emissor) possuem menor energia que na região P (base). Na ausência de um campo elétrico externo, a difusão dos principais portadores de carga através da transição p-n (dos elétrons da região N para a região P e dos buracos em direção contrária) é impedida pelo campo elétrico interno denominado campo de contato (OLIVEIRA 2020).

## 2.5. Aspectos fotométricos

A luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado ao tipo de material utilizado na composição do semicondutor. A dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, fósforo, índio e nitrogênio. Esta variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro (CERVI, 2005; BULLOUGH, 2003).

Figura 4 - Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda.



Fonte: Pinto (2012)

Dentro do material semicondutor do LED, os elétrons e os buracos se encontram nas bandas de energia, banda de valência e banda de condução. A separação destas bandas, isto é o gap da banda, determina a energia dos fótons emitidos pelo LED. (SANTOS, 2021).

A banda de valência é a região de energia em um material onde os elétrons normalmente residem quando estão em seu estado de menor energia. Os elétrons na banda de valência estão "ligados" aos átomos e não contribuem para a condução elétrica, pois precisariam adquirir mais

energia para se moverem para uma banda de energia superior. A banda de condução é a região de energia em um material onde os elétrons têm energia suficiente para se moverem livremente e contribuir para a condução elétrica. O gap da banda é a diferença de energia entre a banda de valência e a banda de condução. Este intervalo de energia proíbe os elétrons de ocuparem estados de energia intermediários entre as duas bandas, ou seja, os elétrons precisam de uma quantidade mínima de energia para saltar da banda de valência para a banda de condução.

No local onde havia um elétron de valência, passa a existir uma região com carga positiva, uma vez que o átomo era neutro e um elétron o abandonou. Essa região positiva recebe o nome de lacuna, sendo também conhecida como buraco. As lacunas não tem existência real, pois são apenas espaços vazios provocados por elétrons que abandonam as ligações covalentes rompidas. (BERTOLI, 2011).

A luz, embora muitas vezes vista como uma onda eletromagnética, também exibe comportamento de partícula, que são chamadas de fótons. O físico Albert Einstein propôs que a luz poderia ser quantizada em pacotes de energia chamados fótons. Isso foi fundamentado pelo Efeito Fotoelétrico, onde a luz incidente sobre um material pode ejetar elétrons apenas se a energia dos fótons for suficiente para superar uma barreira de potencial.

Max Planck desenvolveu uma equação que relaciona a energia dos fótons ( $E$ ) com a frequência da luz ( $\nu$ ). Essa relação é crucial na compreensão de fenômenos quânticos e na explicação de como a energia dos fótons está relacionada com suas propriedades ondulatórias, como o comprimento de onda. A energia,  $E$ , do fóton emitido está relacionada ao comprimento de onda (e à frequência) pela relação bem conhecida da antiga teoria quântica:

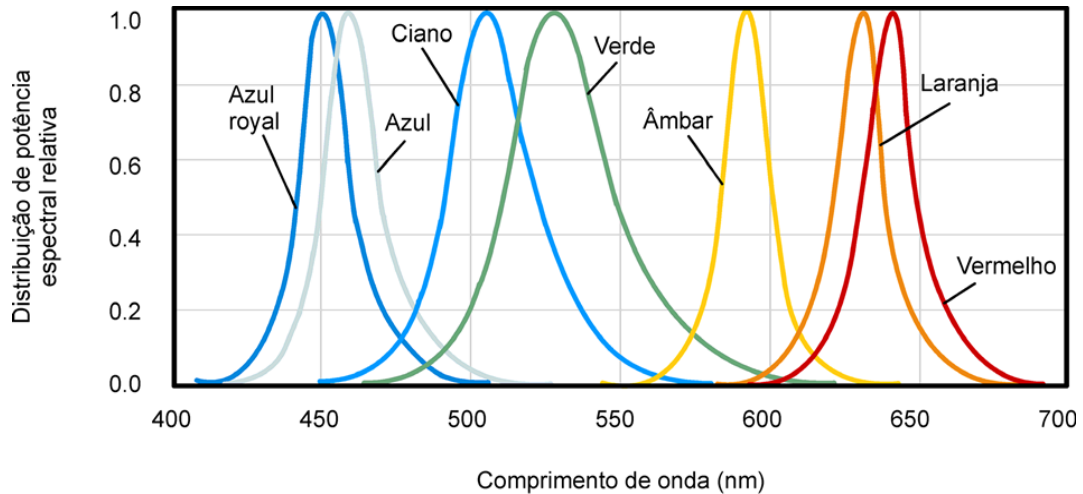
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

onde,

$$c = \lambda\nu \quad (2)$$

Na relação acima,  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz emitida,  $c$  é a velocidade da luz e  $h$  é a constante de Planck, cujo valor (SI) é  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ . Materiais semicondutores diferentes com diferentes gaps de energia irão produzir cores diferentes, isto é, luz com diferentes comprimentos de onda, pois a velocidade da luz,  $c$  é constante e vale  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Comprimentos de onda “precisos” (cores bem definidas) podem ser ajustados alterando-se a composição dos emissores de luz, ou da região ativa.

Figura 5 - Diferentes modelos de LEDs e seus respectivos comprimentos de onda.



Fonte: Pinto (2012)

Os modelos de LEDs mais conhecidos utilizam os compostos AlGaInP (*Aluminum Gallium Indium Phosphide*), formado por alumínio, gálio, índio e fósforo, e InGaN (*Indium Gallium Nitride*), formado por índio, gálio e nitrito. O primeiro composto é responsável pela emissão de luz vermelha, laranja e amarela e o segundo pelas tonalidades verdes e azuis (Bullough, 2003).

A luz branca pode ser obtida de várias maneiras (Cervi, 2005). O método mais simples para isso é a utilização de uma camada de fósforo na superfície de um LED azul. Assim, quando uma parte da luz azul atravessa a camada de fósforo, torna-se amarela. (Cervi, 2005).

## 2.6. Materiais semicondutores

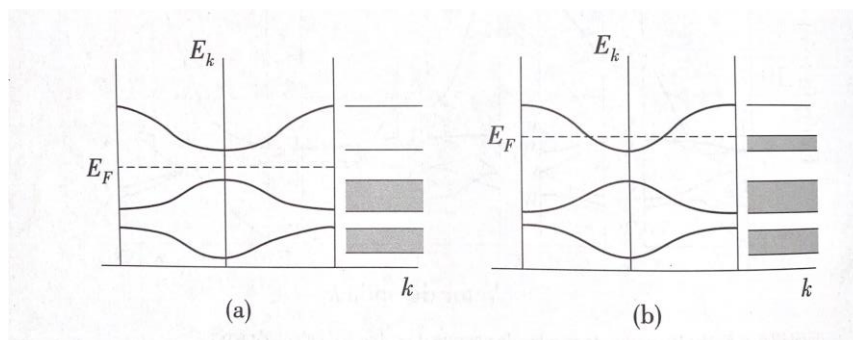
Um átomo isolado exibe estados com níveis discretos de energia. No entanto, em um sólido, a proximidade entre os átomos resulta em interações entre elétrons, perturbando assim os níveis de energia permitidos. Como resultado, esses níveis deixam de ser discretos e transformam-se em uma faixa contínua, conhecida como banda de energia. A maneira como essas bandas são preenchidas e a separação entre elas definem se um material é capaz de conduzir corrente elétrica a uma determinada temperatura, determinando assim se é classificado como um condutor, isolante ou semicondutor.

Segundo Rezende (2015), os isolantes, isto é, materiais que não conduzem corrente elétrica, são cristais que têm a última banda completamente cheia. Já aos materiais condutores,

também chamados metais, são os que têm a última banda semicheia. Os materiais que são isolantes a  $T = 0 \text{ K}$ , mas que têm  $E_g$  (energia do gap de banda) relativamente pequeno de ordem de 1 eV ou menos, à temperatura ambiente, têm condutividade significativa e por isso são chamados semicondutores.

À temperatura  $T = 0 \text{ K}$ , um isolante apresenta todos os estados da última banda ocupados, conforme ilustrado na Figura (a). Uma condição essencial para isso é a presença de um número par de elétrons por célula unitária. Por outro lado, os condutores exibem a última banda semipreenchida figura (b) resultado da característica de possuírem um número ímpar de elétrons por célula unitária.

Figura 6 - Representação esquemática do preenchimento da estrutura de bandas.



Fonte: Rezende (2015)

Sendo (a) isolante e (b) condutor, em temperatura  $T = 0 \text{ K}$ . Em cada caso, o nível de Fermi está representado pela linha tracejada  $E_F$ .

## 2.7. A física quântica e o LED

A física quântica é uma teoria fundamental que descreve o comportamento das partículas subatômicas, como átomos e partículas menores, e é crucial para entender o mundo em escalas muito pequenas. Seu desenvolvimento envolveu contribuições de vários cientistas importantes, os principais teóricos que contribuíram para o crescimento e consolidação dessa área foram Planck, Einstein, Rutherford, Bohr, Schrodinger e Heisenberg.

A Física Quântica emergiu, e em 1918, Max Planck foi laureado com o Prêmio Nobel de Física. A constante  $h$  foi introduzida pela primeira vez por Max Planck, no ano de 1901, para explicar a distribuição da intensidade espectral da radiação de um corpo negro.

Os corpos negros são aqueles cuja superfície absorve todas as frequências do espectro de radiação incidente e, quando aquecidos, emitem a maior intensidade de radiação possível para uma determinada temperatura. Nesta época, conhecia-se como a energia da radiação térmica de um corpo, mantido a uma determinada temperatura, se distribui entre as diversas frequências, porém nenhuma teoria havia sido capaz de propor uma explicação destes resultados experimentais, apesar das tentativas de Wien e de Rayleigh e Jeans (EISBERG; RESNICK, 1994).

Para abordar essa questão, Planck precisou postular que a energia por da radiação confinada na cavidade de um corpo negro, para uma frequência específica, não se espalhava de forma contínua, como previsto pela física clássica. Em vez disso, ela foi distribuída de maneira discreta, com valores proporcionais à frequência em questão. Foi a partir dessa hipótese que se originou uma relação renomada de quantização de energia.

## 2.8. Constante de Planck

Max Karl Ernst Ludwing Planck (Kiel - Alemanha, 1858), ao terminar o ensino médio, com 16 anos, Max perguntou ao físico Johann von Jolly se deveria seguir a carreira de cientista. Mas o amigo da família o desmotivou: "Neste campo, quase tudo já está descoberto, e tudo o que resta é preencher alguns buracos. Que tal música? Afinal, ele brilhará como soprano no coro infantil, tocava bem piano e órgão." (GOMES, 2016).

Planck respondeu que não queria descobrir coisas novas, apenas compreender os fundamentos conhecidos do assunto. Uma das grandes questões não resolvidas na física, no final do século XIX, foi a explicação das leis que regiam a emissão de radiação por corpos negros, que absorviam a maior parte das radiações e, portanto, eram visualmente opacas. Em 1899, durante suas investigações sobre radiações eletromagnéticas, Max Planck descobriu uma nova constante fundamental, que posteriormente foi batizada em sua homenagem como a Constante de Planck.

$$E = h\nu \quad (3)$$

na qual  $h$  ficou conhecida como constante de Planck, cujo valor é  $6,626 \times 10^{-34}$  J·s.

## 2.9. Constante de Planck e os leds

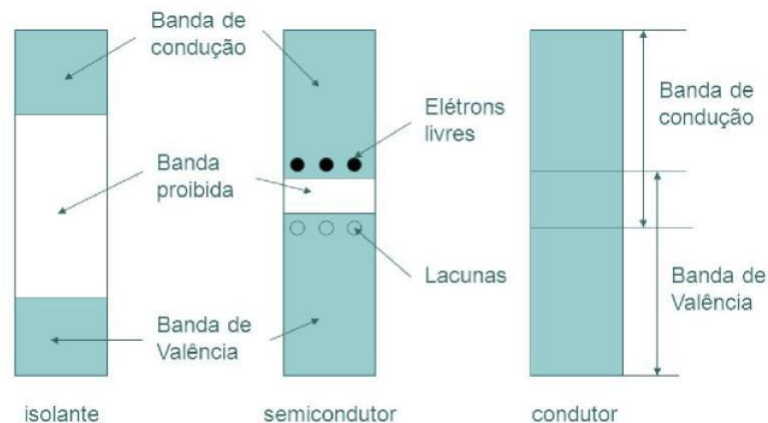
O comprimento de onda da luz emitida pelo "Conjunto Constante de Planck por Luminescência", depende do semicondutor utilizado e das impurezas de dopagem associadas



à ligação. O comprimento de onda depende de  $E_g$ , ou energia gap, da ligação, onde as radiações emitidas podem variar do infravermelho ao ultravioleta.

A energia da radiação eletromagnética está intrinsicamente ligada ao chamado "gap" de energia, que representa a quantidade de energia necessária para que um elétron faça a transição da Banda de Valência (BV) para a Banda de Condução (BC), conforme ilustrado na Figura 8. A luz emitida por um LED não é monocromática, como no caso dos lasers, no entanto, a largura espectral da sua banda de emissão é consideravelmente estreita, e a intensidade luminosa é significativamente maior quando comparada às lâmpadas.

Figura 7 - Representação esquemática de diagramas de banda.



Fonte: Vielza (2016)

Para que os elétrons possam transpor a barreira de potencial entre BV e BC a tensão mínima de agitação desses elétrons deve ser dada por (ZANATA, 2013):

$$V_0 = \frac{E_g}{e} \quad (4)$$

Quase toda energia dos elétrons é transformada em fótons, dessa forma, podemos entender que  $E_g = E_{fóton}$ , conhecendo essa expressão podemos relacionar a energia com a sua frequência,  $E_{fóton} = h\nu$ , assim concluímos a equação 2 para explicar o comportamento da emissão dos LEDs.

$$h\nu = eV_0 \quad (5)$$

Onde  $\nu$  corresponde a frequência,  $V_0$  é a tensão emitida do LED,  $e$  é a carga elementar do elétron e  $h$  a constante de Planck.

Por meio da emissão de fótons dos LEDs, e sabendo as relações entre a tensão, comprimento de onda e a constante de Planck, podemos utilizar o aparato "Conjunto Constante de Planck por luminescência para determinar a constante de Planck, dada pela seguinte equação

$$h = \frac{V_0 e \lambda}{c} \quad (6)$$

### 2.10. Obtenção da fórmula de cálculo da constante de Planck

De acordo com o conceito de energia como medida quantitativa das diferentes formas de movimento da matéria, podemos igualar as expressões quantitativas clássica e quântica da energia, obtidas na equação 2, e determinar o valor da constante de Planck  $h$ . (OLIVEIRA, I. 2020).

$$h = \frac{eV_0}{\nu} \quad (7)$$

A expressão da frequência linear tem a seguinte forma:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (8)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

Com base nos conhecimentos adquiridos durante a fase de fundamentação teórica, estamos agora preparados para dar início à elaboração da metodologia. Nessa etapa, detalharemos o procedimento experimental que será empregado na determinação constante do Planck.

## 3 METODOLOGIA

Este tópico apresenta a parte experimental deste artigo. Como ponto de partida serão pontuados os materiais utilizados e introduzidos os componentes eletrônicos utilizados para amostra real e comprobatória da constante de Planck. O experimento apresentado neste trabalho foi realizado no Laboratório de Óptica e Física Moderna da Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII em Araruna-PB.

Os materiais necessários para realizar o experimento foram:

- 01 interface Cidepe L200;
- 01 sensor de tensão;
- 01 sensor de corrente;
- 01 bateria 9 V;
- 01 Conector de Bateria;
- 05 LEDs (azul, amarelo, verde, vermelho e branco);
- 01 potenciômetro 50k  $\Omega$ ;
- 01 Protoboard;
- 01 Resistor de 1k  $\Omega$ ;
- 01 multímetro e o software da Cidepe, para facilitar a coleta dos dados experimentais.

### 3.1. Procedimento experimental

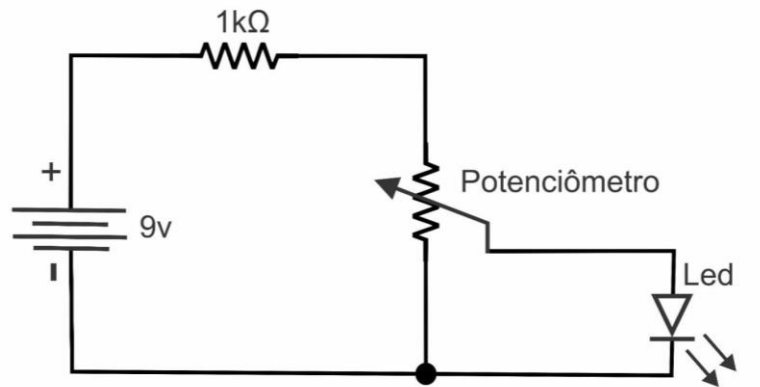
Dentre numerosos experimentos que podem ser eficazmente empregados para explorar a mecânica quântica, destaca-se o ensaio para calcular a constante de Planck por meio do uso de LEDs. Diversas configurações experimentais têm sido exploradas por vários pesquisadores, apresentando resultados notáveis em determinadas situações. As configurações divergem em relação aos aparelhos empregados, aos circuitos propostos e às abordagens utilizadas, embora a estrutura teórica conceitual permaneça constante.

Segundo Peruzzo (2013), “A teoria de Planck baseava-se em duas hipóteses onde a primeira diz: As partículas oscilantes que emitem radiação podem ter apenas determinadas quantidades de energia ( $En$ ), e valores discretos dados por: ( $En = n \cdot h \cdot f$ )[...]”. Acerca desta afirmação pode-se explicar a metodologia utilizada para realizar o experimento e, logo, demonstrar os resultados extraídos.

Inicialmente o circuito foi montado com o led em uma placa protoboard com trilhas de contato bem definidas. O circuito é formado por um potenciômetro de 50k  $\Omega$ , este bloco entre potenciômetro é alimentado por uma tensão de 9 V. Em paralelo a este bloco é ligado o led, em série com um resistor, desta forma podemos ajustar o potenciômetro de forma a alimentar a

tensão no led com a intensidade que desejamos. Logo após foi empregada a montagem do circuito elétrico que, por sequência lógica, permite fazer a medição dos valores de tensão e corrente no LED. Este circuito ficou disposto da forma descrita visualmente no layout do circuito mostrado na figura abaixo.

Figura 8 – Representação esquemática do circuito.



Fonte: elaborada pela autora (2023)

Esse procedimento foi realizado para cada um dos leds e utilizando um voltímetro para medir a intensidade de tensão nos leds, pois como são de cores diferentes usam quantidades de energia diferente para acender e emitir luz. Para isso foi utilizado a matriz de contato para montar um circuito para cada led, pois precisávamos separá-los para conseguir calcular o comprimento de onda de cada um deles.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Após a obtenção dos dados coletados relativos as tensões limiars de cada LED, para alcançarmos resultados satisfatórios, é crucial empregar diversos LEDs de tonalidades distintas, a fim de construirmos um conjunto de dados estatisticamente robusto, e fazendo o uso dos princípios teóricos como base, juntamente com os comprimentos de onda encontrados é possível derivar algumas conclusões. Os resultados experimentais estão explicitados a seguir: A tabela abaixo mostra valores já estabelecidos de Tensão (V) e Corrente (mA) de trabalho para LEDs de cores diferentes.

Quadro 1 - Valores de tensão e corrente elétrica adequados para o funcionamento de um LED padrão.

LEDs		
Cor do LED	Tensão em volts (V)	Corrente (mA)
Vermelho	1,8V - 2,0V	20 mA
Amarelo	1,8V - 2,0V	20 mA
Laranja	1,8V - 2,0V	20 mA
Verde	2,0V - 2,5V	20 mA
Azul	2,5V - 3,0V	20 mA
Branco	2,5V - 3,0V	20 mA

Fonte: CIDEPE (2023)

As tabelas abaixo contêm os dados referente aos comprimentos de onda ( $\lambda$ ), Tensão limiar (V0) e corrente (mA).

Tabela 1 – Comprimento de onda dos LEDs

LED	COMPRIMENTOS DE ONDA ( $\lambda$ )
Vermelho	645nm
Verde	568nm
Azul	470nm
Amarelo	583nm

Fonte: CIDEPE (2023)

Ao polarizarmos diretamente o LED por meio do circuito delineado, podemos ajustar o potencial elétrico sobre ele utilizando o potenciômetro, que desempenha o papel de um divisor de tensão ajustável. Conforme alteramos o valor da tensão aplicada ao LED, o Voltímetro (V) indica esse valor, enquanto o Amperímetro (A) registra a corrente que atravessa sua junção. Dessa maneira, conseguimos os dados da tabela 2 e 3 que representa a relação entre a tensão limiar e a corrente em LEDs de diversas cores.

Tabela 2 – Tensão limiar (V0)

LED	Tensão limiar (V0)
Vermelho	1,92 V
Verde	1,99 V
Azul	2,68 V
Amarelo	2,25 V

Fonte: elaborada pela autora (2023)

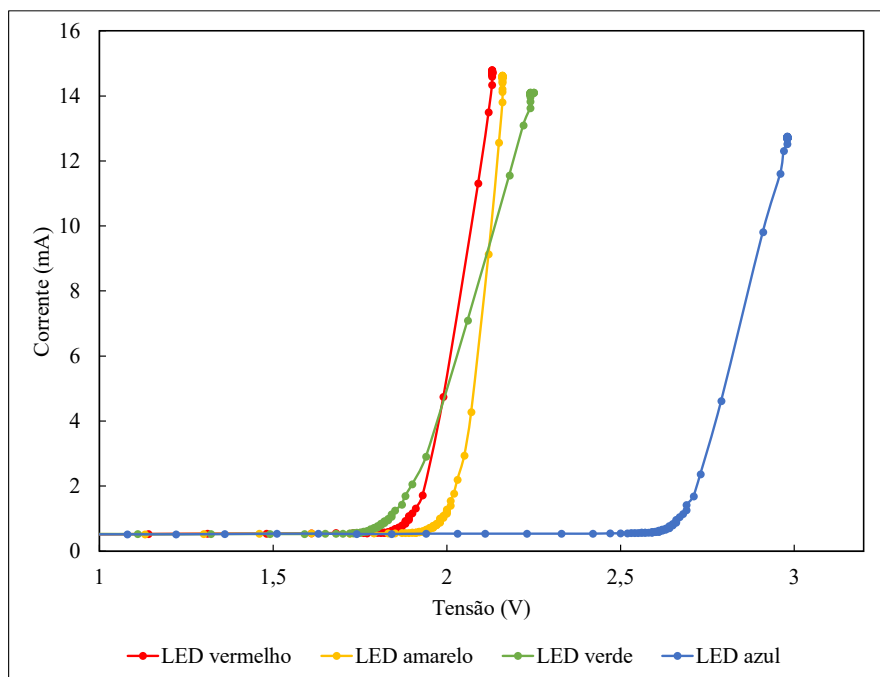
Tabela 3 - Corrente (mA)

LED	Corrente (mA)
Vermelho	6,62 mA
Verde	6,54 mA
Azul	6,91 mA
Amarelo	6,39 mA

Fonte: elaborada pela autora (2023)

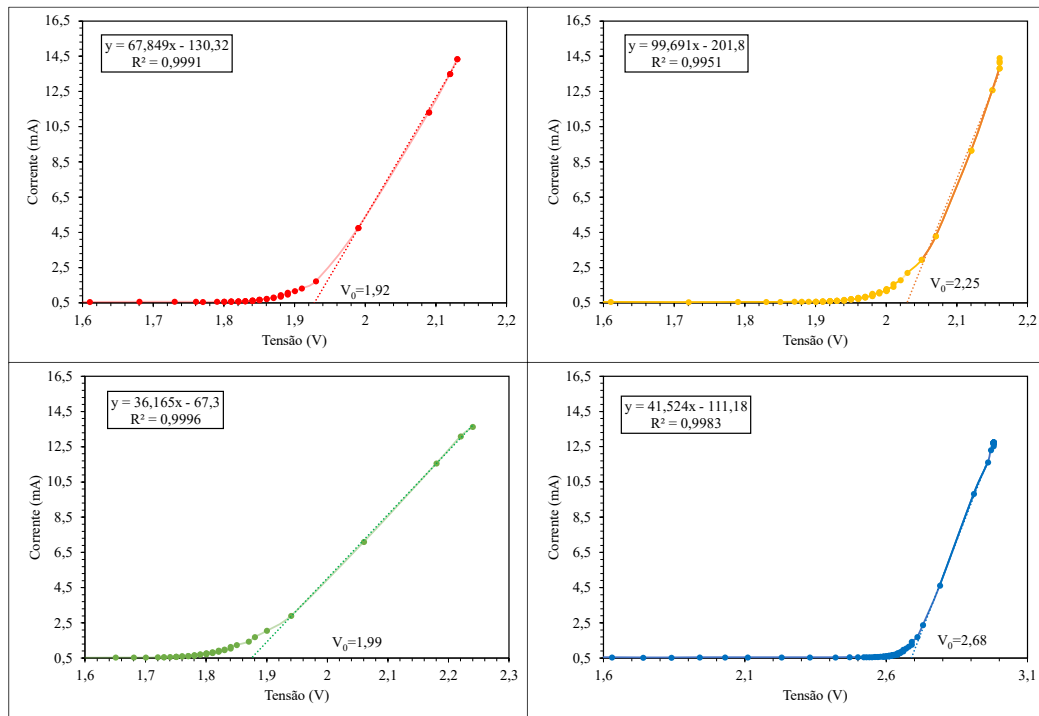
Os dados coletados foram essenciais para compreender as características elétricas dos LEDs estudados. Ao analisar a Tabela 1, podemos observar como diferentes limiares de tensão ( $V_0$ ) para cada LED, o que indica a tensão mínima necessária para que o LED inicie a corrente elétrica. Esses valores são consistentes com a teoria apresentada na fundamentação teórica.

Através dos dados coletados e que estão representados nas tabelas acima, além dos dados, podemos construir um gráfico relacionando a tensão com a corrente, até o ponto onde atingimos a tensão limiar  $V_0$ , como demonstrado na Figura abaixo:

Figura 6 - gráfico  $i \times V$ 

Fonte: elaborada pela autora (2023)

Os gráficos gerados a partir dos dados coletados também oferecem uma visualização clara das relações entre tensão e corrente para cada LED estudado. Esses gráficos fornecem informações adicionais sobre as características elétricas e o comportamento dos LEDs.

Figura 7 - gráfico  $i \times V$ 

Fonte: elaborada pela autora (2023)

Apesar das diferentes cores de LEDs, e consequentemente diferentes comprimentos de ondas, nota-se que, a partir de uma determinada tensão, os gráficos passaram a se comportar de forma linear. A diferença nos gráficos para baixas tensões se dá por conta da resolução do multímetro aqui utilizado, além disso, o software da Cidepe, para facilitar a coleta dos dados experimentais, exclui os dados referentes as tensões onde se começa a haver uma transição da banda de valência para a banda de condução.

A tabela a seguir apresentam os dados obtidos para determinação da constante de Planck para todos os LEDs utilizados nesse trabalho.

Tabela 4 – Valores obtidos para a constante de Planck.

Cor do LED	Vermelho	Amarelo	Verde	Azul
Tensão limiar	1,92 V	2,25V	1,99V	2,68V
Coefficiente angular da reta a	67,849	99,691	36,165	41,524
Coefficiente linear da reta b	-130,32	-201,8	67,3	-111,18
Constante de Planck	$6,62 \cdot 10^{-34} J.s$	$6,39 \cdot 10^{-34} J.s$	$6,03 \cdot 10^{-34} J.s$	$6,72 \cdot 10^{-34} J.s$
Erro Percentual	0,007%	3,530%	8,957%	1,455%

Fonte: elaborada pela autora (2023)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na precisão dos resultados obtidos e nas discussões desenvolvidas ao longo deste trabalho, é possível concluir que os equipamentos propostos são altamente adequados para investigar fenômenos relacionados à física moderna de maneira prática, interativa e inovadora. Esses instrumentos têm o potencial de cultivar uma nova perspectiva no aprendizado, introduzindo-os de maneira eficaz ao uso da tecnologia da informação por meio da computação e eletrônica.

A proposta deste trabalho, foi encontrar outros meios experimentais para determinar a constante de Planck, que foi realizado através da tensão limiar da emissão de luz do LED, pela frequência e o coeficiente angular do gráfico de corrente versus tensão. Todos os resultados estão de acordo dentro da margem de erro.

Com base nessas informações, podemos concluir que a análise das características elétricas dos LEDs em circuitos utilizando a placa protoboard é fundamental para entender seu desempenho e aplicação prática. Os resultados obtidos corroboram com a teoria apresentada e fornecem uma base sólida para a utilização desses dispositivos em projetos eletrônicos.

É importante ressaltar que, além das tabelas e gráficos apresentados nesta seção, outros fatores, também devem ser considerados ao projetar e utilizar os LEDs em circuitos. Esses resultados são apenas uma parte do estudo abrangente necessário para uma análise completa e aprofundada dos LEDs em eletrônica de potência.



## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles. **Fundamentos de circuitos eletrônicos**. 5. ed. - Porto Alegre: AMGH, 2013.

ARMANDO, P. **Diodos**. Ministério da educação secretaria de educação profissional e tecnológica instituto federal de educação, ciência e tecnologia de Santa Catarina. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/2/21/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_Diodos\\_2009\\_1\\_modificada2.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/2/21/Introdu%C3%A7%C3%A3o_Diodos_2009_1_modificada2.pdf)>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

BERTOLI, R. A. **Eletrônica** [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://pt.slideshare.net/claudemir\\_rc/apostila-eletronica-basica-2](https://pt.slideshare.net/claudemir_rc/apostila-eletronica-basica-2) Acesso em 26 novembro 2023.

BOTELHO, Guilherme Lima; FERRONATO, Jéferson. **Diodo Semicondutor**. [S.l.: s.n.]. BULLOUGH, J. D. **Lighting answers: LED Lighting Systems**. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, Issue 3, 2003.

CAMPOS, Érick Thomas de Sousa. **Luminosidade, cores e fotometria**. [S.l.: s.n.], 2017.

CAVALCANTE, M. A.; HAAG, R. **Corpo negro e determinação experimental da constante de Planck**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 3, p. 343-348, 2005.

CERVI, M. **Rede de iluminação semicondutora para aplicação automotiva**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CIDEPE. **Livro de Atividades**. Disponível em: <<http://www.cidepe.com.br/pt/produtos/fisica>> .Acesso em 23 de outubro de 2023.

EISBERG R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. 9. ed. S.L.: Campus, 1994.

GOMES, Alaíne. **Max Planck (1858 - 1947)**. Disponível em: [Max Planck \(1858 – 1947\) | GPET Física \(unicentro.br\)](#). Acesso em: 23 de outubro de 2023.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 7. ed. São Paulo: Blucher, 2009. v. 3.

OLIVEIRA, C.; ZANETTI, H. **Conceitos Fundamentais de Eletrônica**. Disponível em: <https://www.trilhas.iar.unicamp.br/curso/arduino/conceitoseletronica.pdf>. Acesso em 15 novembro 2023.

OLIVEIRA, I. N. DE et al. **Estudo das propriedades do Diodo Emissor de Luz (LED) para a determinação da constante de Planck numa maquete automatizada com o auxílio da plataforma Arduino**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, 2020.

PINTO, Rafael Adaime et al. **Sistemas eletrônicos para iluminação de exteriores empregando diodos emissores de luz (leds) alimentados pela rede elétrica e por baterias.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

RAMOS, S. et al. **Determinação da constante de Plank utilizando LEDs.** Revista científica semana acadêmica, 2018.

REIS, F. DOS. **Como funciona um LED - Diodo Emissor de Luz.** Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/como-funciona-um-led-diodo-emissor-de-luz/>>. Acesso em 09 de novembro de 2023.

REZENDE, Sergio M. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos** – 4ªed. – São Paulo:Editora Livraria da Física, 2015.

SANTOS, Thamara Aquino dos. **Roteiro 01 Cte de Planck Com LED - Física Experimental v - Lab. De Física Moderna.** Disponível em: [www.passeidireto.com/arquivo/101707979/roteiro-01-cte-de-planck-com-led](http://www.passeidireto.com/arquivo/101707979/roteiro-01-cte-de-planck-com-led). Acessado em 19 nov. 2023.

VIELZA DE LA CRUZ, Yoandris. **Evolução da superfície de Fermi do La<sub>2</sub>-xSrxCuO<sub>4</sub>: estados locais de Wannier/Hartree-Fock.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

ZANATA A. R. **Constante de Plank. 2013.** Disponível em: [CtePlanck\\_1.pdf \(usp.br\)](#). Acesso em: 23 de outubro de 2023.