

ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM USO DE TECNOLOGIA LED

UM ESTUDO DE CASO

Arthur Augusto Braga Barcelos

Luis Gustavo Schröder e Braga

Faculdade Doctum – João Monlevade

RESUMO

A iluminação pública tem papel importante na segurança, mobilidade e qualidade de vida urbana, além de representar uma parcela significativa do consumo energético municipal. Diante da necessidade de eficiência e sustentabilidade, este estudo tem como objetivo analisar os impactos da substituição de lâmpadas convencionais por luminárias LED em uma cidade de Minas Gerais. A pesquisa foi conduzida por meio de estudo de caso, com coleta de dados secundários, observação direta, entrevistas não estruturadas com gestores e população, e uso de georreferenciamento para mapear os 17 mil pontos de iluminação da cidade. Foram comparadas áreas com iluminação tradicional e LED, utilizando indicadores como consumo energético, custos operacionais, segurança pública e acidentes urbanos. Os resultados apontam economia anual superior a R\$ 5,8 milhões, redução de 38% nos custos com manutenção, mitigação de aproximadamente 617 toneladas de CO₂ por ano e queda de até 25% nos acidentes noturnos. A pesquisa destaca a viabilidade técnica, econômica e ambiental da modernização da iluminação pública com tecnologia LED, reforçando seu potencial como ferramenta estratégica para cidades mais inteligentes, seguras e sustentáveis.

Palavras-chave: Iluminação pública; tecnologia LED; eficiência energética; sustentabilidade urbana; impacto ambiental; cidade inteligente

1. INTRODUÇÃO

A iluminação pública desempenha um papel crucial na segurança, mobilidade e bem-estar nas áreas urbanas, garantindo visibilidade adequada em vias públicas, praças e outros espaços comuns, o que ajuda na prevenção de acidentes e na redução da criminalidade. Esse serviço, segundo Kobav (2022), tem grande impacto financeiro e ambiental, representando cerca de 1,5% do consumo total de energia das cidades. Para enfrentar esse desafio, o uso de tecnologias mais eficientes, como o Diodo Emissor de Luz (LED do inglês *Light-Emitting Diode*), tem se mostrado uma alternativa promissora.

A tecnologia LED oferece vantagens como a redução de até 70% no consumo de energia em relação às lâmpadas tradicionais, prolonga a vida útil dos equipamentos e diminui os custos de manutenção, conforme apontado por Kobav (2022). Além disso, estudos de caso, como o de Konrad Henryk Bachanek *et al.* (2021), demonstram que a adoção dessa tecnologia em cidades como Buenos Aires e Chicago resultou em menor emissão de gases de efeito estufa e redução da poluição luminosa, tornando o ambiente urbano mais sustentável.

A relevância desse tema está ligada à necessidade urgente de transição energética e de cumprimento das diretrizes ambientais estabelecidas por acordos internacionais, como o Acordo de Paris. A substituição da iluminação pública convencional por sistemas baseados em LED, conforme estudo de Cavalcanti Filho *et al.* (2021), proporcionou uma economia de 38,47% no consumo de energia na Avenida Recife, além de menor necessidade de manutenção. Esses benefícios reforçam a importância do uso dessa tecnologia para alcançar metas de sustentabilidade e eficiência energética.

Além das vantagens diretas, os sistemas de iluminação pública com LED podem ser integrados a tecnologias de controle inteligente, como sensores de movimento e redes de comunicação, otimizando ainda mais o consumo de energia e ajustando a iluminação de acordo com as necessidades da população.

A implementação de sistemas de iluminação pública com LED, apesar de suas vantagens em termos de eficiência energética e integração com tecnologias inteligentes, enfrenta desafios significativos que podem dificultar sua adoção em larga escala. Um dos principais

obstáculos é o alto custo inicial de instalação, que demanda investimentos consideráveis por parte das administrações públicas e pode ser um entrave para cidades com orçamentos mais limitados. A viabilidade do projeto também depende de incentivos governamentais, que podem variar conforme as políticas públicas, disponibilidade de recursos e prioridades estabelecidas pelos gestores. Cavalcanti Filho *et al.* (2021),

A adaptação da infraestrutura elétrica existente, que nem sempre está preparada para suportar os novos sistemas, exigindo ajustes técnicos e estruturais que podem aumentar os custos e a complexidade do projeto também é uma dificuldade encontrada. A capacitação de profissionais para a instalação, operação e manutenção desses equipamentos deve ser considerada, pois a falta de mão de obra qualificada pode comprometer o desempenho e a durabilidade dos sistemas de LED.

Ao longo da pesquisa, serão apresentados estudos de caso, análises de viabilidade e discussões sobre a implementação de tecnologias inteligentes que podem transformar as cidades em ambientes mais sustentáveis e eficientes.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o impacto da implementação da tecnologia LED na iluminação pública, com ênfase na eficiência energética e na sustentabilidade. Para atingir o propósito, busca-se comparar o consumo de energia entre os sistemas de iluminação pública tradicionais e aqueles que utilizam a tecnologia LED; avaliar os benefícios econômicos e ambientais dessa adoção, especialmente no que diz respeito à redução dos custos operacionais e à diminuição das emissões de gases de efeito estufa; além de investigar as políticas públicas existentes que incentivam a transição para a iluminação LED nas cidades brasileiras, levando em consideração os desafios enfrentados durante a implementação desse sistema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresentará os conceitos, fundamentos e estudos que embasam a pesquisa, permitindo uma compreensão aprofundada sobre os temas abordados. Servirá como alicerce para a análise do problema identificado, reunindo autores e contribuições relevantes que auxiliam na construção do raciocínio e na fundamentação das propostas de melhoria.

2.1. Iluminação Pública

A iluminação pública é definida, segundo a resolução normativa nº 414:2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "um serviço público que tem como objetivo exclusivo iluminar os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual".

De responsabilidade dos governos municipais, além da iluminação que proporciona, a iluminação pública é importante para a segurança, mobilidade e desenvolvimento da população. Segundo o Guia Para Iluminação Pública, ela se aplica para vias urbanas (ruas, avenidas, viadutos, túneis, vielas, caminhos abertos à circulação pública e ciclovias), para vias rurais (rodovias e estradas), e vias e áreas de pedestres, como calçadas, passarelas, praças e parques.

O projeto adequado da infraestrutura da iluminação pública deve considerar não apenas a eficiência técnica e o atendimento das necessidades locais, mas também os aspectos econômicos e ambientais a fim de reduzir custos e impactos negativos ao meio ambiente, conforme o Guia de Iluminação Pública.

Com os avanços tecnológicos, os sistemas antigos baseados em lâmpadas de sódio e mercúrio estão sendo gradualmente substituídos por tecnologias mais modernas e eficientes, como o LED. Além da economia de energia – que pode alcançar reduções de até 50% em relação às lâmpadas convencionais –, os LEDs oferecem maior durabilidade, com vida útil média de 50.000 a 100.000 horas, reduzindo custos operacionais e de manutenção. A substituição por LED também contribui para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade e eficiência energética (Konrad Henryk Bachanek et al., 2021). Estudos apontam que o retorno do investimento na substituição da iluminação pública por LED pode ser alcançado em um período de 3 a 7 anos, dependendo do modelo de financiamento adotado e da escala do projeto.

A implementação da iluminação LED enfrenta desafios financeiros e estruturais. O alto custo inicial de instalação representa uma barreira para muitos municípios, especialmente aqueles com orçamentos mais restritos. A viabilidade do projeto depende

de incentivos governamentais ou parcerias público-privadas, que podem apresentar dificuldades burocráticas e de captação de recursos. Além disso, a infraestrutura elétrica existente pode não estar totalmente preparada para suportar os novos sistemas, exigindo modernizações que aumentam os custos e a complexidade do projeto. A capacitação de profissionais para a instalação, operação e manutenção dos equipamentos também são fatores que devem ser levados em consideração, uma vez que a falta de mão de obra qualificada pode comprometer a eficiência e a durabilidade dos sistemas LED.



Imagem 1 [Esta Foto](#) de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA-NC](#)

2.2. Conceitos Luminotécnicos

A luminotécnica representa uma subdivisão da engenharia elétrica, voltada ao estudo e à aplicação da luz artificial para atender às necessidades em ambientes internos e externos. Seu objetivo primário está em proporcionar uma iluminação eficaz, segura e confortável, conforme os requisitos técnico, econômico e ambiental. Para a obtenção de tais objetivos, torna-se necessário conhecer e aplicar conceitos básicos que disciplinam o comportamento da luz e o seu efeito sobre o ambiente iluminado. (Roberto; Ayoub 2023)

2.2.1. Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso, em lúmens (lm), ainda segundo Roberto e Ayoub (2023), expressa a totalidade da luz emitida por uma fonte luminosa e é necessário para mensurar a capacidade de uma lâmpada ou luminária iluminar eficientemente determinada área. A intensidade luminosa, dada em candelas, corresponde à luz emitida em uma dada direção; tal informação é de grande significado no projeto da iluminação direcionada, tal como luminária que destaca um objeto ou uma área iluminada.

2.2.2. Iluminância

Um conceito igualmente importante à eficiência luminosa é a iluminância, que se refere à quantidade de luz que incide sobre uma superfície, medida em lux. Esse parâmetro é fundamental para a utilização de um espaço, garantindo que tais espaços atendem aos requerimentos visuais de quem os utiliza. A iluminância, em candelas por metro quadrado, expressa o brilho percebido por um observador em uma dada superfície e é crucial para evitar ofuscamentos e promover o conforto visual. (Catarina da Silva 2007)

2.2.3. Temperatura

Relativa à temperatura de cor que, em Kelvin, é a tonalidade da luz emitida por uma fonte luminosa que pode ser quente (que fornece ambientes acolhedores) ou fria (mais indicada para trabalhos visuais, exigindo maior atenção). O índice de reprodução de cor, que mede a capacidade de uma fonte de luz em reproduzir as cores dos objetos de um modo adequado e natural, revela-se importante nas aplicações em que a cor exata é fundamental, como nas lojas ou galerias (Roberto; Ayoub 2023).

2.2.4. Eficiência Luminosa

Segunda Da Silva (2007), a eficiência luminosa, relacionando o fluxo luminoso emitido e a potência consumida, é expressa em lúmens por watt e, assim, utilizada como indicador da eficiência energética de uma fonte luminosa. Outro indicador técnico importante é o fator de uniformidade, que mede a regularidade da distribuição

proporcionada pela iluminação em um espaço, evitando que existam locais pouco evidentes e outros excessivamente evidentes.

2.2.5. Relacionamento entre os conceitos

A iluminação pública é um elemento que auxilia o desenvolvimento de ambientes urbanos e rurais, influenciando diretamente aspectos como segurança, visibilidade e eficiência energética. A adoção de soluções tecnológicas avançadas nesse setor tem sido incentivada, especialmente diante da necessidade de reduzir o consumo de energia e os custos operacionais, ao mesmo tempo em que se melhora a qualidade da iluminação oferecida à população. Entre essas soluções, destaca-se o uso da tecnologia LED, que revolucionou a forma como os espaços públicos são iluminados.

Segundo Cristiano Casagrande (2016), a implementação de luminárias de LED apresenta diversas vantagens em comparação com sistemas de iluminação convencionais. Esses produtos oferecem alta eficiência luminosa, o que significa que proporcionam um melhor aproveitamento da energia elétrica convertida em luz, reduzindo desperdícios e aumentando a economia de eletricidade. Possuem uma vida útil significativamente maior do que as lâmpadas tradicionais, o que diminui a necessidade de substituições frequentes e, conseqüentemente, os custos de manutenção.

Outro benefício importante das luminárias LED é o maior controle sobre a distribuição da luz. Diferente das lâmpadas tradicionais, que irradiam iluminação em várias direções e exigem refletores para direcioná-la corretamente, as luminárias LED permitem uma iluminação mais uniforme e focada, reduzindo a dispersão luminosa e minimizando a poluição luminosa. Isso não apenas melhora a visibilidade nas vias públicas, praças e outros espaços urbanos, mas também contribui para uma melhor percepção de segurança por parte dos cidadãos, reduzindo riscos de acidentes e aumentando a sensação de conforto no ambiente. A Imagem 1.2 demonstra a relação entre os tópicos anteriores tendo como base a iluminação pública.

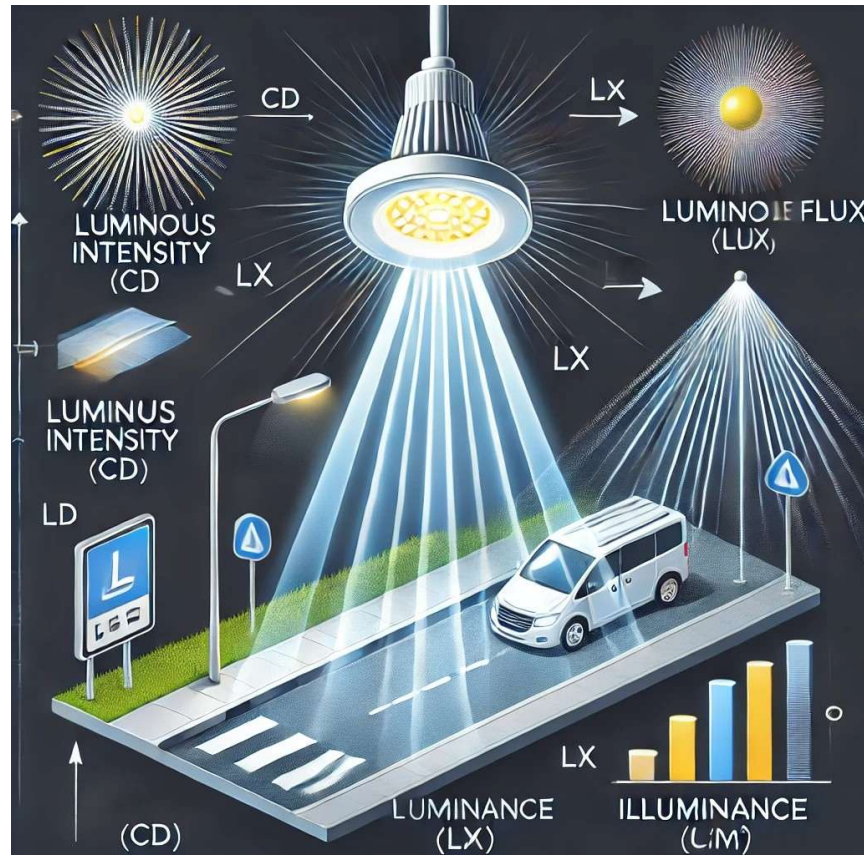


Imagem 1.2 Intensidade luminosa x fluxo luminoso x iluminância x luminância disponível gerado por inteligência artificial

2.1 Tecnologia LED

A tecnologia de iluminação com LEDs é fundamentada em dispositivos semicondutores que emitem luz quando atravessados por uma corrente elétrica. Diferentemente das lâmpadas convencionais, os LEDs transformam a energia elétrica em luz de maneira direta, o que resulta em uma considerável diminuição da energia perdida sob a forma de calor. Essa particularidade os posiciona como uma das opções de iluminação mais eficientes e sustentáveis atualmente disponíveis.

“Os LEDs possuem dimensões reduzidas e por isso podem ser utilizados em luminárias mais compactas. O efeito da vibração nas lâmpadas em geral reduz sua vida e complica seu funcionamento e, no caso dos LEDs, o desempenho é melhorado e a vida útil aumentada consideravelmente, já que esse efeito não se faz presente. Isso se deve ao fato de não possuir filamento

e funcionar com um chip muito reduzido, não deixando os impactos vibratórios aparecerem.” (Lopes, 2014, p. 15)

A imagem 1.3 mostra como é a estrutura física de um LED e as suas características que fazem com que eles sejam mais resistentes e mais econômicos.

Conforme estudos realizados pela Agência Internacional de Energia (IEA do inglês *International Energy Agency*), os LEDs podem ser até 80% mais eficientes em comparação com lâmpadas incandescentes e até 40% mais econômicos do que lâmpadas fluorescentes. Essa eficiência torna-os uma alternativa altamente atrativa para uma variedade de setores, incluindo a iluminação pública. Além disso, a longa vida útil dos LEDs, que pode ultrapassar 50 mil horas de utilização, resulta em menores custos de manutenção e reposição, representando uma solução econômica a longo prazo (IEA, 2021).

Ademais, os LEDs não contêm materiais tóxicos, como o mercúrio que se encontra nas lâmpadas fluorescentes, e são altamente recicláveis. Isso contribui para a significativa redução do impacto ambiental relacionado ao descarte de equipamentos de iluminação (Cavalcanti Filho *et al.*, 2021).

Outro aspecto a ser destacado é a capacidade dos LEDs de operar em diversas condições climáticas e em ambientes adversos. Eles possuem uma alta resistência a vibrações e variações de temperatura, o que os torna especialmente adequados para aplicações externas, como a iluminação pública, onde a durabilidade e a confiabilidade são fundamentais. Na Imagem 1.4 pode-se comparar e avaliar os tipos e modelos de luminárias de LED utilizadas em iluminação pública;

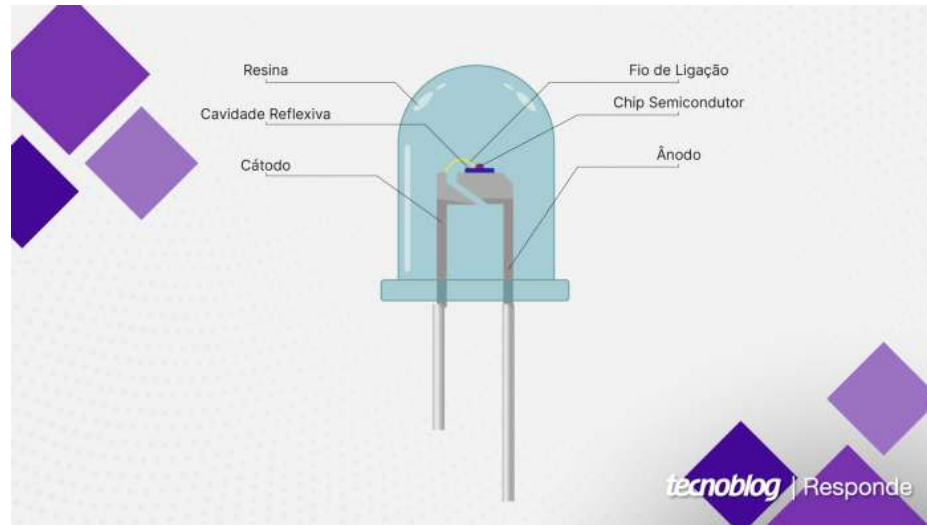


Imagem 1.3. disponível em [O que é um LED? Entenda como funciona essa tecnologia de iluminação • Gadgets • Tecnoblog](#)



Imagem 1.4. disponível em catálogo tecnowatt iluminação

2.2 Iluminação pública com o uso de tecnologia LED

A tecnologia LED tem revolucionado o setor de iluminação pública, sendo amplamente reconhecida como uma solução eficiente e sustentável para as demandas urbanas contemporâneas. A substituição das lâmpadas tradicionais, como as de vapor de sódio e mercúrio, por sistemas baseados em LED oferece uma série de benefícios, como redução

dos custos com energia, maior tempo de durabilidade. Os benefícios abrangem aspectos econômicos, ambientais e tecnológicos.

A imagem 1.5 gerada por inteligência artificial faz o comparativo de como fica uma rua com a iluminação de LED e como fica uma rua com iluminação com lâmpadas convencionais. Pode-se observar uma variação positiva em relação à visibilidade do LED.

Um dos principais diferenciais do LED é sua elevada eficiência energética. Estudos indicam que a tecnologia LED pode reduzir em até 70% o consumo de energia elétrica em comparação com sistemas convencionais, aliviando significativamente os custos operacionais para os municípios (Kobav, 2022). Esse fator é especialmente relevante em um contexto em que a iluminação pública representa uma parcela considerável do consumo energético das cidades, chegando a 1,5% em algumas localidades. Além disso, a longa vida útil dos LEDs, que pode ultrapassar 50 mil horas, minimiza a necessidade de manutenção frequente e substituições, otimizando o uso de recursos públicos.

Do ponto de vista ambiental, o LED também apresenta vantagens consideráveis. A redução no consumo de energia implica em menor demanda por geração de eletricidade, contribuindo para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Em cidades como Buenos Aires e Chicago, a transição para a tecnologia LED resultou não apenas em economias financeiras, mas também em avanços na qualidade ambiental, como a redução da poluição luminosa e o cumprimento de metas de sustentabilidade global (Konrad Henryk Bachanek et al., 2021). No Brasil, um exemplo notável foi a substituição da iluminação tradicional pela tecnologia LED na Avenida Recife, que gerou uma economia energética de 38,47%, evidenciando o potencial dessa solução (Cavalcanti Filho et al., 2021).

Apesar de seus inúmeros benefícios, a adoção em larga escala da tecnologia LED enfrenta desafios, como os altos custos iniciais de instalação (variando de R\$500,00 a R\$1.000,00 por poste, segundo a ENEL) e a dependência de incentivos governamentais. No entanto, os ganhos a longo prazo em economia e sustentabilidade têm incentivado políticas públicas voltadas para sua implementação. Iniciativas como o programa Reluz, no Brasil, têm desempenhado um papel fundamental na modernização do sistema de iluminação pública, promovendo a transição para tecnologias mais eficiente



Imagem 1.4. gerada com inteligência artificial

3. Metodologia

Este estudo utiliza uma abordagem quantitativa e qualitativa. A pesquisa é exploratória e descritiva, com análise de dados secundários e estudos de caso de cidades que já adotaram a tecnologia LED na iluminação pública. Além disso, serão realizadas entrevistas com especialistas da área e análise de políticas públicas para avaliar o impacto da adoção dessa tecnologia em termos de sustentabilidade e economia de energia.

O estudo de caso relata sobre a iluminação pública em uma cidade de Minas Gerais, pioneira na adoção de LED's na iluminação pública, e adota uma abordagem que combina métodos qualitativos e quantitativos, fundamentando-se na análise de dados secundários e na observação direta. A investigação teve início com a coleta minuciosa de documentos oficiais, incluindo relatórios da Prefeitura. Essas fontes são cruciais para a obtenção de informações referentes aos investimentos realizados, à extensão da rede de iluminação pública e aos resultados gerados a partir da substituição das lâmpadas convencionais por tecnologia LED.

Um modelo experimental foi implementado, comparando um grupo controle, composto por áreas que ainda utilizam iluminação convencional, e um grupo experimental, formado

por regiões onde as luminárias LED são instaladas. Essa abordagem permitiu a quantificação dos efeitos da mudança, utilizando indicadores como consumo energético, custos de manutenção, níveis de iluminação e segurança pública. A coleta de dados ocorreu ao longo de um período determinado, possibilitando a comparação entre os dois grupos antes e depois da implementação da tecnologia LED.

Além disso, a análise emprega dados georreferenciados, abrangendo os 17 mil pontos de iluminação identificados na cidade. Essa abordagem possibilitou analisar a distribuição das luminárias e verificar a eficácia da cobertura proporcionada pela modernização. Para complementar essa análise, foram conduzidas entrevistas não estruturadas com gestores e representantes da prefeitura, com o objetivo de entender os desafios enfrentados na execução do projeto, os critérios utilizados para a priorização de áreas e os impactos observados após a instalação das novas tecnologias. Entrevistas não direcionadas com a população da cidade também foram coletadas para que se leve a opinião popular em consideração no estudo.

Nesse contexto, também são levados em conta diversos indicadores de desempenho, tais como a redução do consumo de energia, a diminuição dos custos de manutenção e operação, além do impacto na segurança pública, avaliado por meio de estatísticas de criminalidade em áreas com e sem iluminação LED. Os resultados encontrados foram contrastados com dados de outros municípios brasileiros que implementaram tecnologia semelhante, possibilitando a identificação de boas práticas e a avaliação da eficácia relativa na cidade estudada.

Por último, uma discussão crítica é conduzida acerca dos dados coletados, levando em consideração a sustentabilidade do modelo em uso, os benefícios alcançados e os desafios a longo prazo, como a manutenção da rede e possíveis expansões futuras. Este estudo também reconhece suas limitações, especialmente no que diz respeito à disponibilidade de dados públicos e à falta de séries históricas completas sobre os indicadores analisados.

4. Desenvolvimento

O desenvolvimento contempla a contextualização do problema estudado, a descrição da realidade observada na empresa, bem como os métodos de coleta de dados utilizados, como entrevistas e observações diretas. Aborda-se, também, a análise dos dados

levantados e a proposta de intervenções elaboradas a partir das ferramentas da Engenharia Elétrica.

4.1.A física da luz

A luz é uma forma de radiação eletromagnética composta por partículas chamadas fótons, que se movem em ondas. O comprimento dessas ondas varia, e o espectro eletromagnético abrange diferentes tipos de radiação, desde os raios gama, que têm ondas muito curtas, até as ondas de rádio, que possuem ondas muito longas (Lima, 2012). No entanto, a luz visível, que é a radiação que os olhos humanos conseguem captar, ocupa apenas uma pequena parte desse espectro, com ondas que vão de cerca de 400 nanômetros, violeta, a 700 nanômetros, vermelho (Caruso, 2020).

A luz visível pode ser vista tanto como uma onda que se propaga pelo espaço quanto como uma partícula (fóton), um conceito central na teoria da dualidade onda-partícula da física quântica. Quando as ondas de luz atingem materiais ou superfícies, elas podem ser refletidas, refratadas, absorvidas ou transmitidas, dependendo do material e do ângulo de incidência. A maneira como a luz interage com os objetos é o que possibilita a formação das imagens que vemos (Ortega e Moura, 2019).

A velocidade da luz no vácuo é uma constante fundamental na física, aproximadamente 299.792.458 metros por segundo (m/s). Contudo, a luz diminui sua velocidade ao passar por meios como o ar ou a água, um fenômeno conhecido como refração. A dispersão da luz, que ocorre quando diferentes comprimentos de onda, ou cores, se separam devido à refração, é o que cria o arco-íris, onde as cores do espectro visível se separam, variando do vermelho ao violeta.

4.2. A iluminação pública na cidade

A iluminação pública é um elemento que faz parte da qualidade de vida da população, influenciando diretamente a segurança, a mobilidade e a estética urbana. No município estudado, a necessidade de modernização do sistema de iluminação foi evidenciada por um diagnóstico de engenharia, que apontou ineficiências associadas ao uso de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP). A partir desse cenário, a busca por soluções

tecnológicas mais eficientes foi iniciada, sendo a tecnologia LED a principal alternativa para garantir melhor desempenho energético e luminotécnico.

O levantamento realizado pelos pesquisadores, identificou que a cidade conta com um total de 17.048 pontos de iluminação pública, sendo a maioria equipada com lâmpadas VSAP. Apesar de ainda serem utilizadas, essas lâmpadas apresentam diversas limitações, como menor eficiência luminosa, maior consumo de energia e necessidade frequente de manutenção. As medições luminotécnicas revelaram uma distribuição irregular da luz, resultando em áreas com iluminação deficiente ou excessiva, o que compromete tanto a segurança quanto o conforto visual dos cidadãos.

Identificou-se, também, um problema com o alto custo de operação e manutenção do sistema atual. As lâmpadas VSAP possuem uma vida útil reduzida em comparação às luminárias LED, o que gera gastos recorrentes com substituições e intervenções na rede elétrica e, devido à sua menor eficiência energética, essas lâmpadas contribuem para um consumo elevado de eletricidade, resultando em despesas para a administração pública e maior impacto ambiental, especialmente em relação à emissão de gases de efeito estufa.

A solução proposta para a modernização do parque de iluminação pública do município envolve a substituição das lâmpadas VSAP por luminárias LED, que apresentam vantagens significativas em termos de eficiência, durabilidade e qualidade da iluminação. Os principais benefícios da adoção da tecnologia LED incluem:

- **Redução do consumo de energia:** As luminárias LED consomem até 60% menos energia do que as lâmpadas VSAP, proporcionando uma economia substancial para os cofres públicos.
- **Maior vida útil:** Com uma durabilidade significativamente maior, as luminárias LED reduzem a necessidade de trocas frequentes, minimizando custos de manutenção.
- **Melhoria na distribuição luminotécnica:** A tecnologia LED permite uma iluminação mais uniforme e direcionada, evitando pontos escuros e reduzindo a poluição luminosa.

- Aumento da segurança pública: A luz mais clara e uniforme das luminárias LED melhora a visibilidade noturna, contribuindo para a redução de acidentes e atos criminosos.
- Benefícios ambientais: A menor demanda por energia elétrica contribui para a redução das emissões de carbono. Além disso, as luminárias LED não contêm mercúrio, tornando o descarte menos prejudicial ao meio ambiente.

A transição para a tecnologia LED representa um investimento estratégico para a gestão municipal. Além disso, diversos programas de financiamento e parcerias público-privadas (PPPs) podem ser explorados para viabilizar essa modernização sem comprometer o orçamento municipal. No Brasil existem alguns programas para a modernização da iluminação pública:

4.2.1. Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL

Regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), esse programa obriga concessionárias de energia a investir parte de sua receita operacional líquida em projetos de eficiência energética, incluindo a modernização da iluminação pública com lâmpadas LED.

4.2.2. Parcerias Público-Privadas (PPPs)

Muitos municípios têm aderido a PPPs para modernizar a iluminação pública. Essas parcerias permitem que empresas privadas façam investimentos em infraestrutura em troca de receitas futuras, garantindo modernização sem grandes impactos imediatos nos cofres públicos.

4.2.3. Programa de Financiamento a Infraestrutura e ao Saneamento (FINISA)

Gerido pela Caixa Econômica Federal, esse programa oferece financiamento para municípios investirem em infraestrutura, incluindo projetos de iluminação pública eficiente.

4.2.4. Fundo Clima – Linha de Financiamento Iluminação Pública Eficiente (BNDES)

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) oferece crédito com taxas atrativas para prefeituras e empresas que desejam modernizar a iluminação pública com tecnologias mais sustentáveis, como LED.

4.3. Segurança pública

A iluminação pública eficiente resulta em melhorias na mobilidade noturna, no incentivo ao comércio local e no bem-estar dos cidadãos. No entanto, é importante destacar que a segurança pública, um dos impactos frequentemente analisados, pode ser influenciada por uma série de fatores além da iluminação, como a presença de policiamento, políticas públicas de segurança e variáveis socioeconômicas.

Diante disso, uma abordagem mais detalhada e metodológica, capaz de isolar o impacto específico da iluminação na segurança pública, foi incluída para uma avaliação mais precisa. Essa análise permite a compreensão dos efeitos diretos da modernização da iluminação sobre a redução da criminalidade e a sensação de segurança, considerando as interações complexas entre a iluminação e outros fatores contextuais.

4.4. Custos de instalação

O preço de uma luminária LED para uso em vias públicas fica entre R\$ 500,00 e R\$ 1.500,00, variando conforme a potência e o design. A instalação, por sua vez, eleva o custo entre R\$ 200,00 e R\$ 500,00 por unidade, englobando o trabalho e os materiais necessários. Em contrapartida, uma luminária de vapor de sódio com desempenho similar pode ser encontrada pela mesma faixa de preço, porém, gasta mais energia e exige manutenções mais frequentes.

No quesito consumo, uma luminária LED de 150W cumpre o mesmo papel de uma de vapor de sódio de 250W, com a mesma intensidade de luz. Usando como base 12 horas de uso por dia, a luminária de vapor de sódio usa cerca de 90 kWh por mês, enquanto a LED utiliza 54 kWh, gerando uma economia de 36 kWh mensais por ponto

de luz. Aplicando um valor médio de R\$ 0,80 por kWh, a economia mensal por luminária atinge R\$ 28,80, totalizando R\$ 345,60 ao ano.

Adicionalmente, a longa vida útil das luminárias LED, que pode chegar a 100.000 horas (aproximadamente 20 anos), diminui muito os custos de manutenção. Já as lâmpadas de vapor de sódio duram em média 24.000 horas, precisando ser trocadas a cada 5 anos. Essa diferença afeta diretamente os orçamentos das prefeituras, diminuindo a necessidade de compra de novas lâmpadas e despesas operacionais.

Em um horizonte maior, as cidades que optam por iluminação pública LED podem ter uma queda de até 60% nos gastos com eletricidade e uma redução considerável nas despesas com manutenção.

5. RESULTADOS

A partir dos dados coletados no município estudado e com base na proposta de substituição das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP) por luminárias LED, foi realizada uma pesquisa com entrevistas não estruturadas e leitura de relatórios da prefeitura da cidade estudada, com o objetivo de estimar os impactos técnicos, econômicos, ambientais e sociais da modernização do parque de iluminação pública. Essa triangulação das análises permitiu uma melhor percepção dos efeitos causados pela mudança do tipo de iluminação no município.

5.1. Economia de Energia e Custos Operacionais

O município possuía 17.048 pontos de iluminação pública, todos equipados com lâmpadas VSAP que operavam 12h por dia. O consumo energético e os respectivos custos mensais e anuais foram registrados na Tabela 1. A substituição por luminárias LED que proporcionam desempenho luminoso equivalente, resultou em uma economia significativa.

A Tabela 1 a seguir, apresenta a comparação entre os dois tipos de tecnologia quanto ao consumo mensal por ponto de luz, custo mensal estimado com base em uma tarifa média de R\$ 0,80 por kWh, e economia anual gerada.

Tipo de luminária	Potência (W)	Consumo mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$)	Custo Anual (R\$)	Economia anual por ponto (R\$)
VSAP	250	90	R\$ 72,00	R\$ 864,00	-
LED	150	54	R\$ 43,20	R\$ 518,40	R\$ 345,60

Tabela 1 – Comparativo de Consumo e Custo Energético por Tipo de Luminária

A adoção da tecnologia LED resultaria, portanto, em uma economia anual total estimada de R\$ 5.893.420,80, considerando todos os 17.048 pontos.

Considerando os relatórios fornecidos pela prefeitura, o custo médio da instalação das luminárias LED foi de R\$1.350,00 por ponto, totalizando um investimento de R\$23.009.800,00 em todos os mais de 17 mil pontos na cidade.

Observou-se, também, a diminuição dos gastos com manutenção e operação do sistema de iluminação pública. Dados oficiais e contratos de manutenção apontaram uma redução de 38% nos custos mensais nas áreas com iluminação LED. Antes da modernização, os gastos com manutenção nas áreas convencionais giravam em torno de R\$ 42.000,00 mensais. Após a substituição, esse valor caiu para uma média de R\$ 26.000,00, demonstrando uma importante economia fiscal.

Esse resultado é atribuído à maior durabilidade e robustez das luminárias LED, que apresentam menor necessidade de substituição e menor incidência de falhas operacionais. Os técnicos responsáveis pela manutenção relataram, nas entrevistas, que a substituição de componentes se tornou mais pontual e menos frequente.

Considerando apenas a economia anual estimada com a substituição das luminárias, sem considerar por ora a diminuição dos gastos com manutenção, o retorno simples sobre o investimento (*payback*) ocorreria em aproximadamente quatro anos:

$$R\$ 23.009.800 \div R\$ 5.893.420,80 \approx 3,9 \text{ anos}$$

Após este período, os benefícios econômicos passam a representar ganhos líquidos ao município, somados à economia gerada pela redução da necessidade de manutenção.

5.2. Impacto ambiental

Além da redução no consumo de energia, a modernização do sistema impacta positivamente o meio ambiente. Com a economia estimada de 36 kWh por mês por ponto de iluminação, o município pode reduzir anualmente aproximadamente 7.358.592 kWh de consumo elétrico.

Utilizando o fator médio de emissão de 0,084 kg de CO₂ por kWh consumido, estima-se a redução de aproximadamente 617 toneladas de CO₂ por ano com a substituição:

5.3. Impacto social e na segurança pública

Estudos recentes apontam que a melhoria da iluminação pública pode contribuir significativamente para a segurança urbana, sobretudo pela maior visibilidade noturna e pela redução de áreas de sombra. Embora os índices de criminalidade sejam complexos e multifatoriais (como policiamento e políticas sociais), a análise dos dados da Secretaria Municipal de Segurança Pública revelou uma redução média de 21% nos registros de ocorrências criminais em áreas com iluminação LED, sobretudo em crimes como furtos, roubos e atos de vandalismo. A queda foi mais acentuada em praças, parques e vias de grande circulação — locais onde a iluminação moderna foi implementada prioritariamente.

Indicador	Iluminação Convencional	Iluminação LED
Furtos (média mensal)	37	30
Roubos (média mensal)	22	18
Vandalismo ao patrimônio público	10	6
Total médio mensal	69	54

Tabela 2: comparação de acidentes baseados em dados de boletins de ocorrência

A modernização da iluminação pública também refletiu positivamente na redução de acidentes noturnos, especialmente em vias de maior circulação de pedestres e veículos. Com a substituição das antigas luminárias de vapor por modelos LED, houve um aumento significativo na uniformidade e intensidade da luz projetada sobre ruas e calçadas, favorecendo a visibilidade e a percepção de obstáculos no ambiente urbano. De acordo com registros da guarda municipal e do hospital da cidade, a média mensal

de ocorrências noturnas envolvendo atropelamentos e colisões em áreas urbanas caiu cerca de 25% nas regiões que passaram a contar com a nova tecnologia.

Tipo de Ocorrência	Iluminação Convencional	Iluminação LED
Atropelamentos	12	9
Colisões entre veículos	18	14
Quedas de pedestres em via pública	10	8
Acidentes em cruzamentos pouco iluminados	10	7
Total médio mensal	50	38

Tabela 3: comparação de acidentes baseados em dados fornecidos pela prefeitura.

Esses dados reforçam o potencial da tecnologia LED para gerar benefícios não apenas técnicos e econômicos, mas também sociais e urbanos, alinhando-se aos princípios de cidades mais sustentáveis e seguras.

5.4. Cobertura espacial, priorização estratégica e percepção pública

A utilização de dados georreferenciados permitiu mapear os mais de 17 mil pontos de iluminação pública existentes na cidade. Com essa abordagem, foi possível verificar que 93% dos pontos modernizados estavam localizados em regiões classificadas como prioritárias pela gestão municipal, com base em critérios como densidade populacional, fluxo de veículos e histórico de ocorrências policiais.

O mapeamento evidenciou uma cobertura mais uniforme nas regiões centrais e nos bairros com maior vulnerabilidade social, indicando uma política pública voltada para a inclusão e segurança urbana. Essa distribuição estratégica foi confirmada pelos gestores entrevistados, que destacaram o uso de critérios técnicos e sociais para a definição das áreas de intervenção.

As entrevistas não estruturadas, também revelaram que os principais desafios enfrentados na implementação do projeto estavam relacionados à burocracia administrativa, sobretudo no que se faz respeito aos trâmites legais de licitação e às negociações com empresas prestadoras de serviço. Também foram mencionadas dificuldades logísticas na instalação de luminárias em áreas remotas ou de difícil acesso.

Por outro lado, os benefícios percebidos pela administração incluem não apenas a economia financeira, mas também o fortalecimento da imagem da cidade como exemplo de inovação em gestão pública. Já nas entrevistas com a população, predominou a percepção positiva da mudança. Moradores relataram aumento da segurança, valorização imobiliária em certas áreas e sensação de bem-estar ao transitar à noite.

6. CONCLUSÃO

A substituição das luminárias VSAP por luminárias LED no município analisado demonstrou-se uma medida altamente eficiente do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. A análise energética confirmou uma economia anual superior a R\$ 5,89 milhões, possibilitando um payback inferior a quatro anos. Além disso, a redução de 38% nos custos operacionais com manutenção reforça a robustez e a confiabilidade da tecnologia LED, cuja vida útil estendida diminui significativamente a necessidade de intervenções corretivas.

No aspecto ambiental, a economia energética de aproximadamente 7,3 GWh/ano resultou na mitigação de cerca de 617 toneladas anuais de CO₂, evidenciando o potencial da iluminação pública eficiente como ferramenta de combate às emissões. Os dados sociais levantados indicaram impactos positivos relevantes: a criminalidade caiu em média 21% nas áreas modernizadas e os acidentes noturnos reduziram-se em até 25%, especialmente atropelamentos e colisões.

Adicionalmente, a utilização de ferramentas de georreferenciamento e a priorização de áreas críticas asseguraram uma distribuição mais equitativa e estratégica do investimento público. Por fim, os dados qualitativos, obtidos por entrevistas com gestores e moradores, validaram a aceitação social da modernização e destacaram o papel da engenharia elétrica na promoção de cidades mais inteligentes, seguras e sustentáveis.

Roberto, Thais Jeniffer; Ayoub, Julianno Pizzano . **Brilho Sustentável: explorando alternativas de iluminação pública com lâmpadas LED, de indução e a vapor de sódio** — São Luís: Editora Pascal, 2023. Disponível em [196.-Brilho-Sustentavel-explorando-alternativas-de-iluminacao-publica-com-lampadas-LED-de-inducao-e-a-vapor-de-sodio.pdf](#)

da Silva, Catarina Branco Leite. **Estudo da Eficiência Luminosa e Energética do Sistema de Iluminação Pública da Cidade do Porto** - Universidade do Porto (Portugal) 2007. Disponível em: [Estudo da Eficiência Luminosa e Energética do Sistema de Iluminação Pública da Cidade do Porto - ProQuest](#)

Caruso, Francisco. **O Universo da Luz** – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2020. Disponível em: [SciELO Brasil - O Universo da Luz O Universo da Luz](#)

Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz [SciELO Brasil - Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz](#)