

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS TOMAZ NUNES

Eficientização de Parque de Iluminação Pública:
Estudo de caso em município de Minas Gerais

Uberlândia

2025

LUCAS TOMAZ NUNES

Eficientização de Parque de Iluminação Pública:
Estudo de caso em município de Minas Gerais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof.^a Bárbara Morais Giancesini

Uberlândia

2025

LUCAS TOMAZ NUNES

Eficientização de Parque de Iluminação Pública:
Estudo de caso em município de Minas Gerais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica

Uberlândia, 16 de abril de 2025.

Banca Examinadora:

Bárbara Moraes Giancesini – Prof.^a Dra. (UFU)

Humberto Cunha de Oliveira– Prof. Ms. (IFSC)

Ítalo Emanuel Abade Menezes – Eng. Esp.

Dedico este trabalho a todas as pessoas e que me apoiaram, direta ou indiretamente, a não desistir desse sonho. Dedico a meus pais, pelo estímulo constante ao longo de todos esses anos. Dedico também aos amigos que fiz durante essa caminhada.

“A persistência é o caminho do Êxito”

Charles Chaplin

RESUMO

Os sistemas de iluminação pública desempenham um papel crucial no desenvolvimento e na qualidade de vida das comunidades, em grandes centros urbanos e em cidades menores. Eles contribuem para a segurança nas ruas, valorização de pontos de interesse como parques e monumentos, além de promover o turismo, comércio e lazer noturno. Um dos principais desafios enfrentados pelos parques de iluminação pública é encontrar um equilíbrio entre fornecer iluminação adequada e minimizar o consumo de energia. A eficiência energética torna-se, assim, uma prioridade, visando garantir o uso eficaz e sustentável dos recursos disponíveis. É notável o constante esforço do setor de iluminação pública em buscar formas de otimizar seus serviços. No Brasil, cerca de 3% do consumo total de energia elétrica é atribuído à iluminação pública. Em resposta a essa realidade, o governo tem promovido várias iniciativas para modernizar e tornar mais eficiente os sistemas de iluminação pública do país. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar o processo de modernização dos sistemas de iluminação pública, tendo como foco o estudo de caso do município de Uberlândia, em Minas Gerais. As análises foram concentradas na substituição da tecnologia das luminárias por LED e conduziu-se um estudo de viabilidade econômica para implementar técnicas de dimerização das luminárias LED, as quais são duas estratégias importantes para a efficientização da iluminação pública. A substituição por LED é conhecida por sua eficiência energética e longa vida útil, enquanto a dimerização permite reduzir parcialmente o fluxo luminoso e, consequentemente, o consumo de energia durante os horários de baixa demanda, como ao amanhecer e anoitecer, quando a luz solar ainda contribui para a iluminação e em horários de baixo trânsito de veículos. Em Uberlândia, foram substituídos mais de 90.000 pontos de iluminação, reduzindo em mais de 60% o consumo de energia elétrica. Além disso, ao realizar o estudo de caso com foco na dimerização das vias com classificação V1, foi possível identificar oportunidades de tornar o parque de iluminação pública do município ainda mais eficiente utilizando a infraestrutura de gestão já existente.

Palavras-chave: Efficientização, dimerização, iluminação pública, luminárias LED.

ABSTRACT

Public lighting systems play a crucial role in the development and quality of life of communities, both in large urban centers and smaller cities. They contribute to street safety, enhance points of interest such as parks and monuments, and promote tourism, commerce, and nighttime leisure. One of the main challenges faced by public lighting systems is finding a balance between providing adequate illumination and minimizing energy consumption. Energy efficiency, therefore, becomes a priority to ensure the effective and sustainable use of available resources. The public lighting sector is constantly striving to optimize its services. In Brazil, approximately 3% of the total electricity consumption is attributed to public lighting. In response to this reality, the government has promoted several initiatives to modernize and improve the efficiency of the country's public lighting systems. In this context, this study aims to present the modernization process of public lighting systems, focusing on a case study of the municipality of Uberlândia, in Minas Gerais. The analyses were centered on replacing luminaires with LED technology, and an economic feasibility study was conducted to implement LED dimming techniques, two key strategies for improving public lighting efficiency. LED replacement is known for its energy efficiency and long lifespan, while dimming allows for a partial reduction in light output, consequently lowering energy consumption during low-demand hours, such as dawn and dusk, when sunlight still contributes to illumination, and during periods of low vehicle traffic. In Uberlândia, more than 90,000 lighting points were replaced, reducing electricity consumption by over 60%. Additionally, through the case study focusing on dimming in V1-classified roads, it was possible to identify opportunities to make the city's public lighting system even more efficient by utilizing the existing management infrastructure.

Keywords: Efficiency, dimming, public lighting, LED luminaires.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Espectro eletromagnético.....	22
Figura 2 -	Luz refletida.....	23
Figura 3 -	Fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente.....	24
Figura 4 -	Iluminância vs. Luminância.....	25
Figura 5 -	Eficiência luminosa das lâmpadas.....	26
Figura 6 -	Temperatura de cor.....	29
Figura 7 -	Comparativo de IRCs.....	29
Figura 8 -	Conjunto de iluminação pública.....	37
Figura 9 (a)	Luminária aberta.....	38
Figura 9 (b)	Luminária fechada.....	38
Figura 10 -	Aumento da eficiência das luminárias.....	38
Figura 11 -	Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio.....	40
Figura 12 -	Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de sódio.....	41
Figura 13 -	Detalhes principais de uma lâmpada a vapor metálico.....	41
Figura 14 -	Reator interno e externo para iluminação pública.....	43
Figura 15 -	Relé para iluminação pública.....	44
Figura 16 -	Braço para iluminação pública.....	45
Figura 17 -	Arquitetura de um sistema de telegestão.....	48
Figura 18 -	Percentual de lâmpadas LED e convencionais no início do contrato	51
Figura 19 -	Tarifa de iluminação pública em 05/2020.....	52
Figura 20 -	Cenário Dialux.....	53
Figura 21 -	Especificação do cenário.....	54
Figura 22 -	Parametrização do ponto de iluminação.....	55
Figura 23 -	Perfil de rua do simulador Dialux.....	56
Figura 24 -	Folha de respostas dos níveis de iluminação.....	57
Figura 25 -	Percentual de pontos em LED na entrega do Primeiro Marco.....	59
Figura 26 -	Percentual de pontos em LED na entrega do Segundo Marco.....	60
Figura 27 -	Percentual de pontos em LED na entrega do Terceiro Marco.....	61
Figura 28 -	Fatura de iluminação pública após finalização do processo de modernização.....	63
Figura 29 -	Interface da plataforma de gerenciamento.....	65
Figura 30 -	Informação de ponto.....	66

Figura 31 -	Monitor de ocorrências.....	67
Figura 32 -	Interface principal da plataforma de telegestão.....	68
Figura 33 -	Primeira aba do sistema na seleção de ponto.....	69
Figura 34 -	Segunda aba do sistema na seleção de ponto.....	70
Figura 35 -	Terceira aba do sistema na seleção de ponto – momento 1 (lâmpada desligada - anterior ao envio do comando).....	71
Figura 36 -	Terceira aba do sistema na seleção de ponto: momento 2 (Envio do primeiro comando - lâmpada ligada).....	72
Figura 37 -	Terceira aba do sistema na seleção de ponto: momento 3 (Envio do segundo comando - dimerização).....	73
Figura 38 -	Quarta aba do sistema na seleção de ponto.....	74
Figura 39 -	Teste de programação de dimerização da luminária.....	75
Figura 40 -	Aferição do índice de modernização.....	78
Figura 41 -	Cenário do projeto luminotécnico de modernização.....	82
Figura 42 -	Resultado do projeto luminotécnico de modernização - Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende.....	83
Figura 43 -	Cenário considerando nova classificação viária (V2) na Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende.....	84
Figura 44 -	Resultados para a via considerando a nova classificação viária (V2).....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Consumo de energia no Brasil por Classe (GWh).....	17
Tabela 2 -	Faixas de temperatura de cor.....	28
Tabela 3 -	Classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de pedestres.....	34
Tabela 4 -	Classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de veículos.....	35
Tabela 5 -	Valores mínimos de luminância e uniformidade para vias de tráfego de veículos.....	35
Tabela 6 -	Valores de iluminância média e uniformidade mínimas para vias de tráfego de veículos.....	36
Tabela 7 -	Iluminância média mínima e uniformidade para vias para tráfego de pedestres.....	36
Tabela 8 -	Características das lâmpadas LED.....	39
Tabela 9 -	Cadastro base fornecido.....	51
Tabela 10 -	Relação de pontos por tipo de lâmpada na entrega do primeiro marco.....	58
Tabela 11 -	Relação de pontos por tipo de lâmpada na entrega do segundo marco.....	60
Tabela 12 -	Percentual de pontos em LED na entrega do Segundo Marco.....	61
Tabela 13 -	Relação dos ativos de iluminação por Situação dos Pontos.....	62
Tabela 14 -	Relação de pontos por tipo de lâmpada na entrega do terceiro marco.....	62
Tabela 15 -	Comparação de consumo no momento anterior ao contrato e após o processo de modernização.....	64
Tabela 16 -	Relação de pontos por tipo de lâmpada na entrega do terceiro marco.....	65
Tabela 17 -	Operação a plena carga.....	76
Tabela 18 -	Operação em regime programado utilizando a dimerização.....	76
Tabela 19 -	Potência por classificação viária.....	81
Tabela 20 -	Consumo considerando potência nominal.....	85
Tabela 21 -	Consumo considerando o cenário com dimerização.....	85

Tabela 22 -	Potência por classificação viária (novo cenário).....	85
Tabela 23 -	Comparação de consumo antes da modernização, após a modernização e o cenário hipotético que utiliza a dimerização.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRASI	Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Iluminação Pública
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
cd/m ²	Candela por metro quadrado
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COSIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
DCE	Despesa com Energia
DPS	Despesa pela Prestação de Serviço
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de Potência
GWh	Gigawatt Hora
IBD	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento
INMETRO	Instituto Brasileiro de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	Internet das Coisas
IP	Iluminação Pública
IDL	Índice de Disponibilidade da Luz
IDLD	Índice de Disponibilidade da Luz – dia
IDLN	Índice de Disponibilidade da Luz – noite
IQD	Índice de Qualidade dos Dados
IM	Índice de Modernização
IRC	Índice de Reprodução de Cor
kVA	Quilovolt-ampere – unidade de potência aparente
kVAr	Quilovolt-ampere reativo – unidade de potência reativa
kW	Quilowatt – unidade de potência ativa
LED	Diodo Emissor de Luz
lm	Lúmen – unidade de medida de fluxo luminoso

lm/W	Lúmen por Watt – unidade de medida de eficiência luminosa
lux	Unidade de medida de iluminância
m ²	Metro quadrado
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
nm	Nanômetro – unidade de medida
PEE	Programa de Eficiência Energética
PMU	Prefeitura Municipal de Uberlândia
PPP	Parceria Público Privada
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse width modulation</i>
U	Uniformidade da Iluminância
U _O	Uniformidade Global
U _L	Uniformidade Longitudinal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	OBJETIVOS GERAIS.....	19
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL	21
2.2	ASPECTOS RELACIONADOS À ILUMINAÇÃO.....	22
2.2.1	LUZ.....	22
2.2.2	FLUXO LUMINOSO	23
2.2.3	ILUMINÂNCIA.....	24
2.2.4	LUMINÂNCIA.....	25
2.2.5	EFICIÊNCIA LUMINOSA.....	26
2.2.6	FATOR DE UNIFORMIDADE.....	27
2.2.6.1	UNIFORMIDADE DA ILUMINÂNCIA.....	27
2.2.6.2	UNIFORMIDADE GLOBAL	27
2.2.6.3	UNIFORMIDADE LONGITUDINAL.....	28
2.2.7	TEMPERATURA DE COR.....	28
2.2.8	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC).....	29
2.3	REGULAMENTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL	30
2.3.1	MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	31
2.3.2	COSIP.....	32
2.3.3	NORMAS REGULAMENTADORAS VIGENTES.....	33
2.4	EQUIPAMENTOS DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	36
2.4.1	LUMINÁRIAS.....	37
2.4.1.1	LUMINÁRIAS ABERTAS.....	37
2.4.1.2	LUMINÁRIAS FECHADAS.....	38
2.4.2	LÂMPADAS.....	39
2.4.2.1	LÂMPADA A VAPOR DE MERCÚRIO	40
2.4.2.2	LÂMPADA A VAPOR DE SÓDIO.....	40
2.4.2.3	LÂMPADA A VAPOR METÁLICO	41

2.4.2.4	<i>LÂMPADA LED</i>	42
2.4.3	<i>REATORES</i>	43
2.4.4	<i>RELÉS</i>	44
2.4.5	<i>BRAÇOS</i>	44
2.5	<i>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA</i>	45
2.5.1	<i>PROCEL</i>	46
2.5.2	<i>PROCEL RELUZ</i>	46
2.5.3	<i>PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (PEE)</i>	47
2.5.4	<i>ILUMINAÇÃO PÚBLICA MAIS EFICIENTE</i>	47
2.5.4.1	<i>SISTEMA DE TELEGESTÃO</i>	48
3	EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UBERLÂNDIA	50
3.1	UBERLÂNDIA	50
3.2	PPP PARA MODERNIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA .	50
3.3	CADASTRO BASE	51
3.4	PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO	52
3.5	PROJETO LUMINOTÉCNICO	53
4	RESULTADOS DA EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UBERLÂNDIA	58
4.1	MARCOS DE CONTRATO	58
4.1.1	<i>PRIMEIRO MARCO</i>	58
4.1.2	<i>SEGUNDO MARCO</i>	59
4.1.3	<i>TERCEIRO MARCO</i>	60
4.2	IMPACTO FINANCEIRO	63
4.3	CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA	64
4.4	PLATAFORMA DE GERENCIAMENTO	65
4.5	TELEGESTÃO	67
4.5.1	<i>PLATAFORMA DE TELEGESTÃO</i>	67
4.6	ÍNDICES DE DESEMPENHO	77
4.6.1	<i>ÍNDICE DE QUALIDADE DOS DADOS (IQD)</i>	77
4.6.2	<i>ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE DA LUZ (IDL)</i>	77
4.6.3	<i>ÍNDICE DE MODERNIZAÇÃO (IM)</i>	78
5	ANÁLISE DO IMPACTO DA DIMERIZAÇÃO NA EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UBERLÂNDIA	80

6	CONCLUSÃO.....	88
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

Ter um sistema de iluminação pública eficiente não só melhora a qualidade de vida, mas também impulsiona o comércio local, promove o lazer noturno, abre novas possibilidades para o turismo e, de maneira geral, estimula o desenvolvimento econômico das cidades. A iluminação pública não apenas ilumina ruas, calçadas, praças e áreas de lazer, mas também realça e embeleza monumentos e pontos turísticos, o que a torna crucial para o desenvolvimento regional (ABRASI, 2019).

É importante destacar que, de acordo com o artigo 30, inciso V da Constituição Federal do Brasil, é responsabilidade dos municípios organizar e fornecer, direta ou indiretamente, serviços públicos de interesse local. Isso evidencia que a iluminação pública é uma questão de interesse local e está contemplada nesse artigo da Constituição.

Segundo o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento (IBD), as cidades consomem dois terços da produção global de energia. No ambiente urbano, os sistemas de iluminação pública representam uma parcela significativa desse consumo, sendo os gastos com energia para iluminação pública o segundo maior item nos orçamentos da maioria dos municípios brasileiros, ficando atrás apenas da folha de pagamento. Com base nesses dados, projetos de eficiência energética na iluminação pública podem resultar em redução dos gastos municipais (IBD, 2017).

No Brasil, para o ano de 2021, o sistema de iluminação pública correspondeu a cerca de 2,8% de todo o consumo de energia no país, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de energia no Brasil por classe (em GWh)

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	$\Delta\%$ (21/20)	TOTAL 2021 (%)
Brasil	461.780	467.161	475.764	482.527	476.569	497.503	4,4	100,0
Residencial	132.872	134.369	137.615	142.411	148.173	149.798	1,1	30,1
Industrial	165.314	167.398	170.066	167.701	166.452	180.366	8,4	36,3
Comercial	87.873	88.292	88.631	92.083	82.524	86.807	5,2	17,4
Rural	27.267	28.136	29.671	29.563	31.709	32.772	3,4	6,6
Poder Público	15.096	15.052	15.076	15.702	12.764	13.710	7,4	2,8
Iluminação Pública	15.035	15.443	15.690	15.845	15.463	14.034	9,2	2,8
Serviço Público	14.969	15.196	15.778	15.964	16.345	16.668	2,0	3,4
Consumo Próprio	3.355	3.277	3.238	3.257	3.138	3.348	6,7	0,7

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2021, Tabela 3.3).

Segundo Santana (2010), a combinação de tecnologias e equipamentos ineficientes, juntamente com uma gestão inadequada por parte do município, resulta em consideráveis perdas de energia elétrica nos sistemas de iluminação pública. De acordo com Silva (2006), a falta de recursos e competência técnica para lidar com a iluminação pública é uma das causas da ineficiência dos sistemas.

Diante desse quadro, nos últimos anos, têm sido implementadas ações governamentais e políticas públicas com o intuito de reduzir o consumo de energia na iluminação pública por meio da eficiência e modernização dos parques de iluminação em todo o país. Entre essas medidas, destacam-se o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficiente e o Procel Reluz, do Ministério de Minas e Energia.

O Procel Reluz visa empregar tecnologias avançadas nos sistemas de iluminação pública, apresentando diversas maneiras de aumentar a eficiência energética, e concentra-se, especialmente, na substituição das luminárias antigas, de vapor de sódio, vapor metálico e vapor de mercúrio por luminárias LED. Essas luminárias consomem consideravelmente menos energia e oferecem uma eficiência luminosa superior às mencionadas anteriormente.

O projeto iniciado em 2000, tinha como meta, até 2012, substituir lâmpadas incandescentes, mistas e de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio ou vapor metálico, mais eficientes em termos de consumo e eficiência luminosa. Desde 2016, com o

respaldo da Lei nº 13.280/2016, o programa mudou seu foco para a substituição de todas as tecnologias anteriores pela tecnologia LED (Diodo Emissor de Luz). As luminárias LED, de maneira geral, são mais eficientes em termos energéticos, têm uma durabilidade superior e oferecem um bom custo-benefício em comparação com as tecnologias anteriores.

Desde o início das operações do Procel em 1986 até hoje, a economia acumulada de energia atinge aproximadamente 217,9 bilhões de kWh. Vale ressaltar que mais da metade desse valor foi alcançado desde 2017 (110,54 bilhões de kWh).

Também é válido mencionar o Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estipula por lei a destinação de pelo menos 0,5% da receita operacional das concessionárias de energia para reduzir o consumo da iluminação pública. Isso envolve a substituição de luminárias antigas por modelos mais eficientes e modernos.

Recentemente, tem sido evidente uma crescente preocupação global com a economia de energia elétrica. Como resultado, há um aumento perceptível na busca e pesquisa por métodos, técnicas e tecnologias para mitigar o desperdício ou uso inadequado de energia no setor elétrico. A eficiência dos sistemas de iluminação é um tema atual que recebe grande atenção em pesquisas e investimentos.

A maioria dos parques de iluminação pública é faturada com base em estimativas, conforme definido pela ANEEL. Essas estimativas de consumo podem ser imprecisas, pois baseiam-se essencialmente no período de utilização e na potência das lâmpadas para calcular o consumo teórico.

No entanto, existem diversas técnicas pouco exploradas ou subutilizadas que têm o potencial de reduzir o consumo de energia nos sistemas de iluminação pública. Por exemplo, a aplicação de dimerização em luminárias LED aliada à medição real dos pontos de iluminação. A dimerização das luminárias consiste na redução do fluxo luminoso, e, conseqüentemente, na potência consumida. Essa técnica deve ser empregada em horários de menor movimento ou perto do pôr e nascer do Sol, que é quando há contribuição do astro na iluminação das vias e demais pontos das cidades e municípios. A utilização desses dois métodos pode contribuir de forma significativa na redução do consumo e precisão da tarifa cobrada.

Programas governamentais voltados para a modernização e eficiência dos sistemas de iluminação pública nas cidades do Brasil existem desde os primórdios do século e persistem até os dias atuais. O objetivo desses programas é incentivar a redução do consumo e do desperdício de energia elétrica, dada a crescente necessidade de eletricidade na sociedade atual e os prejuízos econômicos e impactos generalizados que a falta dela pode acarretar.

A diminuição do consumo nos sistemas de iluminação pública teria um efeito direto na redução das contas de energia pagas pelos residentes. Isso se deve ao fato de que essas contas são cobradas através da Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP). Essa contribuição é recolhida pelas concessionárias de energia, embutida na fatura total e posteriormente repassada para as prefeituras correspondentes (GRANDA, 2019).

Além das implicações energéticas e econômicas, a iluminação pública também desempenha um papel crucial no conforto, bem-estar e qualidade de vida da população. A adoção de novas tecnologias, combinadas com estudos avançados no campo da iluminação, pode proporcionar uma boa visibilidade aos moradores, melhorando a segurança e aparência das vias, praças, ciclovias, parques e outros locais de destaque.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVOS GERAIS

A partir do contexto apresentado, este trabalho tem o objetivo principal relatar um estudo de caso com a finalidade de investigar e analisar os benefícios da modernização dos sistemas de iluminação pública. Nessa modernização, será exposto o processo de modernização do parque de iluminação pública do município de Uberlândia. Além disso, será feita a análise de viabilidade de implantação e impacto das técnicas de dimerização.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

As análises serão concentradas na substituição da tecnologia das luminárias por LED e na utilização de técnicas de dimerização, as quais são duas estratégias importantes para a efficientização da iluminação pública. A substituição por LED é conhecida por sua eficiência energética e longa vida útil, enquanto a dimerização oferece uma maneira inteligente de ajustar o fluxo luminoso de acordo com a demanda, proporcionando economia adicional de energia.

Ao estudar esses métodos já estabelecidos, poderão ser fornecidos insights valiosos sobre sua aplicabilidade, benefícios e desafios na prática. Isso será extremamente útil para gestores públicos, empresas de energia e outros interessados em melhorar a eficiência energética da iluminação pública.

Assim, podem ser destacados como objetivos específicos deste estudo:

- a) o aprofundamento sobre a temática da iluminação pública, principalmente no que tange às normas e legislações brasileiras;
- b) a definição dos conceitos sobre luminotécnica, das características das diferentes tecnologias de lâmpadas e dos demais equipamentos utilizados na iluminação pública;
- c) a avaliação dos benefícios proporcionados por programas de eficiência energética direcionados à modernização da iluminação pública;
- d) a investigação dos benefícios da dimerização, da telegestão e da medição de consumo ponto a ponto na gestão e eficiência da iluminação pública.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Visando atingir os objetivos propostos, além do presente capítulo introdutório, o conteúdo deste trabalho está organizado da seguinte maneira:

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre o tema do trabalho, abordando o histórico da iluminação pública no Brasil, as definições e conceitos técnicos relacionados à iluminação, além das normas e padronizações aplicáveis à iluminação pública.

Os Capítulos 3, 4 e 5 apresentam o estudo de caso de efficientização do parque de iluminação pública da cidade de Uberlândia/MG, incluindo os resultados e discussões.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões alcançadas a partir dos resultados obtidos, assim como sugestões para futuras pesquisas e possíveis ações práticas para a efficientização contínua dos sistemas de iluminação pública.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

Antes do período colonial, as únicas formas de iluminação noturna eram o fogo e a luz natural da Lua. Com a chegada dos portugueses, em torno de 1500, outras formas de iluminação, importadas da Europa, começaram a ser introduzidas no Brasil.

Uma dessas primeiras alternativas foi a lamparina, como descrito por Carvalho (2012). As lamparinas funcionavam com óleos vegetais e/ou animais, sendo o óleo de oliva o combustível mais utilizado inicialmente. No entanto, devido ao alto custo de importação, o óleo de oliva era utilizado apenas pela elite. Com o tempo, a produção local de outros tipos de óleo, tanto vegetais quanto animais, fez com que o óleo de oliva fosse substituído por esses outros tipos, tornando esse método de iluminação mais acessível.

A iluminação pública nas cidades começou a se tornar mais comum após o século XVIII, conforme observado por Carvalho (2012). Foi nesse período que os parques de iluminação pública começaram a ser criados, embora ainda não estivessem presentes em todas as cidades. As lâmpadas a óleo foram posteriormente substituídas por lâmpões a gás.

Com a introdução das redes de distribuição de energia elétrica no país, os sistemas de iluminação a gás e a óleo foram gradualmente substituídos por luminárias incandescentes. Estima-se que a partir da década de 1960, as lâmpadas de descarga foram incorporadas aos parques de iluminação pública. Segundo Carvalho (2012), a cidade de Campos, no interior do Rio de Janeiro, foi a primeira no Brasil a ter iluminação elétrica nas ruas, em 1883, devido à presença de uma usina termoelétrica na cidade na época.

De acordo com o manual de iluminação pública COPEL (2018, p. 13):

Historicamente a iluminação pública de ruas começou baseada em conceitos de segurança individual e da propriedade e, posteriormente, na necessidade de identificação do cidadão dentro da comunidade e de sua participação em atividades públicas. Finalmente, com a invenção do automóvel, a iluminação pública veio contribuir para a sinalização e orientação do tráfego automobilístico.

Inicialmente, a falta de usinas geradoras de energia elétrica nas proximidades dos municípios dificultou a criação e implementação dos parques de iluminação pública. No entanto, esse obstáculo foi gradualmente superado com o avanço dos sistemas de transmissão, que permitiram a distribuição mais ampla de energia elétrica em todo o país. Essa evolução na infraestrutura de transmissão de energia foi essencial para impulsionar o desenvolvimento dos parques de iluminação pública, tornando-os mais acessíveis e viáveis em diversas regiões do Brasil.

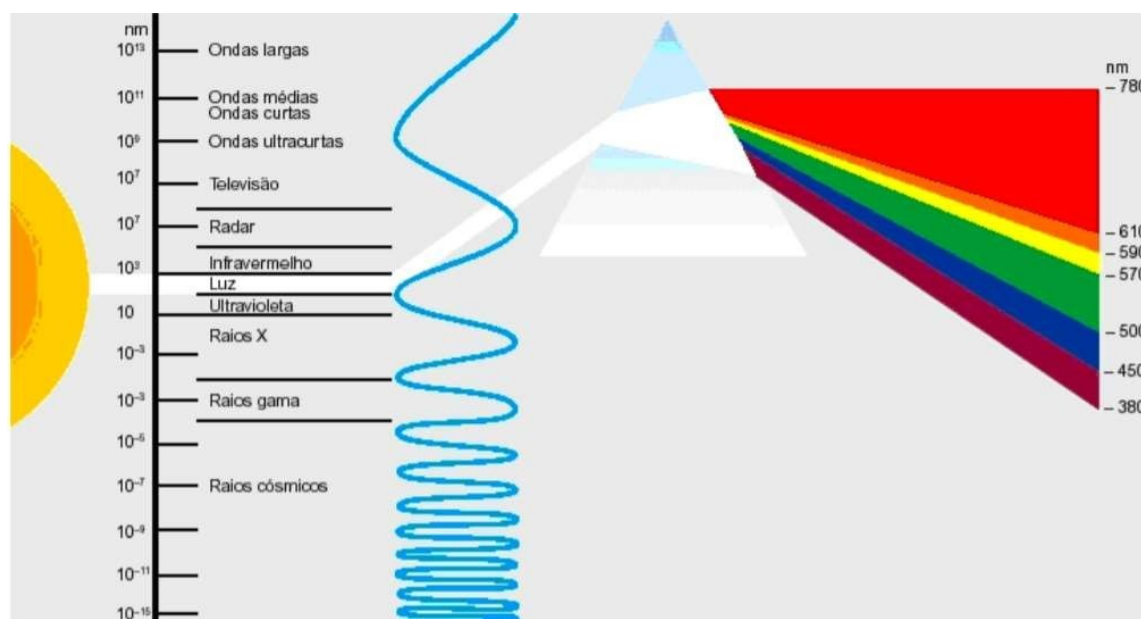
2.2 ASPECTOS RELACIONADOS À ILUMINAÇÃO

Neste item, serão abordados alguns aspectos relacionados à iluminação, incluindo definições de termos relevantes para o tema e que serão utilizados ao longo do trabalho.

2.2.1 LUZ

Conforme descrito por Mamede Filho (2017), a luz é uma forma de energia que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas, apresentando uma variedade de comprimentos de onda. No entanto, apenas uma faixa específica desse espectro é visível ao olho humano, como indicado na Figura 1.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



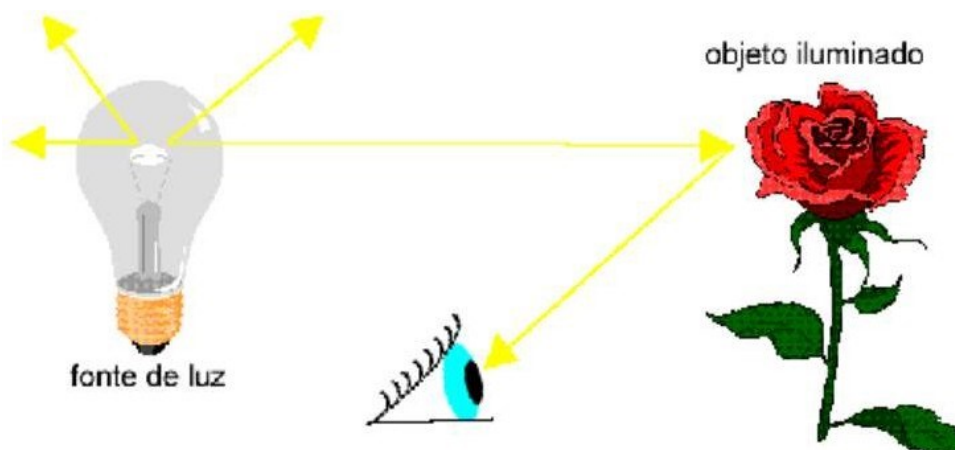
Fonte: Procel (2011).

A sensação de luminosidade que percebemos ocorre quando os fotorreceptores em nossa retina são estimulados pela luz. Esses fotorreceptores são sensíveis a uma faixa específica de comprimentos de onda, que varia de aproximadamente 380 nanômetros (nm) a 780 nm. Essa é a faixa de luz visível ao olho humano, capaz de estimular a retina e gerar a percepção de luminosidade.

Conforme Mamede Filho (2017) destaca, é comum que os seres humanos, ao observarem objetos em ambientes fechados, tenham a percepção de que esses objetos possuem cores definidas. No entanto, o que determina a cor dos objetos não é uma característica intrínseca deles, mas sim a radiação luminosa incidente sobre eles. Em outras palavras, a cor que percebemos em um objeto é resultado da interação entre a luz que o objeto absorve e a luz que ele reflete.

Além disso, é importante ressaltar que o olho humano não é capaz de enxergar diretamente os raios luminosos. O que percebemos como luz é, na verdade, a luz refletida pelos objetos e captada pelos fotorreceptores na retina do olho. Esse processo é ilustrado de forma clara na Figura 2, onde é possível observar como a luz incidida sobre um objeto é refletida e, posteriormente, captada pelo olho humano, gerando a percepção de cor e luminosidade.

Figura 2 - Luz refletida



Fonte: Chagas (2012).

2.2.2 FLUXO LUMINOSO

O termo fluxo luminoso, cuja unidade de medida é o lúmen (lm), refere-se à quantidade total de energia luminosa emitida por uma fonte de luz. Isso inclui a luz emitida em todas as

direções do espaço em que a fonte está localizada. Isso significa que o fluxo luminoso representa a quantidade total de luz que uma fonte é capaz de produzir e espalhar ao seu redor.

Essa definição é ilustrada na Figura 3, onde é possível observar como a luz é emitida pela fonte em todas as direções, criando um fluxo luminoso que se espalha pelo ambiente ao redor da fonte. Essa imagem ajuda a visualizar como a energia luminosa é distribuída a partir da fonte de luz, contribuindo para a iluminação do espaço ao redor.

Figura 3 - Fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente



Fonte: Mamede Filho (2017).

2.2.3 ILUMINÂNCIA

A iluminância, ou nível de iluminamento, é o fluxo luminoso que incide sobre uma determinada área e é medida em lux. A iluminância pode ser calculada utilizando a seguinte relação:

$$E = \frac{F}{S} [lux] \quad (1)$$

Onde:

F = Fluxo luminoso, em lúmens (lm);

S = Área da superfície iluminada, em metros quadrados (m²).

Na prática, o cálculo da iluminância considera o fluxo luminoso médio, uma vez que o fluxo não é distribuído uniformemente ao longo da superfície iluminada (Mamede Filho, 2017). Isso significa que o valor do fluxo luminoso utilizado no cálculo é uma média da quantidade total de luz emitida pela fonte de luz, levando em conta as variações na distribuição da luz.

2.2.4 LUMINÂNCIA

A luminância, cuja unidade de medida é a candeia por metro quadrado (cd/m^2), é a medida da sensação de claridade provocada no olho humano através de uma determinada superfície, segundo Mamede Filho (2017). Já de acordo com o manual de iluminação pública do Procel, de 2011, a luminância é descrita como “o brilho de um objeto que pode ser percebido pelo olho humano”. A luminância é obtida através da seguinte equação:

$$L = \frac{I}{S} \times \cos(\alpha) \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \quad (2)$$

Onde:

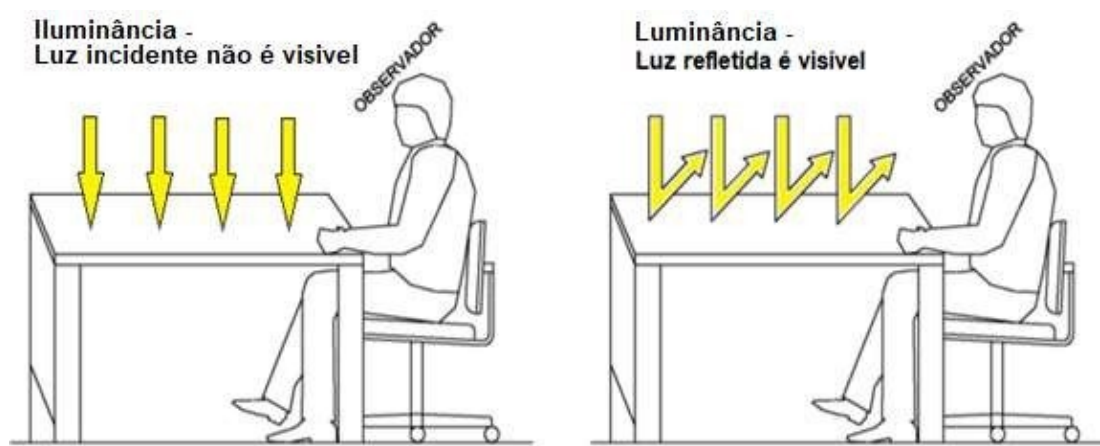
α = ângulo entre a superfície iluminada e a direção do fluxo luminoso;

I = Intensidade Luminosa (cd);

S = Área da superfície iluminada (m^2).

Segundo Antunes (2015), o conceito de iluminância é comumente confundido com o da luminância. Conforme descrito anteriormente, luminância é a intensidade luminosa refletida pela superfície de um objeto, sendo este parâmetro afetado, por exemplo, pela cor, coeficiente de reflexão e material desse objeto. Já iluminância refere-se à energia luminosa que incide sobre a superfície desse objeto, onde o que pode interferir nos níveis de iluminamento são, por exemplo, a inclinação e distância entre a fonte luminosa e a superfície do objeto em questão. Observe na Figura 4 uma ilustração que diferencia esses dois conceitos.

Figura 4 - Iluminância vs. Luminância



Fonte: Adaptado de Procel (2011).

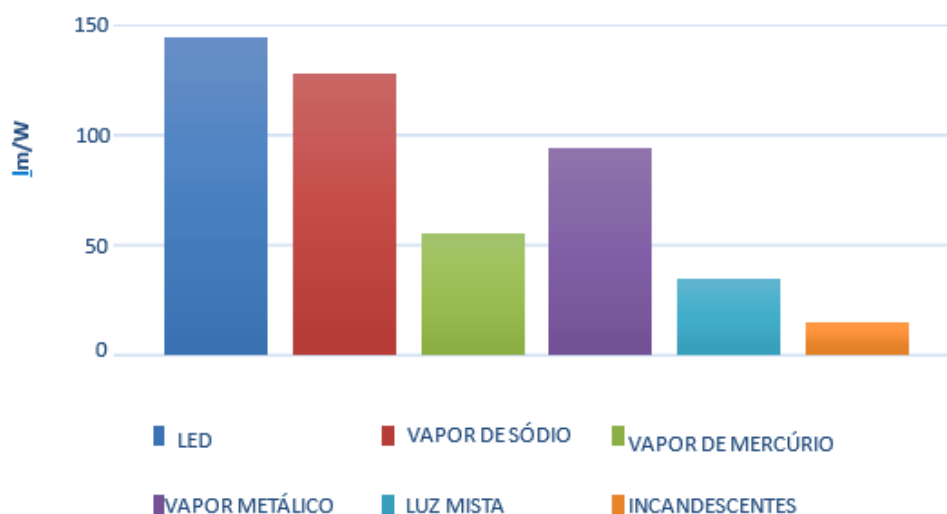
A luminância, conhecida como o fenômeno pelo qual o olho humano percebe a intensidade luminosa, fluxo luminoso e iluminância, ocorre quando essas características são refletidas por uma superfície, resultando na sensação de luz transmitida.

2.2.5 EFICIÊNCIA LUMINOSA

As lâmpadas e luminárias são sistemas projetados para converter energia elétrica em energia luminosa. Em outras palavras, ao consumirem uma determinada quantidade de energia elétrica, esses dispositivos produzem uma quantidade correspondente de energia luminosa. A eficiência luminosa, medida em lumens por watts (lm/W), representa a relação entre o fluxo luminoso, medido em lumens (lm), e a potência consumida, medida em watts (W).

Na Figura 5 a seguir, são apresentadas as eficiências médias de fontes luminosas que empregam diferentes tecnologias:

Figura 5 - Eficiência luminosa das lâmpadas



Fonte: Adaptado de Empalux.

A eficiência luminosa é dada pela Equação (3):

$$\eta = \frac{F}{P_e} \left(\frac{lm}{W} \right) \quad (3)$$

Onde:

F = Fluxo luminoso, em lúmens;

P_e = Potência elétrica consumida, em Watts (W)

2.2.6 FATOR DE UNIFORMIDADE

Ao examinar a luminância e iluminância de uma superfície, é frequente encontrar situações em que a luz não é distribuída de maneira uniforme. Isso significa que em alguns pontos da superfície a incidência de luz será mais intensa, enquanto em outros será mais fraca. A ABNT NBR 5101:2018 classifica a uniformidade em:

- Uniformidade da iluminância (U);
- Uniformidade global (U_O);
- Uniformidade longitudinal (U_L).

2.2.6.1 UNIFORMIDADE DA ILUMINÂNCIA

A uniformidade da iluminância é definida como a relação entre a iluminância mínima e a iluminância média medida em uma determinada superfície.

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} \quad (4)$$

Onde:

E_{\min} = iluminância mínima;

E_{med} = iluminância média.

2.2.6.2 UNIFORMIDADE GLOBAL

A uniformidade global (U_O) é análoga à uniformidade da iluminância, porém com a luminância. Ela é definida como a relação entre a luminância mínima e a luminância média.

$$U_O = \frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}} \quad (5)$$

Onde:

L_{\min} = luminância mínima;

L_{med} = luminância média.

2.2.6.3 UNIFORMIDADE LONGITUDINAL

Especificamente na iluminação pública, é comum observar um fenômeno conhecido como efeito "zebrado" nas vias. Esse fenômeno ocorre devido à disposição das luminárias, resultando em áreas mais iluminadas próximas aos postes e áreas mais escuras entre eles. Esse efeito é denominado de uniformidade longitudinal e é calculado como a razão entre a luminância mínima e máxima ao longo de um trecho específico, perpendicularmente à distribuição das fontes luminosas.

A uniformidade longitudinal é definida pela Equação (6):

$$U_L = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (6)$$

Onde:

L_{\min} = luminância mínima;

L_{\max} = luminância máxima.

2.2.7 TEMPERATURA DE COR

A temperatura de cor, expressa em Kelvin (K), está associada à tonalidade da luz produzida pela lâmpada ou luminária. Embora seja medida em uma unidade de temperatura, não está diretamente relacionada ao calor emitido pela fonte luminosa, mas sim à cor da luz. A tonalidade da cor pode variar entre quente e fria, conforme ilustrado na Tabela 2:

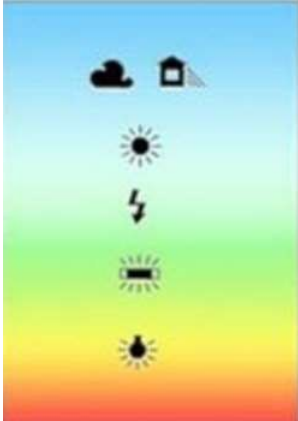
Tabela 2 - Faixas de temperatura de cor

Aparência	Temperatura de cor (K)
Quente (Branco alaranjado)	<3300
Neutro (branco)	De 3300 a 5000
Fria (branco azulado)	>5000

Fonte: COPEL (2018).

Os valores variam entre 1000K e 8000K, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Temperaturas de cor

	10000 - 15000 K	Céu Azul Limpo
	6500 - 8000 K	Céu Nublado/ Sombra
	6000 - 7000 K	Luz de Meio-Dia
	5500 - 6500 K	Luz Média
	5000 - 5500 K	Flash Eletrônico
	4000 - 5000 K	Luz Fluorescente
	3000 - 4000 K	Começo da Manhã
	2500 - 3000 K	Luz Doméstica
	1000 - 2000 K	Luz de Velas

Fonte: FOCUS (2017).

2.2.8 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)

De acordo com o PROCEL (2011), o índice de reprodução de cor (IRC) é definido como a capacidade de uma fonte de luz em preservar a fidelidade das cores de um objeto, sem distorções ou alterações significativas.

Observa-se na Figura 7 que, quando iluminada por uma fonte com alto IRC (à esquerda) e outra com baixo IRC (à direita), a mesma paisagem apresenta uma percepção de cores significativamente distinta.

Figura 7 - Comparativo de IRCs



Fonte: COPEL (2018).

O IRC varia entre 1 e 100. Quanto maior for o valor do IRC, mais fiel será a reprodução de cores do objeto.

2.3 REGULAMENTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

Segundo a Constituição de 1988, em virtude de ser um serviço de interesse público de âmbito local, a responsabilidade pela iluminação pública recai sobre os municípios. Conforme estipulado no documento (Brasil, 1988):

Art. 30. Compete aos Municípios:

V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial.

Nesse contexto, compete à administração municipal, de acordo com as necessidades locais, organizar a prestação do serviço de iluminação pública, seja por meio de sua própria gestão, terceirização ou concessão a prestadores de serviço. Tal concessão deve ser realizada mediante processo de licitação, seguindo as leis vigentes na época de sua elaboração.

No entanto, na década de 1990, devido à escassez de recursos financeiros e humanos, muitas vezes essa responsabilidade foi concedida às empresas concessionárias de energia, devido à sua expertise no setor. Naquele período, o principal objetivo das concessionárias era a economia de energia, buscando reduzir custos e atender aos requisitos mínimos estabelecidos.

Entretanto, como discutido anteriormente neste estudo, a iluminação pública tem o potencial de impulsionar diretamente o desenvolvimento municipal. Diante desse cenário, muitos gestores públicos passaram a reconhecer essa importância (COPEL, 2011).

É importante ressaltar que a responsabilidade pelo pagamento dos custos com iluminação pública recai sobre o município. Em 2002, por meio de uma Emenda Constitucional, foi autorizado o repasse dos custos de consumo das lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública para a população, através da cobrança de tributos específicos, conforme estabelecido na Constituição Federal.

Art. 149-A

Os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III. (BRASIL, 1988).

Denominada de Contribuição de Iluminação Pública (CIP), ou Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP), essa tarifa segue a legislação de cada município.

2.3.1 MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo a COPEL (2018), a maioria das instalações elétricas destinadas à iluminação pública opera sob o regime de faturamento forfait ou por estimativa, o que significa que não há medição de energia ponto a ponto ou por circuito. Atualmente, não existe uma exigência legal que determine a implementação de medição individualizada, e, por isso, os valores de consumo são calculados com base na carga atribuída aos pontos de iluminação, incluindo os equipamentos auxiliares, como relés fotoelétricos e reatores.

O artigo 468 da Resolução Normativa 1000/2021 estabelece os parâmetros para o faturamento da energia consumida pela iluminação pública:

Art. 468.

O consumo mensal da energia elétrica destinada à iluminação pública deve ser apurado considerando as seguintes disposições:

I - com medição da distribuidora: nas mesmas condições das demais unidades consumidoras dos grupos A e B com medição;

II - com medição amostral da distribuidora: a medição amostral deve ser extrapolada para os demais pontos de iluminação pública, com o consumo da unidade consumidora que agrega os pontos sendo calculado pelo somatório dos consumos individuais;

III - com sistema de gestão de iluminação pública do poder público municipal: o consumo dos pontos de iluminação abrangidos deve ser apurado a partir das informações do sistema de gestão, observado o art. 474 e demais instruções da ANEEL; e

IV - nas demais situações: o consumo mensal por ponto de iluminação deve ser estimado considerando a seguinte expressão: (7) (ANEEL, 2021).

No caso do item IV, fica sob responsabilidade da concessionária a conferência da quantidade e potência das lâmpadas presentes no parque de iluminação pública do município, sendo a Equação (7) utilizada para a determinação do valor total consumido:

$$\text{Consumo Mensal (kWh)} = \frac{\left(\text{Carga} \times \left(n \times \text{Tempo} - \frac{\text{DIC}}{2} \right) \right)}{1000} \quad (7)$$

Onde:

Consumo Mensal = despesa com consumo de energia, medida em kWh;

Carga = potência nominal total do ponto de iluminação em Watts, incluídos os equipamentos auxiliares, conforme art. 473 da Resolução Normativa 1000/2021, devendo ser proporcionalizada em caso de alteração durante o ciclo.

Tempo = tempo considerado para o faturamento diário da iluminação pública de acordo com o Anexo I da Resolução Homologatória ANEEL nº 2.590 (11h27min, considerando o município de Uberlândia/MG);

DIC = Duração de Interrupção Individual da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública, em horas;

n = número de dias do mês ou o número de dias decorridos desde a instalação ou alteração do ponto de iluminação.

2.3.2 COSIP

A cobrança das contas de energia elétrica inclui várias taxas, sendo uma delas a COSIP, que também é chamada de CIP. Dividida em duas partes, a Despesa com Energia (DCE) e a Despesa pela Prestação de Serviço (DPS), a COSIP é uma taxa destinada a garantir a sustentabilidade econômico-financeira da prestação do serviço de iluminação pública. Esta relação é expressa da seguinte forma:

$$\text{COSIP} = \text{Consumo Mensal} + \text{DPS} \quad (8)$$

Onde:

COSIP = Contribuição para o custeio do serviço de iluminação pública;

Consumo Mensal = Despesa com consumo de energia (DCE);

DPS = Despesas com a prestação do serviço.

Essa taxa não está prevista em leis específicas ou artigos constitucionais, o que significa que sua base de cálculo é determinada pelo poder municipal. Portanto, cada município é responsável por sua própria legislação e pela definição dessa base de cálculo.

Diante dessa variedade de abordagens, há três propostas principais para embasar o faturamento da COSIP:

- Taxa Fixa: Estabelece uma taxa fixa a ser cobrada, com base na faixa e classe de consumo.
- Valor Unitário de Custeio: Define um valor unitário de custeio, combinado com uma tabela de descontos percentuais de acordo com a faixa e classe de consumo.
- Percentual da Fatura do Consumidor: Prevê que a cobrança seja um percentual da fatura do consumidor, com ou sem um teto nesse percentual, a depender da legislação de cada município. Esse valor percentual pode ainda variar dependendo da faixa e classe de consumo.

Por lei, a COSIP é discriminada nas faturas de energia como um item separado do valor final, seguindo as leis estabelecidas pelo poder municipal e mediante contrato formalizado entre a concessionária de energia e o poder público municipal (COPEL, 2018).

2.3.3 NORMAS REGULAMENTADORAS VIGENTES

A criação e implementação dos sistemas de iluminação pública devem estar em conformidade com diversas normas nacionais que regulamentam, delimitam ou especificam os parâmetros da área. A seguir estão listadas as principais normas pertinentes:

- NBR 5461 (ABNT, 1991) – Iluminação – Terminologia;
- NBR 5101 (ABNT, 2018) – Iluminação Pública – Procedimentos;
- NBR IEC 1167 (ABNT, 1997) – Lâmpadas a vapor metálico;
- NBR 5123 (ABNT, 2016) – Relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação – Especificações e ensaios;
- NBR 15129 (ABNT, 2012) – Luminárias para iluminação pública – Requisitos particulares;
- NBR 14305 (ABNT, 2015) – Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos) – Requisitos e ensaios;
- NBR IEC 60598-1 (ABNT, 2010) – Luminárias Parte 1: Requisitos gerais e ensaios;

- NBR 13593 (ABNT, 2013) – Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão – Especificação e ensaios;
- NBR IEC 62722-2-1 (ABNT, 2016) – Desempenho de luminárias; Parte 2-1: Requisitos particulares para luminárias LED;
- NBR IEC 60662 (ABNT, 1997) – Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão.

A norma técnica ABNT NBR 5101:2018, em especial, estabelece os requisitos mínimos para a iluminação de vias públicas, visando garantir a identificação de moradores e a segurança no tráfego de pedestres e veículos. Os principais parâmetros avaliados são a luminância e a iluminância médias, juntamente com a uniformidade da iluminância e da luminância.

Vale ressaltar que há uma versão mais recente dessa norma, publicada em 2024. Contudo, no estudo de caso deste trabalho, o contrato foi elaborado com base na versão de 2018. Por esse motivo, a NBR 5101:2018 será a versão considerada.

A norma ABNT NBR 5101:2018 diferencia entre vias rurais e urbanas, além de subdividir as vias urbanas de acordo com sua importância e características, classificadas de V1 a V5. Essa classificação considera o volume de tráfego noturno de veículos e pedestres, presença de comércio e outros fatores relevantes. Da mesma forma, os passeios são subdivididos de P1 a P4, cada um com seus requisitos específicos de iluminação.

As tabelas presentes na ABNT NBR 5101:2018 detalham a classificação das vias e passeios, indicando os diferentes índices mínimos de luminância e iluminância para cada subdivisão, conforme ilustrado a seguir.

Tabela 3 - Classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de pedestres

DESCRIÇÃO DA VIA	CLASSE DE ILUMINAÇÃO
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)	P4

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018 p. 11).

Tabela 4 - Classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de veículos

DESCRIÇÃO DA VIA	CLASSE DE ILUMINAÇÃO
Vias de trânsito rápido: vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; autoestradas	
Volume de tráfego intenso	V1
Volume de tráfego médio	V2
Vias arteriais: vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo	
Volume de tráfego intenso	V1
Volume de tráfego médio	V2
Vias coletoras: vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	
Volume de tráfego intenso	V2
Volume de tráfego médio	V3
Volume de tráfego leve	V4
Vias locais: vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	
Volume de tráfego intenso	V3
Volume de tráfego médio	V4
Volume de tráfego leve	V5

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018).

Os parâmetros estabelecidos para a iluminação viária, pela norma, são relativos à iluminância e luminância, conforme citado anteriormente. Na Tabela 5 estão os valores mínimos estabelecidos para luminância e uniformidade da luminância e na Tabela 6 estão os valores estabelecidos para a iluminância, valores estes que variam dependendo da classificação da via para tráfego de veículos.

Tabela 5 - Valores mínimos de luminância e uniformidade para vias de tráfego de veículos

CLASSE DE ILUMINAÇÃO	LMED	$U_0 \geq$	$U_L \leq$	TI%	SR
V1	2	0,4	0,7	10	0,5
V2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
V3	1	0,4	0,7	10	0,5
V4	0,75	0,4	0,7	15	-
V5	0,5	0,4	0,7	15	-

Lmed: luminância média; U_0 : uniformidade global; U_L : uniformidade longitudinal; TI: incremento linear.

Nota 1: Os critérios de TI e SR são orientativos, assim como as classes V4 e V5.

Nota 2: Os índices de luminância são obrigatórios para as classes V1, V2 e V3.

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018).

Tabela 6 - Valores de iluminância média e uniformidade mínimas para vias de tráfego de veículos

CLASSE DE ILUMINAÇÃO	ILUMINÂNCIA MÉDIA MÍNIMA	FATOR DE UNIFORMIDADE $U = \left[E_{min} / E_{med} \right]$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018).

A Tabela 5 e a Tabela 6 definem os valores mínimos para as vias de tráfego de veículos, enquanto para os passeios também são estabelecidos valores mínimos de iluminação. No entanto, para os passeios, não são especificados valores mínimos para luminância, apenas para iluminância e uniformidade da iluminância, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Iluminância média mínima e uniformidade para vias para tráfego de pedestres

CLASSE DE ILUMINAÇÃO	ILUMINÂNCIA MÉDIA MÍNIMA	FATOR DE UNIFORMIDADE $U = \left[E_{min} / E_{med} \right]$
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018).

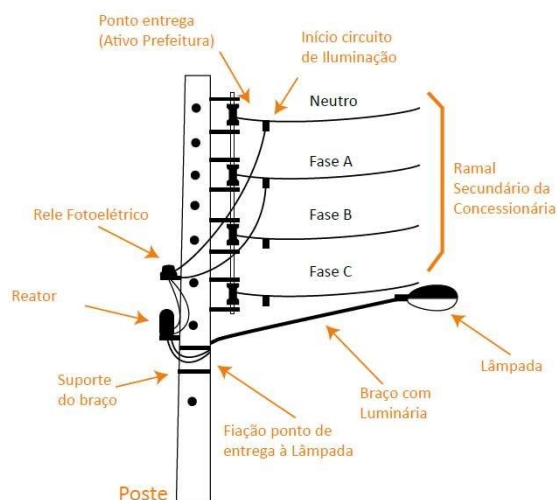
2.4 EQUIPAMENTOS DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Ao longo dos anos, a estrutura básica empregada na iluminação pública tem evoluído tecnologicamente, com o intuito de reduzir custos e aumentar a eficiência. Empresas do setor buscam alcançar melhores resultados por meio dessas melhorias estruturais, resultando na presença crescente de equipamentos mais modernos, confiáveis e com melhor relação custo-benefício nos parques de iluminação pública do país. Em termos gerais, os principais equipamentos utilizados nos sistemas de iluminação pública são:

- Luminárias;
- Lâmpadas;
- Reatores;
- Relés;
- Braços.

Na Figura 8, podemos observar os principais equipamentos que formam o conjunto de um ponto de iluminação pública.

Figura 8 - Conjunto de iluminação pública



Fonte: COPEL (2018).

2.4.1 LUMINÁRIAS

A luminária é definida como um aparelho responsável por distribuir, filtrar ou modificar a luz emitida por uma ou mais lâmpadas. Ela inclui não apenas as lâmpadas, mas também todas as partes necessárias para fixá-las e protegê-las, além de, quando necessário, os circuitos auxiliares e os meios de ligação ao circuito de alimentação (ABNT NBR 5101).

A função primordial das luminárias é distribuir a luz, abrigar a lâmpada e os dispositivos auxiliares, podendo também, em segundo plano, ter uma função estética. Isso ocorre porque, por si só, a lâmpada pode não ser capaz de atender completamente às necessidades de iluminação, sendo a luminária responsável por direcionar adequadamente a luz emitida pela lâmpada. O conceito de lâmpada e luminária como entidades separadas tem se tornado menos relevante com o advento das luminárias LED, onde o conjunto é integrado, mas ainda é evidente em lâmpadas com outras tecnologias. Em termos gerais, existem dois tipos básicos de luminárias utilizadas na iluminação pública:

2.4.1.1 LUMINÁRIAS ABERTAS

Inicialmente, o tipo de luminária mais comum era o modelo aberto, como ilustrado na Figura 9(a). No entanto, esse design expõe a lâmpada aos elementos externos, como poeira,

insetos e condições climáticas adversas, além de estar sujeito a atos de vandalismo, o que pode reduzir significativamente a vida útil da lâmpada.

Com a atualização da NBR 5101:2006, passou a ser exigido um índice de proteção mínimo, fazendo com que esse tipo de luminária deixasse de ser permitido.

2.4.1.2 LUMINÁRIAS FECHADAS

Visando aliar a otimização da eficiência luminosa à proteção das lâmpadas, foi desenvolvido um novo modelo, a luminária fechada, conforme pode ser observado na Figura 9(b).

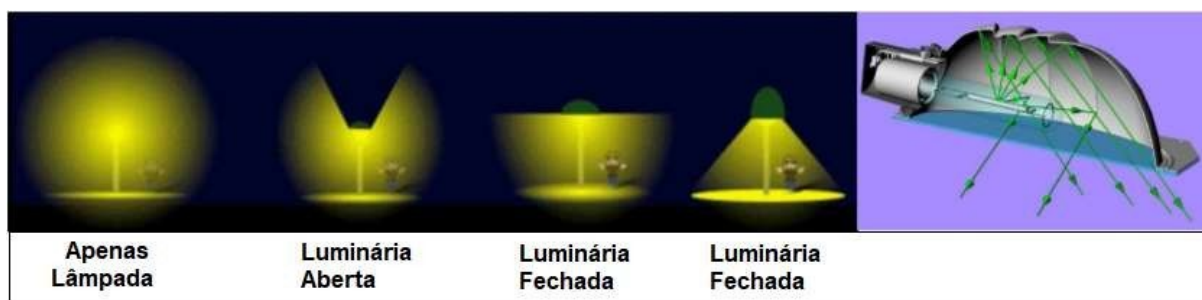
Figura 9 - Luminária aberta (a) e luminária fechada (b)



Fonte: COPEL (2012).

A utilização das luminárias fechadas representou um avanço significativo na otimização do fluxo luminoso das lâmpadas. A Figura 10 demonstra como o fluxo luminoso passou a ser melhor utilizado com tecnologias mais modernas.

Figura 10 - Aumento da eficiência das luminárias



Fonte: Adaptado de COPEL (2012).

Como evidenciado na Figura 10, a diminuição da dispersão da luz em direções que não se alinham com o foco da iluminação resulta em uma utilização mais eficiente da energia luminosa emitida pela lâmpada, concentrando o foco na área desejada da superfície sem dispersão do fluxo luminoso. Essa otimização possibilita a redução da quantidade de lâmpadas necessárias ou a utilização de lâmpadas com potências menores para iluminar a mesma área, quando considerado o sistema como um todo.

2.4.2 LÂMPADAS

A lâmpada, definida pela ABNT NBR 5461 como o componente encarregado de transformar a energia elétrica proveniente da rede em energia luminosa, é considerada a fonte primária projetada para emitir radiação ótica. Inicialmente, as lâmpadas mais utilizadas eram do tipo incandescente, seguidas por variantes como as de vapor metálico, vapor de mercúrio, vapor de sódio, fluorescentes, entre outras tecnologias, até chegarem as lâmpadas de LED, que representam o estado mais moderno da tecnologia.

Nos dias de hoje, a ABNT regulamenta as seguintes tecnologias para as lâmpadas:

- Lâmpada a vapor de mercúrio;
- Lâmpada a vapor de sódio;
- Lâmpada a vapor metálico;
- LED.

A Tabela 8 apresenta um comparativo entre as tecnologias de lâmpadas utilizadas.

Tabela 8 - Comparativo entre as tecnologias de lâmpadas

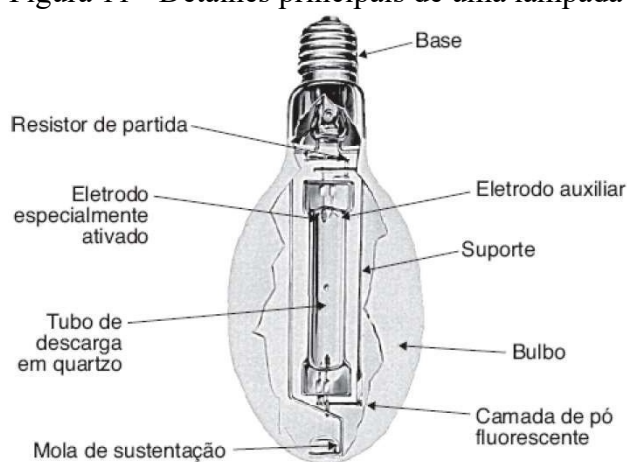
TECNOLOGIA	TEMPERATURA DE COR (K)	IRC	EFICIÊNCIA LUMINOSA (LM/W)	VIDA MEDIANA (HORAS)
Incandescente	2700	100	10-20	1.000
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9.000-15.000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18.000-32.000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8.000-12.000
Indução	4000	80-90	80-110	60.000

Fonte: COPEL (2012).

2.4.2.1 LÂMPADA A VAPOR DE MERCÚRIO

Atualmente, ainda se encontram em uso algumas lâmpadas de vapor de mercúrio nos sistemas de iluminação pública. No entanto, essas lâmpadas têm se tornado economicamente inviáveis devido à disponibilidade de tecnologias mais modernas no mercado que oferecem uma eficiência energética superior, ou seja, capazes de emitir o mesmo fluxo luminoso com consumo de potência menor. Os componentes desse tipo de lâmpada são vistos na Figura 11.

Figura 11 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio



Fonte: Mamede Filho (2017).

Para seu funcionamento, essas lâmpadas requerem o uso de reatores, o que pode ser considerado uma desvantagem, uma vez que esses dispositivos consomem uma quantidade considerável de energia e são bastante sensíveis a surtos de tensão na rede. As lâmpadas de vapor de mercúrio operam por meio da corrente gerada dentro de um tubo de descarga, sem a presença de um filamento. Nesse processo, o arco elétrico formado no interior do tubo de descarga aquece e vaporiza o mercúrio contido ali, aumentando a pressão do vapor de mercúrio e, por conseguinte, o fluxo luminoso emitido.

2.4.2.2 LÂMPADA A VAPOR DE SÓDIO

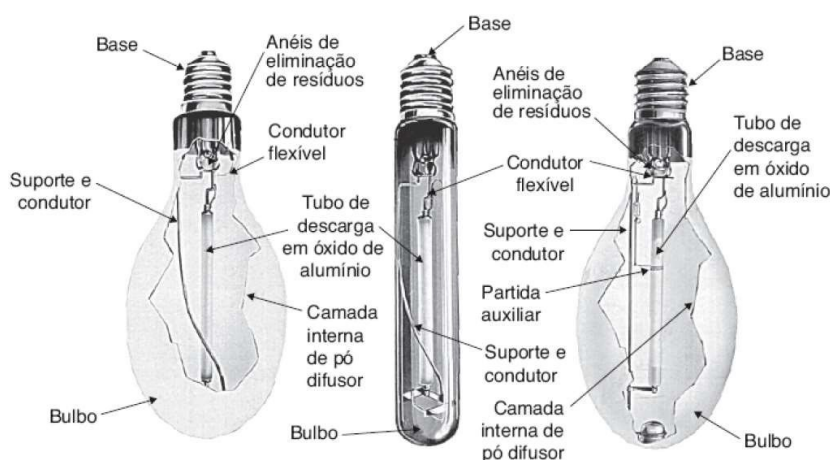
As lâmpadas de vapor de sódio operam de maneira semelhante às lâmpadas de vapor de mercúrio, mas com uma presença significativamente menor de mercúrio no tubo de descarga, sendo o sódio o elemento principal.

As lâmpadas a vapor de sódio podem ser classificadas em dois tipos: a de alta pressão e a de baixa pressão. A lâmpada a vapor de sódio a alta pressão é uma lâmpada de descarga de

alta intensidade, na qual a luz é emitida principalmente pela radiação de vapor de sódio, com uma pressão parcial de cerca de 10 kPa durante o funcionamento. Já a lâmpada a vapor de sódio a baixa pressão também emite luz pela radiação de vapor de sódio, mas a pressão parcial durante seu funcionamento varia entre 0,1 Pa e 1,5 Pa.

Na Figura 12, são demonstrados os principais componentes de diferentes modelos de lâmpadas de vapor de sódio.

Figura 12 - Detalhes principais de lâmpadas a vapor de sódio

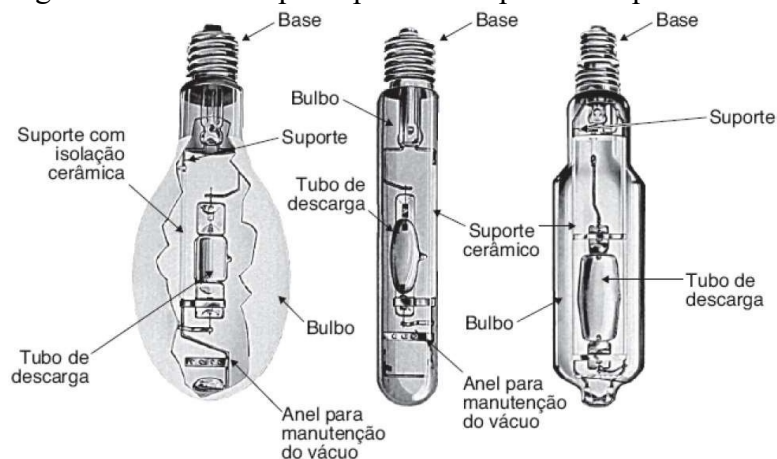


Fonte: Mamede Filho (2017).

2.4.2.3 LÂMPADA A VAPOR METÁLICO

A Figura 13 apresenta os principais componentes de diferentes tipos de lâmpadas a vapor metálico.

Figura 13 - Detalhes principais de lâmpadas a vapor metálico



Fonte: Mamede Filho (2017).

Assim como ocorre nas lâmpadas de vapor de mercúrio, nas lâmpadas de vapor metálico há uma mistura de materiais dentro do tubo de descarga que, quando aquecidos pelo arco elétrico, produzem um fluxo luminoso.

As lâmpadas a vapor metálico e halogenetos são lâmpadas de descarga de alta intensidade, nas quais a maior parte da luz é gerada pela radiação de uma mistura de vapor metálico com produtos da dissociação de halogenetos. Este tipo de lâmpada pode ser encontrado com bulbo claro ou revestido por uma camada luminescente (ABNT NBR 5461).

2.4.2.4 LÂMPADA LED

Formado a partir de uma junção p-n, o LED é um componente eletrônico que, ao permitir a passagem de corrente, gera uma liberação de energia na forma de radiação eletromagnética. Nos LEDs empregados na iluminação pública, essa energia está dentro da faixa do espectro de luz visível.

Por operarem como dispositivos eletrônicos, os LEDs geralmente funcionam com níveis de tensão de 1,6 a 3,3 volts em corrente contínua. Em Minas Gerais, a rede de distribuição oferece uma faixa de tensão de 220 V ou 127 V, o que requer que as luminárias que utilizam a tecnologia LED tenham um conversor de corrente alternada para corrente contínua, que adequem os níveis de tensão, e que estejam em conformidade com a portaria nº 20/2017 do INMETRO.

Os LEDs apresentam características vantajosas, como fecho de luz direcionado, alta eficiência (80 a 200 lm/W), elevado IRC (entre 80 e 100), ausência de metais pesados, vida útil prolongada (de 50.000 a 120.000 horas) e flexibilidade na escolha da temperatura de cor desejada. Por esses motivos, essa tecnologia tende a se tornar a opção mais viável e vantajosa nos sistemas de iluminação pública. (COPEL, 2018).

No entanto, é importante destacar que, por ser um dispositivo eletrônico que opera com corrente contínua e requer um conversor CA-CC, a utilização de LEDs pode apresentar desafios para a rede, devido à possibilidade de surgimento de correntes harmônicas, como indicado por estudos recentes.

Uma característica das lâmpadas LED é que elas podem ser dimerizadas. O processo de dimerização consiste em controlar a intensidade da luz emitida pela lâmpada por meio do controle da tensão aplicada sobre o equipamento. Esse controle da tensão pode ser feito de maneiras diferentes, um exemplo é por meio da modulação por largura de pulso, ou do inglês *pulse width modulation* (PWM) (MONTEIRO, et al., 2014).

2.4.3 REATORES

Sobre o acionamento das lâmpadas a vapor, como não podem ser conectadas diretamente a rede elétrica, o uso de reatores acaba por se tornar mandatório. Isto resulta do fato de que, para sua partida, é necessário prover uma sobretensão de alguns kV e, para limitar a corrente, um reator é instalado em série com a lâmpada (DOLARA, et al., 2010). Nestas condições, a corrente absorvida encontra-se defasada em relação à tensão e apresenta uma considerável quantidade de distorção (CASTRO, et al., 2010).

Nos sistemas de iluminação que empregam lâmpadas de descarga, os reatores desempenham um papel fundamental. Sua função primordial é regular a corrente que flui através dessas lâmpadas, especialmente porque a descarga ocorre em um material dielétrico. Sem um dispositivo para controlar essa corrente, ela pode aumentar continuamente, colocando a lâmpada em risco de queimar.

Figura 14 - Reator interno e externo para iluminação pública



Fonte: Adaptado de INTRAL (2019).

Conforme ilustrado na Figura 14, existem dois tipos de reatores: os internos e os externos, cuja escolha depende do modelo da luminária. Em certos casos, as luminárias são projetadas com compartimentos internos destinados a alojar os reatores. No entanto, nem todas as luminárias possuem essa estrutura, demandando a utilização de reatores externos, o que pode ser desvantajoso devido à exposição a agentes externos, como luz solar, chuva, vento, poeira, vandalismo ou acesso não autorizado. É importante que os reatores externos atendam a um índice de proteção IP 33 ou superior. Uma distinção notável entre os dois tipos de reatores é o tamanho, sendo os internos mais compactos, uma vez que não necessitam de um índice de proteção tão elevado.

Vale destacar que a Portaria n° 454 do INMETRO proíbe a utilização, fabricação, importação e comercialização de reatores eletromagnéticos com fator de potência inferior a 0,92.

O uso de equipamentos com baixo fator de potência resulta em um aumento do consumo de energia, o que se torna especialmente problemático na iluminação pública, onde os reatores com fator de potência reduzido geram um desperdício desnecessário de energia. Um aspecto crucial na fabricação desses reatores é a qualidade dos materiais utilizados. Fios de cobre de alta qualidade, chapas de ferrosilício e processos de produção otimizados são elementos que têm um impacto significativo na redução da perda e aumento do desempenho desses dispositivos.

2.4.4 RELÉS

As luminárias nos sistemas de iluminação pública são ativadas por meio de relés fotoelétricos, ilustrados na Figura 15. Esses relés monitoram constantemente os níveis de luminosidade no ambiente e, quando detectam uma redução para um nível pré-determinado, acionam as luminárias, individualmente ou em conjunto.

Figura 15 - Relé para iluminação pública



Fonte: Exatron (2019).

2.4.5 BRAÇOS

Conforme destacado por Santana (2010), os braços (Figura 16) são componentes empregados na infraestrutura da iluminação pública, instalados nos postes das concessionárias de energia. Eles servem como suporte para fixar as luminárias e também fornecem um canal

para a passagem dos cabos que conectam a rede elétrica à luminária. Esses dispositivos são projetados para suportar não apenas o peso das luminárias, mas também as forças resultantes do vento e das vibrações aos quais podem ser expostos.

Figura 16 - Braço para iluminação pública



Fonte: O Autor.

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Conforme levantamento do Banco Mundial (BNDES, 2019), o Brasil conta com mais de 18 milhões de pontos de iluminação pública, predominantemente utilizando lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, e em menor medida, lâmpadas de vapor de mercúrio. Outras tecnologias estão presentes em escala reduzida, apesar do aumento recente no uso de luminárias de LED.

Como mencionado anteriormente, após a Resolução Normativa nº 480/2012 da ANEEL, a responsabilidade pelos ativos de iluminação pública foi transferida das concessionárias para os municípios a partir de então, afetando cerca de 42% dos municípios brasileiros, conforme a IBD (2017).

Estima-se que a iluminação pública represente quase 3% do consumo total de energia do país. Para reduzir esse consumo, o governo federal instituiu dois programas de eficiência energética que impactam diretamente ou indiretamente a iluminação pública: o Procel Reluz, administrado pela Eletrobrás, e o Programa de Eficiência Energética (PEE), gerenciado pela ANEEL.

2.5.1 PROCEL

Criado em 30 de dezembro de 1985 pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobrás, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) tem como propósito promover o uso consciente e eficiente da energia elétrica no país. Seu objetivo é reduzir o desperdício energético e os impactos ambientais, fortalecendo a matriz energética nacional e contribuindo para a construção de uma sociedade mais sustentável.

As iniciativas do Procel visam proporcionar benefícios para toda a sociedade por meio de ações de eficiência energética em diversos setores. Os segmentos abrangidos pelo Procel incluem equipamentos, edificações, iluminação pública, poder público, indústria e comércio. Dentro desse contexto, o Procel Reluz se destaca como um dos segmentos focados na iluminação pública, conforme definido a seguir:

Iluminação pública (Reluz) – apoio a prefeituras no planejamento e implantação de projetos de substituição de equipamentos e melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica;

2.5.2 PROCEL RELUZ

O Procel Reluz foi lançado em 2000 com o propósito de impulsionar o desenvolvimento de sistemas mais eficientes para a iluminação pública. Seu escopo de atuação abrange a promoção de projetos de eficiência energética, a valorização dos espaços públicos durante a noite, a redução do consumo de energia elétrica e a melhoria das condições de segurança e qualidade de vida nas cidades (PROCEL, 2018).

Desde sua implementação, o Procel Reluz já contribuiu para a substituição de mais de 2,7 milhões de pontos de iluminação pública em todo o país. Até 2012, essa substituição focou na troca de lâmpadas incandescentes, mistas e de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão ou de vapor metálico. A partir de 2016, em conformidade com a Lei nº 13.280/2016, o Procel Reluz passou a priorizar a implantação de iluminação pública baseada em tecnologia LED, reconhecida por sua eficiência e durabilidade superiores às tecnologias anteriores (PROCEL, 2018).

Todos os projetos desenvolvidos pelo Procel Reluz têm como princípio fundamental maximizar a eficiência energética nos espaços públicos, garantindo níveis de iluminância

adequados e em conformidade com as normas técnicas brasileiras para iluminação pública. Além da substituição das lâmpadas, esses projetos abrangem todos os componentes adicionais dos sistemas de iluminação pública (PROCEL, 2018).

2.5.3 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (PEE)

Conforme estabelecido pela Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, as empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica são obrigadas a destinar, anualmente, no mínimo 0,5% de sua receita operacional líquida para programas de eficiência energética. Todos os projetos desenvolvidos devem aderir aos procedimentos detalhados no manual do programa de eficiência energética (PROPEE, 2018).

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente e racional da energia elétrica em todos os setores da economia. Isso é feito por meio de projetos que evidenciem a importância e a viabilidade econômica de ações voltadas para o combate ao desperdício e a melhoria da eficiência energética em equipamentos, processos e usos finais de energia. O programa busca maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais no uso da energia (PROPEE, 2018).

2.5.4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA MAIS EFICIENTE

Atualmente, as cidades desenvolvidas enfrentam diversas demandas, e a iluminação pública desempenha um papel crucial na sociedade. Programas governamentais e leis destinam recursos para melhorar esse serviço, enquanto a opinião pública valoriza práticas ecológicas, buscando minimizar o impacto no planeta. Em meio a esse cenário, a administração pública busca formas de economizar, ao passo que os cidadãos esperam uma melhor qualidade de vida.

Segundo Philips (2019), a tendência é o aumento do uso de luminárias LED em projetos de iluminação pública, embora inicialmente apresentem um custo mais elevado em comparação com outras tecnologias. No entanto, a redução dos custos de seus componentes tornará essa opção cada vez mais viável. Estudos indicam uma redução anual superior a 20% na relação custo por fluxo luminoso (R\$/lm). A eficiência média dos LEDs, em 2020, era em torno de 125 lm/W, atualmente já existem dispositivos de alta performance que superam 200 lm/W. Em comparação, as lâmpadas fluorescentes tubulares mais eficientes têm cerca de 100 lm/W,

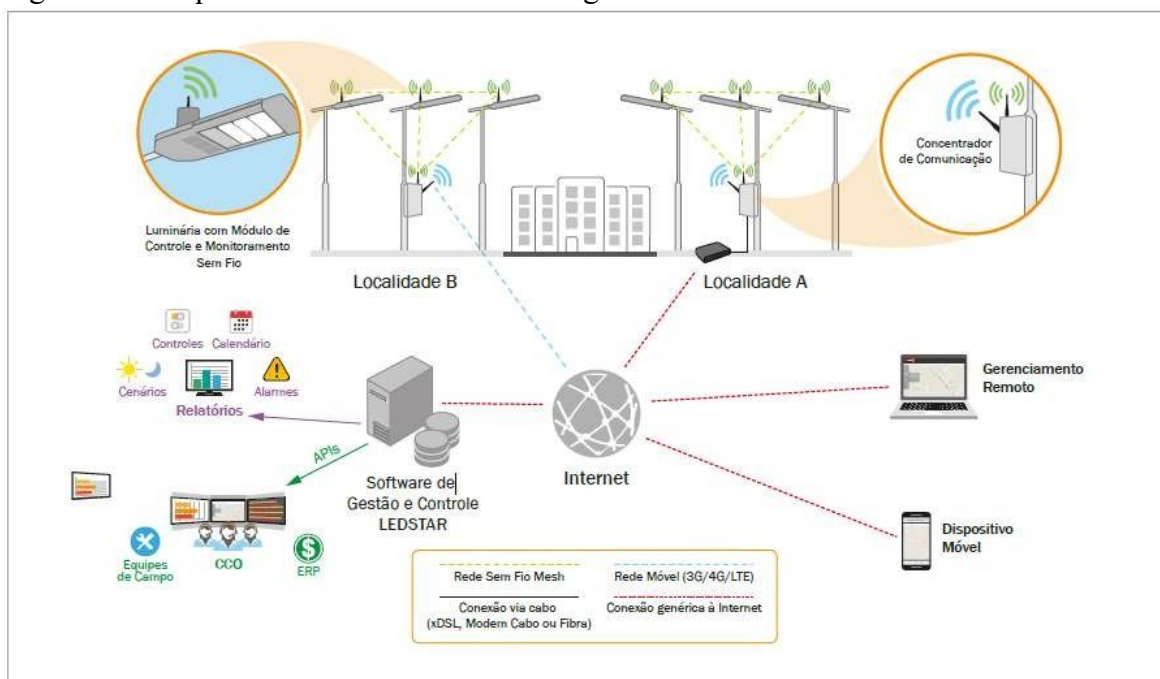
enquanto as de vapor de sódio de alta pressão chegam a 140 lm/W (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013).

A substituição das luminárias tradicionais por modelos de LED abre caminho para sistemas inteligentes nas cidades. Além de serem mais econômicas e eficientes, as luminárias LED permitem a dimerização do fluxo luminoso, reduzindo o consumo de energia elétrica. Além disso, possibilitam a implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) para criar cidades inteligentes, conectando diferentes serviços na localidade. Assim, surgem sistemas de gestão de iluminação pública que trazem uma série de benefícios para a população em geral (EXATI, 2018).

2.5.4.1 SISTEMA DE TELEGESTÃO

O sistema de telegestão compreende dispositivos instalados nas luminárias, funcionando como um mecanismo que supervisiona e gerencia reatores ou drivers de luminárias LED. Esses dispositivos interligam-se em uma rede, possibilitando a transmissão de informações entre os pontos, acessíveis de qualquer local, como exemplificado na Figura 17 (LEDSTAR, 2018).

Figura 17 - Arquitetura de um sistema de telegestão



Fonte: LEDSTAR (2018).

Esses sistemas capacitam os gestores da iluminação pública a monitorar e controlar cada ponto de luz de forma individualizada ou em grupos específicos, fornecendo atualizações em tempo real sobre o status das luminárias e detectando eventuais falhas. Permitem aos operadores estabelecer níveis de iluminação personalizados e programações de ajuste de intensidade. Além disso, possibilitam o controle do consumo de energia elétrica, garantindo que o município pague apenas pela energia efetivamente consumida (LEDSTAR, 2018).

3 EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UBERLÂNDIA

Para cumprir o propósito central deste trabalho, será apresentado e analisado o estudo do caso de modernização do parque de iluminação pública de Uberlândia.

3.1 UBERLÂNDIA

Localizada na microrregião do Triângulo Mineiro, Uberlândia é uma cidade com uma rica história e um crescimento notável ao longo dos anos. Originalmente habitada pelos índios caiapós e bororós, a região começou a ganhar destaque com a chegada do bandeirante Bartolomeu Bueno da Silva em 1632.

Inicialmente conhecida como São Pedro de Uberabinha, posteriormente se tornou Uberlândia, sendo emancipada de Uberaba no final da década de 1880. O nome "Uberlândia" foi adotado oficialmente em 1929. Desde então, a cidade experimentou um crescimento urbano significativo e diversificação industrial, o que ajudou a transformá-la em uma das cidades mais importantes de Minas Gerais.

Nos dias atuais, com uma população estimada em cerca de 754.954 habitantes, (IBGE 2020), Uberlândia é o segundo município mais populoso do estado e continua a se expandir, destacando-se no cenário econômico e cultural da região Sudeste do Brasil.

3.2 PPP PARA MODERNIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Em 23 de janeiro de 2020, a Prefeitura Municipal de Uberlândia e a ENGIE Soluções, após período licitatório e todos os trâmites legais envolvidos, assinaram o contrato de modernização do parque de iluminação pública do município por meio de uma parceria público privada (PPP), onde, a partir de então, a empresa ficaria responsável pela modernização, gestão e ampliação do parque de iluminação pública do município pelo período de 20 anos.

O contrato prevê a execução da modernização em 3 etapas, conhecidas como marcos. No primeiro marco, a carga média dos pontos de iluminação pública deveria alcançar uma redução de 24,69%. No segundo marco, a redução da carga média deveria alcançar no mínimo 37,04%, e, e no terceiro e último marco, 100% do parque deveria estar modernizado e a redução da carga média deveria ser de, no mínimo, 49,39%.

3.3 CADASTRO BASE

A Tabela 9 apresenta as informações disponibilizadas pela prefeitura com relação aos tipos de lâmpadas e as respectivas quantidades que constituíam o parque de iluminação pública do município no início do contrato.

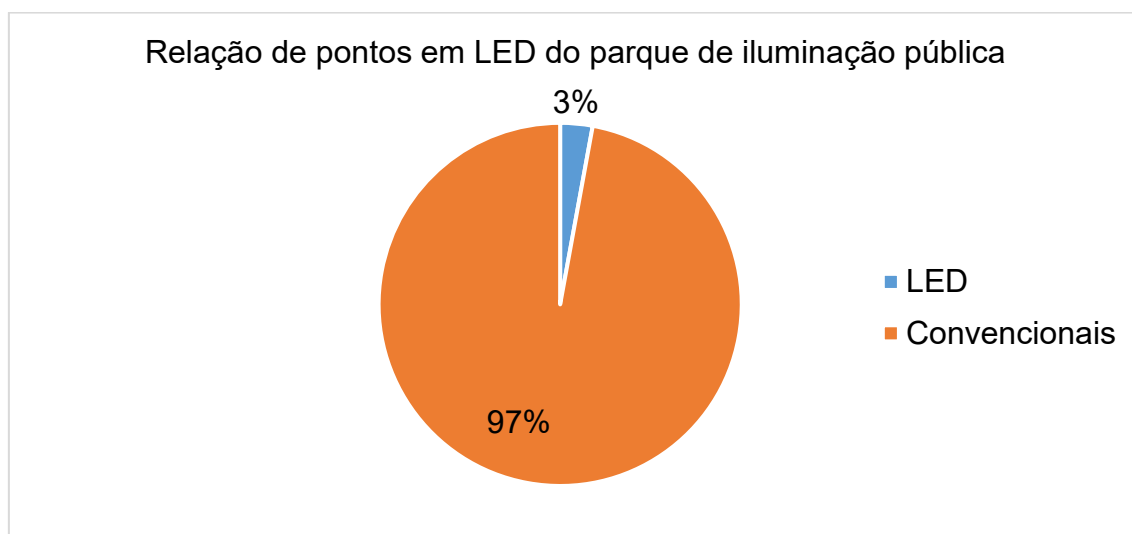
Tabela 9 - Cadastro base fornecido

TIPO DE LÂMPADA	QUANTIDADE
FLUORESCENTE	7
HALÓGENA	1
INCANDESCENTE	1
LAMP ECONÔMICA	44
LAMP ECONÔMICA ESPIRAL	90
LED	2.632
LED TUBULAR	34
PL ECONÔMICA	2
VAPOR MERCÚRIO	4.617
VAPOR METÁLICO	323
VAPOR SÓDIO	83.703
TOTAL GERAL	91.454

Fonte: O Autor.

A Figura 18 apresenta o percentual de lâmpadas LED em relação ao total do parque de iluminação pública do município no início do contrato.

Figura 18 - Percentual de lâmpadas LED e convencionais no início do contrato



Fonte: O Autor.

O consumo total estimado pela concessionária de energia no presente momento foi 4.593.703 kWh e o valor da fatura era de R\$ 2.039.628,07, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Fatura de iluminação pública em 05/2020

 <p>Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Ins. Estadual 062.322136.0067 Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG</p>			<p>Acesse o Cemig Atende www.cemigatende.com.br</p> <p>Fale com a Cemig 116 Cemig Torpedo 29810 Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002</p>		
			Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)
			ABR/2020	27/05/2020	0,00
DOCUMENTO DE ARRECADAÇÃO BANCÁRIA - ILUMINACAO PUBLICA UBERLANDIA					
Descrição	Quantidade	Valor(R\$)			
Energia Elétrica kWh	4593703	2.039.628,07			
ICMS - Valor já incluído no total		367.090,65			
COFINS - Valor já incluído no total		69.577,14			
PASEP - Valor já incluído no total		15.052,47			
*** VALOR TOTAL DEVIDO ***		2.039.628,07			
VALOR COMPENSADO DA ARRECADAÇÃO DA CIP		2.039.628,07-			

Fonte: Portal da transparência de Uberlândia.

A potência média por ponto de iluminação pública no início do contrato era de 162,47 W. Essa informação é obtida através da relação entre a potência total e quantidade total de pontos do parque de iluminação pública do município.

3.4 PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO

O processo de modernização foi iniciado em maio de 2020 e o contrato previa que diversas etapas e procedimentos fossem respeitados durante toda a modernização. Tal processo, incluiu, dentre outros procedimentos, as seguintes etapas:

- Elaboração de cronograma de execução, conforme exigido nos marcos previstos em contrato;
- Elaboração e submissão à Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU) da classificação viária, conforme acordado em contrato e mediado por empresa independente;
- Elaboração de projeto luminotécnico em conformidade com classificação viária e norma NBR 5101: 2018;
- Elaboração de projeto elétrico indicando substituições a serem executadas;
- Submissão à PMU de resposta completa que contemple projeto elétrico, projeto luminotécnico e cronograma detalhado de execução;

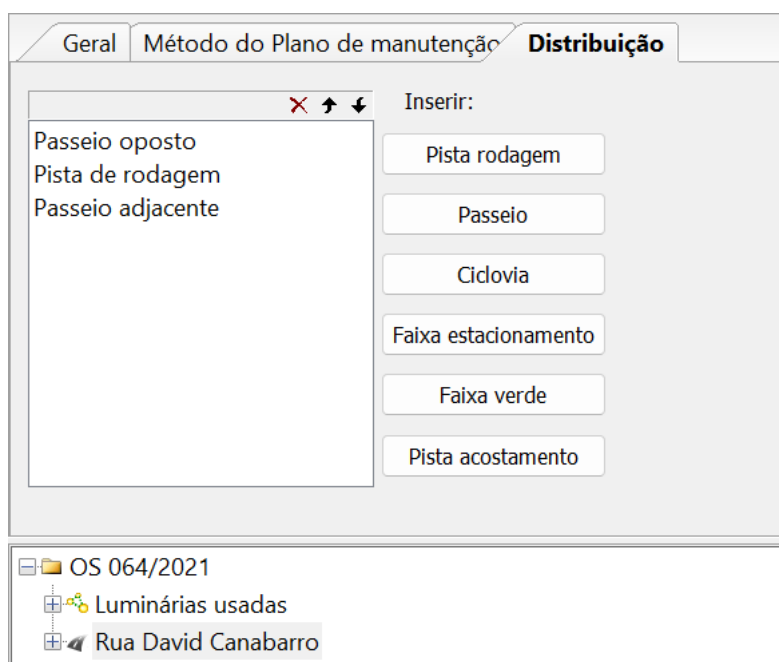
- Execução, conforme cronograma, após recebimento de termo de aceite por parte do poder concedente.

Esse procedimento teve como objetivo padronizar e facilitar o controle e fiscalização do serviço executado.

3.5 PROJETO LUMINOTÉCNICO

Dos pontos citados referentes ao processo de modernização, é importante destacar o projeto luminotécnico. Durante o processo organizacional da PPP, foi escolhido o Software Dialux para realizar as simulações luminotécnicas que viriam a determinar modelo e potência das luminárias a serem instaladas. Por ser um software referência no mercado da iluminação, o Dialux supriu todas as necessidades para efetuar as simulações. A Figura 20 apresenta as possibilidades que o programa permite:

Figura 20 - Cenário Dialux



Fonte: O Autor.

Ao abrir o programa e escolher iluminação viária, a primeira etapa é determinar qual a distribuição da rua ou avenida, escolhendo a quantidade de vias, de passeios, se há ciclovias, faixa de estacionamento, faixa verde, dentre outras possibilidades. Determinado o cenário, o

programa permite que sejam especificadas as larguras das vias e passeios escolhidos, conforme mostrado na Figura 21.

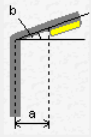
Figura 21 - Especificação do cenário

The image shows a software window with two tabs: 'Geral' and 'Superfícies'. The 'Superfícies' tab is selected. It contains three input fields: 'Nome' with the value 'Passeio oposto', 'Largura' with the value '1.800' and a unit 'm', and 'Altura' with the value '0.100' and a unit 'm'. Below these fields is a tree view showing a project structure. The root is 'OS 064/2021', which contains three items: 'Luminárias usadas', 'Rua David Canabarro', and 'Luminária'. The 'Luminárias usadas' item is expanded, showing a list of items: 'Passeio oposto', 'Pista de rodagem', 'Passeio adjacente', and 'Luminária'. The 'Passeio oposto' item is selected and highlighted.

Fonte: O Autor.

Determinada e parametrizada a característica viária, tem-se o momento da escolha da luminária. O software requer uma atenção maior no momento da parametrização, pois a forma como o programa mostra a definição pode permitir interpretações incorretas. A Figura 22 demonstra os parâmetros a serem definidos acerca do ponto de iluminação escolhido.

Figura 22 - Parametrização do ponto de iluminação

Luminária	Poste / braço extensor	Distribuição	Joint rotations
Braço extensor			
Comprimento do braço extensor (a):	2.920 m		
Inclinação do braço extensor (b):	0.0 °		
Pendor:	2.620 m		
Distância poste-pista de rodagem:	0.300 m		
Ângulo de rotação:	0.0 °		
Distribuição de postes			
Altura de montagem:	7.900 m		
Altura do ponto de luz:	7.900 m		
Luminárias por poste:	1		
Distância entre postes:	30.000 m		
Deslocamento longitudinal:	-30.000 m		
		<input type="button" value="Inserir"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

Fonte: O Autor.

Na Figura 22, na primeira aba deve ser escolhida a luminária (modelo e potência) a ser considerada pelo simulador. Na aba destacada, a informação de comprimento do braço faz referência à projeção horizontal do objeto, isto é, quanto “para frente” ele irá projetar a luminária a partir da sua instalação no poste ou superfície escolhida.

A informação de inclinação do braço é relacionada à inclinação em relação ao eixo paralelo da luminária em relação ao braço, que serve para mudar o foco da luz emitida, podendo, conforme essa inclinação aumenta, projetar a luz para a faixa ou passeio oposto à instalação do poste.

O pendor não deve ser alterado, pois na verdade é um cálculo entre a distância poste-pista de rodagem e o comprimento do braço, onde a distância citada anteriormente é o recuo do poste ou superfície de instalação do braço em relação ao passeio ou início da pista de rodagem.

O ângulo de rotação é a rotação da luminária em relação ao eixo perpendicular dentre o objeto e o braço. Não costuma ser utilizado, exceto em raras exceções, então deve ser mantido com o valor 0.

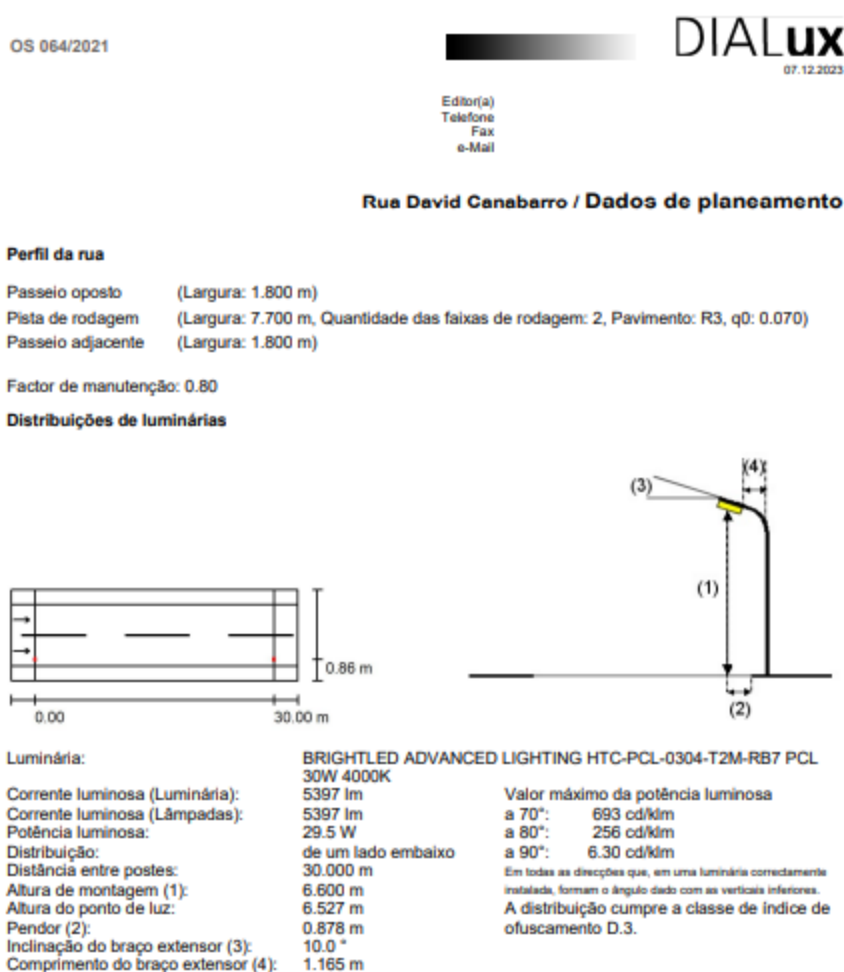
A altura de montagem e do ponto de luz são informações relacionadas, onde o preenchimento de uma vincula-se com a outra automaticamente. A depender do ficheiro

escolhido, essas informações podem ter alguns centímetros de diferença – ou não. O ficheiro da luminária escolhida informa que a altura em que a luminária for instalada será também a altura do ponto de luz, isto é, as características físicas do objeto não farão com que esse parâmetro seja alterado.

Na terceira aba, em distribuição de ruas, é possível determinar o lado onde a luminária será instalada (embaixo, em cima, em ambos os lados frente a frente, entre outros).

Determinado o cenário e luminária, ao executar a simulação, será possível observar se a escolha atenderá aos níveis normativos. A folha de resposta se apresenta da seguinte maneira, conforme visto na Figura 23.

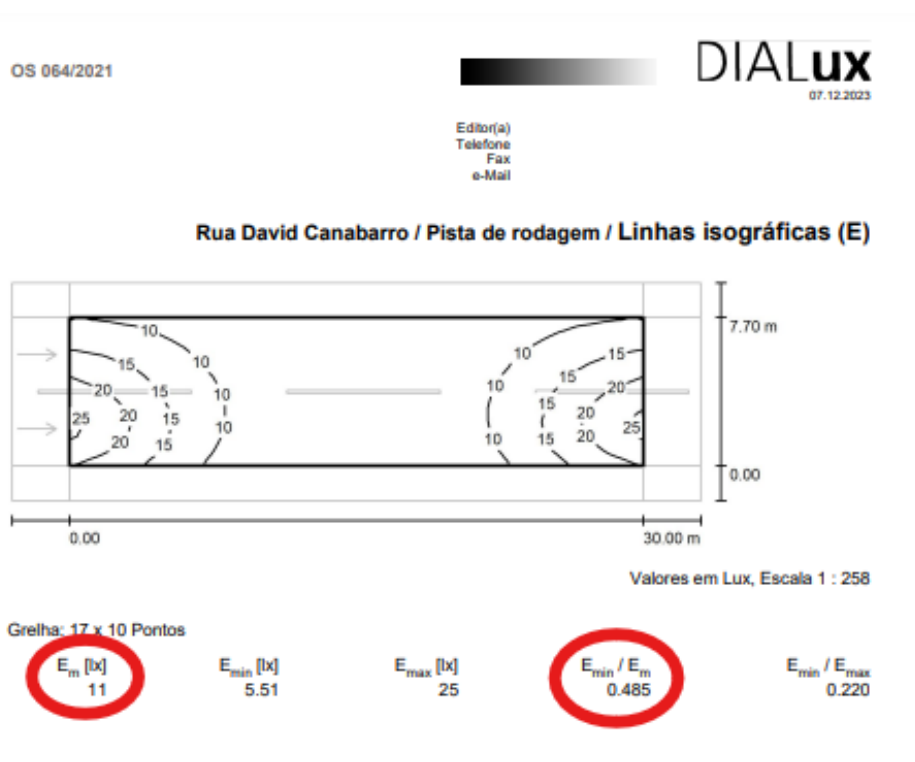
Figura 23 - Perfil de rua do simulador Dialux



Fonte: O Autor.

A Figura 23 demonstra todas as informações que foram selecionadas anteriormente, relacionadas ao cenário da rua e à luminária instalada. Na folha de respostas, será possível visualizar os níveis de iluminação que o simulador apresenta após os cálculos, como mostrado na Figura 24:

Figura 24 - Folha de respostas dos níveis de iluminação



Fonte: O Autor.

Na Figura 24 estão destacados os níveis de iluminância média e uniformidade da iluminância, índices estabelecidos na norma ABNT 5101:2018, conforme citado e explicado no Capítulo 2. Os demais índices também são parâmetros importantes contudo não são citados índices mínimos na norma.

4 RESULTADOS DA EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UBERLÂNDIA

4.1 MARCOS DE CONTRATO

O contrato da PPP de Uberlândia previa entregas parciais da modernização com objetivos e datas específicas, os quais serão apresentados em detalhes neste capítulo.

4.1.1 PRIMEIRO MARCO

O primeiro marco, definido pela prefeitura para ser concluído até a data de 12/02/2021, deveria, contratualmente, garantir que no mínimo 50% do parque já estivesse modernizado e conseguisse alcançar uma redução da carga média dos pontos de iluminação pública de 24,69%.

Na data do vencimento do primeiro marco, os resultados para os tipos de lâmpadas obtidos pelo processo de modernização estão detalhados na Tabela 10.

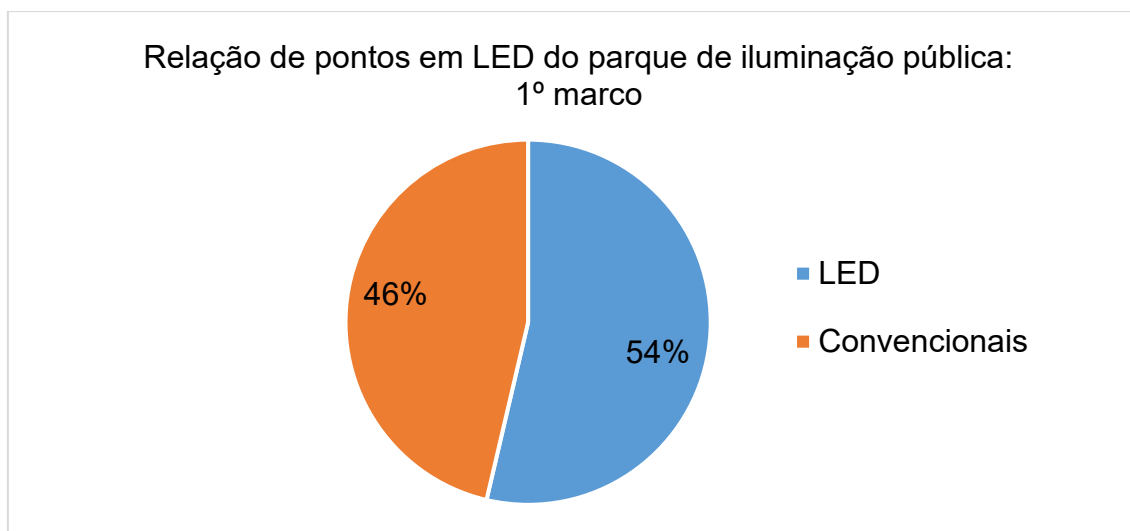
Tabela 10 - Relação de pontos por tipo de lâmpada na entrega do primeiro marco

TIPO DE LÂMPADA	QUANTIDADE
Econômica	67
Econômica espiral	90
Halógena	1
Incandescente	1
LED	48.889
Vapor de Mercúrio	2.499
Vapor de Sódio	39.246
Vapor metálico	311
TOTAL GERAL	91.104

Fonte: O Autor.

Sendo o percentual de lâmpadas LED de 54% em relação ao total, como visto na Figura 25.

Figura 25 - Percentual de pontos em LED na entrega do primeiro marco



Fonte: O Autor.

Note que, neste momento, o quantitativo total de luminárias LED ultrapassou os 50%, conforme o contrato previa. A quantidade total de ativos de iluminação pública do parque passou de 91.454, do cadastro base, para 91.104. Essa diferença de pontos se dá ao fato de que, durante o processo de modernização, a empresa executora do serviço se deparou com situações que fujam do escopo do contrato, como pontos em áreas privadas, por exemplo, ou pontos desativados. A potência média dos pontos ao final do primeiro marco era de 113,98 W, com carga total de 10.383,76 kW, o que representou uma redução de 29,85% na carga média por ponto de iluminação pública, superior aos 24,69% previstos em contrato.

4.1.2 SEGUNDO MARCO

O segundo marco do contrato previa que na sua entrega 75% do parque de iluminação pública deveria ter luminárias com tecnologia LED sendo utilizadas e a redução de carga média deveria ser de, no mínimo, 37,04%. Dos registros, a Tabela 11 apresenta a relação sobre o quantitativo total de pontos na data da entrega do marco, em 13/12/2021, 10 meses após a entrega do primeiro marco.

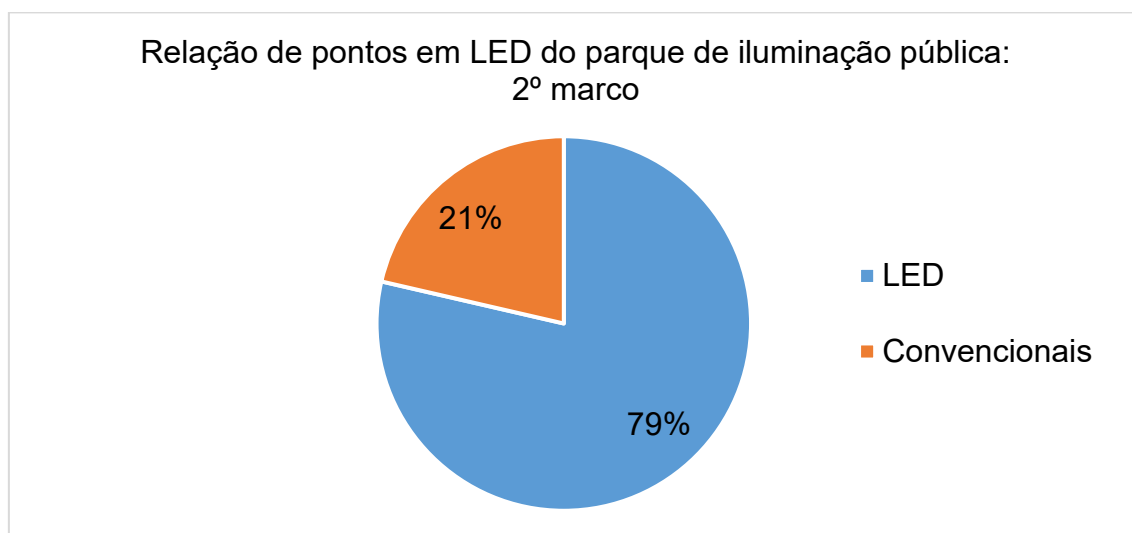
Tabela 11 - Relação de pontos por tipo de lâmpada na entrega do segundo marco

TIPO DE LÂMPADA	QUANTIDADE
Econômica	46
Econômica espiral	44
LED	71.477
Vapor de Mercúrio	1.744
Vapor de Sódio	17.341
Vapor metálico	274
TOTAL GERAL	90.926

Fonte: O Autor.

No momento da entrega do segundo marco, conforme mostrado na Figura 26, é possível observar que o percentual de luminárias LED foi superior a 75%. A carga total neste momento era 8.826,29 kWh e a média por ponto de iluminação foi reduzida para 86,07 W, o que significou uma redução percentual de 24,49% em relação ao marco anterior e 47,02% em relação ao cadastro base, onde a média de consumo por ponto de iluminação era 162,47 W. Mais uma vez, os valores de redução foram superiores ao contratual.

Figura 26 - Percentual de pontos em LED na entrega do segundo marco



Fonte: O Autor.

4.1.3 TERCEIRO MARCO

Por último, no terceiro marco, era exigido que 100% do parque estivesse composto por lâmpadas LED e a redução da carga média dos pontos de iluminação deveria ser de, no mínimo, 49,39%. Em 13/06/2022, data da entrega do último marco, o parque de

iluminação pública de Uberlândia possuía os pontos de iluminação mostrados na Tabela 12.

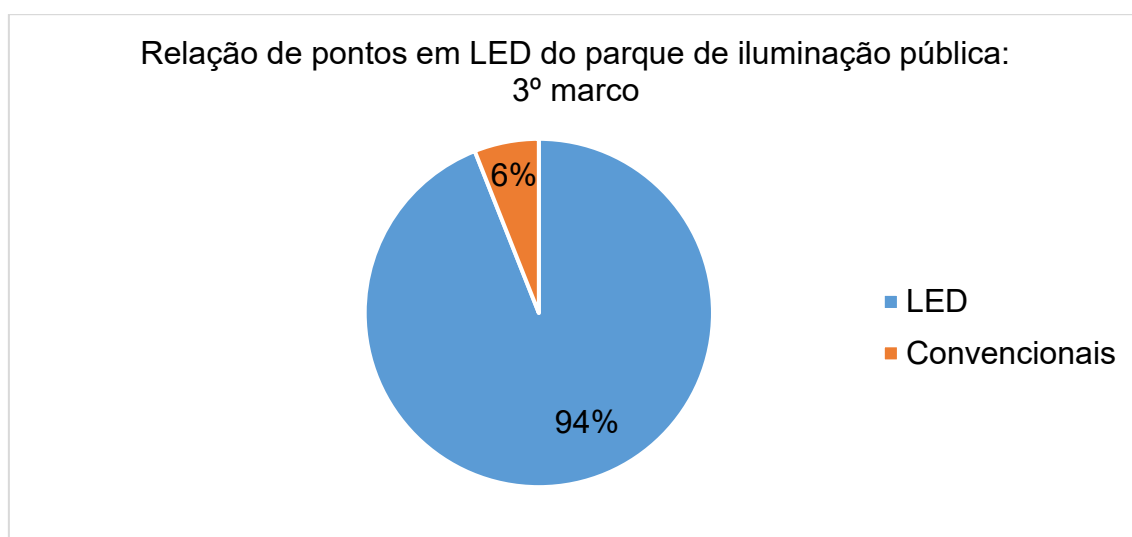
Tabela 12 - Percentual de pontos em LED na entrega do terceiro marco

TIPO DE LÂMPADA	QUANTIDADE
Econômica	39
Econômica espiral	22
LED	84.744
Vapor de Mercúrio	152
Vapor de Sódio	5.736
Vapor metálico	101
TOTAL GERAL	90.794

Fonte: O Autor.

Na Figura 27 é mostrada a relação percentual de pontos por tipo de tecnologia da lâmpada.

Figura 27 - Percentual de pontos em LED na entrega do terceiro marco



Fonte: O Autor.

Nessa altura do contrato, a média de consumo por ponto de iluminação do parque de iluminação pública era de 70,68 W por ponto de iluminação, uma redução equivalente a 56,50% no consumo dos pontos de iluminação pública do município.

A entrega do terceiro marco foi feita em duas etapas. Os pontos do parque são divididos e classificados conforme a especificidade de local ou possibilidade de acesso, conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Relação dos ativos de iluminação por situação dos pontos na entrega do terceiro marco

SITUAÇÃO DOS PONTOS	QUANTIDADE	PERCENTUAL TOTAL
Modernizado	85.321	93,97%
Condomínio	4.335	4,77%
Rodovia	1.031	1,14%
Impossibilidade	107	0,12%
TOTAL GERAL	90.794	100%

Fonte: O Autor.

Na Tabela 13, os pontos cuja situação dos pontos é de “impossibilidade” fazem referência aos pontos cuja modernização foi impedida devido a fatores como, por exemplo pontos em proximidade à rede de média tensão, torres de transmissão, em áreas cercadas ou com acesso negado.

A Tabela 14 mostra a nova relação de pontos por tipo de lâmpada e quantidade de pontos, na segunda etapa da entrega do terceiro marco.

Tabela 14 – Relação atualizada de pontos por tipo de lâmpada

TIPO DE LÂMPADA	QUANTIDADE
LED	94.603
Vapor de Mercúrio	1
Vapor de Sódio	409
Vapor metálico	1
TOTAL GERAL	95.014

Fonte: O Autor.

A entrega total, incluindo os dois grupos citados anteriormente, teve como nova média de consumo por ponto de iluminação 62,49 W, o que significou uma redução de 61,54% em relação ao cadastro base.

Os pontos modernizados representam atualmente 99,60% de todos os pontos do parque de iluminação pública. Os 0,40% não modernizados representam pontos com impossibilidade de acesso, próximos à média tensão, pontos sem rede de baixa tensão, dentre outros fatores impeditivos.

4.2 IMPACTO FINANCEIRO

No início do contrato, conforme demonstrado na Figura 19, o valor médio pago para os 91.454 pontos existentes era de R\$ 2.039.628,07. Atualmente, a fatura de iluminação pública apresenta o valor de R\$1.238.528,72, conforme mostrado na Figura 28.

O cálculo do faturamento do consumo dos pontos de iluminação pública é feito, em sua maioria, de forma estimada, isto é, a empresa distribuidora possui o cadastro que contém todos os pontos de iluminação pública sob responsabilidade do município, tendo nesse cadastro informação sobre a potência das lâmpadas e demais equipamentos que possam consumir energia elétrica (relés e reatores), e considera que, diariamente, durante 11 horas e 27 minutos, esses dispositivos estão em pleno funcionamento, conforme Resolução Normativa 1000/2021 da ANEEL e Resolução Homologatória ANEEL nº 2.590.

Figura 28 - Fatura de iluminação pública após finalização do processo de modernização



DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA
CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / INSC. ESTADUAL 06.2322136.0007
AV. BARBACENA, 1200 - 17º ANDAR - ALA 1 - BARRO SANTO AGOSTINHO
CEP: 30190-121 - BELO HORIZONTE - MG.

TARIFA SOCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA - TSEE FOI CRIADA PELA LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002

REIMPRESSÃO

		Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)
		AGO/2024	27/09/2024	1.238.528,72
Nº DO CLIENTE 7000030263	Nº DA INSTALAÇÃO 3003295616			

Classe Ilum. Pública Monofásico	Subclasse Iluminação Pública	Modalidade Tarifária Convencional B4A	Anterior 31/07	Datas de Leitura Atual N° de dias Próxima 31/08 31 30/09
---------------------------------------	------------------------------------	--	-------------------	--

Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Valores Faturados		PIS/COFINS	Base Calc. ICMS	Aliq. ICMS	ICMS	Tarifa Unit.
			Preço Unit	Valor (R\$)					
Energia Elétrica	kWh	2257,643	0,55525678	1253.571,57	34.949,57	1.253.571,57	18,00	225.642,88	0,43983000
Imposto Retido - IRPJ				-15.042,85					
TOTAL				1.238.528,72	34.949,57	1.253.571,57		225.642,88	

Fonte: Portal da transparência de Uberlândia.

Comparando a primeira fatura recebida, no início do contrato, com a mais atual, a redução mensal de consumo foi de 2.336.060 kWh por mês, e, conforme a Tabela 15, estima-se que o impacto financeiro seja de uma economia anual de quase 12 milhões de reais.

Tabela 15 - Comparação de consumo no momento anterior ao contrato e após o processo de modernização

PERÍODO REFERÊNCIA	05/2020	08/2024
Tarifa do período	R\$ 0,4445	R\$ 0,4398
Consumo	4.593.703 kWh	2.257.643 kWh
Fatura do período	R\$ 2.039.627,07	R\$ 1.238.528,72
Dias faturados	32 dias	31 dias
Média diária de consumo (kWh)	143.553,22 kWh	72.827,19 kWh
Média diária de consumo (R\$)	R\$ 63.805,82	R\$ 32.031,58
Economia média diária		R\$ 31.774,24
Economia média diária percentual		49,80%
Economia média mensal		R\$ 985.001,34
Economia média anual (projeção)		11.820.016,04

Fonte: O Autor.

Note que a economia média apresentada na Tabela 15 de 49,80% e a redução total de carga de 61,54%, destoam. Isso ocorre pois no início do contrato, no cadastro base, havia quase 4 mil pontos a menos a serem considerados no consumo total, além de diferenças de tarifa e impostos no período, que são proporcionais à dimensão da fatura.

4.3 CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA

Conforme detalhado no Capítulo 2, a NBR 5101:2018, que regulamenta as questões técnicas relacionadas à iluminação viária, prevê 5 classificações para vias e 4 para passeios. O contrato da PPP exige que os níveis de luminância e iluminância de todas as vias estejam em conformidade com o estabelecido pela norma citada para as suas respectivas classificações viárias.

Dessa forma, o parque de iluminação pública de Uberlândia tem, atualmente, em sua composição, a relação de pontos de iluminação e classificações viárias mostrada na Tabela 16.

Tabela 16 - Relação de pontos por classificação viária

CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA	QUANTIDADE	PERCENTUAL
P2	5.731	6,03%
V1	8.065	8,49%
V2	6.730	7,08%
V3	11.257	11,85%
V4	44.094	46,41%
V5	19.137	20,14%
TOTAL GERAL	95.014	100%

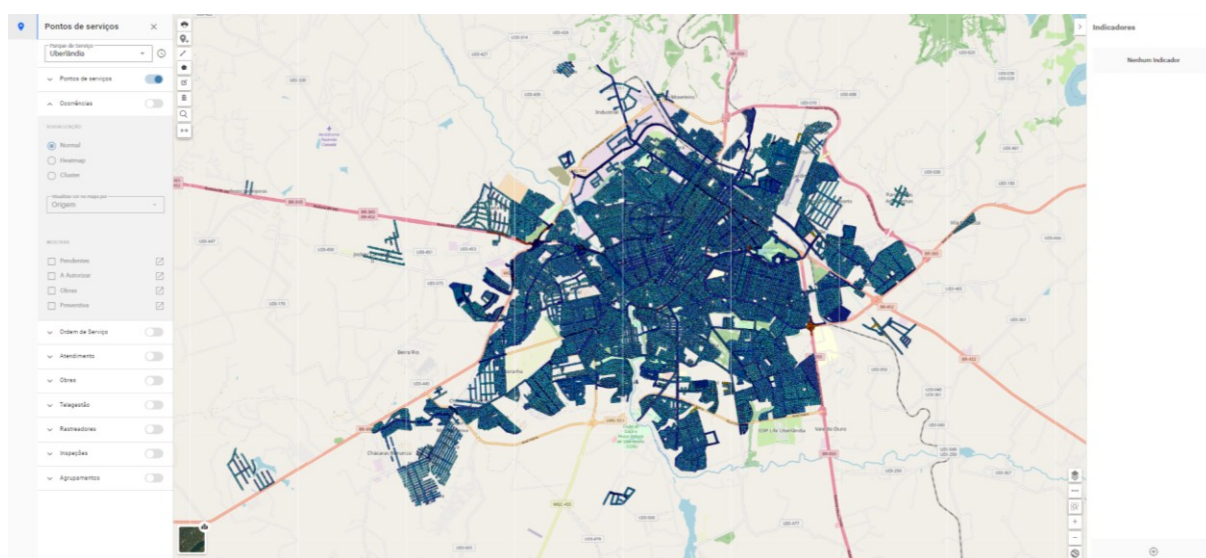
Fonte: O Autor.

Segundo a Tabela 16, percebe-se que a única classificação para tráfego de pedestres que aparece é a P2. Isso acontece pois os pontos presentes em praças, áreas verdes, pistas de caminhada, dentre outros tipos de logradouro, conforme recomendação da NBR 5101:2018, devem ser considerados, a nível de iluminação, como P2.

4.4 PLATAFORMA DE GERENCIAMENTO

Conforme dito anteriormente, o parque de iluminação pública do município de Uberlândia possui, atualmente, 95.014 pontos ativos. Uma plataforma online concentra todos os ativos de iluminação pública do município, contendo inúmeras informações do ponto, conforme visto na Figura 29:

Figura 29 – Interface da plataforma de gerenciamento



Fonte: O Autor.

Na Figura 29, o mapa mostra todos os pontos do parque de iluminação pública de Uberlândia. Ao clicar em algum ponto, a interface mostrada na Figura 30 é aberta, a qual contém diversas informações do ponto, como número da plaqueta de identificação, modelo e potência da luminária utilizada, georreferenciamento do ponto de iluminação, histórico de atendimentos (intervenções) na unidade, classificação viária, dentre outras informações.

Figura 30 - Informação de ponto de iluminação

Ponto de serviço - 037564-0 (435073)

Grupo: Padrão

Tipo de Poste	Altura do Poste	Tipo de Luminária	Forma de Aclausamento	Altura Instalação Luminária	Classificação Passivo
CONCRETO SUPLO T	10,0	Policolored	INDIVIDUAL	6,0	P4
Classificação Via	Tipo de Alimentação	Estrutura de Proteção	Finalidade de Iluminação	Compartilhamento de Bodo	Existência de Cx de Passagem
V4	AEREO	UNILATERAL	VIARIA	PROPRIO	0
Tipo de Caixa de Passagem	Fases Utilizadas	Tensão de Alimentação	Classe Viária	Largura Via Veicular	Largura Via Passivo Menor Lado
0	SEM IDENTIFICACAO	220,0	LOCAL	7,87	1,98
Largura Via Passivo Lado Opco	Faixa de Rolamento	Risco do Poste	Distância Entre Postes	Obstrução Aclausamento	Local com Medição
1,96	2	1,89	40,43	0	180
Perda Raster	Perda Bala	Poluição Total	Quantidade de Lum. no Poste	Id Poste	Carga do Poste
100	12	180	1	7094,0	550,0
Código Logradouro	Tipo Logradouro	Município ou Distrito	CEP	Regional	Bairro PMB
2354,0	RUA	UBERLANDIA	3.8405047	NORTE	FACAMBU
Logradouro PMB	Tipo LP Inicial	Poluição LP Inicial	Super Módulo	RENOVELAMENTO	SITUAÇÃO DOS PONTOS
RUA ARDUNO GRINER	Vagor de Sodo	100	TR_30W_30gram	NÃO	MODERNIZADO

Grupo: Telegestão

Código Telegestão

Grupo: Atributos dos materiais do ponto

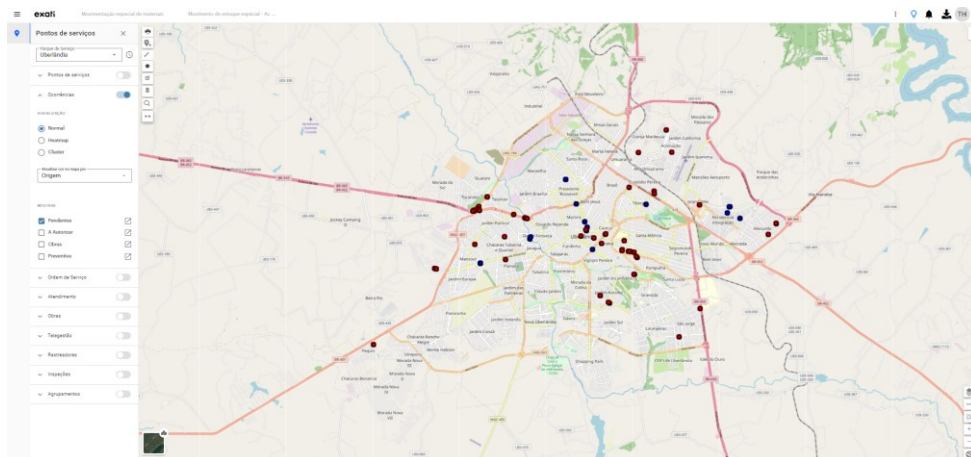
Consumo Energético	Fluxo Luminoso	Tipo de Braço	Potência de Raster	Potência LP Atual	Tipo LP Atual
60,0	6750	Cabo	60	90	LED
Tipo de Bala					
1F					

Fonte: O Autor.

Na caixa mostrada na Figura 30, no canto inferior esquerdo, existe uma opção “gerar solicitação”, onde é possível registrar uma ocorrência do ponto. Essa ocorrência pode ser: luminária apagada à noite, luminária acesa durante o dia, luminária intermitente, luminária ausente ou faltante, poste abalroado, braço empenado ou quebrado, poste energizado, dentre outros problemas aos quais o ponto de iluminação pode ser submetido.

No contrato, existem 2 prazos para atendimentos às solicitações: até 12 horas, para vias dos tipos V1, V2 e V3 e até 48 horas para pontos em vias V4, V5 e P2. Na Figura 31, os pontos em vermelho e azuis destacados indicam os protocolos abertos e dentro do prazo de atendimento.

Figura 31 - Monitor de ocorrências



Fonte: O Autor.

4.5 TELEGESTÃO

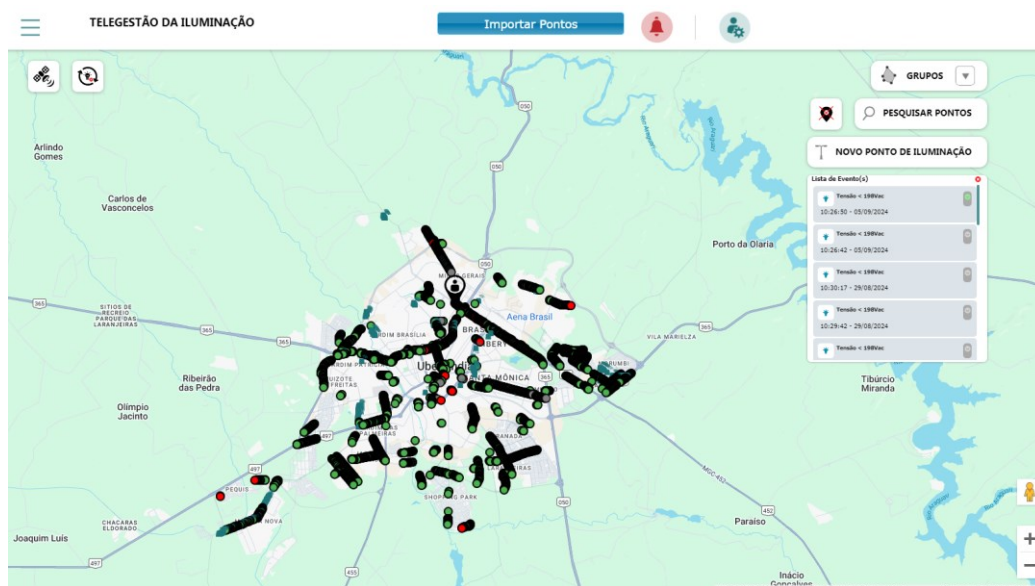
O contrato da PPP prevê que para todos os pontos cuja classificação seja V1, V2 ou V3, será necessária a instalação de dispositivos controladores com telemetria e acionamento remoto. Esses dispositivos são chamados de relés de telegestão.

Da Tabela 16, pode-se verificar que 26.052 ou 27,42% dos pontos possuem classificação viária V1, V2 ou V3. Isto é, por contrato, todos estes pontos precisam ter em sua estrutura os controladores citados. Em todo o parque de iluminação, duas plataformas de telegestão foram implementadas. Uma possui 3.589 ativos e a outra 22.463.

4.5.1 PLATAFORMA DE TELEGESTÃO

Uma dessas plataformas de telegestão possui uma interface que mostra todos os pontos ativos dispostos no mapa, representados por diversas cores. Essas cores representam o status de cada ponto de iluminação que está conectado. Esse status pode ser: conectado, desconectado, lâmpada apagada à noite, lâmpada acesa durante o dia, subtensão e sobretensão. Na Figura 32 é apresentada a interface principal da plataforma.

Figura 32 - Interface principal da plataforma de telegestão



Fonte: O Autor.

O sistema oferece ao usuário a possibilidade de selecionar, de acordo com suas necessidades específicas ou preferências individuais, a forma como o dispositivo irá operar. Há duas opções principais de funcionamento: o modo fotocélula convencional e o modo com programação personalizada.

No modo de operação por fotocélula tradicional, o sistema realiza a detecção automática do nível de luminosidade ambiente. Quando a luz natural atinge um patamar inferior a um determinado valor previamente estabelecido, o sistema aciona automaticamente a luminária, garantindo iluminação adequada conforme a variação da luz do ambiente.

Já no modo de funcionamento programado, o usuário tem um controle muito mais preciso sobre o comportamento do dispositivo. É possível definir horários específicos para o acionamento e desligamento das luminárias, configurar diferentes níveis de intensidade luminosa para diferentes períodos do dia, além de outras funcionalidades personalizáveis. Esse modo permite uma gestão mais eficiente e adaptada às rotinas e exigências do local de instalação.

Além da programação, o sistema ainda permite dar comando instantâneo de ligar, desligar e dimerizar a luminária, e informa em tempo real o estado de potência, corrente e tensão. Ao selecionar algum ponto, a plataforma abre uma caixa de opções, conforme mostrado na Figura 33.

Figura 33 - Primeira aba do sistema na seleção de ponto

CADASTRO PONTO DE ILUMINAÇÃO
✕

Poste

Lâmpada

Dashboard

Programações

Ocorrências

Localização

CEP:

País:

Estado:

Cidade:

Bairro:

Rua:

Número:

Informações dos Poste(s)

Placa:

Etiqueta:

Altura(m):

Quantidade de lâmpadas

Sair

Excluir

Salvar

Avançar

Fonte: O Autor.

A caixa mostrada na Figura 33 contém 5 abas. Na primeira aba estão informações do ponto, como localidade, plaqueta (número de identificação do programa de gestão dos pontos, a ser mostrado mais adiante). Já na segunda aba, chamada lâmpada, estão contidas informações relacionadas à característica da luminária, como potência, fluxo, vida útil, etc., como mostrado na Figura 34.

Figura 34 - Segunda aba do sistema na seleção de ponto

Poste

Lâmpada

Dashboard

Programações

Ocorrências

Lâmpada 1

Cod. lâmpada: 2732

Tipo de lâmpada:

Selecione um tipo de lâmpada

Consumo energético (kWh):

0.0

Fluxo luminoso (lúmens):

0.0

Potência da lâmpada (watt):

0.0

Potência do reator (watt):

0.0

Tipo do comando:

Vida Útil (Horas):

Eficiência luminosa (lm/W):

IRC:

Temperatura de cor (Kelvin):

*Device:

ffff3c71bf88

Sentido da lâmpada:

Sentido da lâmpada

Tipo de comando:

EVERYNET FINE GATEWAY

Voltar

Salvar

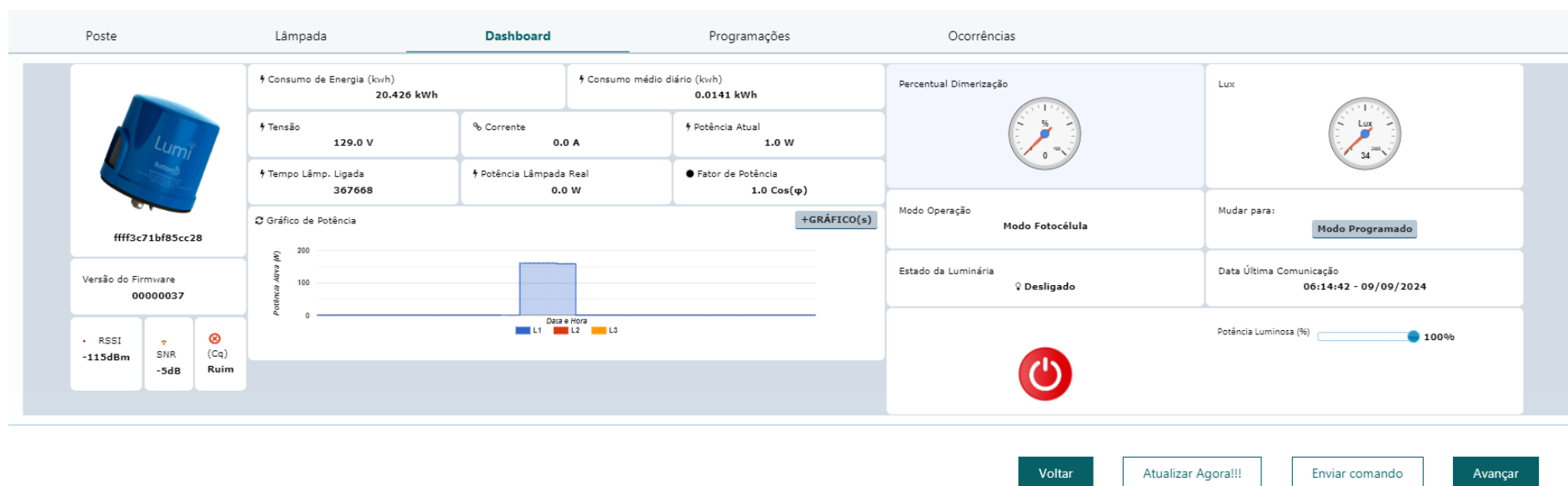
Avançar

Fonte: O Autor.

Na terceira aba, intitulada dashboard, estão os aspectos mais importante do sistema, que são relacionados à telemetria e comandos. A Figura 35 demonstra o estado da luminária no momento 1, ou seja, contém as informações presentes relacionadas à tensão, corrente, potência atual, etc.

Nessa aba ainda é possível enviar comandos para o controlador. No momento, o estado da luminária é “desligado”. Note que, conforme a Figura 35, de fato, a potência está mensurada em 1 W. Esse consumo é relacionado ao controlador.

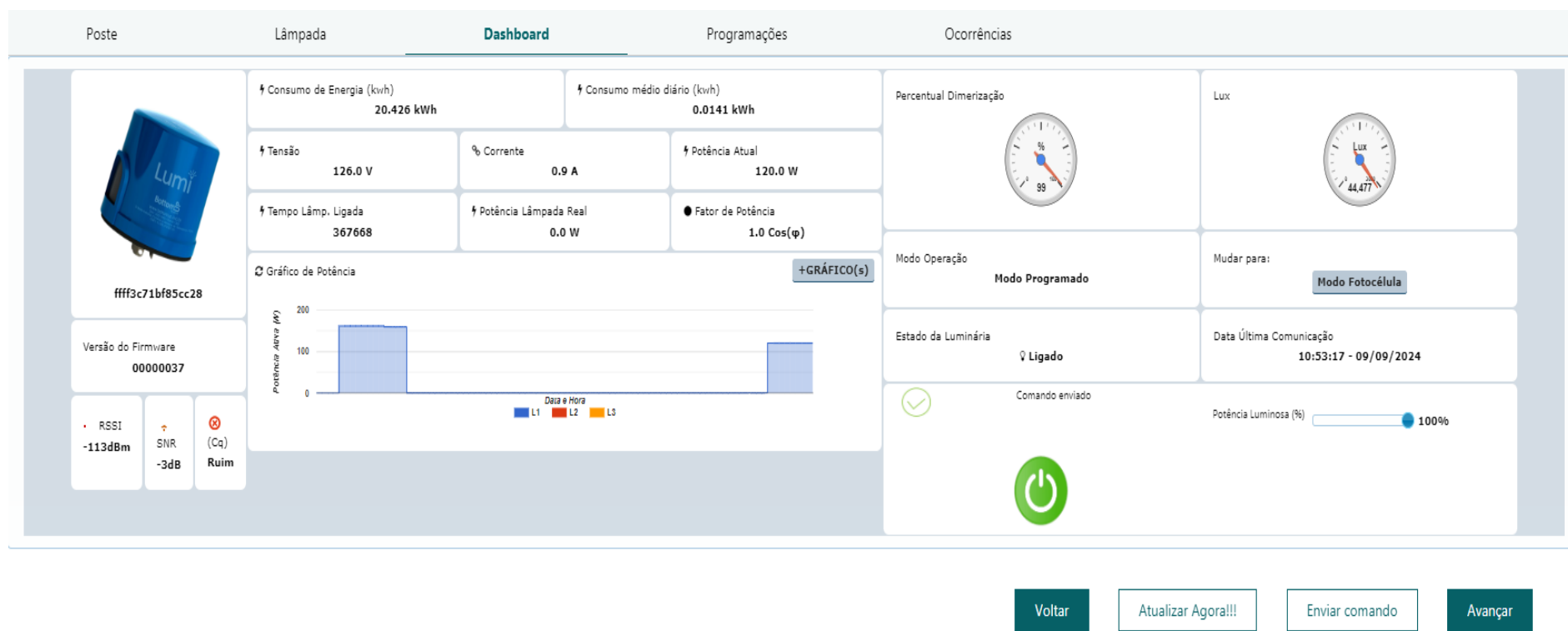
Figura 35 - Terceira aba do sistema na seleção de ponto – momento 1 (lâmpada desligada - anterior ao envio do comando)



Fonte: O Autor.

Ao selecionar na plataforma o botão de ligar e enviar o comando, a lâmpada irá acender, e, a mensuração irá apresentar os dados em tempo real relacionados ao ponto, conforme mostrado na Figura 36:

Figura 36 - Terceira aba do sistema na seleção de ponto: momento 2 (Envio do primeiro comando - lâmpada ligada)

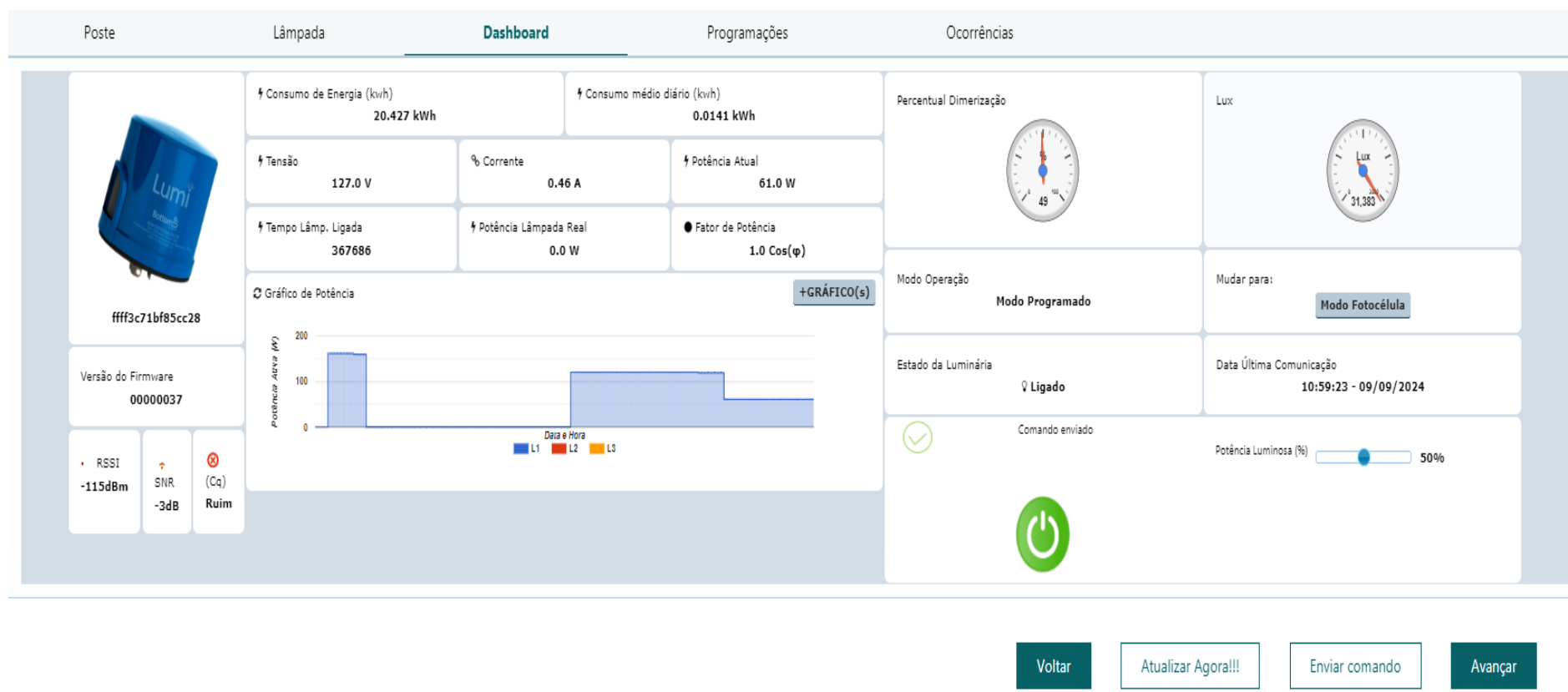


Fonte: O Autor.

Veja que, após o acionamento, a plataforma já reconhece o ponto como “ligado” no estado da luminária e informações como potência e corrente, anteriormente próximos de zero, já apresentam valores significativos. No gráfico mostrado na caixa da Figura 36, é possível também observar que a curva apresenta um valor diferente de zero. O segundo comando testado será a dimerização da potência da luminária.

Ao determinar o nível de dimerização e enviar o comando, o cenário apresentado pela plataforma é apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Terceira aba do sistema na seleção de ponto: momento 3 (Envio do segundo comando - dimerização)



Fonte: O Autor.

Veja que agora, ao enviar um comando de 50% de dimerização, a potência no ponto foi reduzida de 120 W para 61 W e a corrente foi de 0,90 A para 0,46 A. Esse comando pode ser programado para funcionar diariamente em determinada faixa de horário, e, ainda, ser enviado de forma coletiva para um grupo de luminárias.

Plataformas de telegestão abrem um leque muito amplo de possibilidades em relação ao consumo de energia dos parques de iluminação pública. Na quarta aba, em programações, é possível ver bem as possibilidades que a plataforma inclui, como mostrado na Figura 38.

Figura 38 - Quarta aba do sistema na seleção de ponto

The screenshot shows the 'Programações' (Schedules) tab selected in a navigation bar. The navigation bar includes 'Poste', 'Lâmpada', 'Dashboard', 'Programações', and 'Ocorrências'. The main content area displays a status for 'Lâmpada 1' with a green checkmark and 'Comando enviado' with a green circle containing a checkmark. Below this is a list of options: 'Nenhuma programação sazonal', 'Nenhuma programação de grupo', 'Foto Celula (Individual)', and a hexadecimal code 'ffff3c71bf85cc28'. A horizontal line separates this from a section titled 'Escolha o tipo de programação ou crie uma nova'. This section contains a dropdown menu with the text 'Selecione uma programação'. Below the dropdown is a button with a plus icon and the text 'Criar nova programação'. At the bottom right, there are two buttons: 'Voltar' (Back) and 'Salvar' (Save).

Poste	Lâmpada	Dashboard	Programações	Ocorrências
<div>✓ Lâmpada 1 (✓) Comando enviado</div> <div><ul style="list-style-type: none">- Nenhuma programação sazonal- Nenhuma programação de grupo- Foto Celula (Individual)- ffff3c71bf85cc28</div> <div>Escolha o tipo de programação ou crie uma nova</div> <div>Selecione uma programação ▼</div> <div><div>+</div> Criar nova programação</div> <div><div>Voltar</div><div>Salvar</div></div>				

Fonte: O Autor.

Veja na Figura 38 que o ponto selecionado para teste não possui nenhuma programação específica vinculada a si, estando operando no modo fotocélula. A Figura 39 mostra as possibilidades para o ponto em relação à programação.

Figura 39 - Teste de programação de dimerização de luminária

Programação da Luminária

Nome da Programação:

Hora do Evento:

Status da Luminária:

Potência da Luminária:

Status da Luminária	Hora do Evento	Potência da Luminária(%)	Ação
No records found.			
(1 of 1) <input type="button" value="Previous"/> <input type="button" value="Next"/> <input type="button" value="First"/> <input type="button" value="Last"/> 5 <input type="button" value="Dropdown"/>			

Fonte: O Autor.

Agora, será realizado um teste de programação da operação de uma luminária, como mostrado na Figura 39. Nessa programação, a luminária irá dimerizar seu fluxo para 60% do nominal às 21:30h. O serviço de dimerização programada, possibilitado pela plataforma de telegestão, permite que estudos sobre a dimerização de pontos em horários fora de pico avancem e sejam implementados nos parques de iluminação. Por exemplo, considerando um cenário onde a lâmpada é utilizada com 100% de fluxo luminoso, ou seja, com consumo de 120 W, e com operação entre 18:00 h e 6:00 h, tem-se um consumo de 1,44 kWh, conforme demonstrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Operação a plena carga

OPERAÇÃO CARGA TOTAL	
Potência	120 W
Tempo (h)	12 h
Consumo por noite	1,440 kWh

Fonte: O Autor.

Já pensando no cenário de dimerização de 60% da potência total durante 71% do período da utilização da lâmpada, tem-se um consumo de 1,032 kWh conforme demonstrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Operação em regime programado utilizando a dimerização

OPERAÇÃO PROGRAMADA	
Potência total	120 W
Tempo de operação com potência total	3:30h
Potência dimerizada	72 W
Tempo de operação com potência dimerizada	8:30h
Tempo total de funcionamento	12h
Consumo até 21:30	420 W
Consumo entre 21:30 e 06:00	612 W
Consumo por noite	1,032 kWh

Fonte: O Autor.

Veja que o consumo, considerando o cenário utilizando dimerização, será 28,33% menor. Ou seja, considerando este cenário com 60% de dimerização após as 21:30h, a economia foi de quase 30%, levando em conta que esse horário base pode ser alterado, e que o fator de dimerização também possui margem para variar. De qualquer forma, o trabalho de dimerização tem potencial para impactar muito significativamente o consumo de energia dos parques de iluminação pública.

A última aba apresenta informações sobre ocorrências no ponto, isto é, qualquer anormalidade será informada em tempo real na plataforma, agilizando assim o serviço de manutenção.

4.6 ÍNDICES DE DESEMPENHO

Contratualmente, a empresa executora deve realizar, a cada 3 meses, algumas verificações em campo de modo a averiguar a qualidade do serviço prestado. Dentre os índices avaliados, destacam-se:

- Índice de qualidade dos dados;
- Índice de disponibilidade da luz;
- Índice de modernização.

Esses índices são questões contratuais, não tendo relação com nenhuma norma específica.

4.6.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DOS DADOS (IQD)

No IQD, é sorteada uma amostra de pontos do cadastro mais atualizado do parque de iluminação do município por um verificador independente. Todos os pontos desta amostra terão verificados em campo os seguintes dados:

- Logradouro;
- Latitude e longitude do ponto (caso a diferença entre o cadastro e o verificado em campo for superior a 10 metros, irá acusar uma não conformidade);
- Tipo de luminária;
- Potência da luminária;

Todos estes critérios devem estar totalmente de acordo com o cadastro, onde qualquer informação que não seja idêntica contará como uma não conformidade. Existe um nível máximo de não conformidades permitido por amostra.

4.6.2 ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE DA LUZ (IDL)

Dividido em IDLD (índice de disponibilidade da luz – dia) e IDLN (índice de disponibilidade da luz – noite), é sorteada uma quantidade fixa de plaquetas, onde os pontos

amostrados serão verificados durante o dia e durante a noite para validar que estejam apagados durante o dia (IDL) e acesos durante a noite (IDLN). Assim como no índice anterior, um percentual máximo de amostras pode acusar irregularidade sem gerar nenhum impacto.

4.6.3 ÍNDICE DE MODERNIZAÇÃO (IM)

No IM, é feita medição luminotécnica de cada vão amostrado, utilizando luxímetro digital, onde os resultados obtidos devem atender o estabelecido na norma NBR 5101:2018, de acordo com a classificação da via e passeio. Na Figura 40 é apresentado o formato da medição.

Figura 40 - Exemplo de aferição do índice de modernização

AFERIÇÃO DO ÍNDICE DE MODERNIZAÇÃO				
#	PLAQUETA DA AMOSTRA	053351-3		
	PLAQUETA UTILIZADA	053351-3		
	PLAQUETA AUXILIAR	053339-4		
	CLASSIFICAÇÃO DA VIA	V5		
	CLASSIFICAÇÃO DO PASSEIO	P4		
	LOGRADOURO	RUA ANICETO ANTONIO SILVA		
	BAIRRO	MARTINESIA		

053339-4					053351-3				
17,90	3,98	3,41	4,41	41,50					
32,40	6,86	4,65	5,69	41,90					
39,50	10,68	3,20	7,93	42,90					
35,80	11,29	3,89	9,43	37,50					

32,40	11,68	4,13	9,72	35,00					
25,30	11,46	4,16	9,24	28,10					
18,34	10,39	4,89	9,54	20,47					
15,42	9,32	4,77	9,32	18,55					

ILUMINÂNCIA - PASSEIO 1				
NORMATIVO	MEDIDAÇÃO		RESULTADO	
Emed	3	Emed	14	APROVADO
Uo	0,2	Uo	0,2	APROVADO

ILUMINÂNCIA - PISTA DE ROLAMENTO				
NORMATIVO	MEDIDAÇÃO		RESULTADO	
Emed	5	Emed	18	APROVADO
Uo	0,2	Uo	0,2	APROVADO

ILUMINÂNCIA - PASSEIO 2				
NORMATIVO	MEDIDAÇÃO		RESULTADO	
Emed	3	Emed	11	APROVADO
Uo	0,2	Uo	0,4	APROVADO

NOTAS:

Fonte: O Autor.

Na parte destacada em vermelho da Figura 40, na primeira linha são mostradas as medições relacionadas ao passeio adjacente ao posteamento (no mesmo lado da via onde os postes estão instalados). As três linhas seguintes são as medições realizadas na primeira faixa de rolamento, enquanto as próximas três linhas foram medidas na segunda faixa de rolamento. Esse padrão se repete a depender da quantidade de faixas de rolamento da via, isto é, para cada faixa de rolamento, 3 linhas com 5 medições em cada é feita. Por último, a última linha de medições foi feita no passeio oposto ao posteamento.

Sobre as medições, destacadas em laranja, os campos preenchidos são os valores mensurados em cada vão amostrado. Entende-se como vão a área entre dois postes. À esquerda, estão os cálculos da iluminância que devem ser atingidos (Normativo). No caso do vão em questão, a classificação viária é V5 para a pista de rolamento. Dessa forma, a iluminância média deve ser, no mínimo, 5 lux e a uniformidade da iluminância deve ser superior a 0,2. Os valores atingidos foram 18 e 0,2. Já a classificação do passeio é P4. Os índices mínimos a serem alcançados, normativamente, são, 3 lux para iluminância média e 0,2 para uniformidade de iluminância. Os índices atingidos foram 14 e 0,2 para o passeio adjacente e 11 e 0,4 para o passeio oposto.

5 ANÁLISE DO IMPACTO DA DIMERIZAÇÃO NA EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UBERLÂNDIA

A potência média por ponto de iluminação do parque de iluminação pública de Uberlândia, antes do início do contrato, era de 162,47 W. Atualmente, após a entrega de todos os marcos do contrato, a potência média por ponto de iluminação é de 62,49 W. Diante do que já foi exposto nesse trabalho, percebeu-se o potencial de aumentar ainda mais a eficiência do parque de iluminação pública de Uberlândia, a partir da utilização da dimerização da potência das lâmpadas. Ou seja, propor uma estratégia de dimerização para reduzir ainda mais a potência média dos pontos de iluminação. Portanto, esse capítulo será dedicado a realizar esse estudo de caso.

Relembrando sobre as classificações viárias, a norma ABNT NBR 5101:2018 considera para a classificação viária dois pontos principais: tipo de via e fluxo de veículos no período noturno. Diante deste cenário, estudos analisam, em diferentes faixas de horário, os picos de tráfego e períodos de menor movimento. Nesse contexto, surge a discussão sobre a dimerização. Estudos de programação que incorporam a dimerização sugerem que, fora dos horários de pico de tráfego da via e próximos ao amanhecer e ao anoitecer, quando a luz solar contribui para a iluminação, a redução da intensidade luminosa das lâmpadas pode ser uma alternativa bastante relevante, principalmente pela sua contribuição na diminuição do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação pública.

Como já abordado, as luminárias LED são dispositivos eletrônicos nos quais os módulos ou lâmpadas de LED operam com corrente contínua, geralmente em níveis de tensão entre 20 V e 100 V. Devido a isso, todas as luminárias LED usadas na iluminação pública são equipadas com drivers que ajustam a tensão da rede para os níveis e formato adequados ao funcionamento desses dispositivos. Além disso, sabe-se que as luminárias LED permitem o controle da sua intensidade luminosa, ou seja, são dimerizáveis. No entanto, é necessário utilizar equipamentos que controlem esses drivers, permitindo que a luminária funcione na faixa de intensidade desejada. Os dispositivos responsáveis por fazer esse acionamento controlado e parcial, são os relés de telegestão. Portanto, tendo um cenário onde os equipamentos e dispositivos são apropriados para o trabalho com dimerização, é possível trazer ainda mais economia energética para a iluminação pública.

No parque de iluminação pública de Uberlândia, a dimerização é uma opção viável somente nas vias dos tipos V1, V2 e V3, que atualmente já possuem relés de telegestão. Em

vista disso, conforme a Tabela 19, a potência do parque de iluminação é distribuída da seguinte forma:

Tabela 19 - Potência e quantidade de pontos por classificação viária

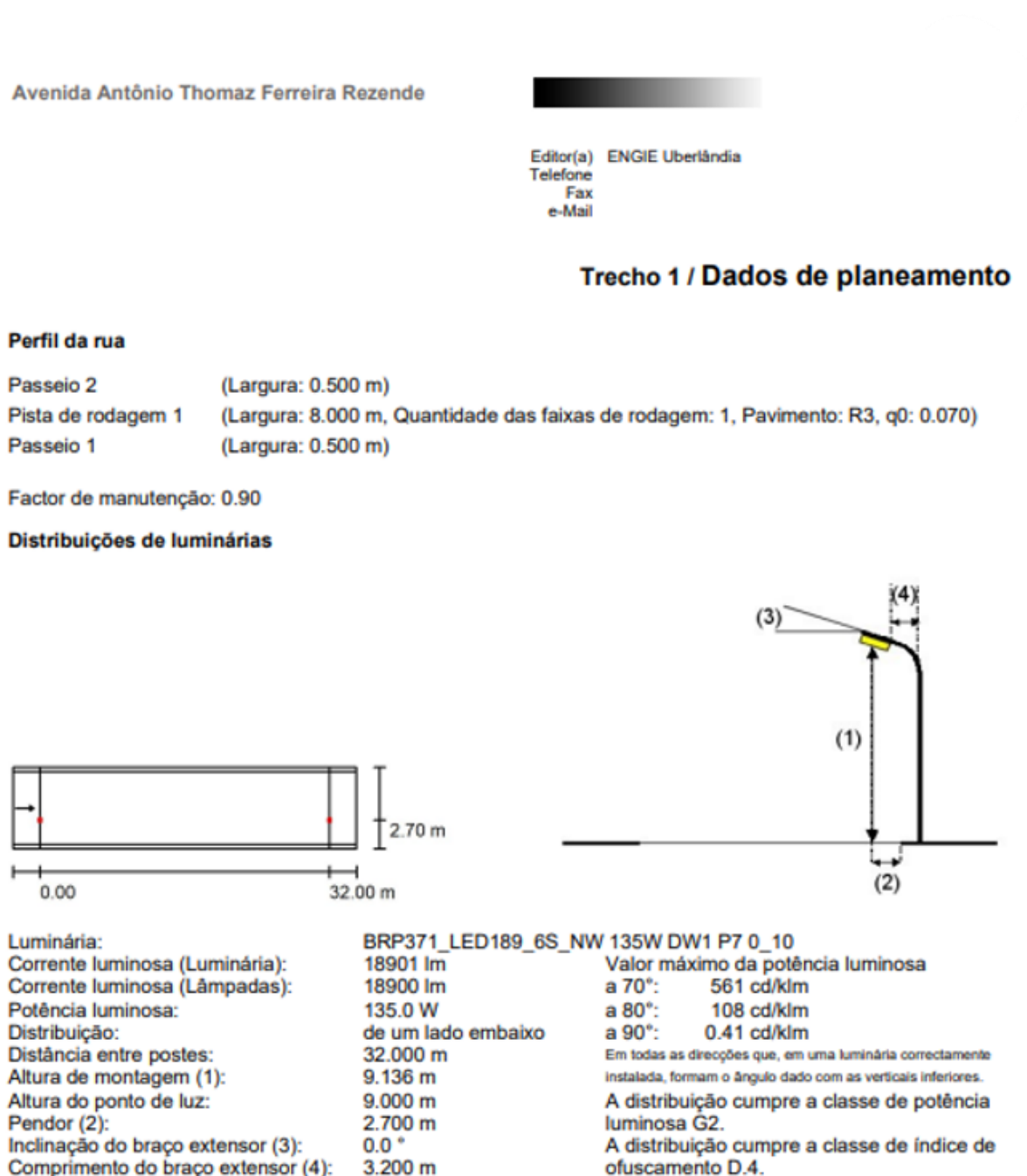
CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA	QUANTIDADE DE PONTOS	CARGA [KW]	QUANTIDADE PERCENTUAL DE PONTOS	CARGA PERCENTUAL
P2	5.735	474,35	6,04%	7,99%
V1	8.065	1.048,65	4,49%	17,67%
V2	6.730	642,81	7,08%	10,83%
V3	11.257	738,48	11,85%	12,44%
V4	44.087	2.185,88	46,40%	36,82%
V5	19.140	845,78	20,14%	14,25%
TOTAL GERAL	95.014	5.935,95	100%	100%

Fonte: O Autor.

Conforme a Tabela 19 observa-se que 27,42% dos pontos (total de pontos das vias V1, V2 e V3) são responsáveis por 40,94% da carga do parque de iluminação pública. Para avaliar o impacto da dimerização na efficientização do parque, será considerado um cenário hipotético onde a classificação das vias V1 mudasse para V2 após as 21:00h, levando em conta a redução do fluxo de veículos.

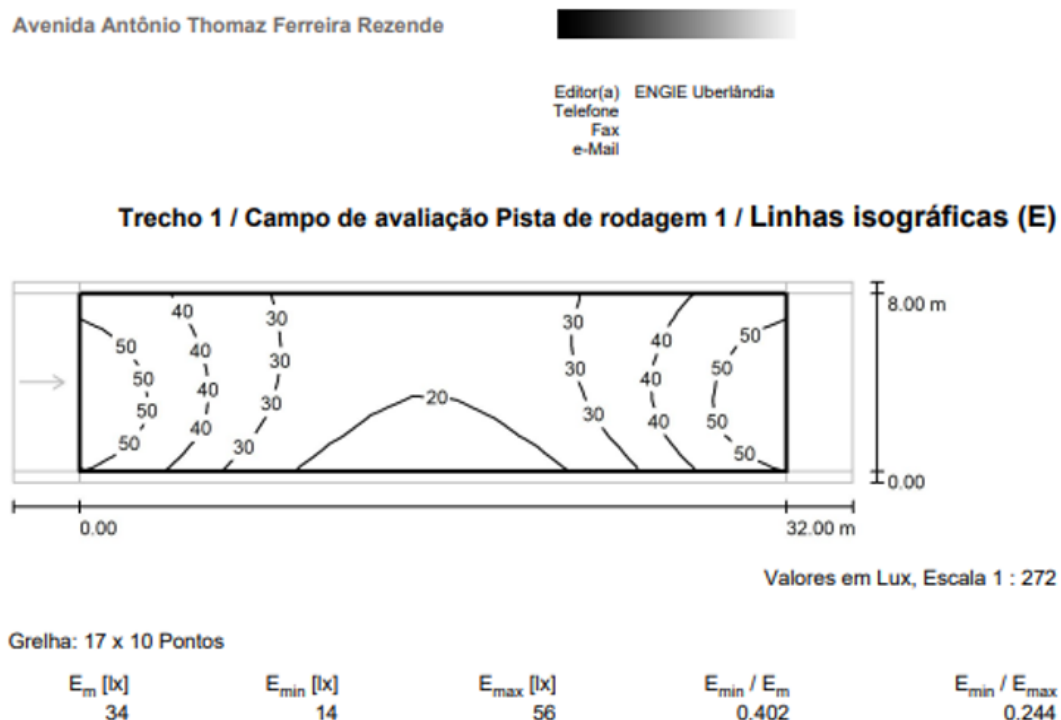
Será utilizado como exemplo o projeto de modernização da Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende, onde foram utilizadas luminárias LED da Philips de 135W. O projeto luminotécnico utilizado no processo de modernização, entre outras informações, apresentou o cenário e resultado mostrados na Figura 41 e na Figura 42.

Figura 41 - Cenário do projeto luminotécnico de modernização - Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende



Fonte: O Autor.

Figura 42 - Resultado do projeto luminotécnico de modernização - Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende

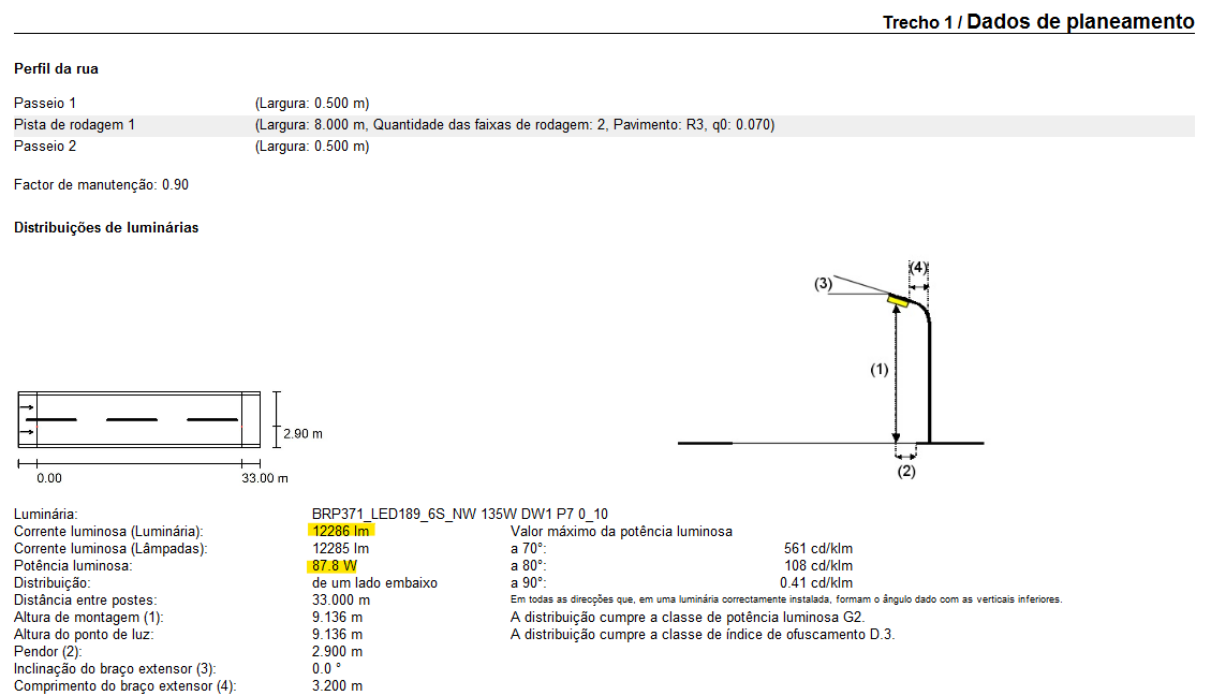


Fonte: O Autor.

A luminária LED Philips de 135W modelo BRP371 possui 18.900 lúmens de potência luminosa, conforme visto na Figura 41. Esses 18.900 lúmens correspondem a 100% da capacidade de emissão do dispositivo. Os resultados obtidos no projeto luminotécnico foram de 34 lux médios e uniformidade de 0,402, atendendo aos valores de 30 lux médio e 0,4 de uniformidade previstos na ABNT NBR 5101:2018.

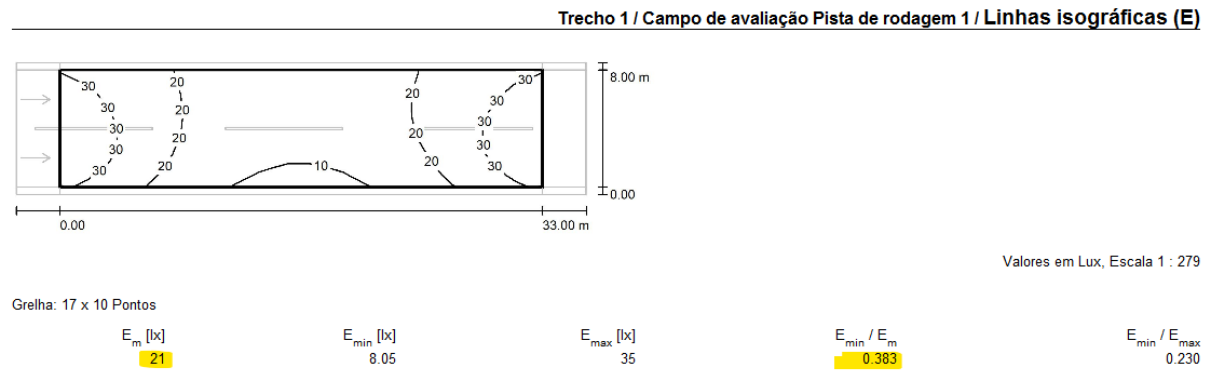
Considerando essa via como V2, e reduzindo o fluxo da luminária na simulação até que esteja coerente com a nova classificação viária, tem-se o novo cenário, apresentado na Figura 43 e na Figura 44:

Figura 43 - Cenário considerando nova classificação viária (V2) da via Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende



Fonte: O Autor.

Figura 44 - Resultados para a via Avenida Antônio Thomaz Ferreira de Rezende considerando a nova classificação viária (V2)



Fonte: O Autor.

Na nova configuração, conforme a Figura 43, a potência e fluxo da luminária foram reduzidos para 65% do valor nominal, de modo a ainda atender os níveis luminotécnicos para a nova classificação viária. A Tabela 20 e a Tabela 21 mostram o consumo a plena carga e considerando o novo cenário de 65% da potência nominal.

Tabela 20 - Consumo considerando potência nominal

OPERAÇÃO carga total	
Potência	135 W
Tempo (h)	12 h
Consumo por noite	1,620 kWh

Fonte: O Autor.

Tabela 21 - Consumo considerando o cenário com dimerização – 65% da potência nominal

OPERAÇÃO PROGRAMADA	
Potência total	135 W
Tempo de operação com potência total	3:00h
Potência dimerizada	87,8 W
Tempo de operação com potência dimerizada	9:00h
Tempo total de funcionamento	12h
Consumo até 21:30	405 Wh
Consumo entre 21:30 e 06:00	790,2 Wh
Consumo por noite	1,1952 kWh

Fonte: O Autor.

O cenário utilizando a dimerização reduziria em 26,22% o consumo de energia dessa via. Considerando um cenário hipotético onde todas as vias V1 teriam seu consumo reduzido conforme a média do exemplo, o consumo de potência do parque seria reduzido, conforme a Tabela 22:

Tabela 22 - Potência por classificação viária (novo cenário)

CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA	QUANTIDADE DE PONTOS	CARGA [kW]	QUANTIDADE PERCENTUAL DE PONTOS	CARGA PERCENTUAL
P2	5.735	474,35	6,04%	8,33%
V1	8.065	803,27	4,49%	14,12%
V2	6.730	642,81	7,08%	11,30%
V3	11.257	738,48	11,85%	12,98%
V4	44.087	2.185,88	46,40%	38,41%
V5	19.140	845,78	20,14%	14,86%
TOTAL GERAL	95.014	5.690,57	100%	100%

Fonte: O Autor.

Comparando a Tabela 19 e a Tabela 22, considerando um cenário onde a média de consumo das vias V1 reduzisse conforme demonstrado no exemplo, a carga do parque passaria de 5.935,95 kW para 5.690,57 kW, o que significa uma redução de 4,1% do consumo de energia do parque.

A Tabela 15 mostra um comparativo entre o cenário inicial do parque de iluminação pública, antes da modernização, e um cenário atual, onde o parque já está modernizado. A Tabela 23 compara o cenário inicial, anterior à modernização, o cenário atual, com o parque modernizado, e o cenário hipotético exposto nesse capítulo, que considera a dimerização das vias V1.

Tabela 23: Comparação de consumo antes da modernização, após a modernização e o cenário hipotético que utiliza a dimerização das vias V1

PERÍODO REFERÊNCIA	INICIAL (05/2020)	ATUAL (08/2024)	HIPOTÉTICO (VIAS V1 DIMERIZADAS)
Tarifa do período	R\$ 0,4445	R\$ 0,4398	R\$ 0,4398
Consumo	4.593.703 kWh	2.257.643 kWh	2.116.892,04 kWh
Fatura do período	R\$ 2.039.627,07	R\$ 1.238.528,72	R\$ 1.176.636,49
Dias faturados	32 dias	31 dias	31 dias
Consumo anual estimado (R\$)	R\$ 24.475.524,84	R\$ 14.862.344,64	R\$ 14.119.637,88

No cenário pós modernização (08/2024), os 2.257.643 kWh multiplicados pela tarifa de R\$ 0,4398, geram um custo de R\$ 992.911,40, ou seja, R\$ 245.617,30 a menos que o valor total da fatura. Ou seja, esse valor de R\$ 245.617,30 é proveniente de medidores destinados à iluminação pública, encargos, tributos e impostos, e, portanto, foi incluído de forma integral no cálculo do cenário hipotético que utiliza dimerização.

Note que, numa comparação de custo anual entre o cenário atual e o cenário com dimerização, houve uma redução de R\$ 742.706,80 no valor a ser pago. É válido ainda dizer que essa mudança não teria impacto ou custo para ser implementada, uma vez que os ativos de iluminação considerados já possuem todo aparato necessário para essa utilização (luminárias dimerizáveis e dispositivos capazes de fazer o controle).

O estudo foi pensado somente com os pontos das vias com classificação viária V1, caso o mesmo estudo se estendesse e incluísse as vias V2 e V3, o impacto energético e financeiro será ainda maior. No entanto, não se deve esquecer que algumas vias específicas não poderiam ter a classificação viária alterada, como é o caso daquelas que possuem hospitais, devido ao

fluxo poder ser intenso durante todo o período noturno. É possível perceber o potencial que a aplicação da estratégia de dimerização possui para reduzir ainda mais o consumo dos parques de iluminação pública.

6 CONCLUSÃO

A iluminação pública nos centros urbanos do Brasil representa um consumo significativo de energia, estimando-se que cerca de 3% de toda a eletricidade gerada no país seja destinada a essa atividade. Diante desse impacto, iniciativas e políticas públicas voltadas para a redução desse consumo vêm sendo implementadas há algumas décadas. Nos últimos anos, essas políticas concentraram-se, principalmente, na substituição das lâmpadas convencionais (como vapor de sódio, vapor de mercúrio, vapor metálico e incandescentes) por luminárias LED. Essa tecnologia oferece maior eficiência energética, vida útil prolongada e menor impacto ambiental, pois não utiliza gases ou metais pesados em sua composição.

Este estudo abordou o processo de modernização da iluminação pública em Uberlândia, Minas Gerais, com a substituição das lâmpadas convencionais por LED. Como resultado, a cidade reduziu seu consumo energético para menos de 40% do valor original. Foram modernizados cerca de 90.000 pontos de iluminação, reduzindo a carga média por ponto de 162,47 W para 62,49 W. Essa mudança trouxe benefícios como menor impacto na rede elétrica, redução dos custos com energia e modernização da infraestrutura urbana, contribuindo também para aspectos sociais, como o lazer e o estímulo ao comércio noturno.

Além da modernização, este trabalho apresentou um estudo de caso utilizando a dimerização como estratégia adicional para reduzir ainda mais o consumo do parque de iluminação pública de Uberlândia. Esse processo consistiu em ajustar o fluxo luminoso das luminárias LED por meio de dispositivos de monitoramento remoto, reduzindo a intensidade da iluminação em horários de menor circulação de veículos, sem comprometer a visibilidade e a segurança. Foi demonstrado que a utilização da dimerização tem o potencial tornar o parque de iluminação pública ainda mais eficiente, reduzindo o consumo e a conta de energia utilizando a infraestrutura já existente de forma estratégica. Estimou-se uma economia de mais de R\$ 700.000,00 anuais somente considerando a dimerização das luminárias das vias V1.

Portanto, este trabalho visou contribuir com a temática da iluminação pública, demonstrando maneiras para otimizar essa infraestrutura e promover maior eficiência no uso da energia. Além da economia para os cofres públicos, a modernização da iluminação pública melhora a segurança urbana e reduz a emissão de gases poluentes. Expandir essas ações para outros municípios brasileiros representa um avanço sustentável e estratégico para a eficiência energética e o desenvolvimento urbano responsável.

REFERÊNCIAS

- ABRASI. Iluminação Urbana. Disponível em: <http://www.abrasi.org.br/index>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf?>. Acesso em: 08 abr. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA / PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – ANEEL PROPEE. Módulo 1 – Introdução. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>. Acesso em: 25 maio 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5101 – Iluminação Pública – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2018. Acesso em: 28 de abril de 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5461 – Iluminação. Rio de Janeiro, 1991. Acesso em: 28 de abril de 2023.
- BELLER, C. S. et al. Alternativa de Conservação de Energia em Iluminação Pública e Áreas de Uso Comum. 2001. 140 f. Monografia – Centro Federal de Educação Tecnológica, Paraná, 2001.
- BRASIL. [Constituição (1998)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 06 abr. 2023.
- CARVALHO, L. História da Iluminação Pública no Brasil. [2019]. Disponível em: <https://escolakids.uol.com.br/historia/historia-da-iluminacao-publica-no-brasil.htm>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- CELESC. Programa de Eficiência Energética. 2019. Disponível em: <http://site.celesc.com.br/peecelesc/>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- CELESC. Norma Técnica E-33.0044 – CELESC D – Iluminação Pública. Acesso em: 05 maio 2023.
- CHAGAS, C. Como é possível enxergar. 2012. Disponível em: <http://cadernosdefisicadononoanomiraflores.blogspot.com/2012/11/como-e-possivel-enxergarmos.html>. Acesso em: 05 maio 2023.
- CONSAB. Saneamento Ambiental Consorcio Intermunicipal. Iluminação Pública. 2019. Disponível em: <https://www.consabambiental.com.br/iluminacao-publica/>. Acesso em: 05 maio 2023.
- COPEL. Companhia Paraense de Energia. Manual de Iluminação Pública. Versão 2012. 2012. Disponível em: https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paraense_de_energia.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

COPEL. Companhia Paraense de Energia. Manual de Iluminação Pública. Versão 2018. 2018. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual_iluminacao_publica/\\$FILE/manual%20iluminacao%20publica.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual_iluminacao_publica/$FILE/manual%20iluminacao%20publica.pdf). Acesso em: 20 abr. 2023.

COPEL. Companhia Paraense de Energia. Tipos de Lâmpadas. 2016. Disponível em: <https://www.copel.com/>. Acesso em: 27 abr. 2023.

DMESG. Soluções em TI. Entendendo e corrigindo o fator de potência. 2016. Disponível em: <https://www.dmesg.com.br/fator-de-potencia/>. Acesso em: 19 maio 2019.

ELEKTRO. Manuais Elektro de Eficiência Energética. 2019. Disponível em: <https://www.elektro.com.br/>. Acesso em: 05 out. 2023.

EMPALUX. Informações Luminotécnicas. 2019. Disponível em: <http://www.empalux.com.br/?a1=1>. Acesso em: 05 maio 2023.

IBD. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento. Modernização, otimização, expansão, operação e manutenção da infraestrutura de iluminação pública do município de Governador Celso Ramos / SC. 2017. 68 f. – Estudo de Viabilidade Técnico Econômica. Curitiba, 2017.

INMETRO. Portaria INMETRO nº 20/2017 – Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária. 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002452.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

INMETRO. Portaria INMETRO nº 454/2010 – Procedimento de Fiscalização. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/fiscalizacao/treinamento/reator_lampadas.pdf. Acesso em: 25 maio 2023.

LEDSTAR. Catálogo: Telegestão de Iluminação Pública. São Paulo, 2018. Acesso em: 26 maio 2023.

MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais. 6. ed. São Paulo: LTC, 2017.

MELO, A. L. A História da Iluminação Pública Brasileira. 2019. Disponível em: <https://www.estudokids.com.br/a-historia-da-iluminacao-publica-brasileira/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MONTEIRO, et al., 2014 disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/bbb4/b343eb42f39a3c03bc121d82749c252ae5f4.pdf>.

NASCIMENTO, A. Análise do uso da tecnologia LED na iluminação pública: Estudo das perspectivas de aplicação na cidade de São Paulo. 2012. 206 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC. São Paulo, 2012.

PHILIPS. Luminárias Outdoor / Iluminação Pública. Disponível em: https://protect.eng.br/wp-content/uploads/2019/02/PHILIPS_Catalogo-Luminarias-Outdoor.pdf. Acesso em: 26 maio 2023.

Portal da transparência de Uberlândia, disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/portal-da-transparencia/>

PORTAL FEDERATIVO. A iluminação pública é obrigação dos municípios. Disponível em: <http://www.portalfederativo.gov.br/noticias/destaques/a-iluminacao-publica-e-obrigacao-dos-municipios>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PROCEL. Manual de iluminação pública. 2011. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO+-+PROCEL_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-54b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154. Acesso em: 20 abr. 2023.

PROCEL RELUZ. Relatório de Resultados do Procel 2018 – Ano-base 2017. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B7F74A07B-4402-45EB-82EA-142111AD95A4%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em: 06 abr. 2023.

RODRIGUES, F. Eficiência Energética Aplicada em Sistemas de Iluminação Pública: Estudo de Caso na Cidade de Garopaba – SC. 2017. 74 f. Monografia – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017.

SANTANA, R. M. B. Iluminação Pública: Uma abordagem Gerencial. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia (MRIE), Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade de Salvador (UNIFACS), Salvador, 2010.

SILVA, L. L. F da. Iluminação pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VASCONCELLOS, L.; LIMBERGER, M. Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobras, Procel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2013.