

Aspectos básicos da física das fontes de luz artificiais a partir de uma análise teórica e experimental

Pedro Enzo da Silva Sampaio

PIRIPIRI - 2025

Pedro Enzo da Silva Sampaio

**Aspectos básicos da física das fontes de luz artificiais a partir
de uma análise téorica e experimental**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Monografia apresentada à Universidade Estadual do Piauí (UESPI) como um dos pré-requisitos para a obtenção do gral de Licenciado em Física

Universidade Estadual do Piauí

Orientador: Otavio de Brito Silva

Piripiri-PI

2025

S192a Sampaio, Pedro Enzo da Silva.

Aspectos básicos da física das fontes de luz artificial a partir de uma análise teórica e experimental / Pedro Enzo da Silva Sampaio. - 2025.

55f.: il.

Monografia (graduação) - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Estadual do Piauí, 2025.

"Orientador: Profº. Otavio de Brito Silva".

1. LED azul. 2. Luz artificial. 3. Lâmpadas. I. Silva, Otavio de Brito . II. Título.

CDD 530



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ – UESPI
CONSELHO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



ANEXO A RESOLUÇÃO CEPEX 003/2021 (TCC)
ATA DE APRESENTAÇÃO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e quatro dias do mês de junho de 2025, às dez horas, na sala sete do Campus Professor Antônio Geovane Alves de Sousa, Piripiri – UESPI, na presença da banca examinadora, presidida pelo professor Dr. **Otávio de Brito Silva** e composta pelos seguintes membros: 1) professor Dr. **Giovane de Souza Silva** e 2) professor Dr. **Éric Carvalho Rocha**, o aluno **Pedro Enzo da Silva Sampaio** apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Licenciatura em Física como elemento curricular indispensável à Colação de Grau, tendo como título: “**ASPECTOS BÁSICOS DA FÍSICA DAS FONTES DE LUZ ARTIFICIAIS A PARTIR DE UMA ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL**”.

A Banca Examinadora reunida em sessão reservada deliberou e decidiu pelo resultado **APROVADO**, obtendo a nota final **9,3**, ora formalmente divulgado ao aluno e aos demais participantes, e eu professor Dr. **Anilton de Brito Vieira Filho**, na qualidade de professor titular da disciplina de TCC II lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos membros da Banca Examinadora e pelo aluno apresentador do trabalho.

Assinaturas:

Documento assinado digitalmente



ANILTON DE BRITO VIEIRA FILHO
Data: 17/09/2025 13:42:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

1 – Professor titular da disciplina de TCC

Documento assinado digitalmente



OTAVIO DE BRITO SILVA
Data: 17/09/2025 11:43:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

2 – Presidente da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente



ERIC CARVALHO ROCHA
Data: 18/09/2025 11:20:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

3 – Membro da Banca

Documento assinado digitalmente



GIOVANE DE SOUZA SILVA
Data: 19/09/2025 14:10:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

4 – Membro da Banca

5 – Aluno

Documento assinado digitalmente



PEDRO ENZO DA SILVA SAMPAIO
Data: 22/09/2025 09:09:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedicatória

Dedico este trabalho àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha jornada acadêmica.

Aos meus pais, pelo amor incondicional e pelo suporte constante, mesmo nos momentos de dúvida e cansaço. À minha família, que, de diversas formas, sempre esteve presente, me incentivando e me lembrando do valor do conhecimento. A cada professor que, com dedicação e paciência, compartilhou sua sabedoria, ajudando-me a expandir horizontes e a encontrar caminhos em meio aos desafios.

Dedico também a mim mesmo, pela persistência diante dos obstáculos, pela coragem de seguir adiante e pela determinação em concluir essa etapa. Cada página deste trabalho carrega o esforço, a superação e a vontade de construir algo significativo.

Que esta conquista seja o reflexo de todo o empenho e aprendizado acumulado ao longo dessa caminhada.

Agradecimentos

A conclusão desta monografia representa mais do que um trabalho acadêmico; é o resultado de dedicação, esforço e aprendizado ao longo desta jornada.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, Otavio de Brito Silva, cuja orientação, paciência e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Sua disposição em compartilhar seu saber e sua atenção aos detalhes enriqueceram significativamente este trabalho.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio e incentivo incondicional. Sem vocês, esta trajetória teria sido ainda mais desafiadora.

A todos os professores que contribuíram para minha formação, fornecendo ensinamentos valiosos e despertando em mim o desejo pelo conhecimento.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, ajudaram na construção deste trabalho, seja por meio de incentivos, reflexões ou contribuições acadêmicas.

Muito obrigado!

Lista de Siglas

LED:	Light Emitting Diode.
PNLD:	Programa Nacional do Livro Didático.
DQVMO:	Deposição Química de Vapor de Metal Orgânico.
cgRIFs:	Células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis.
UV:	Ultravioleta.
E:	Iluminância.
R:	Resistência.
m:	Metro.
cm:	Centímetro.
Ω:	ômega.
$k\Omega$:	quilogramas por ômega / quilo ohms.
LDRs:	Light Dependent Resistors fotoresistor .

Ilustrações

- Figura:1** Representação dos componentes da lâmpada incandescente.
- Figura:2** Estrutura da lâmpada fluorescente.
- Figura:3** Emissao de Ultravioleta no Interior de uma Lampada de Mercurio
- Figura:4** Representação dos componentes de uma lâmpada LED
- Figura:5** Representação do espectro de corpo negro.
- Figura:6** Radiância espectral x comprimento de onda
- Figura:7** Estrutura do olho humano.
- Figura:8** Medida de 0.30 m entre o fotoreistor e a lanterna.
- Figura:9** Resultado da medida em 0.30 m marcando a resistencia do fotoreistor.
- Figura:10** medida de 0.50 m entre o fotoreistor e a lanterna.
- Figura:11** Resultado da medida em 0.50 m marcando a resistencia do fotoreistor.
- Figura:12** Medida de 1 m entre o fotoreistor e a lanterna.
- Figura:13** Resultado da medida em 1 m marcando a resistencia do fotoreistor.
- Figura:14** Medida de 2 m entre o fotoreistor e a lanterna.
- Figura:15** Resultado da medida em 2 m marcando a resistência do fotoreistor.
- Figura:16** Gráfico de iluminância vs distância
- Figura:17** Medida de 0.25 m da lâmpada incandescente
- Figura:18** Resultado da resistência da lâmpada incandescente
- Figura:19** Medida de 0.31 m da lâmpada incandescente
- Figura:20** Resultado da resistência da lâmpada fluorescente
- Figura:21** Medida de 0.55 m da lâmpada LED
- Figura:22** Resultado da resistência da lâmpada LED

Tabelas

Tabela:1 Média da resistência em cada distância

Tabela:2 Relação entre distância, resistência e iluminância

Tabela:3 Comparação entre tipos de lâmpadas quanto à resistência e distância

Resumo

A presente monografia apresenta uma análise integrada sobre as tecnologias de iluminação e seus impactos físicos e fisiológicos. O estudo parte de uma contextualização teórica das principais fontes de luz artificiais e das propriedades da radiação do corpo negro, explorando como esse conceito fundamenta o funcionamento de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs. A abordagem estende-se à discussão sobre o desenvolvimento do LED azul, destacando os desafios técnicos na sua criação e sua importância para a construção dos LEDs brancos, mais eficientes energeticamente. No segundo eixo da pesquisa, investiga-se a influência da luz azul sobre o ciclo circadiano humano, com foco em sua interferência na produção de melatonina e na arquitetura do sono. A exposição prolongada a esse tipo de radiação, especialmente no período noturno, é analisada à luz de estudos científicos que associam essa condição a distúrbios fisiológicos, fadiga diurna e comprometimento da saúde geral. A metodologia adotada inclui revisão bibliográfica e análise espectral de diferentes tecnologias de iluminação, permitindo a comparação entre seus perfis de emissão e seus potenciais efeitos biológicos. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão das implicações tecnológicas, ambientais e humanas da luz artificial, com ênfase na importância de práticas mais conscientes no uso de sistemas de iluminação modernos. Ao final, foi realizada uma sequência sistemática de medidas da intensidade luminosa para diferentes fontes de luz artificiais, a partir de um experimento de baixo custo. O objetivo do experimento foi além de verificar a dependência da intensidade de luz com a distância, estabelecer a partir dele parâmetros comparativos entre as diferentes intensidades de fontes de luz artificiais e uma forma didática de associar os resultados da medida com os valores nominais que constam nas informações fornecidas pelos fabricantes das lâmpadas.

Palavras-chave: radiação do corpo negro; lâmpadas; LED azul; luz artificial; ritmo circadiano; melatonina.

Abstract

The present monograph presents an integrated analysis of lighting technologies and their physical and physiological impacts. The study begins with a theoretical overview of the main artificial light sources and the principles of blackbody radiation, exploring how this concept underpins the operation of incandescent, fluorescent, and LED lamps. It also discusses the development of blue LEDs, highlighting the technical challenges of their creation and their importance in enabling more energy-efficient white LEDs. The second part of the research investigates the influence of blue light on the human circadian cycle, focusing on its interference with melatonin production and the architecture of sleep. Prolonged exposure to this radiation—especially at night—is examined through scientific studies linking it to physiological disorders, daytime fatigue, and general health impairment. The methodology includes a bibliographic review and spectral analysis of various lighting technologies, allowing comparison of their emission profiles and potential biological effects. The findings contribute to a better understanding of the technological, environmental, and health implications of artificial light, emphasizing the importance of mindful practices in modern lighting systems. Finally, a systematic sequence from measurement of the light intensity from different artificial light sources had carried out using a low cost experiment. The goal of such experiment was not just to verify the dependence of light intensity with the distance, but also establish comparative parameters between different intensities of artificial light sources and from a didactic approach to associate the results of the measurements with the nominal values indicated by the lamps' manufacturers.

Keywords: blackbody radiation; lamps; blue LED; artificial light; circadian rhythm; melatonin.

Sumário

1	Introdução	12
2	Objetivos	16
3	Fundamentos teóricos	17
3.1	Fontes de luz	17
3.2	Tipos de Lâmpadas	17
3.3	Lâmpadas Incandescentes	17
3.4	Lâmpadas Fluorescentes	18
3.5	Lâmpadas LED	23
3.6	Radiação do Corpo Negro	25
3.7	O LED Azul e a Dificuldade de Criá-lo	28
3.8	A influência da Luz Azul no Sono	30
4	Materiais e métodos	32
4.1	Materiais	32
4.2	Métodos	32
5	Resultados	35
5.1	Pesquisa bibliográfica	35
5.2	Experimento com a lanterna LED:	36
5.3	Experimento com as lâmpadas (incandescente, fluorescente e LED): .	43
6	Conclusões	48
	Referências	51

1 Introdução

A luz é um elemento essencial para a existência e evolução da humanidade. Desde os tempos pré-históricos, quando os primeiros seres humanos utilizavam o fogo para iluminação e proteção, até os avanços tecnológicos mais recentes, a maneira como lidamos com a luz determinou inúmeros aspectos de nossa sociedade. O domínio sobre a iluminação artificial permitiu que os seres humanos estendessem suas atividades para além do ciclo natural do dia e da noite, promovendo avanços na produtividade, segurança e qualidade de vida ([Holzman, 2010]).

Historicamente, a iluminação sempre esteve vinculada ao desenvolvimento tecnológico e social. No início, fontes naturais como o fogo eram a única forma de obter luz durante a noite. Com o tempo, civilizações antigas passaram a desenvolver sistemas de iluminação mais eficientes, como lâmpadas a óleo e tochas, permitindo maior mobilidade e expansão das atividades humanas. Durante séculos, esses métodos foram predominantes até que, no século XIX, a invenção da lâmpada elétrica por Thomas Edison revolucionou o setor, tornando a luz artificial acessível e amplamente distribuída ([Faria, 2022]).

A lâmpada incandescente, apesar de ter sido um marco na revolução da iluminação, apresentou diversas limitações, como o desperdício de energia devido ao calor excessivo gerado. Esse problema levou ao desenvolvimento de novas tecnologias, como as lâmpadas fluorescentes, que ofereceram maior eficiência energética e foram amplamente adotadas no século XX. Com a necessidade de redução do consumo energético e aumento da durabilidade das fontes luminosas, surgiu a tecnologia dos LEDs (Diodos Emissores de Luz), que rapidamente se tornaram uma alternativa viável e sustentável ([Mukai et al., 1999]);([Brainard et al., 2001]).

O desenvolvimento dos LEDs modificou completamente a forma como a iluminação era utilizada, proporcionando maior eficiência energética, longa vida útil e menor impacto ambiental. No entanto, dentro dessa evolução, a invenção do LED azul tornou-se um dos avanços mais significativos das últimas décadas. Criado na

década de 1990 por Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura, o LED azul possibilitou a fabricação dos LEDs brancos modernos, permitindo uma aplicação ampla em dispositivos eletrônicos, iluminação pública e residencial ([Holzman, 2010]). Entretanto, sua disseminação também levantou preocupações quanto aos seus impactos biológicos, especialmente na saúde humana.

A luz azul possui características únicas que influenciam diretamente o ritmo circadiano, o sistema biológico responsável pela regulação do sono e vigília. Estudos indicam que a exposição excessiva a fontes de luz azul, particularmente durante a noite, pode inibir a produção de melatonina, um hormônio fundamental para o processo de descanso adequado do organismo. Isso ocorre porque a luz azul é interpretada pelo cérebro como um sinal de alerta, dificultando a indução do sono e causando potenciais distúrbios como insônia, fadiga crônica e até problemas cognitivos ([Brainard et al., 2001]).

Além dos impactos sobre o sono, a iluminação artificial tem efeitos significativos sobre o meio ambiente e os ecossistemas naturais. O excesso de iluminação urbana gera um fenômeno conhecido como poluição luminosa, que afeta o comportamento de diversas espécies animais. Muitas aves migratórias, por exemplo, dependem da luz natural para orientação, e o brilho excessivo das cidades pode desorientá-las, interferindo em seus padrões de deslocamento. Insetos e outros organismos noturnos também são prejudicados, pois muitas espécies utilizam a escuridão para processos biológicos essenciais ([Araújo, 2022]).

Para entender melhor os impactos da iluminação artificial, é importante explorar alguns conceitos fundamentais da física, como a radiação do corpo negro, que descreve a emissão de luz por objetos aquecidos. Esse fenômeno é crucial para compreender como diferentes tipos de lâmpadas emitem luz com distintas temperaturas de cor, influenciando sua aplicação e efeitos sobre os seres vivos. A evolução das lâmpadas ao longo da história demonstra a busca por maior eficiência energética e menor impacto ambiental, evidenciando a importância do estudo da iluminação na sociedade moderna ([Mukai et al., 1999]).

Com a crescente utilização da iluminação artificial, torna-se essencial discutir formas de minimizar seus impactos negativos e promover um uso mais consciente da luz. Tecnologias como filtros de luz azul, ajustes de brilho em dispositivos eletrônicos e sistemas de iluminação adaptativa são alternativas que podem ajudar a reduzir os efeitos adversos sobre o organismo humano e o meio ambiente. Além disso, políticas públicas voltadas para a regulação da iluminação urbana podem contribuir para a preservação dos ecossistemas e a qualidade de vida da população ([Holzman, 2010]);([Brainard et al., 2001]).

Diante disso, o presente trabalho busca explorar profundamente as bases teóricas e os impactos práticos relacionados à interação entre a luz azul e os ciclos de sono humanos. Para isso, são abordados tópicos como as propriedades da luz e suas fontes artificiais, os princípios da radiação do corpo negro, a evolução das lâmpadas, o surgimento do LED azul e os efeitos da luz azul na biologia humana. Esse contexto teórico permitirá não apenas compreender os mecanismos envolvidos, mas também propor alternativas para minimizar os impactos negativos dessa exposição, contribuindo para um estilo de vida mais saudável.

O presente trabalho foi estruturado na seguinte sequência. O capítulo 2 foi dedicado à exploração dos conceitos essenciais relacionados à iluminação artificial. Foram abordadas as principais fontes de luz, os diferentes tipos de lâmpadas e o conceito de radiação do corpo negro. Também foi discutida a criação do LED azul e seus desafios tecnológicos, além dos impactos da luz azul na saúde humana.

No capítulo de Materiais e Métodos, foi trabalhado o levantamento bibliográfico acerca dos efeitos da luz azul sobre o ritmo circadiano humano, a análise espectral das fontes luminosas e a avaliação de estudos científicos que correlacionam a exposição prolongada à luz azul com distúrbios do sono. Além disso, foram discutidas técnicas de mitigação dos impactos dessa radiação e estratégias para o uso consciente da iluminação artificial. Como parte fundamental da metodologia, também foi desenvolvido um experimento prático para demonstrar a relação entre distância e iluminância. Nesse experimento, um sistema foi montado com uma lan-

terna e um fotoresistor alinhados frontalmente e posicionados à mesma altura em um ambiente escuro, sem interferência externa de luz. Foram realizadas medições de resistência elétrica em quatro distâncias distintas (0,30 m, 0,50 m, 1,00 m e 2,00 m) e, a partir desses valores, foi estimada a iluminância em lux por meio da fórmula $E = \frac{500}{R}$, esta fórmula não tem um autor único ou consagrado como as leis de Ohm, por exemplo. Ela é uma relação empírica que surgiu da prática com sensores de luz, especialmente os LDRs (Light Dependent Resistors) ou fotoresistor, e foi sendo adotada em projetos didáticos, kits de robótica e eletrônica básica. Os resultados foram representados graficamente e permitiram observar com clareza o decaimento da intensidade luminosa com o aumento da distância, dado que reforça a sensibilidade do sensor utilizado e a validade da abordagem teórica discutida anteriormente.

Complementando essa abordagem experimental, foi conduzido um segundo ensaio comparativo com três tipos distintos de lâmpadas: incandescente, fluorescente e LED. Nessa etapa, todas as lâmpadas foram posicionadas a uma mesma altura (8,5 cm), em um ambiente escuro, com o fotoresistor conectado a um multímetro regulado para identificar a resistência de corte em $20\text{ k}\Omega$. O objetivo foi determinar, para cada fonte, a distância máxima em que a iluminância ainda provocava resposta elétrica significativa no sensor. As distâncias obtidas foram de 0,25 m para a incandescente, 0,31 m para a fluorescente e 0,55 m para a lâmpada LED, demonstrando variações claras na intensidade da luz emitida. Esse experimento permitiu não apenas comparar o desempenho óptico entre diferentes tecnologias, como também validar as diferenças práticas de eficiência luminosa observadas na revisão teórica.

Feito isso, os dados experimentais foram interpretados e discutidos no capítulo 4 à luz das evidências bibliográficas, permitindo aprofundar a compreensão da interação entre radiação luminosa e o corpo humano. Por fim, no capítulo de Conclusões, foi apresentada uma síntese dos principais achados do trabalho, destacando-se o impacto da luz azul sobre o ciclo biológico, especialmente no que diz respeito à produção de melatonina e à qualidade do sono. Com base nisso, foram propostas

perspectivas e recomendações para a mitigação dos efeitos adversos da iluminação artificial sobre a saúde, bem como estratégias para seu uso mais consciente e equilibrado no cotidiano.

2 Objetivos

Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo investigar e compreender os princípios físicos da geração de luz artificial em particular a luz azul presente em diferentes fontes, bem como seus impactos na saúde humana.

Objetivos Específicos

1. Compreender os processos físicos na geração de luz artificial.
2. Estudar os efeitos da luz artificial sobre a saúde humana.
3. Montar um aparato experimental de baixo custo para medir as características de intensidade luminosa de diferentes fontes de luz artificiais.
4. Contribuir para o curso de Física da UESPI do campus de Piripiri, propondo uma atividade que poderá ser integrada ao laboratório de Física do curso.

3 Fundamentos teóricos

Neste capítulo serão abordadas as fontes de luz, partindo do contexto da radiação do corpo negro e a luz azul em influência sobre o ciclo do sono no ser humano, partindo desde a criação do LED azul.

3.1 Fontes de luz

Ao iniciar essa abordagem, é importante entender que as fontes de luz podem ser classificadas em naturais, como o Sol, e artificiais, criadas pelo homem, como lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs. Cada tipo de fonte emite diferentes espectros de luz, que possuem impactos variados no ambiente e nos seres humanos. A análise da composição espectral é essencial para entender como certos comprimentos de onda, com foco apenas na luz azul, podem interagir com nossos sistemas biológicos.

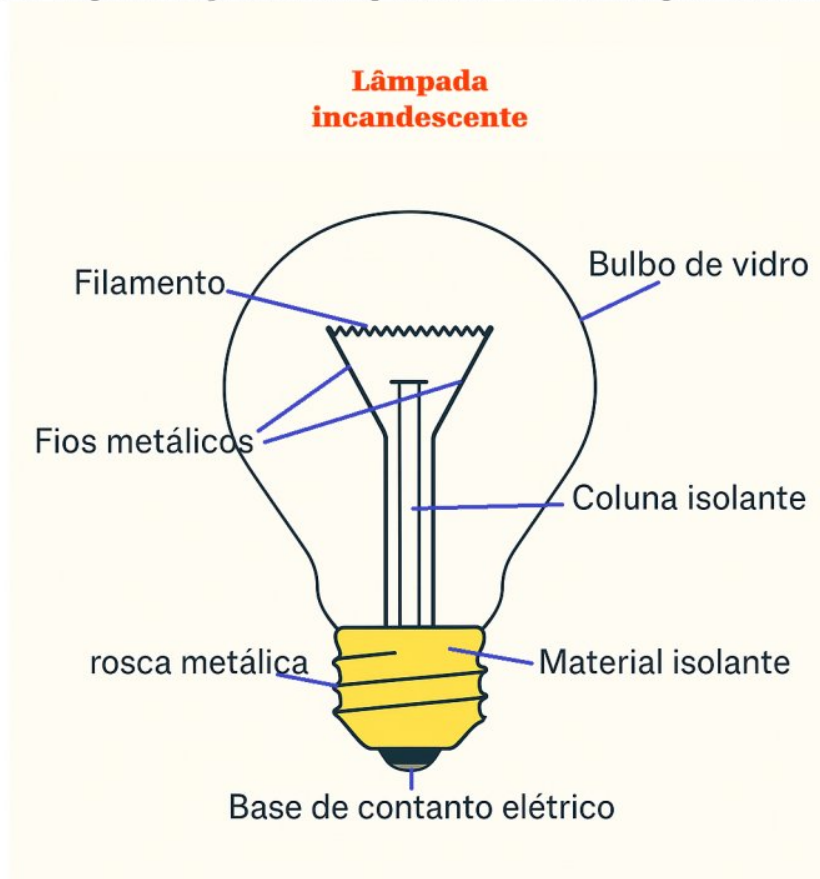
3.2 Tipos de Lâmpadas

As lâmpadas, como tecnologias essenciais, evoluíram ao longo do tempo:

3.3 Lâmpadas Incandescentes

Produzem luz por meio do aquecimento de um filamento de tungstênio (mostrado na figura 1), que fica isolado a vácuo dentro de um recipiente de vidro, pois o filamento utilizado pode entrar em combustão ao contato com o oxigênio e se romper, impedindo o funcionamento da lâmpada.

Figura 1: Representação dos componentes de uma lâmpada incandescente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com isto, emitindo um espectro contínuo que inclui radiação visível e infravermelho. Apesar de proporcionar uma iluminação confortável, possuem baixa eficiência energética fazendo com que ela produza mais energia térmica do que luz em si, pois de 100% da energia fornecida para ativar a lâmpada, 95% serve para aquecer o filamento e apenas 5% serve para a iluminação.

3.4 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes marcaram um avanço significativo na tecnologia de iluminação, consolidando-se como uma alternativa eficiente às lâmpadas incandescentes. Elas oferecem maior economia de energia e durabilidade, características

que as tornaram amplamente utilizadas em residências, indústrias e espaços públicos.

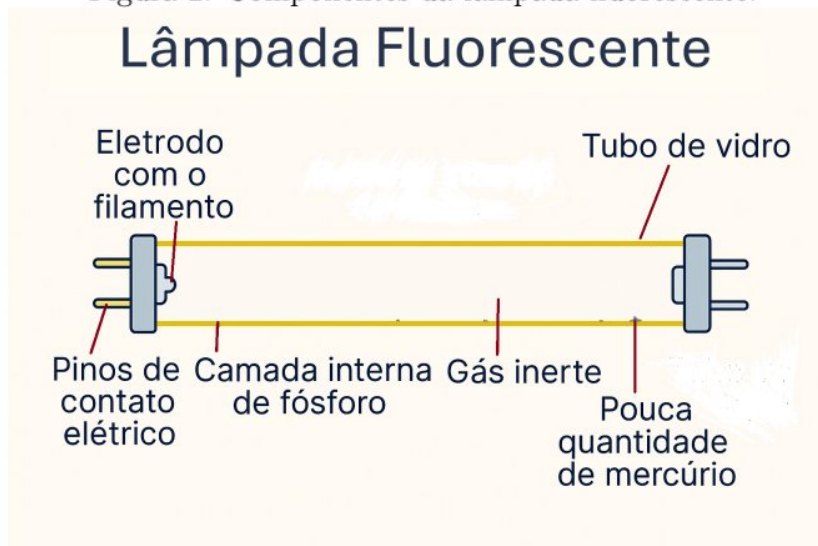
O funcionamento das lâmpadas fluorescentes baseia-se em um sistema de descarga elétrica que ocorre dentro de um tubo selado onde podemos observar seus demais componentes na figura 2, contendo gases inertes, como o argônio, e vapor de mercúrio em baixa pressão. Esses gases, quando excitados pela corrente elétrica que atravessa os eletrodos posicionados nas extremidades do tubo, emitem radiação ultravioleta (UV).

A radiação UV gerada pela descarga elétrica dentro do tubo da lâmpada fluorescente é absorvida por materiais fluorescentes, geralmente compostos à base de Magnésio e outras substâncias fosforosas, que revestem suas paredes internas. Esses compostos são excitados para níveis de energia mais altos e, ao retornarem a estados de menor energia, emitem radiação na faixa do visível.

Esse processo de conversão de luz ultravioleta em luz visível é fundamental para a eficiência dessas lâmpadas. Esse método garante uma iluminação eficiente e uma reduzida emissão de calor, além de uma iluminação mais brilhante e econômica em comparação às lâmpadas incandescentes.

Além disso, a composição dos fósforos pode ser ajustada para modificar a temperatura de cor da luz emitida, tornando as lâmpadas fluorescentes adequadas para diversas aplicações, desde ambientes residenciais até comerciais e industriais. No entanto, é importante lembrar que essas lâmpadas contêm pequenas quantidades de mercúrio, exigindo descarte adequado para evitar impactos ambientais ([Mombach et al., 2008]).

Figura 2: Componentes da lâmpada fluorescente.

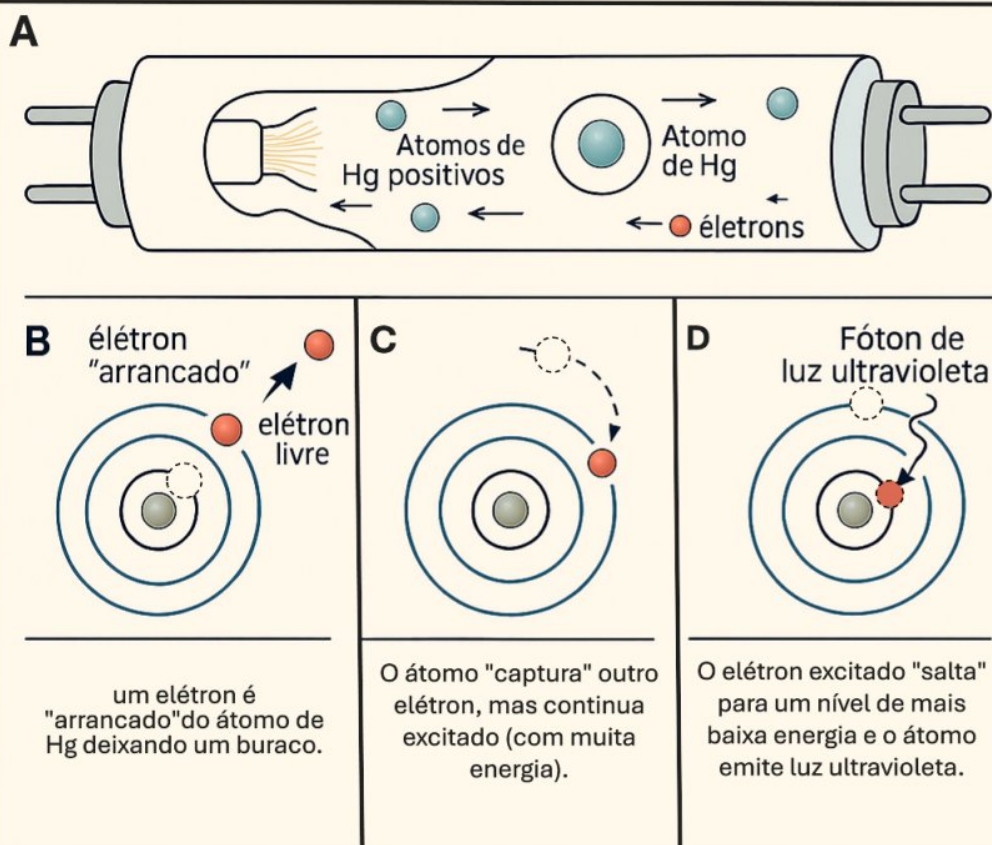


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ainda sobre o funcionamento interno das lâmpadas fluorescentes, para entender mais sobre a interação dos níveis de energia, quando um átomo ou molécula absorve energia, um elétron pode ser excitado para um nível de energia mais alto. Esse estado não é estável, e o elétron tende a retornar ao nível de energia mais baixo, como mostra na figura 3. Esse retorno ao estado fundamental ocorre por meio da emissão de um fóton, cuja energia é exatamente igual à diferença entre os níveis de energia envolvidos.

Figura 3: Processo de absorção e emissão de fótons entre dois níveis de energia

Emissão de ultravioleta no interior de uma lâmpada de mercúrio



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os elétrons em um nível de energia mais baixo, ao serem excitados, tendem a "saltar" para um nível de energia mais alto na forma de fótons. Esses fótons possuem energia específica, determinando a cor da luz visível, fótons violetas têm mais energia que os vermelhos, enquanto os fótons de infravermelho e ultravioleta não são visíveis ao olho humano. Nas lâmpadas fluorescentes, átomos de mercúrio emitem fótons de ultravioleta, que não iluminam diretamente. Para converter essa radiação em luz visível, o vidro da lâmpada é revestido com materiais inorgânicos que absorvem a UV e reemitem fótons na faixa do visível, tornando possível a iluminação

eficiente.

Entre as vantagens das lâmpadas fluorescentes, destaca-se sua eficiência energética, pois consomem aproximadamente 75 % menos energia que as lâmpadas incandescentes para produzir níveis equivalentes de luminosidade. Sua vida útil, que pode variar de 7.000 a 15.000 horas, oferece maior economia ao longo do tempo. Além disso, essas lâmpadas emitem menos calor durante o funcionamento, sendo mais adequadas para ambientes fechados e locais sensíveis à temperatura. Outra característica notável é a possibilidade de escolher entre diferentes tonalidades de luz, como quente, neutra e fria, adaptando-se às diversas necessidades dos consumidores ([Torres et al., 2009]).

Apesar dos benefícios, as lâmpadas fluorescentes apresentam desafios, especialmente no âmbito ambiental. Por conterem vapor de mercúrio, um metal pesado tóxico, o descarte inadequado pode causar contaminação do solo e da água, gerando riscos à saúde humana e à biodiversidade. Algumas pessoas também relatam desconforto visual ou dores de cabeça devido ao efeito de "flicker" (piscar) causado por flutuações na intensidade da luz, embora tecnologias mais recentes tenham minimizado esse problema ([Mombach et al., 2008]).

A competição com tecnologias avançadas, como os LEDs, é outro fator relevante. Os LEDs, além de serem ainda mais eficientes, não utilizam mercúrio em sua composição e oferecem maior flexibilidade de design. No entanto, as lâmpadas fluorescentes permanecem populares devido ao custo inicial mais acessível e ao fato de que muitos consumidores já estão familiarizados com seu uso.

As lâmpadas fluorescentes, portanto, simbolizam uma etapa crucial na evolução da iluminação moderna. Sua contribuição para a redução do consumo global de energia é inegável, mas desafios como o descarte ambientalmente correto e a transição para alternativas tecnológicas mais sustentáveis são questões que devem ser enfrentadas para garantir seu papel responsável na sociedade contemporânea.

3.5 Lâmpadas LED

As lâmpadas têm desempenhado um papel crucial na história da humanidade, permitindo atividades noturnas e promovendo avanços em diversos setores. Dentre os tipos de lâmpadas existentes, as lâmpadas LED destacam-se como uma tecnologia inovadora, capaz de unir eficiência energética, durabilidade e sustentabilidade.

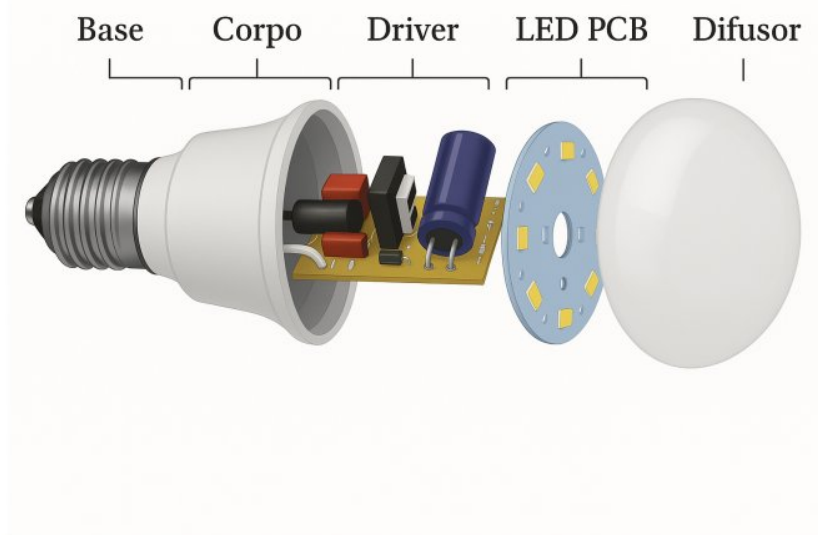
O funcionamento das lâmpadas LED baseia-se na passagem de corrente elétrica por um semicondutor (que é um material que tem propriedades intermediárias entre condutores (como cobre) e isolantes (como borracha). Nos LEDs, ele é geralmente feito de compostos como Arsenieto de gálio (GaAs) ou nitreto de gálio (GaN), que são capazes de emitir luz quando submetidos a corrente elétrica.), que promove a recombinação de elétrons e lacunas, gerando energia na forma de luz visível, a passagem da corrente elétrica pela junção entre o ânodo e o cátodo provoca a recombinação dos elétrons, liberando a energia acumulada ([Novicki and Martinez, 2008]).

As mesmas são compostas por um conjunto de múltiplos LEDs individuais e não podem ser conectadas diretamente à rede elétrica, uma vez que suas tensões e correntes nominais são incompatíveis. Para viabilizar essa conexão, é necessário o uso de drivers presente na figura 4.

Esses drivers desempenham a função de controlar as grandezas elétricas que atuam no funcionamento das lâmpadas LED, fornecendo tensões e correntes ajustadas aos limites estipulados pelo fabricante, garantindo assim a segurança e o desempenho adequado das mesmas ([Monteiro et al., 2014]).

Este processo é altamente eficiente, pois converte uma quantidade maior de energia elétrica em luz visível, minimizando desperdícios na forma de calor. A lâmpada em si é composta por vários componentes, não só pelo LED.

Figura 4: Representação dos componentes de uma lâmpada LED.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

- Características e Benefícios:

As lâmpadas LED apresentam vantagens significativas em relação às tecnologias tradicionais, como:

- * Eficiência energética:

Consumo de energia até 80% menor em comparação com lâmpadas incandescentes ([SANTOS et al., 2015]).

- * Durabilidade:

Vida útil média entre 25.000 e 50.000 horas, reduzindo custos de manutenção.

- * Sustentabilidade:

Não contêm materiais tóxicos, como mercúrio, e possuem menor emissão de calor, contribuindo para a preservação ambiental ([da Costa de Carvalho, 2018])

- Aplicações Diversificadas:

A versatilidade das lâmpadas LED permite sua aplicação em diversos contextos, incluindo:

- * Iluminação residencial e comercial, proporcionando eficiência e estética.

* Iluminação pública, como postes e semáforos, garantindo maior visibilidade e segurança.

* Uso decorativo, como em ambientes internos ou externos, com variedade de cores e intensidades.

- Sustentabilidade e Impactos Ambientais:

A adoção de lâmpadas LED tem impactos significativos na sustentabilidade global. Por consumir menos energia elétrica, essas lâmpadas contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa relacionadas à geração de eletricidade ([Fumagalli, 2024]). Além disso, sua longa vida útil reduz o descarte de materiais, apoiando práticas de economia circular.

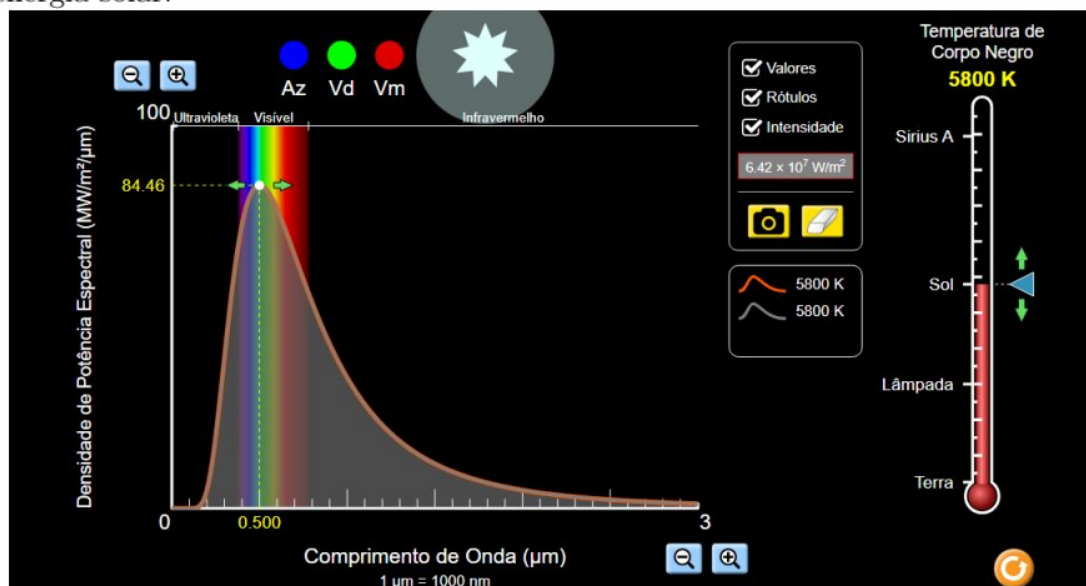
3.6 Radiação do Corpo Negro

A radiação de corpo negro é bem conhecida nos livros didáticos distribuídos pelo PNLD 2018 ([Thiara et al., 2022]) inclusive nas práticas experimentais e simulações computacionais.

A radiação do corpo negro é a radiação eletromagnética de natureza térmica emitida por um objeto em equilíbrio termodinâmico com seu ambiente.

O corpo negro é um modelo no qual toda a radiação eletromagnética que nele incide é absorvida onde nenhuma luz o atravessa e nem é refletida, mesmo assim o corpo negro emite uma radiação no qual seria a sua própria sem a influência direta de outras como demonstrado na figura 5.

Figura 5: Representação Espectral do corpo negro em comparação com o nível de energia solar.



Fonte: PHET.interactive simulations, 2025. Disponível

em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum

Em um material aquecido, a temperatura está associada à energia cinética dos átomos. Um aumento de temperatura implica, em mais energia cinética fornecida para os átomos que constituem o material. Estes emitem luz a partir de partículas carregadas em movimento, gerando radiação eletromagnética.

A radiação do corpo negro tem um espectro específico e intensidade que depende apenas da temperatura do corpo, o que é assumido por uma questão de cálculos e teoria para ser uniforme e constante. Todos os corpos emitem radiação térmica, mas não necessariamente na faixa do visível muitos deles, sobretudo corpos biológicos, emitem na região do infravermelho.

Os cientistas do século XIX tentaram explicar as leis da emissão de radiação do corpo negro construindo um modelo da radiação eletromagnética em termos de ondas e usando a física clássica para derivar suas características. Eles, entretanto, descobriram, com muita surpresa, que as características deduzidas não estavam de

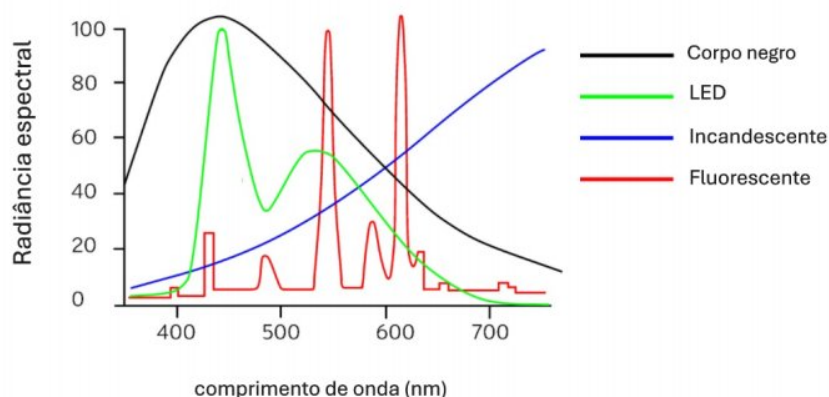
acordo com as observações experimentais. De acordo com a física clássica, qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto deveria emitir radiação eletromagnética em todas as frequências, inclusive nas mais altas (como o ultravioleta). Isso levaria a uma previsão absurda: objetos quentes, como o corpo humano a 37°C , deveriam emitir tanta radiação que literalmente brilhariam no escuro. Esse paradoxo ficou conhecido como a catástrofe do ultravioleta, pois as fórmulas clássicas previam que a energia irradiada tenderia ao infinito conforme o comprimento de onda diminuía, o que claramente não acontece na realidade.

O corpo negro em senso comum é um objeto de cor preta onde tem a propriedade de absorver a energia luminosa presente sobre ele. Este pensamento não está de tudo errado pois de certa forma este é o comportamento geral de um corpo negro sobre uma influência luminosa, pois sabemos pela óptica que um objeto de cor aleatória sobre a luz branca irá, absorver todo o conjunto de cores e refletir a que está em destaque sobre ele, logo um objeto onde sua cor é de certa forma preta irá, absorver totalmente a luz branca emitida sobre o mesmo pois, não há uma luz negra a ser refletida dentro do conjunto das cores que se encontra, por exemplo na luz solar, logo por esta definição, pode-se ter a ideia que por absorver a luz solar por inteiro o corpo negro terá dependendo do tempo de contado um nível de radiação térmica em si, pelo fato de ter essa facilidade em absorver a radiação.

Cada tipo de lâmpada possui um perfil de emissão de radiação distinto, influenciado pelo mecanismo de geração de luz. Conforme a imagem gerada por Copilot da Microsoft (2025) na figura 6, observa-se a sobreposição do perfil de emissão das lâmpadas incandescente, fluorescente e LED com a radiância do corpo negro. As lâmpadas incandescentes produzem luz através da resistência elétrica de um filamento metálico, emitindo radiação em um espectro contínuo que inclui uma grande parcela no infravermelho, tornando-as menos eficientes. Já as fluorescentes funcionam por meio da ionização de gases e posterior excitação de fósforo, gerando um espectro com bandas estreitas centradas na faixa visível do espectro, sobretudo nas regiões do azul e do verde, evidenciando uma maior eficiência luminosa em relação

às lâmpadas incandescentes, tendo em vista a baixa emissão na borda do vermelho, região esta associada à emissão de calor, por estar mais próxima da faixa do infravermelho. As LEDs (Diodos Emissores de Luz), por sua vez, utilizam semicondutores para emitir fótons de maneira direta, apresentando um espectro com bandas de emissão mais específicas, conferindo ainda mais, eficiência energética e menores perdas por emissão térmica. Assim, enquanto as fontes incandescentes desperdiçam energia em calor, as fluorescentes oferecem um melhor aproveitamento da luz visível, e os LEDs representam a opção mais econômica e sustentável para iluminação.

Figura 6: Radiância espectral x comprimento de onda



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.7 O LED Azul e a Dificuldade de Criá-lo

A história da criação do LED azul é uma das mais fascinantes na ciência moderna, marcada por desafios técnicos e persistência. Antes de sua invenção, os LEDs vermelhos e verdes já existiam, mas a luz azul era essencial para criar luz branca, que combina vermelho, verde e azul. Essa combinação abriria portas para aplicações em telas e iluminação eficiente.

O avanço veio no final dos anos 1980 e início dos anos 1990, quando o engenheiro japonês Shuji Nakamura, trabalhando na empresa Nichia, conseguiu desenvol-

ver o LED azul. Ele utilizou cristais de nitreto de gálio (GaN), um material semicondutor que permitia a emissão de luz azul. Nakamura enfrentou dificuldades técnicas e até preconceito por não ter um título de doutorado, mas persistiu em sua pesquisa. Ele foi pioneiro na produção de cristais de alta qualidade usando a técnica de Deposição Química de Vapor de Metal Orgânico (DQVMO) ([Akasaki et al., 2014]).

Além de Nakamura, os pesquisadores Isamu Akasaki e Hiroshi Amano também contribuíram significativamente para o desenvolvimento do LED azul. Eles trabalharam na Universidade de Nagoya e resolveram problemas relacionados à produção de GaN tipo P (que é obtido por meio da dopagem com magnésio, criando buracos que são ausência de elétrons como portadores de carga) e à obtenção de lâmpadas com potências visíveis durante o dia. Em 1990, Nakamura conseguiu produzir cristais de GaN de alta qualidade, enquanto Akasaki e Amano avançaram na produção de GaN tipo P ([UNICENTRO, 2024]).

O GaN, ou nitreto de gálio, pode ser manipulado para se comportar como semicondutor do tipo N ou tipo P, dependendo dos elementos usados na sua dopagem. No caso do GaN tipo N, adicionam-se impurezas doadoras, como o silício, que introduzem elétrons livres no material. Esses elétrons são os principais responsáveis pela condução de corrente, e graças à alta mobilidade eletrônica, o GaN tipo N se destaca em dispositivos de alta frequência e potência.

O impacto dessa invenção foi tão significativo que Nakamura, Akasaki e Amano receberam o Prêmio Nobel de Física em 2014. O LED azul revolucionou a iluminação, permitindo a criação de lâmpadas LED brancas, que são mais eficientes e duráveis do que as incandescentes e fluorescentes. Essa tecnologia também contribuiu para o desenvolvimento dos dispositivos eletroeletrônicos na vida cotidiana que já é amplamente reconhecido. Nos últimos anos, sua aplicação tem se expandido progressivamente para o campo da medicina e outras áreas da saúde, contribuindo para avanços tecnológicos e melhorias na qualidade dos tratamentos, além de reduzir o consumo global de energia e preservar recursos naturais ([Oliveira Martins et al., 2025]).

3.8 A influência da Luz Azul no Sono

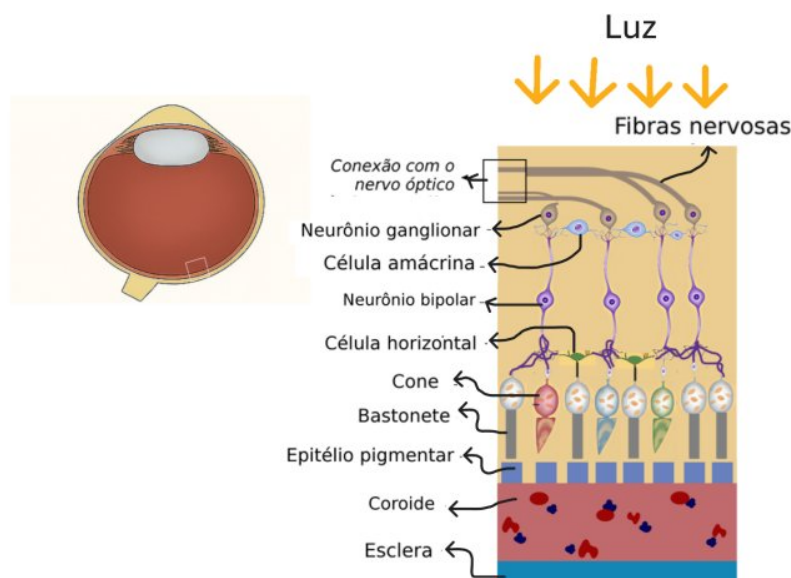
A luz azul, localizada no espectro visível com comprimentos de onda entre 435 e 500 nm, tornou-se objeto de grande interesse devido ao seu impacto nos padrões de sono humano. Emitida por dispositivos eletrônicos como smartphones, computadores e televisores, bem como por fontes artificiais como LEDs, essa luz desempenha um papel ambíguo: enquanto beneficia a atenção e o estado de alerta durante o dia, sua exposição em horários inadequados, especialmente à noite, pode trazer consequências adversas.

O sono humano é regulado pelo ciclo circadiano, um relógio biológico ajustado pela exposição à luz. Entre os elementos mais influentes nesse processo está a melatonina, hormônio produzido pela glândula pineal que sinaliza ao organismo a proximidade do período de descanso. Estudos mostram que a luz azul, ao atingir as células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis (cgRIFs) nos olhos mostrado na figura 7, pode suprimir a secreção de melatonina, causando atrasos no início do sono e afetando a qualidade geral do descanso ([Brainard et al., 2001]), ([UTFPR, 2019]). Esse fenômeno é particularmente relevante no cenário atual, em que dispositivos emissores de luz azul são amplamente utilizados em atividades noturnas, incluindo trabalho, lazer e comunicação.

A inovação tecnológica trouxe consigo a popularização do LED azul, fundamental para a iluminação doméstica e industrial moderna. Essa tecnologia, além de energeticamente eficiente, tornou-se o principal emissor de luz azul em nosso cotidiano. Por outro lado, sua ampla adoção também intensificou os desafios relacionados à saúde. A exposição prolongada e frequente a dispositivos eletrônicos tem sido associada à dificuldade para adormecer e ao menor tempo total de sono, o que pode acarretar impactos negativos na memória, no desempenho cognitivo e na saúde mental. Além disso, a interrupção prolongada do sono pode contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas, danos oculares e problemas cardiovasculares ([PACHECO et al., 2025]), ([Yanka Zanoló Gajardo, 2021]).

Diante desse panorama, torna-se essencial adotar estratégias para mitigar os efeitos adversos da luz azul. Entre as soluções propostas estão o uso de filtros de luz azul em dispositivos eletrônicos e óculos especializados, bem como a introdução de modos noturnos de iluminação que ajustam o espectro para tons mais quentes. Além disso, reduzir a exposição a dispositivos antes de dormir e adotar rotinas de relaxamento noturno pode auxiliar na preservação de um ciclo de sono saudável ([Fernandes de Almeida et al., 2025]).

Figura 7: Estrutura da Retina humana



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O tema da influência da luz azul no sono é de extrema relevância para o contexto contemporâneo, pois reflete diretamente as mudanças nos hábitos e no estilo de vida impulsionados pela tecnologia. Conscientizar a sociedade sobre esses impactos e buscar um equilíbrio entre os benefícios da iluminação moderna e a proteção da saúde são passos fundamentais para promover um bem-estar sustentável.

4 Materiais e métodos

Este capítulo descreve os materiais utilizados na pesquisa e experimento, os métodos empregados na análise dos efeitos da luz azul sobre o sono. A abordagem adotada combina uma revisão bibliográfica detalhada e a aplicação de técnicas de avaliação sobre o impacto da exposição à luz azul na regulação do ritmo circadiano.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo incluem:

Artigos científicos e publicações acadêmicas, com fontes renomadas que embasaram a revisão bibliográfica, incluindo estudos sobre radiação do corpo negro, mecanismos de emissão das lâmpadas e efeitos da luz azul no sono.

Gráficos e imagens científicas, com representações espectrais da luz emitida por diferentes lâmpadas e a curva de radiação do corpo negro, que auxiliam na compreensão das características da luz azul.

Softwares de análise espectral com ferramentas utilizadas para modelagem e visualização de espectros luminosos, permitindo comparar diferentes fontes de luz e seus impactos sobre a percepção humana.

Experimento para medir a luminância em Lux pela distância de uma lanterna e três lâmpadas diferentes. Materiais utilizados para a realização do experimento foram, um multímetro digital com agulhas de tensão e cabeças de jacaré, um fotoresistor, uma fita métrica de 3 m, uma lanterna de LED com potência nominal de 3 W e de um fluxo luminoso de 70 *Lm*, três lâmpadas de uso domiciliar nas quais são elas, uma incandescente, uma fluorescente e uma LED.

4.2 Métodos

A metodologia deste estudo foi estruturada em cinco etapas complementares, com o objetivo de investigar a influência da luz azul sobre a saúde humana, particularmente em relação ao ritmo circadiano, e de compreender os aspectos físicos e

técnicos associados à emissão luminosa.

Revisão bibliográfica, onde foram realizadas buscas criteriosas em sites renomados como Philosophical Transactions of the Royal Society B, Journal of Neuroscience, Google Scholar e outras fontes acadêmicas reconhecidas. O foco foi em publicações científicas que abordam o espectro da luz azul, os mecanismos neurofisiológicos da regulação do sono e as interações entre iluminação artificial e produção hormonal, especialmente a melatonina.

Análise espectral, onde a segunda etapa consistiu na comparação entre os espectros de emissão de diferentes tecnologias de iluminação, lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs, em relação à curva teórica de radiação do corpo negro. Isso possibilitou identificar a intensidade relativa da luz azul emitida por cada tipo de fonte, fornecendo uma base quantitativa para relacionar os dados fisiológicos com os físicos.

Experimento da medida de iluminância com fotoresistor, na qual, de forma prática e complementar à análise teórica, foi conduzido um experimento controlado com o objetivo de medir a iluminância (em lux) de algumas fontes de luz em diferentes distâncias. Em um ambiente escuro, posicionou-se um fotoresistor alinhado a uma lanterna a uma altura fixa de 8,5 cm, mantendo esta mesma altura para as demais análises. Medições foram realizadas a 0,30 m, 0,50 m, 1,00 m e 2,00 m de distância entre o sensor e a lanterna, como houve variações nos valores registrados, foi feita uma média entre os resultados captados no multímetro nas diferentes distâncias, já as medidas feitas entre o fotoresistor e as lâmpadas foram de 0,25 m na incandescente, 0,31 m na fluorescente e 0,55 m na de LED, onde também houve variações, porém como a medida deveria se manter a $20\text{ k}\Omega$ não foi necessário a média de resultados. Essas medidas das lâmpadas foram escolhidas pois é o limite de resistência em $20\text{ (k}\Omega\text{)}$ registrado no multímetro. A resistência elétrica registrada em $(\text{k}\Omega)$ foi convertida em iluminância aproximada por meio da fórmula empírica: $E = \frac{500}{R}$ (esta fórmula não tem um autor único ou consagrado como as leis de Ohm, por exemplo. Ela é uma relação empírica que surgiu da prática com sensores de luz,

especialmente os LDRs (Light Dependent Resistors) ou fotoresistor, e foi sendo adotada em projetos didáticos, kits de robótica e eletrônica básica.) onde " E " representa a iluminância (lux) e " R " a resistência em $k\Omega$. O experimento confirmou a relação inversa entre distância e intensidade luminosa, gerando dados utilizados para plotar um gráfico interpretativo. Este método permitiu observar como a variação espacial da luz afeta diretamente sua captação por dispositivos sensíveis, simulando em pequena escala a forma como o corpo humano percebe variações na exposição luminosa.

Uma correlação com estudos clínicos, no qual, com os dados experimentais e espectrais em mãos, foram analisados artigos clínicos que relacionam a exposição à luz azul com distúrbios no sono, variação nos níveis hormonais e impactos comportamentais. Estudos como os de ([Brainard et al., 2001]) e ([Fernandes de Almeida et al., 2025]) forneceram fundamentação sólida para correlacionar os efeitos da intensidade e do comprimento de onda da luz com respostas fisiológicas, como o atraso no início do sono e a diminuição da qualidade do descanso.

Por fim temos, as discussão dos impactos e recomendações onde dados obtidos foram integrados à discussão sobre soluções práticas para mitigar os efeitos da luz azul, incluindo estratégias como o uso de filtros, ajustes de temperatura de cor em dispositivos, priorização de iluminação quente em ambientes noturnos e conscientização sobre o tempo de exposição a telas eletrônicas.

5 Resultados

5.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica desempenha um papel essencial na construção deste trabalho, proporcionando um embasamento teórico sólido para a análise dos fenômenos abordados. Para isso, foram consultados artigos científicos, publicações acadêmicas e estudos técnicos, que apresentam discussões relevantes sobre iluminação artificial, espectros de emissão e radiação do corpo negro.

Inicialmente, foram analisados os diferentes mecanismos de geração de luz, comparando os processos físicos das lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED. A literatura científica traz uma abordagem detalhada sobre a eficiência luminosa dessas tecnologias, com destaque para os estudos de ([Silva Braga et al., 2014]), que discutem o impacto ambiental e a transição para fontes de luz mais sustentáveis. Além disso, foram consultados estudos sobre o ciclo de vida e impacto ambiental dos LEDs, como apresentado por ([Fumagalli, 2024]).

Foi investigada também a radiação do corpo negro, conceito essencial para compreender a emissão térmica e sua influência na distribuição espectral da luz visível. Autores como ([Thiara et al., 2022]) analisaram a abordagem do tema nos livros didáticos do PNLD 2018, enquanto estudos clássicos como os de Planck (1900) estabeleceram bases teóricas para o entendimento da radiação eletromagnética. Além disso, a simulação interativa feita no Phet, auxiliou na visualização dos espectros de emissão dessa radiação.

Outro tema abordado na pesquisa bibliográfica foi a evolução do LED azul e as dificuldades associadas à sua criação, um marco tecnológico que possibilitou a fabricação de LEDs brancos mais eficientes. Estudos de ([Akasaki et al., 2014]) e ([Mukai et al., 1999]) detalham o impacto dessa descoberta e seu papel na revolução da iluminação comercial. Além disso, pesquisas como as de ([Mukai et al., 1999]) exploram o desenvolvimento de semicondutores à base de nitreto para aplicações avançadas.

Por fim, foram examinados artigos científicos sobre a influência da luz azul no sono, considerando seus efeitos na produção de melatonina e no ritmo circadiano. Estudos como os de ([Holzman, 2010]) e ([Brainard et al., 2001]) indicam que a exposição prolongada à luz azul pode afetar a qualidade do sono, especialmente em ambientes com alta presença de telas eletrônicas. Investigações mais recentes, como as de ([Fernandes de Almeida et al., 2025]), reforçam essas evidências e discutem o impacto da luz artificial no ciclo biológico humano.

Dessa forma, a pesquisa bibliográfica realizada permitiu consolidar o conhecimento sobre os tópicos investigados, proporcionando um embasamento confiável para a análise dos resultados experimentais deste trabalho.

5.2 Experimento com a lanterna LED:

O experimento foi conduzido em um ambiente completamente escuro, de modo a evitar qualquer interferência de fontes externas de luz. O objetivo foi verificar a relação entre a iluminância (medida em lux) e a distância entre a fonte de luz e o sensor. A resistência elétrica registrada em ($k\Omega$) teve variações em sua marcação, logo foram feitas várias medidas para ter uma média de aproximação do resultado, onde o resultado da resistência captada pelo multímetro foi convertido para LUX usando a fórmula $E = 500 / R$ (esta fórmula não tem um autor único ou consagrado como as leis de Ohm, por exemplo. Ela é uma relação empírica que surgiu da prática com sensores de luz, especialmente os LDRs (Light Dependent Resistors) ou fotoresistor, e foi sendo adotada em projetos didáticos, kits de robótica e eletrônica básica).

Para isso, posicionou-se o fotoresistor a uma altura de 8,5 cm, alinhado frontalmente com uma lanterna. Foram realizadas medições em quatro distâncias distintas entre os dois componentes: 0,30 m, 0,50 m, 1 m e 2 m.

Em cada configuração, foram coletadas duas informações:

A posição relativa (figuras 8, 10, 12 e 14)

A leitura da resistência medida no fotoresistor via multímetro (figuras 9, 11, 13 e 15)

Figura 8: Medida de 0.30 m entre o fotoresistor e a lanterna.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 9: Resultado da medida em 0.30 m marcando a resistencia do fotoresistor.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 10: Medida de 0.50 m entre o fotoresistor e a lanterna.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 11: Resultado da medida em 0.50 m marcando a resistencia do fotoresistor.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 12: Medida de 1 m entre o fotoresistor e a lanterna.



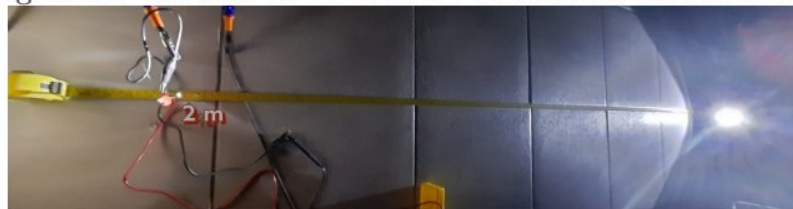
Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 13: Resultado da medida em 1 m marcando a resistencia do fotoresistor.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 14: Medida de 2 m entre o fotoresistor e a lanterna.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Figura 15: Resultado da medida em 2 m marcando a resistência do fotoresistor.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Os valores registrados nas fotografias que condizem com as figuras (9, 11, 13 e 15) foram capturadas em um intervalo de tempo muito pequeno, e a variação de valores marcada no multímetro é muito rápida para ser pega manualmente (como foi no caso) logo o numero registrado na imagem estava dentro da marca de variação que foi determinada pelo numero de repetições, tornando o resultado das imagens, apenas para fins ilustrativos, mas ainda sim adentrando no valor próximo do experimento.

A seguir, os dados obtidos foram convertidos em valores aproximados de iluminância, assim plotados na tabela 2, como houve variações nos valores registrados, foi feita uma média entre os resultados captados no multímetro mostrados na tabela 1, nas diferentes distancias onde utilizando a fórmula empírica conseguimos determinar o LUX:

$$E = \frac{500}{R}$$

em que:

E : iluminância em lux

R : resistência do fotoresistor em $k\Omega$

500: constante empírica calibrada para o sensor utilizado

Tabela 1: Média da resistência em cada distância

distâncias (m)	Valores de resistência ($k\Omega$)	Média ($k\Omega$)
0,30	1,30 • 1,35 • 1,40 • 1,45 • 1,50	1,40
0,50	2,13 • 2,16 • 2,18 • 2,19 • 2,21	2,174
1,00	3,87 • 3,89 • 3,91 • 3,94 • 3,97	3,916
2,00	7,37 • 7,40 • 7,43 • 7,46 • 7,49	7,43

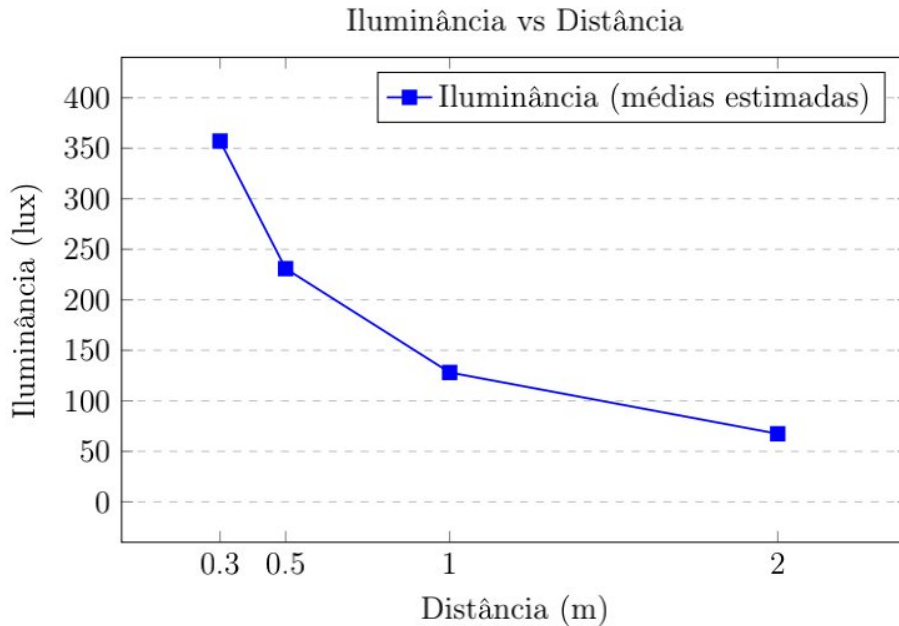
Fonte: Dados captados com base nas medições realizadas em ambiente escuro durante o experimento com lanterna LED, junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Tabela 2: Relação entre distância, resistência e iluminância

Distância (m)	Resistência ($k\Omega$)	Iluminância (lux)
0,30	1,40	357,14
0,50	2,174	229,89
1,00	3,916	127,61
2,00	7,43	67,28

Fonte: Dados captados com base nas médias das medições realizadas em ambiente escuro durante o experimento com lanterna LED em junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Figura 16: Gráfico de iluminância vs distância (com médias estimadas)



Fonte: Gráfico de autoria própria elaborado com TikZ/PGFPlots em junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Com base nos resultados obtidos e ilustrados no gráfico da figura 16, observa-se de forma clara a relação inversa entre a distância da fonte luminosa e a iluminância registrada pelo sensor. À medida que a distância entre o fotoresistor e a lanterna aumenta, a intensidade luminosa captada (lux) diminui gradualmente, o que está de acordo com a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, onde a intensidade luminosa decresce com o quadrado da distância a partir da fonte de luz. Por exemplo, a uma distância de 0,30 m, registrou-se uma iluminância de aproximadamente 357,14 lux, enquanto a 2,00 m esse valor caiu para cerca de 67,28 lux. Essa variação reforça a sensibilidade do fotoresistor e valida a utilização da fórmula $E = \frac{500}{R}$ como estimativa da iluminância. O comportamento apresentado evidencia que a aproximação da fonte de luz ao sensor resulta em maior fluxo luminoso incidente, enquanto o afastamento reduz significativamente essa captação.

5.3 Experimento com as lâmpadas (incandescente, fluorescente e LED):

O experimento com as lâmpadas seguiu o mesmo princípio metodológico aplicado ao ensaio com a lanterna com seus resultados plotados na tabela 3: o ambiente foi mantido escuro e o sistema composto por fotoresistor e lâmpada foi posicionado a uma altura fixa de 8,5 cm. O objetivo principal era identificar a distância máxima em que a resistência elétrica atingia o valor de referência estipulado no multímetro digital ajustado para 20 ($k\Omega$).

As medições obtidas para o ponto de resistência limite foram:

- 0,25 m para a lâmpada incandescente,
- 0,31 m para a lâmpada fluorescente,
- 0,55 m para a lâmpada LED.

Tabela 3: Comparação entre tipos de lâmpadas quanto à resistência e distância

Lâmpadas	Resistência ($k\Omega$)	Distância (m)
Incandescente	19,87	0,25
Fluorescente	19,86	0,31
LED	19,91	0,55

Fonte: Dados captados com base nas medições realizadas em ambiente escuro durante o experimento com as lâmpadas Incandescente, Fluorescente, LED, junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Figura 17: Medida de 0.25 m da lâmpada incandescente



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Figura 18: Resultado da resistência da lâmpada incandescente



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 19: Medida de 0.31 m da lâmpada incandescente



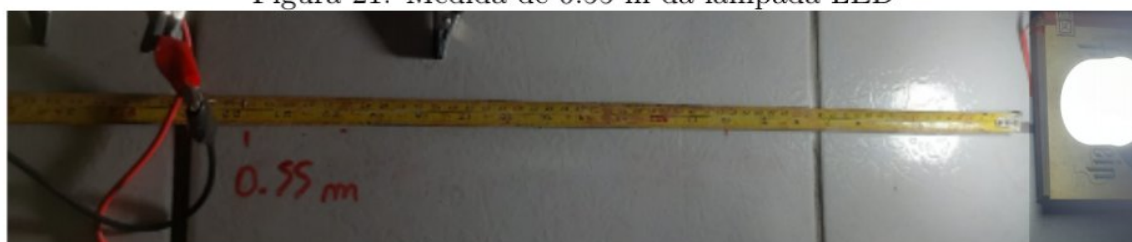
Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 20: Resultado da resistência da lâmpada fluorescente



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 21: Medida de 0.55 m da lâmpada LED



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri,
Piauí.

Figura 22: Resultado da resistência da lâmpada LED



Fonte: Fotografia registrada pelo autor em junho de 2025, em Piripiri, Piauí.

Esses resultados indicam diferenças claras na intensidade luminosa emitida por cada tecnologia de lâmpada.

Considerando que o valor de iluminância aproximado foi mantido constante em 25 lux, a variável alterada foi unicamente a distância entre a fonte luminosa e o sensor, mesmo assim o experimento foi realizado inúmeras vezes para ter a distância correta, assim como o ocorrido no experimento da lanterna LED onde as imagens foram capturadas em um intervalo de tempo muito pequeno, e a variação de valores marcada no multímetro é muito rápida para ser pega manualmente (como foi no caso), foi mantido o valor da distância máxima onde marcava o valor mais próximo de 20 $k\Omega$.

As figuras que acompanham este experimento (Figuras 17 a 22) ilustram as medições realizadas, bem como os respectivos valores de resistência obtidos para cada tipo de lâmpada. As fotografias foram registradas pelo autor em junho de 2025, no município de Piripiri, Piauí.

A análise dos dados reforça a capacidade superior de emissão luminosa dos LEDs quando comparados às tecnologias convencionais, considerando a distância maior alcançada até atingir o mesmo nível de iluminância.

6 Conclusões

O presente estudo investigou de forma prática e conceitual o comportamento da luz no ambiente, explorando a relação entre iluminância e distância por meio de dois experimentos com fotoresistor: um com lanterna e outro com diferentes lâmpadas comerciais (incandescente, fluorescente e LED). Em ambos os casos, o ambiente foi controlado, sem influência de fontes luminosas externas, e as medições foram realizadas a diferentes distâncias, utilizando a resistência elétrica do fotoresistor como parâmetro para estimar a intensidade luminosa em lux.

No primeiro experimento, foram feitas quatro medições (0,30 m, 0,50 m, 1,00 m e 2,00 m), aplicando a fórmula empírica $E = \frac{500}{R}$ para converter resistência em iluminância. Os resultados revelaram um comportamento físico esperado: quanto maior a distância, menor a iluminância registrada, com valores decaindo de 357,14 lux (a 0,30 m) para 67,28 lux (a 2,00 m).

No segundo experimento, foram analisadas as três tecnologias de lâmpadas posicionadas a 8,5 cm de altura. A distância entre cada fonte de luz e o sensor foi ajustada até que a resistência alcançasse o limite de $20\text{ k}\Omega$, indicando um ponto de referência uniforme. As distâncias resultantes foram: 0,25 m para a incandescente, 0,31 m para a fluorescente e 0,55 m para o LED, sugerindo que a lâmpada de LED emite uma iluminância mais intensa a distâncias maiores, um dado coerente com as características espectrais e de eficiência dessas tecnologias.

Os dados obtidos não apenas sustentam os princípios da óptica geométrica e da propagação da luz, como também se conectam a um tema maior: os efeitos fisiológicos e sociais da iluminação artificial, especialmente da luz azul emitida por LEDs modernos. Embora os LEDs tenham revolucionado a iluminação por sua eficiência energética e versatilidade, há uma crescente preocupação quanto aos seus efeitos sobre a biologia humana. Como discutido ao longo deste trabalho, a emissão intensa de fótons na faixa azul do espectro eletromagnético afeta o sistema circadiano, inibindo a produção de melatonina o hormônio que regula o sono e comprometendo

a qualidade do descanso noturno.

Estudos como os de ([Brainard et al., 2001]) e ([Holzman, 2010]) reforçam que a exposição prolongada à luz azul, especialmente em ambientes residenciais à noite, pode contribuir para a ocorrência de distúrbios do sono, alterações do humor e até impactos nos processos metabólicos e cognitivos. A iluminação deixou de ser apenas um recurso funcional e passou a ser um agente ativo na saúde humana, interferindo diretamente em ritmos biológicos que evoluíram ao longo de milhões de anos em sintonia com o ciclo natural claro-escuro.

Adicionalmente, os experimentos reforçam esse alerta: ao quantificar como a intensidade luminosa se distribui no espaço e entre diferentes tecnologias de iluminação, foi possível observar que ambientes com fontes de luz azul muito próximas e intensas podem facilmente ultrapassar os níveis de iluminância recomendados para conforto visual, especialmente no período noturno. Isso enfatiza a necessidade de critérios técnicos mais sensíveis na escolha e no posicionamento de fontes de luz em ambientes cotidianos, sobretudo em domicílios e locais de trabalho.

Além das implicações individuais, os resultados também refletem sobre o papel social da iluminação artificial. A escolha das fontes luminosas deve considerar não apenas o custo e a durabilidade, mas também suas características espectrais. Enquanto as lâmpadas incandescentes e fluorescentes emitem luz com espectros mais amplos ou moderados, os LEDs, especialmente os de alta intensidade e cor fria, concentram energia em faixas mais agressivas ao sistema visual e hormonal. Seu uso excessivo e inadequado tem, portanto, o potencial de perturbar não só o bem-estar individual, mas também o equilíbrio ecológico em áreas urbanas, ao afetar o comportamento de animais noturnos e a percepção ambiental em toda a cadeia biológica.

Diante disso, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias mais equilibradas, como LEDs com temperatura de cor ajustável, sistemas de controle automático de brilho e filtros ópticos que limitem a emissão de faixas nocivas. A elaboração de políticas públicas e regulamentações específicas para iluminação arti-

ficial, tanto interna quanto urbana, também se mostra urgente, a fim de promover ambientes que respeitem os ritmos naturais do corpo humano.

Este trabalho evidencia que a interseção entre ciência, tecnologia e saúde é um campo fértil para descobertas e inovações. Ao compreender como a luz se comporta no espaço físico como demonstrado nos experimentos e como ela interage com os sistemas biológicos, é possível desenhar estratégias mais conscientes de design luminotécnico, contribuindo para um futuro onde eficiência energética e qualidade de vida caminhem juntas.

Referências

- [Akasaki et al., 2014] Akasaki, I., Amano, H., Nakamura, S., and Nakamura, S. (2014). The nobel prize in physics 2014. *The Royal Swedish Academy of Science*.
- [Araújo, 2022] Araújo, J. L. (2022). *Poluição luminosa, suas implicações na ciência e na sociedade*. Editora Dialética.
- [Brainard et al., 2001] Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., and Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16):6405–6412.
- [da Costa de Carvalho, 2018] da Costa de Carvalho, H. (2018). Análise da viabilidade técnico-econômica e eficiência energética na substituição de lâmpadas convencionais por led: estudo de caso campus dos palmares. *Revista de Eficiência Energética e Sustentabilidade*, 5(1):22–35.
- [da Silva Sampaio, 2025] da Silva Sampaio, P. E. (2025). Fotografia do experimento em piripiri. Imagem de autoria própria. [Fotografia].
- [Faria, 2022] Faria, L. M. (2022). Um breve olhar sobre a história da iluminação: da teoria das cores às fontes artificiais de luz. Acesso em: 9 junho 2025.
- [Fernandes de Almeida et al., 2025] Fernandes de Almeida, M. M., Tavares, N. N., Silva, K. M. O., and Bogado, L. D. (2025). Impactos da exposição à luz azul na saúde ocular: Revisão integrativa de evidências e estratégias preventivas. *Journal of Medical and Biosciences Research*, 2(2). Acesso em: 9 junho 2025.
- [Fumagalli, 2024] Fumagalli, G. V. (2024). O ciclo de vida e o impacto ambiental das lâmpadas led: uma análise crítica a partir da literatura disponível. *Revista Brasileira de Sustentabilidade e Tecnologia*, 10(2):45–60.

-
- [Holzman, 2010] Holzman, D. C. (2010). What's in a color? the unique human health effects of blue light. *Environmental Health Perspectives*, 118(1):A22–A27.
- [Mombach et al., 2008] Mombach, V. L., Riella, H. G., and Kuhnen, N. C. (2008). O estado da arte na reciclagem de lâmpadas fluorescentes no brasil: parte 1. *Revista Acta Ambiental Catarinense*, 5(1/2):43–53.
- [Monteiro et al., 2014] Monteiro, R. V. A., Carvalho, B. C., and Nogueira, F. (2014). Drivers de lâmpadas de led: Topologias, aplicações e desempenho. *E&S Engineering and Science*, 2(1):23–29.
- [Mukai et al., 1999] Mukai, T., Yamada, M., and Nakamura, S. (1999). Characteristics of ingan-based uv/blue/green/amber/red light-emitting diodes. *Japanese Journal of Applied Physics*, 38(7R):3976. Acesso em: 9 junho 2025.
- [Novicki and Martinez, 2008] Novicki, J. M. and Martinez, R. (2008). Leds para iluminação pública. Acesso em: 9 junho 2025.
- [Oliveira Martins et al., 2025] Oliveira Martins, N. C. et al. (2025). O led azul e suas aplicações voltadas para a saúde humana. *Revista Tópicos*, 3(19):1–16.
- [PACHECO et al., 2025] PACHECO, P. M. d. A., AMBROSOLI, S. d. S., CEREJA, B. d. R., and ALVES, M. D. (2025). A influência da luz azul em aparelhos eletrônicos na qualidade do sono. *Revista Científica Saúde e Tecnologia (RECISATEC)*, X(Y):Z.
- [[Sampaio] 2025a]autor2025figura2 [Sampaio], P. (2025a). Componentes da lâmpada fluorescente. Figura elaborada pelo autor. Disponível no trabalho acadêmico.
- [[Sampaio] 2025b]autor2025figura7 [Sampaio], P. (2025b). Estrutura da retina humana. Figura elaborada pelo autor. Disponível no trabalho acadêmico.

-
- [[Sampaio] 2025c]autor2025figura3 [Sampaio], P. (2025c). Processo de absorção e emissão de fótons entre dois níveis de energia. Figura elaborada pelo autor. Disponível no trabalho acadêmico.
- [[Sampaio] 2025d]autor2025figura6 [Sampaio], P. (2025d). Radiância espectral x comprimento de onda. Figura elaborada pelo autor. Disponível no trabalho acadêmico.
- [[Sampaio] 2025e]autor2025figura1 [Sampaio], P. (2025e). Representação dos componentes de uma lâmpada incandescente. Figura elaborada pelo autor. Disponível no trabalho acadêmico.
- [[Sampaio] 2025f]autor2025figura4 [Sampaio], P. (2025f). Representação dos componentes de uma lâmpada led. Figura elaborada pelo autor. Disponível no trabalho acadêmico.
- [SANTOS et al., 2015] SANTOS, T. S. d., BATISTA, M. C., POZZA, S. A., and ROSSI, L. S. (2015). Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de led e convencionais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20(4):481–490.
- [Silva Braga et al., 2014] Silva Braga, F., Luisi Paim Ferreira, I., Miranda Oliveira, L., and Ferreira dos Santos Cruz, A. (2014). Análise comparativa da eficiência energética e qualidade de energia em lâmpadas incandescentes fluorescentes e led's. *Seminário Estudantil de Produção Acadêmica*, 13.
- [simulations, 2025] simulations, P. (2025). Representação espectral do corpo negro. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum. [Imagem].
- [Thiara et al., 2022] Thiara, A. C., Batista, L., Oliveira, D., and Siqueira, M. (2022). Transposição didática: A radiação do corpo negro nos livros didáticos do pnld 2018. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16(1):8.

- [Torres et al., 2009] Torres, I. S., SOUSA, F., Ferreira, T. V., and Luciano, B. A. (2009). Lâmpadas fluorescentes e distorções harmônicas: eficiência energética e qualidade de energia elétrica. In *Anais do VIII CBQEE-Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica, Blumenau*.
- [UNICENTRO, 2024] UNICENTRO (2024). A história do led azul. Acesso em: 10 junho 2025.
- [UTFPR, 2019] UTFPR (2019). Influência da luz azul sobre o sono. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17548/1/CT_CEEEST_XXXVII_2019_15.pdf.
- [Yanka Zanoló Gajardo, 2021] Yanka Zanoló Gajardo, Juliana Nunes Ramos, A. P. M. N. F. M. M. G. F. P. R. M. R. (2021). Problemas com o sono e fatores associados na população brasileira: Pesquisa nacional de saúde, 2013. *Ciência Saúde Coletiva*, 26(2):601–610.