

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (2025.1)**

TÍTULO DO ARTIGO CIENTÍFICO: Diagnóstico da eficiência energética na iluminação pública – estudo luminotécnico

TITLE OF SCIENTIFIC ARTICLE: Diagnosis of energy efficiency in street lighting – lighting study

Carlos Matheus da Cruz*
Marcílio Luís Viana Correia**
Valquíria Melo de Souza Correia***

RESUMO:

Conforme pesquisa conduzida pelo Banco Mundial, o sistema de iluminação pública no Brasil engloba uma extensa rede com mais de 18 milhões de pontos de luz. Essa infraestrutura representa aproximadamente 4,3% do consumo total de energia elétrica no país, sendo responsável por um ônus financeiro entre 3% e 5% dos orçamentos municipais (MEYER, 2017). Essa realidade destaca a importância da área no contexto do setor elétrico nacional, motivando um crescente interesse em estudos de eficiência energética. Este artigo descreve a concepção de um projeto de eficiência energética cujo objetivo é avaliar e otimizar o sistema de iluminação pública da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos. Inicialmente, a metodologia empregada segue as diretrizes da norma de iluminação pública NBR 5101:2024. Para avaliar os níveis de iluminação no trecho, realizamos coleta de dados relacionados à iluminação pública da universidade, incluindo o número de pontos de iluminação, os tipos de lâmpadas, a potência e as características luminosas. Este estudo demonstra não apenas o potencial de economia de energia, mas também os benefícios econômicos associados à atualização tecnológica do sistema de iluminação pública, devendo essa atualização ser priorizada nos planejamentos institucionais.

Palavras chaves: Iluminação pública, eficiência energética, luxímetro.

Abstract:

According to research conducted by the World Bank, the public lighting system in Brazil encompasses an extensive network with over 18 million light points. This infrastructure represents approximately 4.3% of the country's total electricity consumption, accounting for a financial burden of between 3% and 5% of municipal budgets (MEYER, 2017). This reality highlights the importance of this area within the national electricity sector, motivating growing interest in energy efficiency studies. This article describes the design of an energy efficiency project aimed at evaluating and optimizing the public lighting system at the Federal Rural University of Semi-Árido, Angicos Campus. Initially, the methodology employed follows the guidelines of the public lighting standard NBR 5101:2024. To assess the lighting levels in the

section, we collected data related to the university's public lighting, including the number of lighting points, lamp types, wattage, and luminous characteristics. This study demonstrates not only the potential for energy savings, but also the economic benefits associated with the technological update of the public lighting system, and this update should be prioritized in institutional planning.

Keywords: Public lighting, energy efficiency, lux meter.

1 INTRODUÇÃO

A conquista da iluminação artificial remonta aos primórdios da humanidade, quando o domínio do fogo permitiu que as sociedades desfrutassem de iluminação noturna. À medida que o tempo avançava, a necessidade de manter as fontes de iluminação acesas por longos períodos levou à utilização de óleos. Esse avanço desempenhou um papel fundamental no estímulo ao desenvolvimento significativo das civilizações.

Ao longo dos anos, o setor de iluminação pública desempenha um papel essencial, proporcionando iluminação em áreas públicas e espaços de uso coletivo. A qualidade da iluminação pública está intimamente relacionada a diversas consequências benéficas para a comunidade, tais como a redução de acidentes de trânsito, o reforço da sensação de segurança e a valorização do ambiente urbano e do patrimônio público.

Conforme definido no Inciso XXVI do Artigo 2º da Resolução Normativa da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 414/2010, a iluminação pública é um serviço público com a exclusiva finalidade de fornecer iluminação periódica, contínua ou eventual aos espaços públicos, tornando-se um elemento essencial para a melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas.

A Iluminação Pública (IP) representa uma aplicação específica da iluminação artificial e abrange diversas categorias, como iluminação urbana, rodoviária e monumental. Na categoria urbana, engloba a iluminação de espaços públicos, como ruas, avenidas, praças, jardins e outras vias urbanas. A categoria rodoviária diz respeito à iluminação de estradas, tanto federais quanto estaduais. Por fim, a categoria monumental abarca desde a iluminação de monumentos até pontos turísticos, fachadas de edifícios, bem como pontes e viadutos, entre outros elementos urbanos (CASAGRANDE, 2020).

O sistema de iluminação no Brasil é predominantemente constituído por luminárias que utilizam tecnologias baseadas em vapores metálicos, como o mercúrio e o sódio, fazendo uso de tubos de vidro e gás interno. Essas tecnologias, embora amplamente adotadas, apresentam notáveis desafios, tais como baixa eficiência luminosa e energética, alta taxa de falhas, além de uma vida útil limitada, geralmente em torno de 25 mil horas, ou cerca de seis anos. Isso resulta em necessidade constante de manutenção e substituição. Além disso, essas luminárias contêm elementos tóxicos em sua composição, o que contribui para impactos ambientais negativos no momento do descarte.

No que diz respeito à eficiência energética, tanto no que se refere a novos materiais quanto à racionalização de recursos, nem sempre foi uma prioridade no setor elétrico. Nesse contexto, a pesquisa sobre como alcançar essa eficiência no setor de IP, seja por meio de processos mais avançados ou por meio de novas tecnologias e materiais, revela-se de grande importância para o setor elétrico nacional.

Diante disso, a iluminação pública, por demonstrar ser uma área de extrema relevância no âmbito do setor elétrico nacional, atualmente tem sido objeto de estudos voltados para a eficiência energética, visando a avaliação do seu potencial nesse segmento.

Assim, este artigo se propõe a avaliar a eficiência energética do sistema de iluminação pública atualmente em uso no Campus Angicos da UFRSA. Embora o campus utilize lâmpadas de LED, a disposição atual demonstra ineficiência. Para alcançar esse objetivo

principal, serão realizadas várias etapas, que incluem a medição dos níveis de iluminação e uniformidade nas vias principais do Campus Angicos da UFERSA, a definição dos níveis de luminosidade desejados, a seleção das luminárias de LED adequadas e a avaliação da eficiência energética através do estudo luminotécnico. Apesar da adoção de luminárias LED, o arranjo espacial atual é ineficiente, o que motiva a análise detalhada deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Iluminação Pública

A iluminação pública tem raízes profundas na história, datando de tempos remotos. Desde o momento em que o ser humano dominou o fogo para seu benefício, sua vida e hábitos passaram por transformações, adaptando-se a ambientes artificialmente iluminados. Isso deu origem a novos métodos para prolongar a iluminação artificial, como a utilização de óleos de origem animal para iluminar residências e as vias públicas das cidades.

2.1.1 Contexto histórico da iluminação pública

A história da iluminação pública remonta à Inglaterra, onde tem seu início quando comerciantes solicitaram a sua implementação como medida de combate ao crime e à violência. No entanto, foi em 1662 que Paris se destacou como pioneira ao estabelecer um sistema público de iluminação, usando luminárias com pavios mergulhados em azeite e velas comuns de cera. A utilização de luminárias a óleo prevaleceu durante o século XVII, evoluindo para lâmpadas a gás no século XIX e início do século XX, antes de serem substituídas pelas lâmpadas elétricas (ROSITO *et al*, 2009).

Segundo Rosito (2009, p. 30), a origem da iluminação pública no Brasil remonta ao século XVIII, quando luminárias à base de óleo de azeite foram instaladas no Rio de Janeiro. Em 1874, foi registrada a primeira usina de gásômetro em Porto Alegre. A geração de energia elétrica, possuía um foco estratégico para a nação, inicialmente atribuída ao governo federal, em seguida, aos municípios tornando tanto a geração de energia elétrica quanto a iluminação serviços públicos essenciais. Somente no início do século XX, o Brasil começou a substituir a iluminação a gás por iluminação elétrica, modernizando as cidades do Rio de Janeiro e Porto Alegre.

De acordo com Schulz Neto (2016), a iluminação pública é um serviço essencial que possui o objetivo de garantir luminosidade em espaços públicos de forma adequada, especialmente durante a noite ou em locais que exigem iluminação artificial durante o dia. Portanto, a iluminação pública desempenha um papel fundamental na qualidade de vida dos usuários, na otimização do uso de espaços públicos.

2.2 NBR 5101:2024

A NBR 5101:2024 é fundamentada em princípios e conhecimentos técnicos relacionados à iluminação pública, engenharia elétrica e normas de iluminação em todo o mundo. A norma faz referência à Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) e suas normas, que servem como uma base fundamental para o desenvolvimento de diretrizes de iluminação pública no Brasil. Apesar de não atualizadas desde 1992, as normas da IESNA ainda oferecem uma base consolidada para análise comparativa, fornecendo um sólido ponto

de partida para a regulamentação da iluminação pública e a determinação dos níveis mínimos de iluminância em diferentes tipos de vias e espaços públicos.

Além disso, o referencial teórico da NBR 5101:2024 considera os princípios da engenharia e da arquitetura, pois esses campos são essenciais para a concepção, projeto e implementação de sistemas de iluminação pública. Os avanços tecnológicos, em particular a proliferação das lâmpadas de LED, também são contemplados no referencial teórico, refletindo a necessidade de abordar a eficiência energética e o uso de tecnologias modernas na iluminação pública.

Nesse contexto, a NBR 5101:2024 é uma norma técnica brasileira que estabelece diretrizes e requisitos para o projeto, instalação e manutenção de sistemas de iluminação pública. Ela é uma parte importante do conjunto de normas técnicas emitidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e tem o objetivo de garantir a eficiência, segurança e qualidade dos sistemas de iluminação em espaços públicos, como ruas, avenidas, praças, rodovias e outros locais de acesso público. A norma aborda diversos aspectos relacionados à iluminação pública, incluindo os aspectos e a sua descrição, Quadro 1.

Quadro 1: Aspectos e descrição.

Aspectos	Descrição
Classificação de vias	A NBR 5101:2024 define critérios para classificar diferentes tipos de vias, levando em consideração sua função e uso, como vias urbanas, rurais, avenidas, estradas, etc. Cada tipo de via tem exigências específicas em termos de iluminância e distribuição de luz.
Níveis de iluminância	A norma estabelece os níveis mínimos de iluminância que devem ser alcançados em diferentes áreas e situações, garantindo que haja iluminação adequada para as atividades desempenhadas nas vias públicas, como tráfego de veículos e segurança dos pedestres.
Seleção de luminárias e lâmpadas	A NBR 5101 fornece orientações sobre a escolha de luminárias e lâmpadas adequadas, considerando fatores como eficiência energética, durabilidade e características de iluminação desejadas.
Distribuição da luz	A norma estabelece critérios para a distribuição uniforme da luz ao longo das vias, minimizando áreas de sombra e garantindo uma iluminação adequada.
Manutenção	A NBR 5101 também trata da manutenção dos sistemas de iluminação pública, estabelecendo procedimentos e critérios para garantir que as instalações permaneçam eficientes ao longo do tempo.

Fonte: Adaptado da NBR 5101-2024.

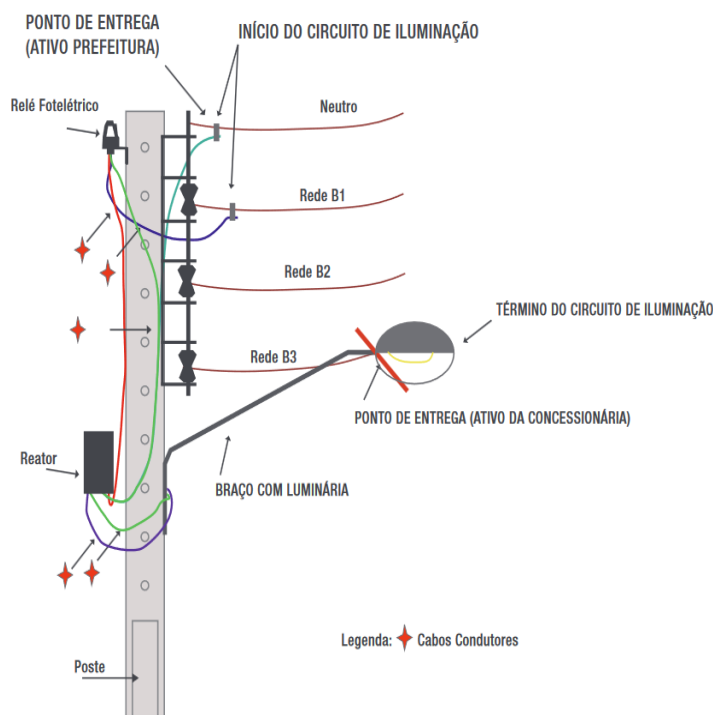
A NBR 5101:2024 desempenha um papel fundamental na padronização e regulamentação da iluminação pública no Brasil, contribuindo para a melhoria da segurança, eficiência energética e qualidade de vida nas áreas urbanas e rurais. Profissionais envolvidos no planejamento, projeto e implementação de sistemas de iluminação pública devem seguir as diretrizes estabelecidas por essa norma para garantir a conformidade com os padrões técnicos estabelecidos.

Componentes da IP (Luminárias, Lâmpadas, Relés fotoelétrico, braço de sustentação das luminárias, tecnologia LED)

O sistema de iluminação não é apenas composto pela lâmpada, mas abrange um conjunto completo de componentes, incluindo luminárias, lâmpadas, relés fotocélulas, reatores,

braços de suporte para luminárias, suportes, condutores, postes e a rede de distribuição de energia elétrica. A Figura 1 ilustra o esquema de um sistema de iluminação pública.

Figura 1 – Sistema de um circuito de iluminação básico.



Fonte: BERNARDES (2016).

As luminárias têm como propósito resguardar a lâmpada contra condições climáticas adversas e atos de vandalismo. Na verdade, essas estruturas também têm a função de redirecionar a luz em direção ao solo, incrementando, dessa forma, a eficiência luminosa no ambiente. Existe no mercado uma variedade de modelos, cuja escolha dependerá das características dos demais componentes do sistema, como o corpo do refletor, o suporte da lâmpada e a capacidade de acoplagem de outros dispositivos auxiliares (DAMBISKI, 2017).

As lâmpadas desempenham um papel fundamental no contexto da iluminação, que é o de fornecer luz artificial. Elas podem ser categorizadas em diferentes grupos, de acordo com os princípios que norteiam seu funcionamento, tais como as lâmpadas incandescentes, fluorescentes, de descarga e as lâmpadas LED (NETO, 2017).

O relé fotocélula é um dispositivo que regula o acionamento e o desligamento da lâmpada de maneira automática, ajustando-se de acordo com a luminosidade ambiente (NOGUEIRA, 2013). Quanto ao reator ele desempenha um papel auxiliar crucial, com o propósito de regular a corrente elétrica na lâmpada, além disso assegura que as características elétricas apropriadas sejam fornecidas, garantindo a vida útil especificada pelo fabricante (AGUERA, 2015; ROSITO, 2009). Sua utilização é de caráter obrigatório e essencial em sistemas de iluminação que empregam lâmpadas fluorescentes, bem como em iluminação de vapor de mercúrio, sódio e metálico.

De acordo com a Copel (2012) os braços podem variar em comprimento e ângulos de inclinação, sendo imperativo que apresentem resistência mecânica suficiente para suportar o peso das luminárias, bem como as forças resultantes da exposição a ventos e vibrações de intensidades variadas. Além disso, é crucial que sejam fabricados com medidas de proteção contra a corrosão.

Conforme mencionado por Aguera (2015), os suportes são materiais empregados na fixação ou instalação dos elementos que compõem o circuito de iluminação pública, incluindo, por exemplo, terminais de pressão destinados à fixação dos condutores, bases para relés e diversos acessórios como parafusos, porcas e arruelas de pressão, que desempenham um papel essencial na montagem e segurança do sistema.

2.3 Estrutura física dos sistemas de iluminação

A Norma Brasileira NBR 8451-1 é um documento técnico essencial que estabelece os requisitos mínimos para a fabricação, ensaio e aceitação de postes de concreto armado e protendido, destinados ao suporte de redes de distribuição e transmissão de energia elétrica. Publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), essa norma é fundamental para garantir a segurança, durabilidade e eficiência das infraestruturas elétricas no Brasil.

A NBR 8451-1 tem como principal objetivo assegurar que os postes de concreto utilizados em redes de energia elétrica possuam características adequadas de resistência mecânica, durabilidade e qualidade. A norma define parâmetros técnicos rigorosos que devem ser seguidos durante a fabricação e ensaio desses postes, promovendo a padronização e a melhoria contínua dos produtos oferecidos no mercado. Essa padronização é crucial para garantir a segurança pública e a confiabilidade das redes elétricas, especialmente em condições climáticas adversas.

A norma detalha as especificações dos materiais que devem ser utilizados na fabricação dos postes de concreto. O concreto deve apresentar uma resistência mínima à compressão, conforme indicado na norma, e deve ser produzido com agregados e cimentos que garantam sua durabilidade e desempenho. A armadura, tanto ativa quanto passiva, deve ser constituída de aço de alta resistência, devidamente protegido contra a corrosão. A utilização de materiais de alta qualidade é imprescindível para assegurar a longevidade e a integridade estrutural dos postes.

O processo de fabricação dos postes de concreto armado e protendido deve seguir procedimentos padronizados para garantir a homogeneidade e a resistência do produto final. A cura adequada do concreto, o posicionamento preciso das armaduras e o controle rigoroso de qualidade durante todas as etapas de produção são aspectos cruciais definidos pela norma. Em casos de postes protendidos, a NBR 8451-1 especifica os métodos de protensão, garantindo que as forças de compressão sejam aplicadas corretamente, resultando em estruturas capazes de suportar as cargas previstas.

Para garantir que os postes atendam aos requisitos da NBR 8451-1, eles devem ser submetidos a uma série de ensaios mecânicos e físicos. Esses testes incluem ensaios de flexão, compressão e durabilidade, que são realizados para verificar a conformidade com os padrões estabelecidos. A norma detalha os procedimentos de ensaio e os critérios de aceitação, assegurando que os postes desempenhem adequadamente suas funções ao longo de sua vida útil.

Cada poste deve ser identificado com marcações claras que permitam sua rastreabilidade. As informações obrigatórias incluem o nome do fabricante, o lote de produção, a data de fabricação e as características técnicas do poste. Essa identificação é fundamental para facilitar a gestão, manutenção e fiscalização das redes de distribuição e transmissão de energia elétrica.

Os postes de concreto fabricados de acordo com a NBR 8451-1 são amplamente utilizados em redes de distribuição e transmissão de energia elétrica devido à sua robustez e longa vida útil. A norma contribui significativamente para a padronização e melhoria da qualidade dos postes de concreto no Brasil, promovendo a segurança pública e a eficiência das redes elétricas. Além disso, ao estabelecer requisitos técnicos claros, a NBR 8451-1 facilita a fiscalização e o controle de qualidade por parte das concessionárias de energia e dos órgãos reguladores.

A NBR 8451-1 desempenha um papel crucial no setor elétrico brasileiro, garantindo que os postes de concreto armado e protendido atendam aos mais altos padrões de qualidade e segurança. A conformidade com essa norma é essencial para a manutenção da integridade das infraestruturas elétricas e para a segurança dos usuários finais. A contínua atualização e adoção das especificações da NBR 8451-1 são vitais para o desenvolvimento sustentável e seguro das redes de distribuição e transmissão de energia elétrica no Brasil.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi conduzida em etapas distintas, visando a uma análise abrangente do objeto de estudo. Nesse contexto, adotou-se uma triangulação metodológica para garantir maior confiabilidade aos resultados obtidos. A abordagem fez uso de três fontes de informação: a coleta in loco, realizada por meio de observações da via, incluindo questões estruturais; as comparações normativas, fundamentadas nos padrões de exigência da ABNT NBR 5101:2024; e, por fim, as simulações computacionais, com modelagem luminotécnica utilizando o *software* DIALux.

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para compreender os parâmetros que influenciam a qualidade e os requisitos necessários na iluminação pública. As principais fontes de pesquisa incluíram livros, trabalhos acadêmicos e artigos científicos relacionados a instalações elétricas, luminotécnica e eficiência energética. Além disso, foram consultados normativos que estabelecem os parâmetros luminotécnicos, como a ABNT NBR 5101:2024, que regula os procedimentos e requisitos para a iluminação pública.

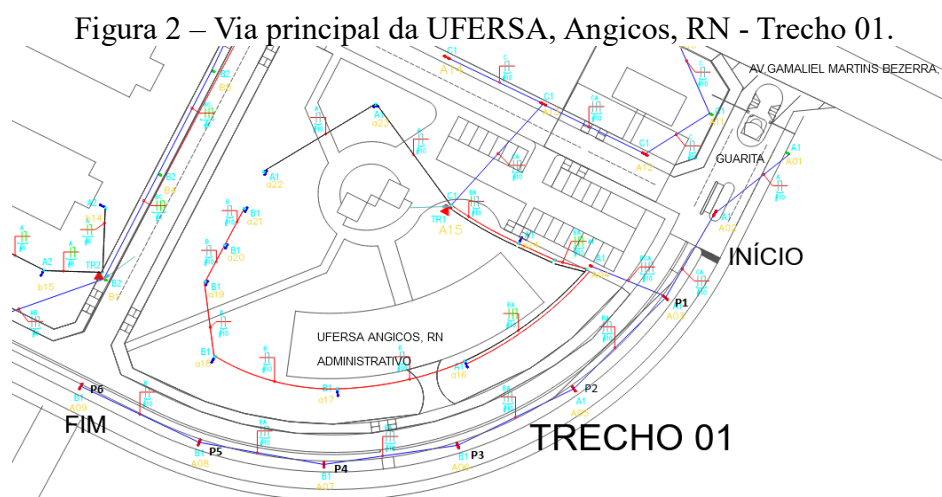
3.1 Levantamento de dados

Os procedimentos iniciais de pesquisa para o levantamento das características do ambiente, medições das infraestruturas e de iluminância ocorreram in loco nos meses de setembro a dezembro de 2024 no intervalo de 18 h às 22 h por 2 bolsistas e 2 orientadores. Em seguida, elaborou-se uma tabela contendo os dados coletados sobre as características estruturais do trecho 01, tais como: altura dos postes, braços e luminárias, tipos de pavimento, luminárias e lâmpadas, medidas gerais da via transversalmente e longitudinalmente e coleta dos lumes.

A via principal em estudo se estende da portaria ao final da central de aulas 2 da universidade e por possuir características distintas optou-se por dividi-la em 4 trechos. As datas e horários das coletas dos dados da pesquisa no trecho 01 da via principal eram agendadas,

autorizadas e divulgadas pela direção ao setor de infraestrutura, planejamento, portaria, seguranças e à comunidade universitária pelos sistemas de informação oficiais e redes sociais do campus.

A fim de maximizar a segurança dos pesquisadores, previamente, foram sinalizadas as vias obstruídas com cones e correntes plásticas e desviado o fluxo dos veículos. Para esse trabalho iremos discutir o trecho I que se localiza a frente do bloco administrativo na entrada do campus, Figura 2.



Semanalmente foram analisados e discutidos os resultados obtidos em cada etapa entre os orientadores e os alunos de iniciação científica. Vale ressaltar que o estudo de caso adotado nesta pesquisa é uma abordagem empírica que investiga fenômenos contemporâneos em um contexto real. Isso envolve uma análise incluindo a revisão de registros, observação de eventos e a produção de relatórios que podem conter narrativas, exemplos, descrições e material visual para transmitir o caso de maneira abrangente.

Para a realização da pesquisa foi observado as interferências na via principal que poderiam influenciar o estudo, tais como: o sombreamento de árvores e edificações, alcance da iluminação dos postes de jardim, projetores e luminárias das edificações circunvizinhas, os vazios de iluminação (Figura 3) entre os postes analisados, o tipo e coloração do pavimento e sua refletância, quantidade de veículos com faróis acesos, tamanho e inclinação dos braços das luminárias (Figura 4), etc.

Figura 3 – Vazios de iluminação entre os postes da via.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 4 – Poste circular com luminárias de 2 pétalas com braços metálicos de 90°.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.2 Instrumentação utilizada

A análise dos índices de iluminância foi conduzida usando um Luxímetro Digital LDV 2000 da fabricante Vonder, com medições realizadas in loco durante a noite entre os meses de setembro a dezembro de 2024, seguindo os procedimentos de verificação estabelecidos pela NBR 5101:2024. Além disso, para caracterizar o sistema de iluminação, medidas foram tomadas da via, tais como as faixas de rolamento, calçadas, canteiros, altura dos postes, angulação dos braços metálicos das luminárias utilizando-se como ferramentas trena laser digital e manual. Essas características são observadas nas Tabelas 1 e 2 abaixo. Foram feitas fotografias do processo e dos objetos estudados com o auxílio de um smartphone. A equipe neste período utiliza EPIs tais como coletes reflexivos para ficarem mais visíveis.

Tabela 1 – Descrições e dimensões gerais da via principal – Trecho 01.

Descrição	Largura (m)
Calçada 01 - entrada	2,50
Calçada 02 - saída	2,60
Ciclovía	1,50
Faixa de rolamento 01 - entrada	4,00
Faixa de rolamento 02 - saída	4,00
Canteiro pequeno	0,45
Canteiro central com postes	2,45

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 2 – Identificação e algumas características métricas dos Postes.

Identificação	Altura (m)	Distância (m)	Altura das luminárias* (m)
Poste 1	5,55	P1 a P2 = 23,1	5,55
Poste 2	4,87	P2 a P3 = 28,7	4,87
Poste 3	4,55	P3 a P4 = 28,8	4,55
Poste 4	4,60	P4 a P5 = 28,9	4,60
Poste 5	4,92	P5 a P6 = 30,5	4,92
Poste 6	5,50	-	5,50
*as luminárias possuem um ângulo de 90°			

Fonte: Autoria própria (2024).

3.3 Aplicação de norma técnica

A norma define diretrizes e procedimentos para a criação de uma malha de medição de acordo com a norma brasileira (ABNT, 2024). Este estudo, optou pela malha de iluminância para projeto e medição, pois esta é utilizada para cálculos de projeto e também para medições de iluminância em áreas que ocorrem o trânsito de veículos, Figura 5. Em seguida temos a Figura 6 com a representação em planta baixa das descrições e dimensões gerais da malha utilizada e logo após, a Tabela 3 com siglas e descrições da malha.

Diagrama de uma faixa de rolamento (runway) com as seguintes dimensões e componentes:

- Comprimento total:** S
- Distância entre o meio-fio e o início da faixa:** $D = S/N$
- Altura total da faixa:** L
- Altura da faixa de rolamento:** $d = L/3$
- Altura da faixa de estacionamento:** $d/2$
- Componentes rotulados:**
 - 1: Calçada
 - 2: Meio-fio ou linha de divisa de faixa
 - 3: Faixa de rolamento
 - 4: Faixa de estacionamento
- Linhas divisórias:**
 - Meio-fio ou linha de divisa de faixa
 - Guia ou Meio-fio
 - Linha divisória da calçada com o lote

Figura 6 – Descrições e dimensões gerais da malha.

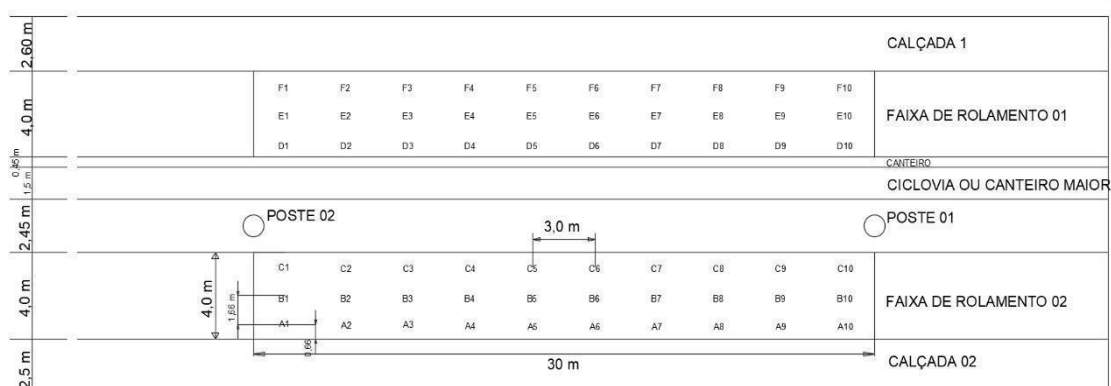


Tabela 3: Siglas e descrições da malha.

SIGLA	DESCRIÇÃO
1	Postes e luminárias
2	Largura da faixa de trânsito (L)
3	Área relevante ou área de cálculo e/ou medição
4	Linha de centro da faixa de trânsito
S	Espaçamento entre os postes
X	Pontos para cálculo e medição dos valores de iluminância

12

3.4 Simulação computacional

Considerando as características da rua e as orientações da norma ABNT NBR 5101:2024, desenvolveu-se um projeto luminotécnico. Esse projeto foi criado com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema de iluminação naquele trecho, garantindo que ele atendesse aos critérios estabelecidos pela norma brasileira em relação aos níveis mínimos de iluminância, uniformidade e classificação das vias. Para chegar ao valor ideal dos níveis mínimos de iluminância foi utilizada a planilha para classe de iluminação P, pois a mesma dentre as 3 classes de iluminação disponíveis foi a que mais se aproximou das características do trecho 1 em questão, Tabela 4.

Tabela 4 – Classe de iluminação P – Trecho 01.

PARÂMETROS PARA SELEÇÃO DA CLASSE DE ILUMINAÇÃO P			
Parâmetros	Opções	Valor de ponderação VP	VP selecionado
Velocidade	Baixa < 30 km/h	1	1
	Muito baixa (velocidade de caminhada)	0	
Volume de tráfego	Alto > 120/h	1	0
	Moderado – 60/h a 120/h	0	
	Baixo ≤ 60/h	-1	
Composição do tráfego	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	2
	Pedestres e tráfego motorizado	1	
	Pedestres e ciclistas apenas	1	
	Pedestres apenas	0	
	Ciclistas apenas	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	0
	Ausentes	0	
Luminância ambiente	Alta	1	1
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Reconhecimento facial	Necessário	Necessidades adicionais requeridas	0
	Desnecessário	Sem necessidades adicionais	
Soma dos valores de ponderação			4

Fonte: Adaptado pelos autores (2025).

Após o somatório dos valores, que deve ser interpretado pelo projetista que conhece as necessidades e características da via, é necessário utilizar a fórmula final a seguir disponível na NBR 5101:2024.

Número de classe de iluminação P=6-VPs

Substituindo o valor do VP encontrado após o somatório chegamos ao valor, $P=6-4$

Portanto, $P= 2$.

Com o valor de P em mãos, observamos a Tabela 5 abaixo também extraída da NBR 5101:2024, com os valores mínimos para cada valor de P.

Considerando o valor de P encontrado igual a 2, temos que nosso valor mínimo de LUXs que estará presente nas faixas de rolamento deve ser de no mínimo 15 LUXs.

Tabela 5 – Classe de iluminação P – Trecho 01.

REQUISITOS DE ILUMINAÇÃO PARA CLASSE DE ILUMINAÇÃO P	
Classe de iluminação	Iluminância média horizontal
P1	20
P2	15
P3	10
P4	7,5
P5	5
P6	3

Fonte: Adaptado pelos autores (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do estudo sobre a otimização da eficiência energética na iluminação pública no Campus Angicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) foram obtidos através de uma série de etapas metodológicas que incluíram duas coletas de dados, simulações computacionais e análises comparativas.

O estudo focou na substituição das luminárias tradicionais por lâmpadas LED, avaliando os impactos em termos de consumo de energia, custo e desempenho do sistema de iluminação pública.

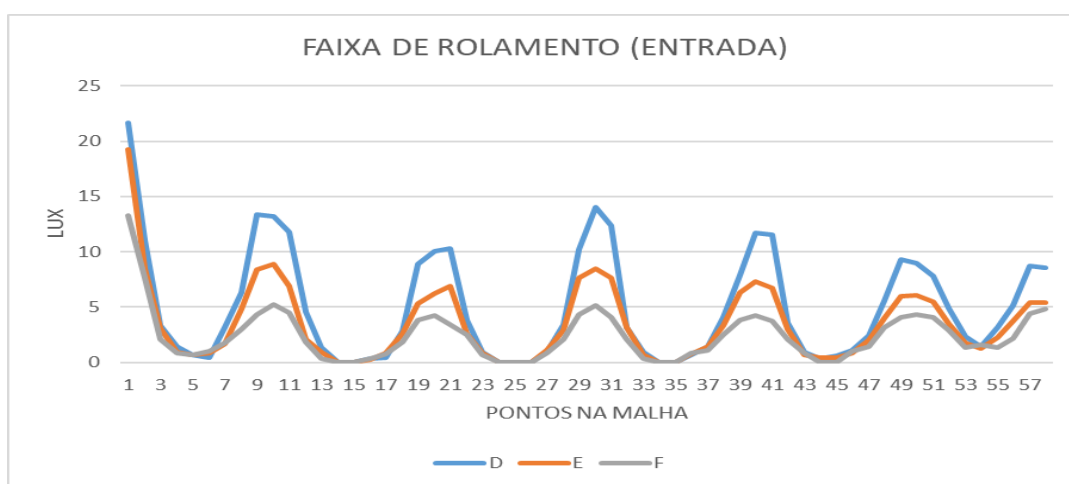
A coleta de dados no Campus Angicos revelou que o sistema de iluminação pública é composto majoritariamente por luminárias de vapor de sódio, conhecidas por sua baixa eficiência energética, alto consumo e impacto ambiental. As medições de iluminância realizadas in loco indicaram que os níveis de iluminação estavam abaixo dos padrões estabelecidos pela NBR 5101:2024, resultando em áreas com iluminação inadequada e comprometedora para a segurança.

Para uma melhor análise do déficit de iluminação da via, foram elaborados os Gráficos 1 e 2 por meio de *software* computacional, os quais representam os valores de iluminância (em

lux) coletados no trecho 1, nos sentidos de entrada e saída. Observa-se que, em determinados pontos, a iluminância atinge o valor zero. No Gráfico 1 da faixa de rolamento (sentido entrada), esses pontos correspondem às posições 13–15, 23–27 e 33–35. Já no Gráfico 2 da faixa de rolamento (sentido saída), os trechos com ausência total de iluminação correspondem às posições 13–15, 23–27, 33–37 e 43–45.

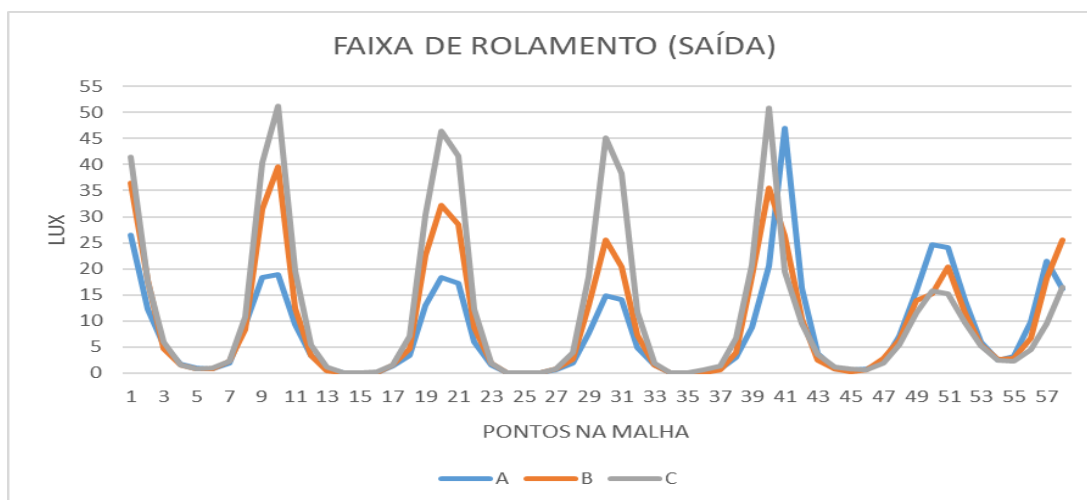
Por outro lado, os maiores índices de iluminância concentram-se nas regiões situadas diretamente sob os postes de iluminação. No Gráfico 1 da faixa de rolamento (sentido entrada), os pontos com maior iluminância são: 9, 20, 30, 40, 50 e 57. Essa mesma distribuição é observada no Gráfico 2, correspondente ao sentido de saída.

Gráfico 1 – Representação gráfica dos resultados coletados na via de entrada (antes da troca dos postes e luminárias).



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 2 – Representação gráfica dos resultados coletados na via de saída (antes da troca dos postes e luminárias).



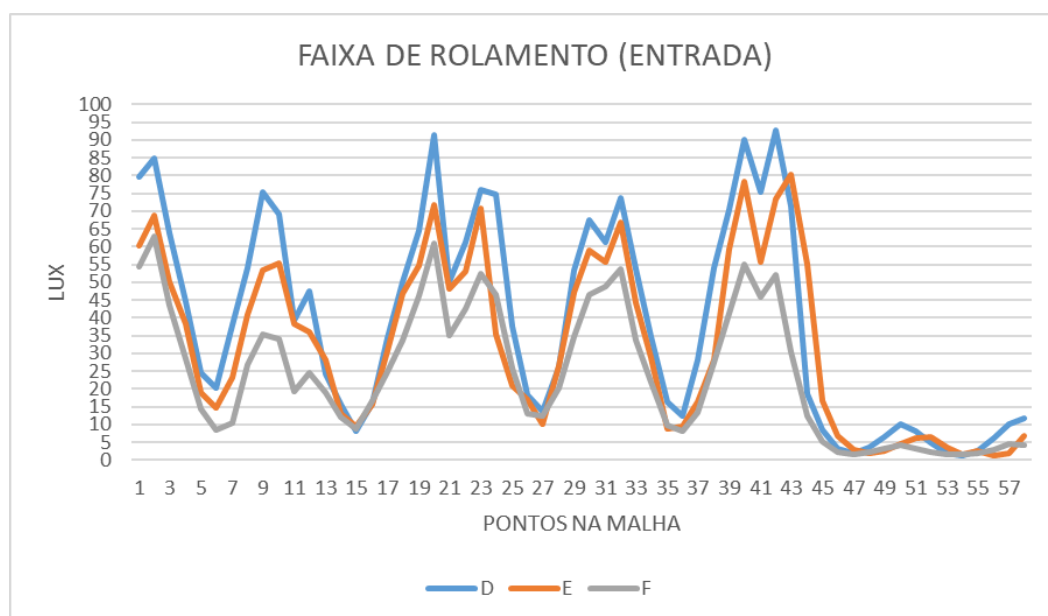
Fonte: Autoria própria (2025).

Com base nas informações coletadas em campo e posteriormente representadas graficamente, as medições demonstraram que os níveis de iluminância da via localizada no Campus Angicos da UFRSA estão abaixo do mínimo de 15 lux, conforme exigido pela norma. Essa norma estabelece os critérios técnicos para a definição da categoria de iluminação viária adequada, sendo exigido, para a situação analisada, um valor mínimo de iluminância de 15 lux sobre a superfície da via.

Durante o período de coleta dos dados, a infraestrutura do campus deu início à substituição dos postes e luminárias existentes ao longo da via. No entanto, o processo de medição de iluminância não foi comprometido, pois foi realizado conforme o cronograma previamente estabelecido, de forma que as atividades de coleta antecederam a substituição dos equipamentos. Em razão dessas intervenções, tornou-se necessário elaborar um novo estudo luminotécnico.

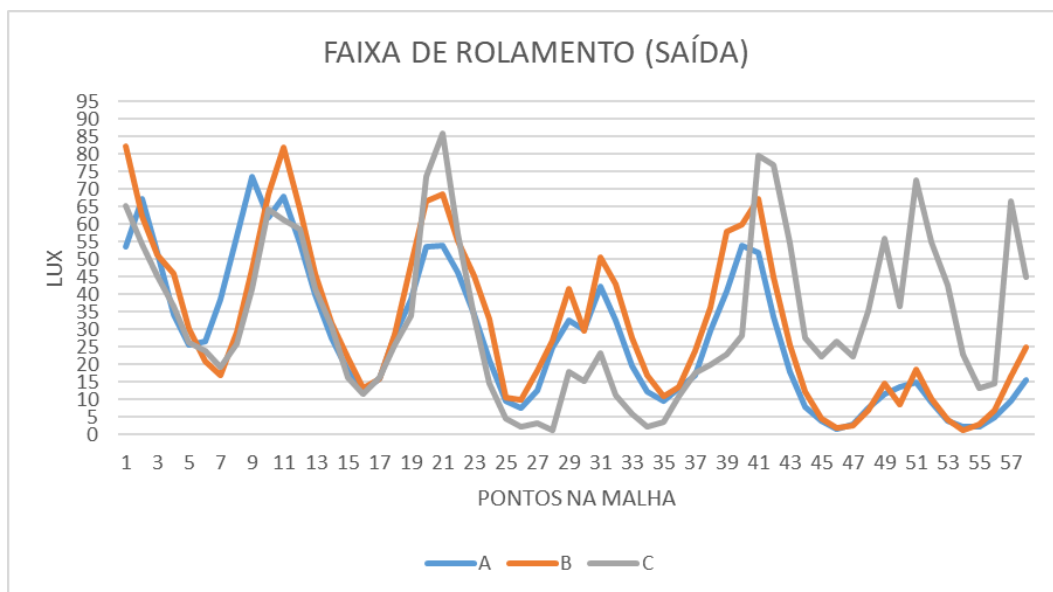
Após a substituição completa dos postes e luminárias, deu-se início à segunda etapa da pesquisa, com a realização de uma nova campanha de medições de iluminância, respeitando-se os mesmos procedimentos adotados na primeira coleta. Dessa forma, foi possível obter um novo panorama da iluminação na via. Os Gráficos 3 e 4, apresentados a seguir, ilustram os resultados obtidos antes e após a implantação do sistema de iluminação de LED, permitindo uma análise comparativa entre as duas condições.

Gráfico 3 – Representação gráfica dos resultados coletados na via de entrada (após a troca dos postes e luminárias).



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 4 – Representação gráfica dos resultados coletados na via de entrada (após a troca dos postes e luminárias).



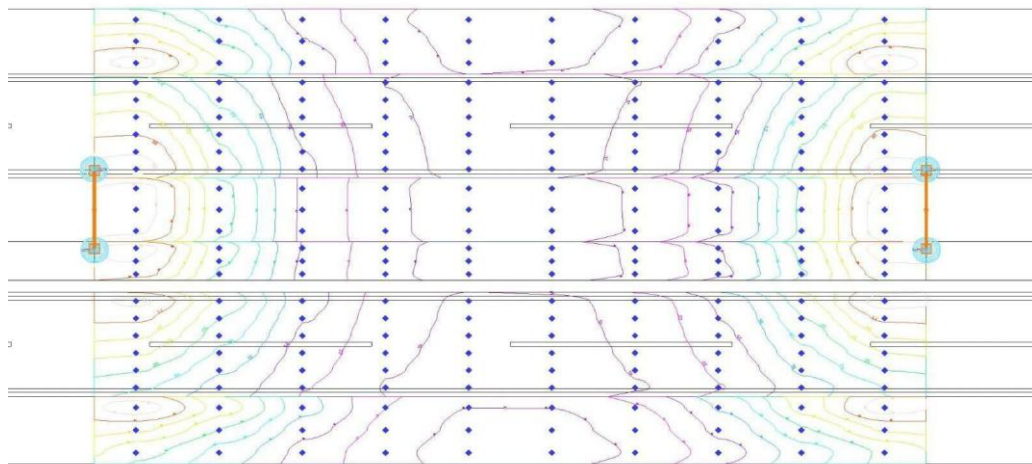
Fonte: Autoria própria (2025).

Com base nas informações coletadas e nas comparações realizadas, observa-se uma evolução significativa na qualidade da iluminação após a substituição dos postes e luminárias por modelos com tecnologia LED. No entanto, ainda foi possível identificar que, em determinados pontos da via, os níveis de iluminância permanecem abaixo do valor mínimo de 15 lux estabelecido pela NBR 5101:2024.

Este ponto abriu margem para que fosse realizada uma simulação computacional utilizando *software* (DIALux), o qual é capaz de simular um projeto luminotécnico, tornando-o mais viável financeiramente e mantendo os padrões exigidos pela NBR 5101:2024.

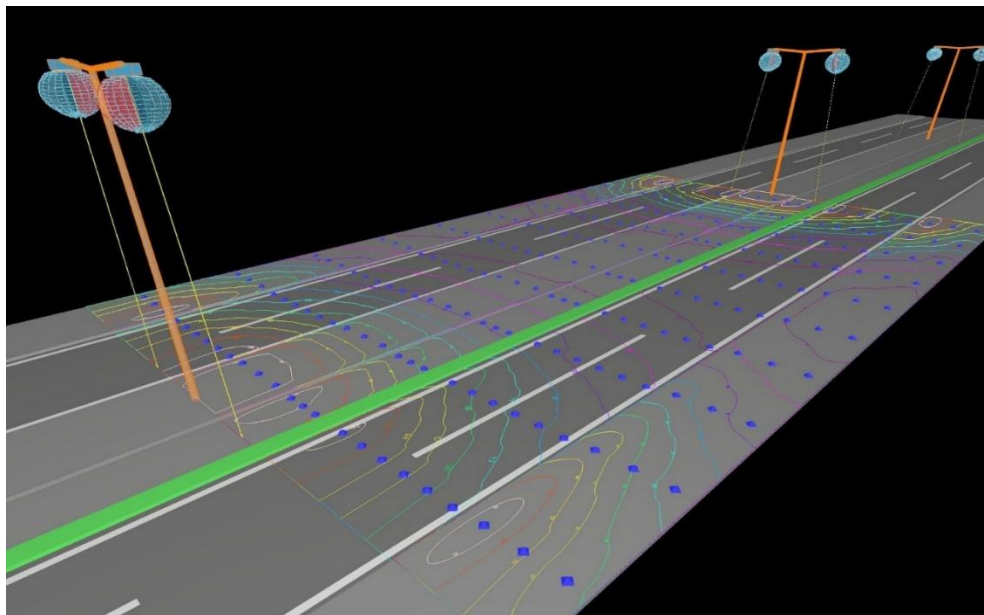
Seguindo as orientações da NBR 5101:2024 e com auxílio do *software* computacional DIALux, foi possível desenvolver o projeto luminotécnico do trecho 1 tratado durante este estudo. A simulação considerou trecho 1 como uma reta, pois de acordo com a NBR 5101:2024, curvas que não apresentam ângulos agudos podem ser tratadas como uma reta para efeitos de projeção. As Figuras 7 e 8 abaixo apresentam o projeto luminotécnico com vista superior da malha de LUXs dentro da via e também uma vista 3D do projeto.

Figura 7 – Descrições e dimensões gerais da malha – Trecho 01.



Fonte: Autoria própria (2025).

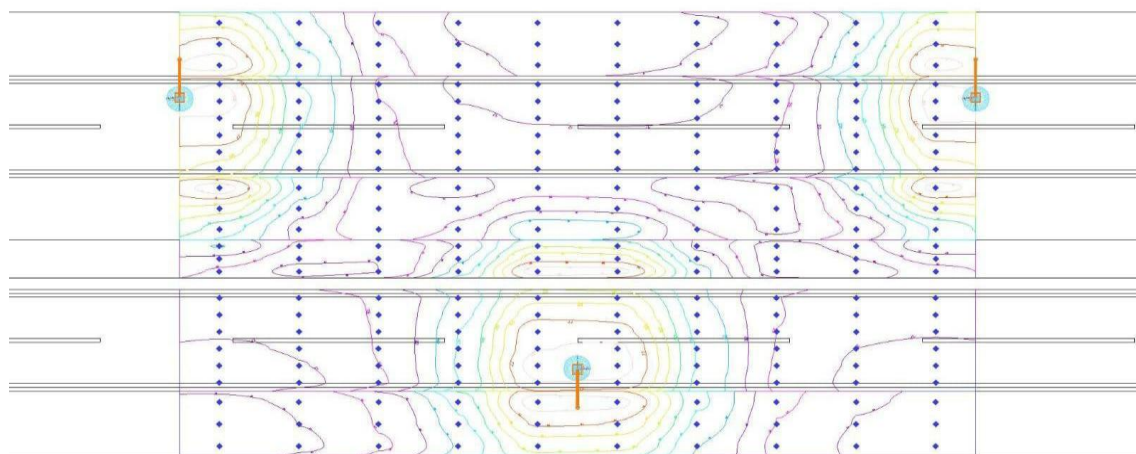
Figura 8 – Projeto luminotécnico com postes centralizados (vista 3D).



Fonte: Fonte: Autoria própria (2025).

Outra simulação também foi realizada, está alterando a posição dos postes para as laterais da via, contendo postes de um lado e do outro. Uma terceira simulação foi feita mantendo os postes nas laterais, no entanto alternando suas posições, a terceira simulação se mostrou a mais eficaz das simulações, quando se fala em nível de iluminância, os postes alternados foram capazes de complementar as lacunas de iluminação, garantindo uniformidade conforme a norma. É possível observar na Figura 9 abaixo.

Figura 9 – Projeto luminotécnico com postes alternados.



Fonte: Autoria própria (2025).

O projeto principal considerou manter algumas características da nova iluminação utilizada na via, como: as lâmpadas de LED e a distância de 30 metros entre os postes. As novas alterações do projeto tratam de manter uma distância uniforme de 30 m entre os postes e a utilização de novas características para as lâmpadas LED, visando a maneira mais adequada de se chegar ao valor mínimo exigido pela NBR 5101:2024.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo confirmam a eficácia da substituição das luminárias com lâmpadas de vapor metálico — como as de mercúrio e sódio — por luminárias com tecnologia LED no sistema de iluminação pública do trecho 01 analisado. A substituição por luminárias LED resultou em melhorias na eficiência energética, segurança e conforto dos usuários.

Além dos benefícios funcionais, a adoção da tecnologia LED apresenta vantagens econômicas relevantes, uma vez que essas lâmpadas são reconhecidas por seu baixo consumo de energia elétrica e longa vida útil, o que reduz a frequência e os custos com manutenção preventiva. Considerando esses fatores, a utilização da iluminação em LED, aliada ao desenvolvimento de um projeto luminotécnico simulado computacionalmente, mostra-se indicada tanto para instituições de ensino quanto para administrações municipais que buscam soluções com melhor custo-benefício energético.

O projeto permanece em fase de acompanhamento contínuo, com o objetivo de monitorar o desempenho do novo sistema de iluminação no período pós-implementação, assegurando a manutenção dos níveis adequados de iluminação ao longo do tempo. Recomenda-se, ainda, a realização de novos estudos voltados para áreas específicas da via, como calçadas, ciclovias e canteiros, com o intuito de explorar tecnologias complementares que possibilitem um desempenho ainda mais eficiente e satisfatório do sistema de iluminação pública. Sugere-se que outras vias do campus sejam avaliadas sob a mesma metodologia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2024.

AGUEIRA, Roger Saraiva. Cenário brasileiro da iluminação pública. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, São Carlos, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5101:2024: Iluminação viária — Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 75 p.

BERNARDES, Diogo Borges. Iluminação pública: a busca por um modelo de gestão eficiente. 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2016.

CASAGRANDE, Cristiano Gomes. Iluminação pública: panorama, tecnologias atuais e novos paradigmas. Curitiba: Editora Viseu, 2020. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=eNI7EAAAQBAJ&printsec=frontcover>>. Acesso em: 24 set. 2024.

CEPAM – FUNDAÇÃO PREFEITO FARIA LIMA. Iluminação pública: guia do gestor. São Paulo: Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2013.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Manual de iluminação pública. Curitiba: COPEL Distribuição, 2012.

DAMBISKI, L. P. Aplicação do Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente (Procel-Reluz). 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MEYER, M. *et al.* Iluminando cidades brasileiras: modelos de negócio para eficiência energética em iluminação pública. Washington, DC: Banco Mundial, 2017.

NETO, Ezequiel Marinho de Oliveira. Panorama da iluminação pública no Brasil: estudo de caso no município de Fortaleza. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

NOGUEIRA, Fernando José. Avaliação experimental de luminárias empregando LEDs orientadas à iluminação pública. 2013. Dissertação (Mestrado em Sistemas Eletrônicos) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

ROSITO, Luciano Hass. As origens da iluminação pública no Brasil. In: Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. 2009. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/11/Ed36_fasc_IP_cap1.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

SCHULZ NETO, Willy. Iluminação pública. Curitiba: CREA-PR, 2016. (Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar).