



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MARIA LUCINARA DA SILVA PAIVA

**PROPOSTA DE UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL VOLTADA AO ESTUDO DA
EFICÁCIA LUMINOSA DE LÂMPADAS PARA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL**

PAU DOS FERROS – RN

2023

MARIA LUCINARA DA SILVA PAIVA

**PROPOSTA DE UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL VOLTADA AO ESTUDO DA
EFICÁCIA LUMINOSA DE LÂMPADAS PARA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharela em Interdisciplinar Ciência e Tecnologia.

Orientador: Paulo Henrique das Chagas Silva,
Prof. Dr.

PAU DOS FERROS – RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P149 Paiva, Maria Lucinara da Silva.
p Proposta de Uma Atividade Experimental Voltada
Ao Estudo Da Eficácia Luminosa De Lâmpadas Para
Iluminação Residencial / Maria Lucinara da Silva
Paiva. - 2023.
47 f. : il.

Orientador: Paulo Henrique das Chagas Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Lâmpada. 2. Eficácia Luminosa. 3. LED. 4.
Incandescente. I. Silva, Paulo Henrique das
Chagas , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA LUCINARA DA SILVA PAIVA

PROPOSTA DE UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL VOLTADA AO ESTUDO DA
EFICÁCIA LUMINOSA DE LÂMPADAS PARA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia,
da UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharela em Interdisciplinar
em Ciência e Tecnologia.

Pau dos Ferros-RN, 13 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 PAULO HENRIQUE DAS CHAGAS SILVA
Data: 18/10/2023 16:55:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Henrique das Chagas Silva (Orientador)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Documento assinado digitalmente
 FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDO
Data: 18/10/2023 15:47:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Documento assinado digitalmente
 JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA
Data: 13/10/2023 11:44:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Wagner Cavalcanti Silva

Universidade Federal de Campina Grande

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata à Deus, por guiar meus passos pelo caminho da vida, por me conceder forças para enfrentar as batalhas e os obstáculos propostos, e por me abençoar com saúde para continuar seguindo em frente.

Agradeço à minha família e meus amigos por todo apoio, amor e carinho prestado. Sou grata aos meus pais por todo cuidado e dedicação comigo, assim como sou grata pelo meu parceiro de vida, que sempre acreditou em mim e me proporcionou suporte emocional.

Gostaria de agradecer a todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica, com destaque ao Professor Wagner que me guiou, acompanhou de perto, teve paciência para me ensinar e comprometimento ao longo do projeto, seus conselhos e conhecimentos compartilhados foram essenciais para a minha formação acadêmica.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador Paulo Henrique por ter aceitado o convite/desafio, e pelo conhecimento compartilhado. Seus feedbacks construtivos ajudaram a aprimorar este trabalho.

Da mesma maneira, gostaria de agradecer ao Professor Segundo por aceitar o convite para fazer parte desta banca e por suas valiosas contribuições durante a defesa do meu TCC.

Sou grata à banca avaliadora, por dedicarem seu tempo e conhecimento para avaliar meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Com gratidão,

Maria Lucinara da Silva Paiva.

RESUMO

O estudo tem como foco principal propor uma sequência didática para o estudo da eficácia luminosa das lâmpadas incandescentes e de LED, que são comumente usadas para iluminação residencial. As lâmpadas incandescentes possuem pouquíssima eficácia luminosa, pois a maior parte da energia é transformada em calor, já as lâmpadas de LED são mais eficientes e oferecem economia no consumo de energia elétrica, além de conseguirem entregar uma iluminação de qualidade. Nesse contexto, a pesquisa objetivou analisar e delinear um protocolo experimental que possibilite estudar a eficácia luminosa das lâmpadas de iluminação residenciais, com o intuito de abordar conhecimentos importantes que influenciam no nosso cotidiano, assim como também na economia de energia, por meio de uma sequência didática voltada aos estudantes do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros do curso de Ciência e Tecnologia no âmbito do laboratório de eletricidade e magnetismo.

Com base nos resultados obtidos através dos ensaios experimentais, o protocolo experimental delineado apresentou resultados satisfatórios no que diz respeito aos valores obtidos para a eficácia luminosa das lâmpadas utilizadas. Esses valores, dentro da precisão dos instrumentos utilizados nos ensaios, foram bastante próximos dos fornecidos pelos fabricantes das lâmpadas.

Palavras-chave: Lâmpada; Led; Incandescente; Protocolo; Eficácia luminosa.

ABSTRACT

The study's main focus is to propose a didactic sequence for examining the luminous efficacy of incandescent and LED lamps, which are commonly used for residential lighting. Incandescent bulbs have very low luminous efficacy because most of the energy is converted into heat, whereas LED lamps are more efficient and offer energy savings, as well as delivering quality lighting. In this context, the research aimed to analyze and outline an experimental protocol that enables the study of the luminous efficacy of residential lighting lamps, with the aim of addressing important knowledge that influences our daily lives, as well as energy savings through a didactic sequence aimed at students at the Pau dos Ferros Multidisciplinary Center of the Science and Technology course, within the scope of the electricity and magnetism laboratory.

Based on the results obtained from the experimental tests, the outlined experimental protocol presented satisfactory results in terms of the values obtained for the luminous efficacy of the lamps used. These values, within the precision of the instruments used in the tests, were very close to those provided by the lamp manufacturers.

Keywords: Lamp; LED; Incandescent; Protocol; Luminous efficacy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Intensidade média se propaga igualmente em todas as direções	19
Figura 2	– Ângulo sólido entre dois paralelos de uma esfera	22
Figura 3	– A seção transversal da esfera da figura	23
Figura 4	– Informações sobre as características de um multímetro digital na função voltímetro.....	24
Figura 5	– Arranjo experimental.....	26
Figura 6	– Pontos de vista do caixinha de papelão, juntamente com o luxímetro	32
Figura 7	– Pontos de vista do bocal, juntamente com a lâmpada.....	33
Figura 8	– Figura ilustrativa do esquema elétrico do circuito.....	34
Figura 9	– Circuito elétrico do esquema	34
Figura 10	– Figura ilustrativa dos raios refletidos	35
Figura 11	– Figura demonstrativa para o entendimento da angulação zonal.....	38
Figura 12	– Figura demonstrativa para o entendimento da angulação zonal da lâmpada LED.....	39
Figura 13	– Figura demonstrativa para o entendimento da angulação zonal da lâmpada incandescente.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Área, ângulo sólido e angulação zonal.....	39
Tabela 2	– Dados médios da lâmpada LED de 7W.....	39
Tabela 3	– Fluxo luminoso total da lâmpada LED de 7W, juntamente com a eficácia luminosa.....	40
Tabela 4	– Dados médios da lâmpada LED 9W.....	41
Tabela 5	– Fluxo luminoso total da lâmpada LED de 9W, juntamente com a eficácia luminosa.....	41
Tabela 6	– Dados médios da lâmpada incandescente de 60W.....	42
Tabela 7	– Valor do ângulo sólido, juntamente com o fator zonal para as lâmpadas incandescentes	43
Tabela 8	– Fluxo luminoso total da lâmpada incandescente de 60W, juntamente com a eficácia luminosa.....	43
Tabela 9	– Dados médios da lâmpada incandescente de 40W.....	44
Tabela 10	– Fluxo luminoso total da lâmpada incandescente de 40W, juntamente com a eficácia luminosa.....	44
Tabela 11	– Tabela de equivalência.....	45
Tabela 12	– Valores médios com suas respectivas incertezas propagadas.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Eletricidade e Potência Elétrica	16
2.2	Conceitos Básicos de Luminotecnica.....	17
2.2.1	O que é Eficácia Luminosa?.....	20
2.2.2	Fluxo Radiante.....	20
2.2.3	Intensidade Luminosa.....	21
2.2.4	Iluminância Média.....	22
2.2.5	Fator Zonal.....	23
2.2.6	Fluxo Luminoso Total.....	24
2.3	Incertezas Instrumentais.....	25
2.4	Erros Laboratoriais.....	27
2.5	A Importância das Práticas Experimentais no Ensino.....	28
2.6	Sequência Didática.....	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Metodologia do Trabalho.....	31
3.2	Metodologia do Experimento.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	Coleta de dados e Discussões.....	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Muito se discute sobre os tipos das lâmpadas e sua importância. Nesta pesquisa, iremos discutir sobre as 2 principais lâmpadas para iluminação residencial: a lâmpada incandescente e a lâmpada LED, fazendo uma análise comparativa experimental entre essas lâmpadas.

Durante o século XIX, ocorreu uma descoberta importante, o surgimento da luz elétrica, chamada de arco voltaico, inventada por Humphry Davy (1778 – 1829). Desde então, houve evoluções significativas e melhoria na iluminação. Dentro de pouco tempo surge a primeira lâmpada elétrica, a incandescente, criada por Thomas Edison (1847 – 1931), dessa vez, usando um filamento de carbono, fazendo com que tenha maior duração, tornando-se viável para comercialização; apesar dessa melhoria, a lâmpada incandescente tinha somente 1,41 [lm/W] de eficácia luminosa, ela transformava apenas 5% da energia elétrica consumida em luminosidade e os outros 95% eram transformados em calor, dessa maneira, houve uma maior necessidade para aumentar a eficácia luminosa, e assim surgiram então as lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs) que, além de serem mais econômicas, não esquentavam tanto o ambiente.

Dessa maneira, foram destacando novas ideias e melhorias nas lâmpadas, até a chegada da lâmpada LED, nas quais são as atuais lâmpadas do mercado e consideradas as mais eficientes desde então. A lâmpada LED funciona através de um diodo emissor de luz, diferentemente das lâmpadas incandescentes e fluorescentes que funcionam através de filamentos ou gás para produzir luz. A lâmpada LED quando comparadas com as anteriores, consegue influenciar diretamente na potência energética, gerando economia para o usuário, além de conter vida útil maior, e também gera menos impacto ambiental.

De acordo com Costa (2013), a iluminação de ambientes internos e externos deve ser utilizada de maneira adequada, pois fazendo bom uso da iluminação faz com que as pessoas que estão no ambiente adquirem conforto visual, além de influenciar no consumo de energia elétrica. Sendo assim, é preciso obter os conhecimentos relacionados à eficácia luminosa para fazer bons investimentos para esse uso, visando a necessidade de cada um.

Muito embora já se tenha conhecimento sobre a maior eficácia luminosa das lâmpadas construídas com a tecnologia de LED, quando comparada com àquelas desenvolvidas por meio dos fenômenos da incandescência, o estudo experimental, voltado ao ensino, da eficácia luminosa não tem sido realizado no âmbito dos laboratórios de eletricidade do Centro

Multidisciplinar de Pau dos Ferros. Sem dúvidas que há muitos trabalhos dedicados aos processos técnicos de construção desses dispositivos elétricos, assim como sobre as suas correspondentes eficácias. Contudo, no âmbito dos laboratórios voltados ao estudo da eletricidade, no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, não foram identificadas atividades experimentais voltadas à investigação da eficácia luminosa de lâmpadas para iluminação residencial. Dessa forma, o problema deste trabalho pode ser consubstanciado no seguinte questionamento: que protocolo experimental poderia ser delineado para o estudo da eficácia luminosa de lâmpadas para iluminação residencial?

Este trabalho tem como objetivo estudar a iluminância e eficácia luminosa de lâmpadas de LED e incandescente, assim como investigar a eficácia luminosa das lâmpadas de uso residencial, através de um arranjo experimental. Os modelos utilizados para a investigação foram as lâmpadas LED de 7 W e 9 W e suas respectivas equivalentes, as lâmpadas incandescentes de 40 W e 60 W, através dos dados coletados experimentalmente, serão compará-los com as especificações da eficácia luminosa fornecida pelo fabricante.

A importância deste tema reside na sua relevância para a eficiência energética, economia de energia e sustentabilidade ambiental. O consumo excessivo de energia elétrica tem um impacto significativo nos custos individuais e na demanda energética mundial. Portanto, entender a eficácia luminosa das lâmpadas residenciais ajuda não apenas os consumidores a economizarem em suas contas de eletricidade, mas também contribui para a redução do consumo total de energia e, conseqüentemente, para a redução dos efeitos ambientais associados à produção de energia elétrica. Este estudo busca fornecer percepções práticas que podem levar a escolhas mais sustentáveis e econômicas em iluminação residencial. Dessa forma, nota-se a necessidade de um planejamento pedagógico ou educativo para execuções práticas voltadas aos estudos da eficácia luminosa, nesse caso, pretende-se estudar a eficácia luminosa de lâmpadas para iluminação residencial nos laboratórios de Eletricidade do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros. Isso porque, como enfatizado anteriormente, não foram identificadas práticas laboratoriais orientadas a esta aprendizagem, que promoveria conhecimento básico aos estudantes do curso de Ciência e Tecnologia neste tema específico.

Este trabalho está organizado em 9 seções, cada uma possui um propósito para abordar os aspectos específicos do tema em questão. A estrutura geral deste documento segue: 2. Fundamentação Teórica: Foram explorados os principais conceitos para o entendimento do tema. 6. Metodologia: Descrevemos em detalhes os métodos e procedimentos que foram utilizados na coleta e análise de dados. 7. Resultados e Discussões: Apresentamos os principais

resultados da pesquisa e fizemos a interpretação e discussões referentes aos dados. 8. Considerações Finais: Resumimos as principais conclusões geradas ao decorrer do estudo. E por fim, Referências: Listamos todas as fontes utilizadas que agregaram em forma de conhecimento para o estudo. Essa organização foi aplicada para facilitar a compressão do conteúdo e a progressão lógica do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, iremos fazer o levantamento dos conceitos necessários que devem ser abordados neste trabalho.

2.1 ELETRICIDADE E POTÊNCIA ELÉTRICA

A eletricidade foi descoberta pelo filósofo grego Tales de Mileto, que ao atritar um âmbar a pedaço de pele de carneiro, foi capaz de observar que pedaços de palhas e fragmentos de madeira começaram a ser atraídos pelo próprio âmbar. No século XVII foram iniciadas pesquisas sistemáticas sobre a eletrificação por atrito, após isso, Otto von Guericke inventou uma máquina geradora de cargas elétricas. Em seguida, as máquinas elétricas evoluem de maneira significativa, até que uma invenção fundamental para uso prático surge, o para-raios, construído por Benjamin Franklin (Filho, 2007).

Ainda conforme Filho, 2007, a descoberta dos potenciais elétricos surge por Alessandro Volta, que inventou a voltaica, através dela (pilha de Volta), foi possível pela primeira vez uma fonte de corrente elétrica estável. Em seguida, foram criadas pilhas mais eficientes, e nessa mesma época, Raymond Louis Gaston Planté criou a bateria recarregável.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2016), a potência elétrica (P), é a taxa que a energia é passada da bateria para o dispositivo, logo, a equação a seguir relaciona à taxa de realização de um trabalho determinado em um determinado período de tempo.

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

Aqui, abrimos a equação acima, sendo que o primeiro termo ($\frac{dW}{dq}$) representa a taxa de variação do trabalho com relação a alguma quantidade de “q” (carga), na qual é definição da tensão V e o segundo termo ($\frac{dq}{dt}$) representa a taxa de variação dessa quantidade de carga com relação ao tempo que é a definição da corrente i .

$$P = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

Dessa maneira, considerando que o dispositivo conduz uma corrente elétrica i e está sujeito a uma diferença de potencial (ddp) V , obtemos:

$$P = V \cdot i \quad (3)$$

onde,

P é o potencial elétrico [Watts];

V é a diferença de potencial [Volts];

i é a corrente elétrica [Ampère].

Portanto, todas as três equações estão relacionadas e são maneira diferentes de calcular a potência em diferentes contextos, a Eq. (1) é uma definição geral, a Eq. (2) se aplica a situações onde a quantidade de carga varia e a Eq. (3) é específica para circuitos elétricos

Caso o componente seja um resistor, a potência também é dada por:

$$P = R \cdot i^2 \quad (4)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

onde,

R é a resistência do dispositivo [Ohm].

O conceito de potência elétrica é essencial na análise de circuitos elétricos, pois proporciona conhecimentos sobre a quantidade de energia elétrica ou quantidade consumida por um dispositivo elétrico. Ademais, também está associada a eficácia energética, pois dispositivos que são considerados mais eficazes, conseguem produzir uma maior quantidade de luz para uma quantidade consumida de energia elétrica.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE LUMINOTECNICA

Para poder executar a análise proposta neste trabalho, são necessárias as definições de algumas grandezas da área da luminotécnica, que estuda o uso adequado da iluminação

artificial, utilizando aspectos científicos, técnicos e estéticos, buscando elaborar ambientes iluminados de maneira eficiente e confortável para se exercer atividades humanas. Desta forma, existem várias relações que devem ser consideradas na elaboração de um projeto luminotécnico, sendo elas: ângulo sólido, fluxo luminoso, fluxo radiante, intensidade luminosa, iluminância, eficácia energética, entre mais (Costa, 2006).

Radiação luminosa: é uma forma de radiação eletromagnética, existem diferentes comprimentos de ondas e somente alguns comprimentos são visíveis aos olhos humanos. Na faixa do espectro eletromagnético, especificamente entre os raios infravermelho e os raios ultravioletas encontra-se a faixa da luz visível e nos comprimentos de onda entre 380 e 780 nm, no qual são capazes de sensibilizar o olho humano (Costa, 2006).

Luz e cores: como a luz emite ondas eletromagnéticas, com diferentes comprimentos, findam correspondendo a uma cor específica. Como por exemplo, a luz branca consegue ser decomposta em diferentes cores (núcleos) quando passa por uma gota de água gerando um arco-íris. Além disso, a palavra cor pode ser relacionada a três significados: cor percebida, cor psicofísica e cor objeto. Por cor percebida compreende-se a percepção de uma fonte luminosa. Por cor psicofísica é a capacidade de observar e conseguir diferenciar conjuntos de luz que possuam a mesma magnitude. Por cor objeto compreende-se que quando uma fonte de luz ilumina um objeto a cor é refletida ou transmitida por ele (Costa, 2006).

Fluxo radiante [Watt-Hora ou Joule (Φ_e)]: é o quanto de energia que consegue ser transportada por uma radiação.

Ângulo Sólido [esterradiano (ω_c) (sr)]: são ângulos tridimensionais, sua definição é voltada para a tridimensionalidade de uma esfera de raio R [m] e uma área A [m²] qualquer em sua superfície. Dessa forma, o ângulo sólido ω_c [sr] expresso em esterradianos será o resultado do quociente entre uma área A situada na superfície de uma esfera e o quadrado do seu raio R (Costa, 2006).

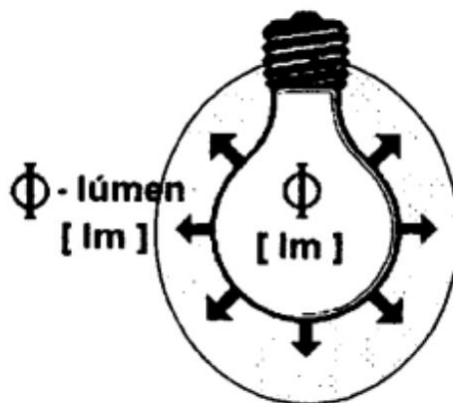
$$\omega_c = \frac{A}{R^2} \quad (6)$$

Fator zonal: é voltado para a planaridade, e sempre é considerado a fonte de luz no centro de uma esfera, sendo o raio da esfera representando a distância que vai da fonte até o ponto a ser iluminado, para seu cálculo, é necessário considerar dois paralelos que são delimitados por meio de dois ângulos sólidos α_1 e α_2 ; e tem como direção o ângulo médio α ,

é considerado a circunferência da zona esférica que está sendo formada pelo ângulo médio e sua área (Costa, 2006).

Fluxo Luminoso [Lúmen (lm)]: pode-se dizer que o lúmen mede a quantidade de luz que é percebida pelo olho humano, ou seja, quanto maior o número de lúmens emitidos por uma fonte de luz, mais brilhante ela é (Costa, 2006). Para melhor compreensão deste conceito, podemos citar como exemplo os dados médios obtidos experimentalmente da lâmpada incandescente de 40 W, obtemos 281 lúmens, isso implica dizer que essa lâmpada emite uma quantidade total de luz visível igual à 281 lúmens em todas as direções, como mostrado na Figura 1.

Figura 1: O fluxo luminoso que se propaga em todas as direções.



Fonte: Costa, 2006.

Potência energética [P (W)]: Mede a quantidade de energia elétrica necessária para fazer funcionar um circuito elétrico durante um determinado tempo, em outras palavras, é a quantidade de energia elétrica que é preciso para ligar a lâmpada (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Intensidade luminosa [Candela (I) (cd)]: a intensidade luminosa é uma medida da quantidade de luz que uma fonte de luz emite em uma direção específica. Ela é influenciada pela quantidade de fluxo luminoso emitido pela fonte de luz e pela direção em que a luz é emitida (Costa, 2006).

Iluminância [LUX (E) (lx)]: o lux mede a densidade do fluxo luminoso em um determinado ponto de uma superfície. Dessa forma, pode-se dizer que o lux mede a quantidade de luz que toca uma superfície (Costa, 2006).

2.2.1 O QUE É EFICÁCIA LUMINOSA?

A eficácia luminosa é justamente a junção dos conceitos de fluxo luminoso e potência elétrica, para obter a eficácia luminosa é necessário dividir a quantidade obtida de fluxo luminoso pela quantidade potência elétrica necessária para que a lâmpada fique ativa, dessa forma, obtendo a unidade respectiva a Lúmens por Watts (lm/W). Dessa maneira, nota-se a importância de avaliar a eficácia luminosa com o intuito de economizar energia elétrica ou até mesmo para o bem estar, como por exemplo, evitando desconfortos visuais (Costa, 2006).

A expressão 7 é utilizada para calcular a eficácia luminosa:

$$\eta = \frac{\varphi}{P} \quad (7)$$

onde:

η é a eficácia luminosa [lm/W];

φ é o fluxo luminoso da lâmpada em lúmens [lm];

P é a potência elétrica [W].

2.2.2 FLUXO RADIANTE

A partir do fluxo radiante, pode-se encontrar o fluxo luminoso através de sua derivada.

$$\phi_v = K_m \int V(\lambda) \cdot d\phi_e(\lambda) \cdot \frac{d\lambda}{d\lambda} \quad (8)$$

Onde:

$\phi_v = \phi$ é o fluxo luminoso [lm];

K_m é o valor do watt-luminoso = 683 lm/W;

$V(\lambda)$ é a eficácia luminosa espectral;

$\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ é a distribuição espectral do fluxo radiante [W].

Os limites da integral estão de acordo com a limitação visual que o olho humano possui (380-780 nm). O valor do coeficiente de $K_m = 683$ lm/W é dado a partir de uma radiação

monocromática de comprimento de onda igual a 555 nm e de 1 W, equivale a 683 lúmens. Pode-se dizer que este valor, é teoricamente o maior rendimento que pode ser obtido de uma fonte de luz (Costa, 2006).

O comprimento de onda λ [m] pode ser calculado através da relação entre a velocidade da luz c [m/s] e a frequência f [Hz], como mostra a expressão 9:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99 \cdot 10^8}{540 \cdot 10^{12}} \cong 5,55 \cdot 10^{-7} = 555 \text{ nm} \quad (9)$$

Sendo assim, pode-se dizer que o comprimento de onda de 555 nm foi escolhido por conta que corresponde ao valor máximo da visão fotópica e resulta na linha espectral onde a cor aproximada é verde-amarela. No entanto, o coeficiente 683, utilizado na definição de candela, está ligado com o fluxo radiante (Costa, 2006).

Ainda de acordo com o autor, a visão fotópica é um dos três tipos de visão que o ser humano possui, os outros dois são a visão escotópica e a visão mesópica. A visão fotópica é ativada em situações onde temos uma alta luminosidade, como por exemplo durante o dia, e essa visão é responsável pela percepção de cores.

2.2.3 INTENSIDADE LUMINOSA

De acordo com Costa (2006), a intensidade luminosa é dada pela expressão a seguir:

$$I_{\alpha} = \frac{\emptyset}{\omega} \quad (10)$$

onde:

$\emptyset$ é o fluxo luminoso entre α_1 e α_2 ;

ω é o ângulo sólido entre α_1 e α_2 ;

I_{α} é a intensidade luminosa na direção α .

Esta equação nos permite a obtenção do fluxo luminoso, através do produto da intensidade luminosa na direção de α e do ângulo sólido ω . A candela, em sua definição regrada, considerando uma dada direção, a fonte luminosa emite uma radiação monocromática

de frequência $524 \cdot 10^{12}$ Hertz e cuja intensidade energética, naquela mesma direção, é de $\frac{1}{683}$ Watts por esterradiano. Em um conceito mais simples, pode-se dizer que uma candela é a intensidade luminosa de uma fonte puntiforme em uma certa direção, na qual um ângulo sólido de 1 [sr] emite 1 lúmen (Costa, 2006). Para melhor compreensão, observar a Figura 2:

Figura 2: Intensidade média se propaga igualmente em todas as direções.



Fonte: Costa, 2006.

2.2.4 ILUMINÂNCIA MÉDIA

Conforme Costa (2006), a iluminância média é dada pela expressão a seguir:

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad (11)$$

Onde:

E é a iluminância, em [lux ou lm/m²];

φ é o fluxo luminoso da lâmpada, em lúmens [lm];

A é a área de abertura onde toca o fluxo luminoso, em metros [m²].

Para este trabalho, será obtido obter o lux através do luxímetro e será utilizada a área de abertura do detector. A partir disso, podemos isolar o fluxo luminoso na fórmula acima, já que é quem desejamos encontrar para aplicar em cálculos posteriores.

$$\varphi = E \cdot A \quad (12)$$

Através do fluxo luminoso, calcula-se a eficácia luminosa [lm/W].

Ainda segundo Costa (2006), o nível de iluminância média é organizado pela norma internacional e também é utilizado pela ABNT, por meio da NBR-5413. Ela varia de acordo

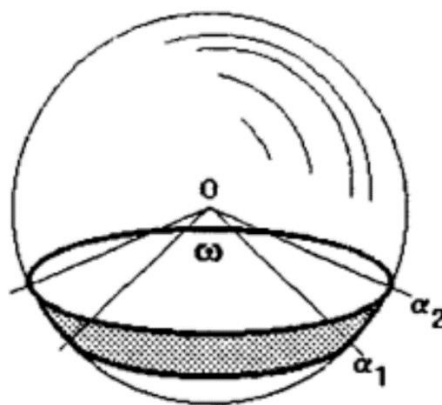
com a atividade que está sendo executada em um determinado espaço. Pode-se citar como exemplo, as áreas de trabalho, que precisam de uma iluminância mais alta em comparação com áreas de descanso, fazendo com que melhore o conforto e produtividade das pessoas. As recomendações para as áreas de trabalho, como escritórios, geralmente variam entre 500 e 750 lux.

2.2.5 FATOR ZONAL

De acordo com Costa (2006), o fator zonal é deduzido pelo processo a seguir:

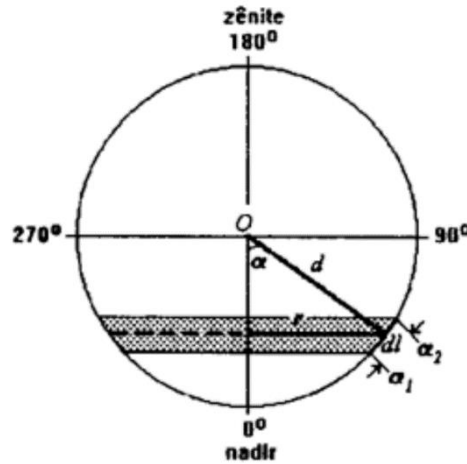
É necessário considerar dois paralelos que são delimitados por meio de dois ângulos planos α_1 e α_2 , e têm como direção o ângulo sólido médio α , sendo seu raio representado por r e seu comprimento pela diferencial do arco dl , conforme representado nas Figuras 3 e 4:

Figura 3: Ângulo sólido entre dois paralelos de uma esfera.



Fontes: Costa, 2006.

Figura 4: A seção transversal da esfera da figura.



Fontes: Costa, 2006.

Sabendo que a circunferência da zona esférica da análise é equivalente à $2 \cdot \pi \cdot r$.

A área da zona esférica equivale à $2\pi r dl$.

Da figura 4, obtém-se que: $dl = d \cdot \sin \alpha$ e $r = d \cdot \sin \alpha$

Partindo da definição de ângulo sólido:

$$d\omega = \frac{dA}{d^2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \sin \alpha \cdot d_\alpha}{d^2}$$

$$\omega_{1,2} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} 2 \cdot \pi \cdot \sin \alpha \cdot d_\alpha = 2\pi \cos \alpha, \text{ com limites de integração } \alpha_1 \text{ e } \alpha_2.$$

Portanto, a circunferência da zona esférica que está sendo formada pelo ângulo médio e sua área, se dá por:

$$\omega_{1,2} = 2\pi(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = \omega_z \quad (13)$$

Essa equação é utilizada para o cálculo do fator zonal.

2.2.6 FLUXO LUMINOSO TOTAL

Sabendo que o fluxo que chega ao detector (luxímetro) é somente uma parcela do fluxo luminoso total transmitido pela fonte luminosa, para o cálculo do fluxo luminoso total, que será expresso em lúmens, será o resultado da multiplicação do fluxo que chega ao detector pelo quociente entre o fator zonal (apresentado no subtópico acima) e o ângulo sólido considerado pela área de abertura do obturador reflexivo.

$$\varphi_T = \frac{\omega_z}{\omega_c} \cdot \phi_c$$

Simplificando a Equação acima, com as Eq. (5) e (12), obtemos:

$$\varphi_T = \omega_z \cdot E \cdot d^2 \quad (14)$$

2.3 INCERTEZAS INSTRUMENTAIS

Neste trabalho, foi considerado as incertezas instrumentais dos instrumentos utilizados para que haja um melhor desempenho nos cálculos.

Segundo Felix (2018), as incertezas instrumentais são utilizadas quando se é realizada apenas uma medida, resultando para mais ou para menos da medida. Dessa maneira é evidente que devemos considerar tais incertezas, avaliadas de acordo com cada instrumento que foi utilizado para apenas uma medição, gerando mais precisão para os cálculos.

De acordo com Silva (2015), de modo geral, em relação a qualquer processo de medida há uma incerteza específica quanto à limitação do próprio instrumento de medida. Sabendo que os dados são coletados a partir de dois tipos de instrumentos, o analógico e o digital, e que existem divergências de precisão entre eles, pois o analógico utiliza ponteiros, já o digital é através de aparelhos eletrônicos. Dessa forma, quando utilizamos instrumentos analógico para saber a incerteza do objeto, antes devemos saber sua resolução, a partir disso, podemos calcular a incerteza sendo como a metade da resolução do instrumento. Por exemplo, para o caso de uma régua (milimetrada), a sua menor variação ou a menor medida é de 1 mm, logo, sua incerteza será de 0,5 mm.

$$\delta x = \frac{\Delta x}{2} \quad (15)$$

Onde:

δx é a incerteza [unidade de medida do instrumento];

Δx é a menor medida do instrumento utilizado [unidade de medida do instrumento].

Dessa forma, a representação da medida junto a incerteza resulta na seguinte maneira:

$$X = (x \pm \delta x), [\text{unidade de medida do instrumento}].$$

Na maioria dos instrumentos conseguimos aplicar essa regra, porém, existem alguns instrumentos de medida que não a seguem, como o paquímetro (dependendo da sua resolução).

Já o instrumento digital é preciso ter informações sobre o equipamento, sendo assim, é utilizada a seguinte forma para calcular a incerteza de uma medida feita com esse tipo de instrumento:

$$\text{Incerteza} = \pm(\% \text{ do valor lido} + n^{\circ} \text{ de dígitos menos significativos}).$$

Como exemplo, podemos citar a medição da voltagem feita com um instrumento digital de um circuito qualquer, considerando que o multímetro foi colocado na escala de leitura de 40 Volts. Em certo ponto do circuito, foi verificado a medição e foi de 10,00 Volts, e através das informações fornecidas na tabela da Figura 5, podemos ver que a porcentagem da leitura para a escala utilizada (40V) é de 0,05%, e que o número de dígitos menos significativo é 1. O número de DMS será multiplicado pela resolução na escala do valor lido, dessa forma:

$$\delta V = (0,05\% \cdot 10V) + (1 \cdot 0,01V)$$

$$\delta V = 0,005 V + 0,01V$$

$$\delta V = 0,015 V$$

Logo, a medida realizada deve ser representada da seguinte maneira:

$$V = (10,00 \pm 0,02) \text{ Volts}$$

Figura 5: Informações sobre as características de um multímetro digital na função voltímetro.

Precisão

A precisão é dada pelo período de um ano após a calibração, de 18 °C a 28 °C, com umidade relativa de até 90% conforme:

$$\pm ([\% \text{ de leitura}] + [\text{número de dígitos menos significativos}])$$

Especificações de Tensão CC

Função	Faixa	Resolução	Precisão ¹		
					Model 87
CC (V)	4.000 V	0.001 V			± (0.05 % + 1)
	40.00 V	0.01 V			± (0.05 % + 1)
	400.0 V	0.1 V			± (0.05 % + 1)
	1000 V	1 V			± (0.05 % + 1)
CC (mV)	400.0 mV	0.1 mV			± (0.1 % + 1)

Fonte: Cabral, 2004. (Adaptado)

2.4 ERROS EXPERIMENTAIS

Neste trabalho, como qualquer pesquisa de caráter experimental, erros experimentais podem ser cometidos durante o desenvolvimento prático da coleta de dados. Eles podem ser divididos em dois grupos: erros sistemáticos e erros aleatórios.

De acordo com Dietz e Preston (1991, p.8) os erros sistemáticos, são de origem identificáveis, e, dessa maneira, é possível eliminá-los ou corrigir. Eles podem ser causados por conta de:

- Instrumental: surge quando os equipamentos utilizados não são ajustados de maneira correta, e acaba fazendo com que os resultados obtidos não sejam tão precisos;
- Observacional: a paralaxe na leitura de uma escala com ponteira;
- Ambientais: medir a frequência de luz lançada por um laser, que pode ter dependência com a temperatura ambiente;
- Teórico: desconsiderar a resistência do ar, ao medir a aceleração da gravidade baseada na medida do tempo de queda do objeto de uma altura fixa.

Os erros aleatórios, afetam diretamente na precisão da medida, nem sempre é possível identificar as causas destes. As possíveis fontes desses erros são:

- Observacionais: é causado devido à análise feito pelo observador ao fazer uma leitura da menor variação de uma escala, como por exemplo: ao medir o diâmetro de um círculo com o paquímetro, cuja sua menor variação é $x(\text{mm})$ com precisão na medida de $x(\text{mm})$;
- Ambientais: podem ser causados pela luz que entra no ambiente através das janelas, correntes de ar, variações inesperadas da voltagem na rede elétrica, fazendo com que possam acabar alterando os resultados.

Os erros aleatórios, diferentemente dos erros sistemáticos, podem ser analisados quantitativamente através de métodos estatísticos, dessa forma, o resultado dos erros aleatórios sobre tal quantidade ou lei física sob estudo, de maneira geral podem ser determinados.

2.5 A IMPORTÂNCIA DAS PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO

As práticas experimentais são de alta relevância, seja para o ensino, ou para uma pesquisa científica, elas são voltadas para as atividades realizadas em laboratório com propósitos de pesquisa, análises, testes e experimentação a fim de fazer com que os estudantes desenvolvam habilidades de resoluções de problemas e compreendam conceitos básicos. A experimentação consegue despertar o interesse dos estudantes e é comum escutar de professores que ela proporciona o aumento da competência de aprendizagem, pois a formação do conhecimento científico do pensamento depende de um procedimento experimental e se dá principalmente no desenvolvimento de atividades investigativas (Giorvan, 1999).

Uma atividade de natureza investigativa demanda do estudante a tomada de decisões acerca de um caminho a ser seguido para a resolução de problemas, ou seja, é um processo de análise, pois o estudante precisa inicialmente identificar o problema, conceber métodos de desenvolvimento, a fim de chegar a conclusões sobre o que foi observado. Portanto, a experimentação por meio da pesquisa oferece aos estudantes a oportunidade de desenvolver a observação, diálogo, colaboração em equipe, entre outras características (Araújo; Abib, 2003).

A prática experimental deve destacar a utilização de montagens experimentais com o objetivo de reunir informações e prosseguir com sua análise e interpretação, buscando sempre estabelecer uma ligação com os resultados obtidos. Essas abordagens investigativas, conforme ressaltado por Hofstein e Lunetta (2003), retiram o estudante do papel de sujeito passivo, que executa a experiência como se estivesse seguindo uma instrução padrão, pois a ideia é a de relacionar, planejar, debater, entre outros fatores relevantes, o que não ocorre em uma abordagem convencional. Dessa maneira, o estudante consegue obter um melhor desenvolvimento de conhecimento e despertar novas habilidades com a prática experimental, enriquecendo o processo de aprendizagem e o tornando mais eficaz.

No que segue, será apresentado, o conceito de sequência didática com vistas a promover uma melhor compreensão acerca da proposta deste trabalho.

2.6 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Em qualquer metodologia elegida e empregada pelo professor na prática do processo ensino/aprendizagem, há um elemento fundamental que sempre estará inserido em tal processo: a tarefa ou atividade. Da perspectiva de Zabala (1998), este elemento pode ser entendido como uma unidade básica do processo ensino/aprendizagem, de fato:

Se examinamos uma das unidades mais elementares que constitui os processos de ensino/aprendizagem e que ao mesmo tempo possui em seu conjunto todas as variáveis que incidem nestes processos, veremos que se trata do que se denomina atividade ou tarefa. Assim, podemos considerar atividades, por exemplo: uma exposição, um debate, uma leitura, uma pesquisa bibliográfica, tomar notas, uma ação motivadora, uma observação, uma aplicação, um exercício, o estudo, etc. (Zabala, 1998, p. 14)

Contudo, de acordo com o mesmo autor, da perspectiva do processo empregado em alguma mediação pedagógica, essa unidade elementar, de forma isolada, não é suficiente para operar uma análise da prática educativa empregada. Para tanto, o autor recorre à definição de outra unidade elementar de análise da prática: a sequência de atividades ou sequência didática. É por meio desta unidade fundamental que é possível incorporar os três momentos envolvidos no processo de ensino/aprendizagem: planejamento, aplicação e avaliação.

A sequência didática é uma forma do professor organizar as atividades de ensino em função de um gênero textual oral ou escrito, com o intuito de atingir o objetivo didático estipulado (Dolz, Noverraz e Schneuwly, 2004).

Além disso, é importante considerar as diferenças entre os estudantes em relação a absorção do conteúdo abordado, e que nem sempre, um método padrão irá funcionar de maneira produtiva para todas as turmas e no decorrer das análises das turmas, o professor pode ir fazendo adaptações e/ou transformações na sequência didática a sua turma, desta forma, sempre procurando o melhor desempenho que a turma pode atingir mediante os conteúdos abordados (Dolz, Noverraz e Schneuwly, 2004).

No que concerne a este trabalho, circunscrevemos a nossa análise na dimensão do planejamento da sequência didática de modo que as outras dimensões da prática educativa abordada poderão ser investigadas em trabalhos futuros. Sendo assim, a exploração do tema foi planejada para ocorrer em uma aula contendo quatro momentos (Quadro 1). Em cada momento

será desenvolvida uma atividade (unidade elementar) integrando-a às demais, constituindo, dessa maneira, uma sequência didática. (Zabala, 1998).

3 METODOLOGIA

Nesta sessão, iremos abordar a metodologia do desenvolvimento do trabalho, assim como a metodologia do experimento realizado.

3.1 METODOLOGIA DO TRABALHO

Este trabalho, quanto a sua finalidade, trata-se de uma pesquisa aplicada, e quanto aos seus objetivos, podemos classificá-la como sendo uma pesquisa exploratória. No que se refere aos métodos que foram aplicados para a busca de uma solução para o problema, podemos defini-la como sendo uma pesquisa experimental. Este último aspecto nos remete, de imediato, ao atributo que caracteriza a abordagem quantitativa desta investigação.

A primeira etapa consistiu na seleção do aporte teórico, por meio do qual foram interpretados os resultados obtidos nesta investigação, com o objetivo de estudar e compreender os conceitos físicos utilizados para descrever os fenômenos de fluxo luminoso, intensidade luminosa e iluminância.

Em seguida, foi realizado um planejamento de uma sequência didática, na qual um dos momentos foi delineado um protocolo experimental para o estudo da eficácia luminosa de lâmpadas de iluminação residencial. O desenvolvimento do protocolo experimental, dependeu diretamente dos instrumentos de mensuração disponíveis no laboratório de eletricidade e magnetismo. Desse modo, foi executada uma investigação, através da execução experimental, a respeito dos parâmetros elétricos e luminosos que podem ser medidos.

Após a definição dos parâmetros que foram possíveis de serem mensurados, foi dado início aos ensaios destinados à medida da eficácia luminosa das lâmpadas de LED e incandescentes. Os resultados obtidos serão comparados com aqueles apresentados na literatura especializada com vistas a validar o protocolo experimental delineado.

3.2 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO

No que se refere à execução dos ensaios experimentais, foi delineado um protocolo para a mensuração da eficácia luminosa das lâmpadas selecionadas, foram estimadas amostras para

cada lâmpada. No que segue, estão listados os materiais utilizados para a construção do arranjo experimental.

01- 2 lâmpadas LED (7 W e 9 W) e 2 incandescente (40 W e 60 W);

02- 2 multímetros;

03- 1 interruptor;

04- 1 luxímetro;

05- 1 caixinha de papelão acoplada à um obturador reflexivo;

06- 1 laser;

07- 1 trena;

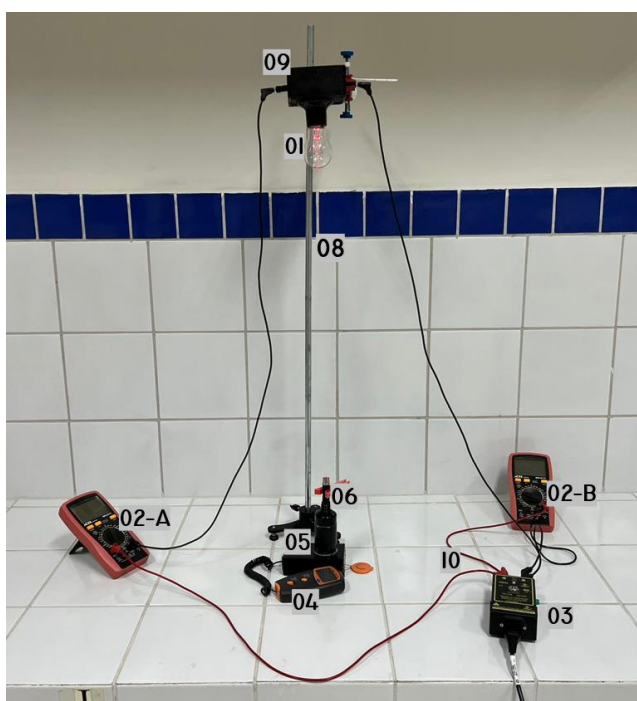
08- 1 suporte metálico;

09- 1 bocal;

10- 5 cabos plugues banana.

Os materiais listados acima estão indicados na foto do arranjo experimental, Figura 6.

Figura 6: Arranjo experimental.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O arranjo experimental mostrado na Figura 6 tem como função fazer a coleta dos dados necessários para que seja possível o cálculo da eficácia luminosa das lâmpadas residenciais selecionadas, os instrumentos serão detalhados ao longo do trabalho.

No arranjo experimental mostrado na Figura 6 foram conectados dois multímetros (02-A E 02-B), sendo que o 02-B foi utilizado para medir a tensão da rede elétrica estando conectado em paralelo ao circuito, e o 02-A foi utilizado para medir a corrente elétrica conectada em série. O suporte (08) serviu para apoiar a caixinha do bocal (08), o interruptor (03) foi necessário para ter um controle de acionamento, e o laser (06), foi utilizado para o alinhamento central com o ponto emissor de luz. A trena (07) que foi utilizada para medir a distância do luxímetro até a fonte de luz não é mostrada, mas no capítulo de resultados e discussões será informado as distâncias medidas de cada lâmpada com suas respectivas incertezas. A caixinha de papelão acoplada ao obturador reflexivo e o luxímetro serão detalhadas adiante.

O luxímetro estava dentro da caixinha de papelão acoplada ao obturador reflexivo, que foi utilizada com o intuito de diminuir as reflexões que estavam sendo causadas pelo ambiente laboratorial, como teto, paredes, entre mais, ver esquema da Figura 10 para o entendimento das reflexões. A Figura 7, mostra detalhadamente as vistas superiores e a lateral da caixinha de papelão acoplada ao obturador reflexivo e do luxímetro.

Figura 7: Pontos de vista do caixinha de papelão, juntamente com o luxímetro.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Observações da Figura 7: A vista superior (a) mostra bem como o luxímetro estava inserido na caixinha de papelão com acoplamento do obturador reflexivo, já a vista lateral (c) mostra o luxímetro e a caixinha juntamente com o apoiador do laser inserido diretamente no obturador reflexivo, foi necessário fazer essa adaptação com o laser por causa da necessidade de manter o alinhamento do luxímetro com o ponto emissor de luz central da lâmpada para que possamos calcular o fator zonal.

A seguir, a vista superior, inferior e lateral do bocal:

Figura 8: Pontos de vista do caixinha de bocal, juntamente com a lâmpada.

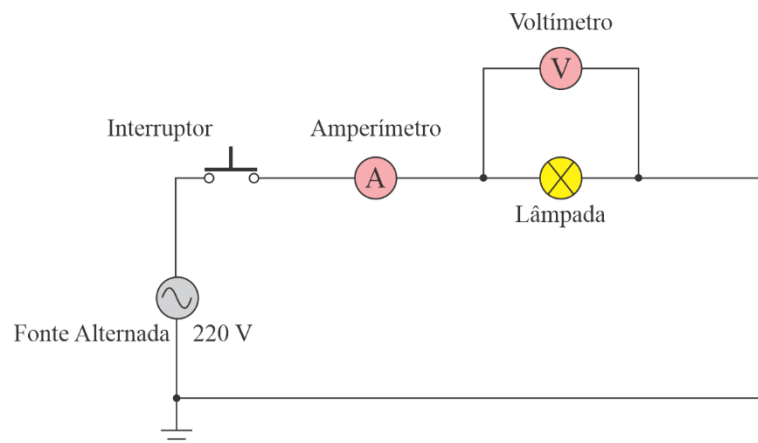


Fonte: Autoria própria, 2023.

Observações da Figura 8: a vista superior da caixa do bocal (c) mostra os polos ligados aos pinos para a conexão dos cabos plugues de banana. A vista inferior (b) é onde conectamos as lâmpadas.

A seguir, figura ilustrativa do esquema elétrico do circuito construído para a coleta de dados. Vale ressaltar que a plataforma possuía apenas fonte de tensão contínua, mas para o nosso caso, foi utilizada a tensão da rede elétrica da universidade. Logo, com ajuda de outro software, foi possível alterar os valores da fonte limitada da plataforma, conseguindo trazer para a realidade do trabalho, sendo o valor de um de nossos dados coletados, da lâmpada LED de 7 W.

Figura 9: Circuito elétrico do esquema.



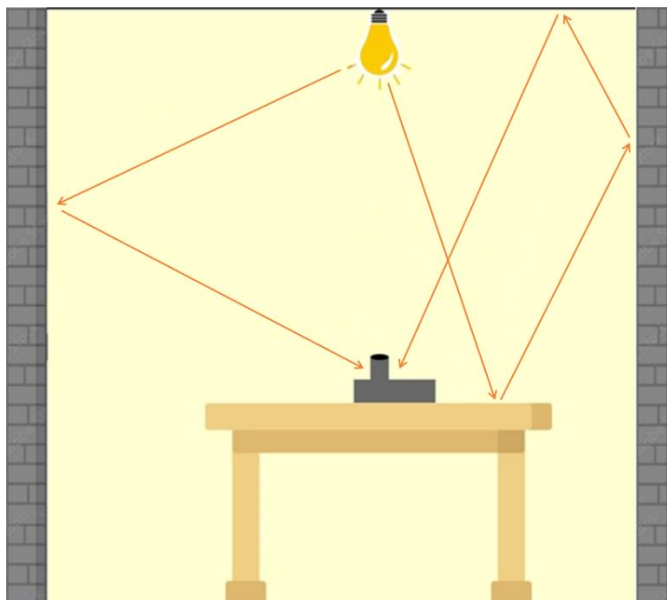
Fonte: PSim, 2023.

Na Figura 9, conseguimos observar o esquema elétrico do circuito com simbologias limitadas; contudo, os elementos do circuito estão identificados de acordo com o arranjo experimental mostrado na Figura 6.

A Figura 10 mostra de maneira clara o intuito da utilização da caixinha de papelão com o acoplamento de obturador reflexivo, que serve para diminuir os raios que são refletidos do

ambiente ou de objetos contidos no ambiente. Dessa forma, com obturador reflexivo tornou-se possível coletar a iluminância com menos interações dos raios refletidos e conseguindo obter resultados concisos.

Figura 10: figura ilustrativa das ondas refletidas.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Foi utilizado o mesmo circuito para todas as lâmpadas, tendo como diferença única de materiais a própria lâmpada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo inicia com a sequência didática proposta pelo trabalho, seguidamente com os resultados e discussões da pesquisa realizada no laboratório de Eletricidade e Magnetismo do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros sobre a eficácia de lâmpadas residenciais.

A sequência didática relacionada ao tema, foi planejada para 4 etapas, na qual estão descritas no quadro 1. Em cada etapa será desenvolvida uma atividade (unidade elementar) similares às demais, constituindo, dessa maneira, uma sequência didática (Zabala, 1998).

Quadro 1: Momentos constituintes da sequência didática.

Momento 1: Discussão sobre os parâmetros geométricos.
Momento 2: Exploração dos instrumentos de medida empregados no ensaio experimental e discussão sobre as grandezas diretas mensuradas.
Momento 3: Perscrutação do arranjo experimental
Momento 4: Execução dos ensaios experimentais e discussões dos resultados sob a lente da eficácia luminosa

No que segue, vamos descrever com mais detalhes as atividades realizadas em cada momento.

Momento 1 – Com vistas a introduzir o tema a ser trabalhado, será preciso definir algumas grandezas geométricas fundamentais ao desenvolvimento do tema central, tais como: ângulo sólido e fator zonal. Esses conceitos, neste momento, poderão ser definidos por meio de uma exposição teórica e, baseados em exemplos previamente selecionados, conduzir os estudantes à sua resolução. A turma pode ser dividida em grupos de trabalho, cujo tamanho ficará ao critério do professor e dependendo do tamanho da turma. Cada grupo irá analisar e resolver o exemplo que lhe será atribuído e, após sua resolução, promover o debate entre os grupos de tal forma que cada um deste apresente as peculiaridades do seu exemplo e faça um contraste com as de outro grupo de trabalho.

Momento 2 – Como tática para abordar os conceitos da área da luminotécnica, tal como iluminação, pode-se utilizar os instrumentos de medidas como elementos problematizadores.

Dito de outra forma, a tática será apresentar os instrumentos de medida e, fundamentados no seu princípio de funcionamento, explorar os conceitos pertinentes ao tema em questão. Neste momento, fazendo uso do luxímetro, as discussões poderão ser iniciadas abordando os conceitos de fluxo luminoso e iluminância promovendo, por conseguinte, uma articulação com as definições abordadas no momento anterior. A atividade desenvolvida neste momento será apoiada em medidas de iluminância realizadas com o luxímetro acoplado ao obturador reflexivo (Figuras 6 e 7), solicitando aos estudantes que analisem e determinem o ângulo sólido subentendido pela área do detector. Já os conceitos de eletricidade como: corrente elétrica, diferença de potencial elétrico e potência elétrica, têm sido desenvolvidos ao longo do curso de laboratório. Portanto, as atividades relacionadas com esses conceitos visam reforçá-los e trabalhar as habilidades referentes ao processo de medição, através do multímetro, das grandezas elétricas descritas.

Momento 3 – Fundamentados nos temas desenvolvidos no momento anterior, os estudantes serão convidados a esquadrihar o arranjo experimental montado (Figura 6) e descrever suas concepções acerca da montagem observada por eles. Tal atividade tem o intuito de eleger suas concepções prévias a respeito do procedimento experimental propriamente dito, ou seja, sondar o que eles pensam a respeito da forma como o experimento será executado. A atividade de descrever suas impressões serão o fundamento das discussões realizadas pelo professor a respeito da articulação entre os conceitos desenvolvidos e sua aplicação no ensaio experimental, envolvendo, também, as adaptações e aproximações necessárias que tanto o modelo matemático, quanto o arranjo experimental precisam passar para se adequarem ao que está sendo mensurado.

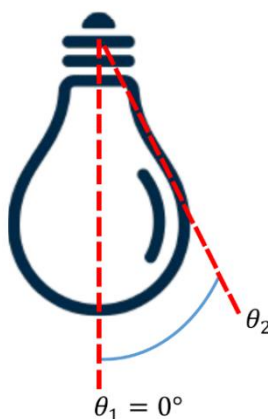
Momento 4 – O último momento é a execução do ensaio experimental, com o mínimo de intervenção do professor. Este atuará apenas como um mediador cuja função é de subsidiar elementos para elucidar as dúvidas que surgirem ao longo do ensaio. Os procedimentos que conduzirão os estudantes na atividade prática, assim como a análise dos dados, são os que serão detalhados na subseção que segue. Finalizada a análise dos dados, o professor pode iniciar os debates a respeito das dificuldades percebidas pelos estudantes durante o ensaio experimental: abordando as limitações do respectivo arranjo e sugestões de melhoria, explorar as conclusões dos estudantes acerca da eficácia luminosa, conduzindo a discussão para uma interpretação sobre o prisma ambiental.

4.1 COLETA DE DADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos da pesquisa realizada no laboratório de Eletricidade e Magnetismo do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros sobre a eficácia de lâmpadas residenciais. Além de discutir e comparar os resultados obtidos, iremos considerar as incertezas associadas aos instrumentos utilizados e também as reflexões associadas ao local de coleta.

Primeiramente, fizemos a coleta de dados para cada lâmpada, considerando 10 amostras para cada, de maneira geral foi coletada a tensão da rede elétrica, corrente elétrica e a iluminância, em seguida, foi calculado a potência elétrica, e a área, considerando o diâmetro de 43 mm do obturador reflexivo. Em seguida, foi feita a análise e cálculo do ângulo sólido no qual é representado por um cone, a partir dele, foi feito um estudo sobre a angulação zonal que é a zona esférica calculada através de dois ângulos planos, por isso a importância da simetria durante a medição, pois o fator zonal é obtido a partir do alinhamento do aparelho de medição em relação ao centro do ponto centralizado da lâmpada, e que, para o caso da lâmpada LED, teremos $\theta_1 = 0^\circ$ localizado no nadir da esfera, e $\theta_2 = 90^\circ$, e sempre considerando o feixe de luz no centro da esfera, observar Figura 4 para melhor compreensão da localidade dos ângulos utilizados para a lâmpada LED, e foi utilizado a Eq. (11) para obtermos o valor da angulação zonal.

Figura 11: Figura demonstrativa para o entendimento da angulação zonal.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figura 12, mostra o modelo da lâmpada LED utilizado, trazendo uma breve ilustração em relação aos ângulos θ_1 e θ_2 .

Figura 12: Figura demonstrativa para o entendimento da angulação zonal da lâmpada LED.



Fonte: Eletro energia, 2023.

Após calcular esses valores, se torna possível obter o valor da iluminância total da lâmpada.

A seguir, o valor da área do obturador, com o diâmetro de 0,043 m, ângulo sólido e fator zonal, com suas respectivas incertezas.

Tabela 1: Área, ângulo sólido e angulação zonal.

Grandezas	Valor	Incerteza
Área de abertura [m ²]	0,00145	0,000007
Ângulo sólido [sr]	0,002	0,00001
Angulação Zonal [sr]	6,28	0,05

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com o valor da área de abertura do obturador, juntamente com o valor coletado da iluminância da lâmpada LED de 7W, torna-se possível calcular o fluxo luminoso que flui na pequena área do obturador com a Eq. (10), resultando em média 0,21 lumens. Deve-se considerar também que a área de abertura do obturador é a mesma para todos os ensaios experimentais.

Na tabela 2, a seguir, apresentamos a média dos dados coletados da lâmpada LED de 7 Watts, sendo eles a corrente e tensão elétrica, e iluminância e os cálculos das grandezas necessárias para tais comparações, como a potência elétrica.

Tabela 2: Dados médios da lâmpada LED de 7W.

Grandezas	Média	Incerteza	Desvio Padrão Amostral
Corrente [mA]	26,16	1,02	0,08
Tensão da Rede [V]	216	8	0,1
Potência elétrica [W]	6	0,3	0,02
Iluminância [lux]	144,9	5,35	1,16

Fonte: Autoria própria, 2023.

Depois de calcular essas grandezas, foi possível obter o fluxo luminoso total da lâmpada, através da Eq. (12). A Tabela 3, mostra de maneira comparativa o valor do fluxo luminoso e eficácia luminosa informada pelo fabricante, com o fluxo luminoso e eficácia luminosa obtida experimentalmente.

Tabela 3: Fluxo luminoso total da lâmpada LED de 7W, juntamente com a eficácia luminosa.

-	Fluxo Luminoso Total Fabricante [lm]	Fluxo Luminoso Total Experimental [lm]	Eficácia Luminosa Fabricante [lm/W]	Eficácia Luminosa Experimental [lm/W]
Valor	581	532,81	83	94,24
Incerteza	-	19,72	-	6,03

Fonte: Autoria própria, 2023.

Seguidamente, foi feita uma análise comparativa entre os dados médios obtidos na coleta de dados e os dados que o fabricante indica. Nota-se que os dados apresentados pelo fabricante são inferiores aos dados coletados no laboratório de Eletricidade e Magnetismo pois apesar da lâmpada não estar atuando em sua potência máxima por conta da tensão da rede elétrica, o luxímetro está conseguindo coletar uma maior quantidade de iluminância, e está conseguindo se sobressair em relação à eficácia luminosa, pois a lâmpada possui uma boa iluminância para uma potência ainda menor, mas isso acontece por conta das reflexões causadas pelo ambiente laboratorial (erro ambiental). Também foi possível perceber que outros elementos contribuíram para que o fluxo final fosse superestimado em relação ao valor indicado pelo fabricante, que implica em considerar os erros cometidos nos laboratórios, como o erro de paralaxe, que pode ter ocorrido durante a medição da distância do detector até o ponto emissor de luz, ou durante o alinhamento do detector com o ponto central da lâmpada, e por consequência, também foram estimadas as incertezas instrumentais.

E ao pensar para reduzir tais reflexões causadas pelo ambiente, como o teto, paredes, entre mais, foi criada uma caixinha de papelão com o intuito de diminuí-las, e fazendo com que os dados coletados de iluminância se referenciem mais precisamente à área de abertura do obturador reflexivo. Observar a Figura 10, que ilustra bem o como o obturador reflexivo foi importante para a coleta.

Na tabela 4, a seguir, apresentamos a média dos dados coletados da lâmpada LED de 9 Watts, sendo eles a corrente e tensão elétrica, e iluminância e os cálculos das grandezas necessárias para tais comparações, como a potência elétrica.

Tabela 4: Dados médios da lâmpada LED de 9 W.

Grandezas	Média	Incerteza	Desvio Padrão Amostral
Corrente [mA]	34,6	1,2	0,07
Tensão da Rede [V]	216	7	0,1
Potência elétrica [W]	7	0,36	0,01
Iluminância [lux]	224,4	7,8	1,4

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com o valor da área de abertura do obturador, juntamente com o valor coletado da iluminância da lâmpada LED de 9 W, que incide na área citada anteriormente, torna-se possível calcular o fluxo luminoso que flui na área do obturador com a Eq. (10), resultando em média 0,33 lumens. Deve-se considerar também que a área de abertura do obturador é a mesma para todos.

Considerando o mesmo procedimento da lâmpada anterior, dessa maneira, calculamos o ângulo sólido e o fator zonal, ainda levando em conta $\theta_1 = 0^\circ$ e $\theta_2 = 90^\circ$.

Logo após calcular as grandezas físicas, foi possível obter o fluxo luminoso total da lâmpada através da Eq. (12). A tabela a seguir mostra de maneira comparativa o valor do fluxo luminoso e eficácia luminosa informada pelo fabricante, com o fluxo luminoso e eficácia luminosa obtida experimentalmente:

Tabela 5: Fluxo luminoso total da lâmpada LED de 9 W, juntamente com a eficácia luminosa.

	Fluxo Luminoso Total Fabricante [lm]	Fluxo Luminoso Total Experimental [lm]	Eficácia Luminosa Fabricante [lm/W]	Eficácia Luminosa Experimental [lm/W]
Valor	810	808	90	108
Incerteza	-	28	-	6

Fonte: Autoria própria, 2023.

Adiante, foi feita uma análise comparativa entre os dados médios obtidos na coleta de dados e os dados que o fabricante indica. Da mesma forma da lâmpada anterior apresentar valores superiores ao do fabricante, a lâmpada LED de 9W também apresentou valores excedentes quando comparado aos dados fornecidos pelo fabricante, no qual não estava atuando com uma sua potência máxima; contudo, o luxímetro conseguiu captar maior quantidade de luz do que se era esperado, no qual se dá por conta da reflexão causada pelo ambiente do laboratório, considerando assim, o erro ambiental. Bem como, não podemos deixar de mencionar outros tipos de erro, como já mencionado anteriormente, o erro de paralaxe, que pode ter ocorrido durante a medição da distância do detector até o ponto central emissor de luz, ou ainda durante o alinhamento do detector com o ponto central da lâmpada, e consequentemente, também foram consideradas as incertezas instrumentais.

Ainda com o intuito de diminuir as reflexões causadas pelo ambiente, como paredes, teto, entre mais, foi reutilizada a caixinha de papelão, fazendo com que os dados de iluminância coletados se referenciem à área de abertura do obturador reflexivo, observar a Figura 10 para melhor compreensão da função do obturador reflexivo.

Seguidamente, a média dos dados coletados da lâmpada incandescente de 60 Watts, sendo eles a corrente e tensão elétrica, e iluminância e os cálculos das grandezas necessárias para tais comparações, como a potência elétrica.

Tabela 6: Dados médios da lâmpada incandescente de 60 W.

Grandezas	Média	Incerteza	Desvio Padrão Amostral
Corrente [A]	0,24	0,06	1,85
Tensão da Rede [V]	214	7	0,15
Potência elétrica [W]	51	0,01	0,04
Iluminância [lux]	86	4	0,3

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com o valor da área de abertura do obturador indicado na Tabela 1, juntamente com o valor coletado da iluminância da lâmpada incandescente de 60 W que incide na área citada anteriormente, onde torna-se possível calcular o fluxo luminoso que flui na área do obturador com a Eq. (10), resultando em média 0,12 lumens.

Levando em conta o mesmo procedimento das lâmpadas anteriores, foi possível calcular o ângulo sólido em conjunto com o fator zonal, e levando em consideração que a lâmpada incandescente tem o corpo todo transparente, dessa maneira, o $\theta_2 \cong 180^\circ$, e $\theta_1 = 0^\circ$ continua no nadir, observar Figura 4 para melhor compreensão da localidade dos ângulos utilizados para a lâmpada incandescente.

A Figura 13, mostra o modelo da lâmpada incandescente utilizado, trazendo uma breve ilustração em relação aos ângulos θ_1 e θ_2 .

Figura 13: Figura demonstrativa para o entendimento da angulação zonal da lâmpada incandescente.



Fonte: ABilumi, verificar data.

Dessa maneira, a Tabela 7, a seguir, contém o fator zonal que será utilizado para calcular o fluxo luminoso total através da Eq. (11) das lâmpadas incandescentes.

Tabela 7: Valor do ângulo sólido, juntamente com o fator zonal para as lâmpadas incandescentes.

	Valor	Incerteza
Ângulo sólido [sr]	12,57	0,04
Angulação Zonal [sr]	0,002	0,05

Fonte: Autoria própria, 2023.

Adiante, foram calculadas as grandezas físicas, e tornando possível obter o valor do fluxo luminoso total por meio da Eq. (12). A Tabela 8, a seguir, mostra de maneira comparativa o valor do fluxo luminoso e eficácia luminosa informada pelo fabricante, com o fluxo luminoso e eficácia luminosa obtida experimentalmente:

Tabela 8: Fluxo luminoso total da lâmpada incandescente de 60 W, juntamente com a eficácia luminosa.

	Fluxo Luminoso Total Fabricante [lm]	Fluxo Luminoso Total Experimental [lm]	Eficácia Luminosa Fabricante [lm/W]	Eficácia Luminosa Experimental [lm/W]
Valor	715	669	11,9	13,03
Incerteza	-	28	-	0,54

Fonte: Autoria própria, 2023.

Seguidamente foi feita uma análise de assemelhação entre os valores médios obtidos na coleta de dados e as informações que o fabricante fornece. Da mesma forma que as lâmpadas anteriores apresentaram valores excedentes quando comparado ao do fabricante, a lâmpada incandescente de 60 W não foi diferente, que mesmo não atuando com sua potência máxima, o luxímetro conseguiu coletar um valor superior de iluminância do que se era estimado, a melhora no valor da eficácia luminosa é causada pelas reflexões que são geradas devido a colaboração do ambiente laboratorial, levando em consideração o erro ambiental. Sendo assim, também não podemos deixar de mencionar outros tipos de erros que podem ter ocorrido durante o processo experimental, bem como o erro de paralaxe, pode ter ocorrido durante a medição da iluminância, ou até mesmo da distância entre o luxímetro e o ponto emissor de luz, outro fator que também foi considerado foram as incertezas instrumentais, para que houvesse um melhor desempenho nos cálculos.

Da mesma maneira que as lâmpadas anteriores, também foi usada a caixinha de papelão com o mesmo intuito, diminuir as reflexões causadas pelo ambiente ou objetos, o que nos faz conseguir obter valores mais precisos na coleta da iluminância, para melhor compreensão do intuito da caixinha, observar a Figura 10.

Posteriormente, a média dos dados coletados da lâmpada incandescente de 40 Watts, sendo eles a corrente e tensão elétrica, e iluminância e os cálculos das grandezas necessárias para tais comparações, como a potência elétrica.

Tabela 9: Dados da lâmpada incandescente de 40 W.

Grandezas	Média	Incerteza	Desvio Padrão Amostral
Corrente [mA]	175	4	0,04
Tensão da Rede [V]	216	7	0,2
Potência elétrica [W]	38	2	0,04
Iluminância [lux]	35	2	0,1

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com o valor da área de abertura do obturador indicado na Tabela 1, juntamente com o valor coletado da iluminância da lâmpada incandescente de 40 W que incide na área citada anteriormente, onde torna-se possível calcular o fluxo luminoso que flui na área do obturador com a Eq. (10), resultando em média 0,05 lumens.

Considerando o mesmo procedimento das lâmpadas anteriores, dessa forma, calculamos o ângulo sólido e o fator zonal, porém, considerando agora $\theta_1 = 0^\circ$ e $\theta_2 \cong 180^\circ$, pois como as lâmpadas incandescentes são transparentes, fazemos a consideração do θ_1 ser medido no nadir da esfera e o θ_2 ser medido aproximadamente no zênite (considerando que não é medido totalmente no zênite por conta do bocal da lâmpada).

Logo em seguida, foi calculado as grandezas físicas, e se tornou possível obter o fluxo luminoso total da lâmpada através da Eq. 12:

Tabela 10: Fluxo luminoso total da lâmpada incandescente de 40 W, juntamente com a eficácia luminosa.

	Fluxo Luminoso Total Experimental [lm]	Eficácia Luminosa Experimental [lm/W]
Valor	280,7	7,44
Incerteza	16,5	0,53

Fonte: Autoria própria, 2023.

Como o fabricante não informou o fluxo luminoso total e a eficácia luminosa, foi necessário utilizar as informações do descritivo técnico da loja de Eletropeças Comercial Eletrônica; logo, a lâmpada incandescente de 40 W possui um fluxo luminoso equivalente à 340 lumens, e eficácia luminosa 11,7%, agora, podemos iniciar a análise comparativa entre os valores obtidos experimentalmente, com os valores obtidos pela descritiva técnica, bem, da mesma maneira que as lâmpadas anteriores apresentaram valores superiores ao do fabricante, com a lâmpada incandescente de 40 W não foi diferente, e também apresentou tais valores, que se dão com a colaboração das reflexões geradas pelo ambiente laboratorial, tendo em conta o erro ambiental. Bem como, não podemos deixar de mencionar outros tipos de erros, como já mencionado anteriormente, o erro de paralaxe, que pode ter ocorrido durante a medição da

distância do detector até o ponto central emissor de luz, neste caso da incandescência, até o filamento de tungstênio, outro ponto que também pode ter ocorrido o erro de paralaxe é durante o alinhamento do detector com o ponto central da lâmpada, no qual foi utilizado o laser no centro obturador, e por fim, também foram consideradas as incertezas instrumentais para obter melhoria nos cálculos.

Da mesma forma que as lâmpadas anteriores, também foi usada a caixinha de papelão com o mesmo intuito, o que nos fez conseguir obter valores mais precisos, sem tantas interferências dos raios refletidos, ajudando de maneira significativa na coleta de dados de cada uma das lâmpadas; para melhor compreensão da importância da caixinha, observar a Figura 10.

De acordo com a tabela de equivalência do Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação (Abilumi), a lâmpada LED de 7 W equivale à lâmpada incandescente de 40 W, da mesma forma que a lâmpada LED de 9 W equivale à lâmpada incandescente de 60 W, dessa maneira, podemos fazer uma análise comparativa entre as lâmpadas equivalente.

Tabela 11: Tabela de equivalência.

Incandescente	Fluxo Luminoso equivalente (Lm)	Potência da Lâmpada LED (W)
40W	600	7W

Fonte: Adaptado de Abilumi, 2020.

Tornou-se possível perceber a discrepância entre a corrente consumida pelas lâmpadas, e como a tensão da rede elétrica é a mesma para ambas. Logo, vai haver discrepância entre a potência energética necessária para manter a luz acesa, e como a corrente elétrica da lâmpada incandescente é maior, logo, o valor da potência energética da lâmpada incandescente vai ser maior do que quando comparada a sua lâmpada LED equivalente. Outro fator que foi possível notar através da coleta de dados foi a diferença entre os valores das lâmpadas foi a iluminância, que a partir dele conseguimos calcular o fluxo luminoso total que emite, e consequentemente, a lâmpada LED conseguiu se sobressair quando comparada com a sua incandescente similar. A partir dos valores de fluxo luminoso e potência energética, foi possível encontrar o valor de sua eficácia luminosa, e quando comparamos as lâmpadas LED com as incandescentes, nota-se uma eficiência energética alta referente as lâmpadas LED, pois além de conterem vida útil maior, e ser ecologicamente adequada, elas também são mais econômicas em relação ao consumo de energia e possuem mais lúmens, conseguindo iluminar melhor. Ademais, também podemos relacionar outros fatores de comparação, como o calor gerado, a incandescente, por exemplo, de sua eficácia luminosa, ela transformava apenas 5% da energia elétrica consumida em

luminosidade e os outros 95% eram transformados em calor, já a LED em média convertem apenas entre 10% a 20% de calor e o restante em energia luminosa. A lâmpada LED além de economizar energia e dinheiro, ilumina melhor, ela tem uma pegada ambiental, pois não possuem materiais tóxicos.

A Tabela 12 mostra os valores obtidos experimentalmente das lâmpadas LED de 7 W e 9 W, e respectivamente, suas equivalentes incandescentes de 40 W e 60 W, assim como suas incertezas de propagação associadas.

Tabela 12: Valores médios com suas respectivas incertezas propagadas.

Grandezas	LED 7W	Incandescente 40W	LED 9W	Incandescente 60W
Corrente elétrica [mA]	$(26,2 \pm 1,0)$	(175 ± 4)	$(34,6 \pm 1,2)$	(240 ± 60)
Tensão da rede [V]	(216 ± 8)	(216 ± 7)	(216 ± 7)	(214 ± 7)
Potência [W]	$(6 \pm 0,3)$	(38 ± 2)	$(7 \pm 0,36)$	(51 ± 12)
Fluxo luminoso [lm]	(533 ± 20)	(281 ± 17)	(808 ± 28)	(636 ± 26)
Eficácia Luminosa [lm/W]	$(94,2 \pm 6,0)$	$(7,4 \pm 0,5)$	(108 ± 6)	$(12,4 \pm 3,0)$

Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final da pesquisa, é possível concluir que o protocolo experimental construído conseguiu permitir que fossem analisados os dados relacionados à eficácia luminosa das lâmpadas para iluminação residencial, e a partir disso, nota-se que a lâmpada LED é mais eficaz quando comparada com a incandescente, pois além de possuir maior qualidade na iluminação, ela afeta diretamente na economia, por consumir menos corrente elétrica e consequentemente, gerar menos potência energética. Dessa maneira, ressaltamos a importância do tema sobre eficácia luminosa, assim como eficácia energética, pois ela não auxilia apenas aos consumidores a economizar em suas contas de eletricidade, mas também contribui para a redução do consumo total de energia e, consequentemente, para a redução dos impactos ambientais associados à geração de energia elétrica. Este estudo tem como objetivo oferecer compreensões práticas que podem orientar escolhas mais sustentáveis e econômicas em iluminação residencial. Ademais, quando se possui um estudo voltado para práticas laboratoriais direcionados a esse tema no ambiente educacional, possibilita o despertar para o conhecimento e desenvolvimento de habilidades práticas entre os estudantes de Ciência e Tecnologia.

Através do protocolo experimental, também foi possível obter os dados da eficácia luminosa, e dessa maneira, conseguimos fazer a análise comparativa. Quando comparamos com os dados informados pelos fabricantes com as medidas experimentais da eficácia luminosa, nota-se uma certa discrepância entre os valores, dessa maneira, podemos constatar que as reflexões do ambiente laboratorial fizeram com que os dados coletados se tornassem superiores aos informados pelo fabricante; sendo assim, podemos concluir que as reflexões do ambiente laboratorial influenciaram diretamente os dados coletados, considerando assim o erro ambiental. Também foram consideradas as incertezas dos instrumentos de medições para reduzir as inexatidões.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v.25, n.2, p.176-194, 2003.
- AZEVEDO, Karolayne Santos de. **Medida da Temperatura do Tungstênio no Estado de Incandescência**. 2017. 55. Ciência e Tecnologia - UFERSA, Pau dos Ferros, 2017.
- FREITAS, P. C. F. **LUMINOTÉCNICA E LÂMPADAS ELÉTRICAS**. Minas Gerais.
- BARBOSA, J. C.. **ILUMINAÇÃO DE INTERIORES: ANÁLISE E ORIENTAÇÃO PARA APLICAÇÕES**. Rio de Janeiro, 2007.
- COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica: cálculo e avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 3 - Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e para o escrito: apresentação de um procedimento. In.: SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. **Gêneros orais e escritos na escola**. [Tradução e organização Roxane Rojo e Glais Sales Cordeiro] Campinas, SP: Mercado de Letras, 2004, p. 95 – 128.
- EDUARDA, Maria. “História das lâmpadas”. **Iluminim**. Disponível em: <https://blog.iluminim.com.br/historia-das-lampadas-entenda-a-sua-criacao-e-evolucao/#:~:text=Em%201809%2C%20Humphry%20Davy%2C%20importante,por%20tr%C3%AAs%20das%20l%C3%A2mpadas%20el%C3%A9tricas>. Acesso em: Abril de 2023.
- “Lâmpada Incandescente Fogão/Geladeira 220V 40W Taschibra”. **Eletropeças Comercial Eletrônica Ltda**. Disponível em: <https://www.eletropecas.com/Produto/lampada-incandescente-fogaogeladeira-220v-40w-taschibra>. Acesso em: Setembro de 2023.
- FELIX, Anderson André. “**Teoria dos erros**”. Data de publicação: 21/08/2018. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.iq.unesp.br/Home/Departamento/s/FisicoQuimica/laboratoriodefisica/teoria-de-erros_lf_ebb.pdf. Acesso em: Abril de 2023.
- Filho, Matheus Teodoro da S. **Fundamentos de Eletricidade**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2007.
- FONSECA, Livia. “Tipos de lâmpadas”. **Select**. Disponível em: https://www.select.eng.br/blog/tipos-de-lampadas/?gclid=Cj0KCQjwgLOiBhC7ARIsAleetVAIj8S6PKHSMsYxrwIDUqQc1xUBC4S9-vMTIVygmaqYWwtizKtyw70aAm7qEALw_wcB. Acesso em: Abril de 2023.
- FRANÇA, Rogerio. “Cálculo luminotécnico”. **Archademy**. Disponível em: <https://www.archademy.com.br/blog/calculo-luminotecnico/>. Acesso em: Abril de 2023.
- GIORDAN, M. O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências. **Química Nova na Escola**, 1999.

HELERBROCK, Rafael. “O que é LED?”. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-led.htm>. Acesso em: Abril de 2023.

HELERBROCK, Rafael. “Potência elétrica”. **Mundo Educação**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/potencia-eletrica.htm>. Acesso em: Abril de 2023.

LUZ, Jeanine Marchiori da. “Luminotécnica”.

HOFSTEIN, A.P. e LUNETTA, V. The laboratory science education: Foundation for the twenty-first century. *Science Education*, v. 88, p. 28-54, 2003.

MATTEDE, Henrique. “Potência elétrica”. **Mundo da Elétrica**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/potencia-eletrica/#:~:text=A%20unidade%20da%20pot%C3%Aancia%20el%C3%A9trica,moinhos%20na%20aus%C3%Aancia%20dos%20ventos>. Acesso em: Abril de 2023.

OLIVEIRA, Ana. “A importância do uso da iluminação natural na arquitetura e os seus benefícios”. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/engenharias/a-importancia-do-uso-da-iluminacao-natural-na-arquitetura-e-os-seus-beneficios.htm>. Acesso em: Abril de 2023.

“Tabela de equivalência Abilumi (2020)”. **ABilumi**. Disponível em: <https://www.abilumi.org.br/tabela-de-equivalencia-abilumi-2020/>. Acesso em: Abril de 2023.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. “Eficiência energética”. **Mundo Educação**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/eficiencia-energetica.htm>. Acesso em: Abril de 2023.

SILVA, José Wagner Cavalcante. “Guia de Laboratório: Mecânica Clássica”. Acesso em: Abril de 2023. (não publicado)

“A invenção das lâmpadas e sua evolução”. **Neoenergia**. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/cultura/Paginas/historia-das-lampadas.aspx>. Acesso em: Abril de 2023.

“Eficiência Luminosa: Qual a importância?”. **BRLUX**. Disponível em: <https://brluxled.com.br/eficiencia-luminosa-qual-a-importancia/>. Acesso em: Abril de 2023.

“Iluminância de interiores”. **Demec**. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM802/NBR5413.pdf>. Acesso em: Abril de 2023.

ZABALA, Antoni. **A Prática educativa: como ensinar**. In: ZABALA, Antoni.; tradução Ernani F. da F. Rosa - Porto Alegre: ArtMed, 1998.