



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCOS FELIPE VENEZ MIRANDA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM O USO DA TECNOLOGIA LED EM AVENIDAS DA
CIDADE DE PALMAS - TOCANTINS**

PALMAS
2021

MARCOS FELIPE VENEZ MIRANDA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM O USO DA TECNOLOGIA LED EM AVENIDAS DA
CIDADE DE PALMAS – TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica,
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, *Campus* Palmas,
como parte dos requisitos para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Kaison Teodoro de
Souza.

**PALMAS
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

-
- M672a Miranda, Marcos Felipe Venez
 Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição da
 iluminária pública com o uso da tecnologia técnica LED em avenidas
 da cidade de Palmas-TO / Marcos Felipe Venez Miranda. – Palmas,
 TO, 2021.
 101 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
 Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
 Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.
- Orientador: Me. Kaison Teodoro de Souza
1. Iluminação Pública. 2. LED - Light Emitting Diode (Diodo
 Emissor de Luz). 3. Consumo de energia. I. Souza, Kaison Teodoro
 de. II. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MARCOS FELIPE VENEZ MIRANDA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM O USO DA TECNOLOGIA LED EM AVENIDAS DA
CIDADE DE PALMAS – TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica,
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, *Campus* Palmas,
como parte dos requisitos para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em 23 de Junho de 2021.

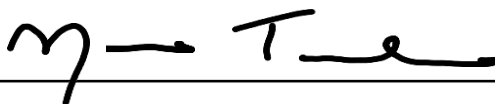
BANCA AVALIADORA



Me. Kaison Teodoro de Souza
Instituto Federal do Tocantins (IFTO) - Presidente



Esp. Luís Augusto Alves Simões
Prefeitura Municipal de Palmas (PMP) - Membro da Banca Avaliadora



Dr. Márcio Augusto Tamashiro
Instituto Federal do Tocantins (IFTO) - Membro da Banca Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, pela oportunidade de realizar este curso e sustentar-me até o final.

Aos meus pais - Jair e Rakeline - que nunca mediram esforços pelos meus estudos. Sempre incentivaram e proporcionaram as melhores oportunidades, pois todas as dedicações deles em minha vida forjaram os princípios que desenvolvi ao longo da minha trajetória. Sem dúvidas a educação é um dos grandes pilares em minha vida. Graças a esses dois exemplos, agradeço pelo apoio e confiança.

Agradeço a minha namorada Izabela, que foi fundamental com seu apoio emocional ao longo do curso e nas várias vezes em que ela me ajudou no processo de criação deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador - Prof. Me. Kaison Teodoro de Souza - pelas correções e incentivos. Os seus ensinamentos fizeram a diferença neste trabalho.

Também agradeço aos amigos pelas experiências trocadas e pelos incentivos, os quais contribuíram com a minha formação.

RESUMO

A eficiência energética aplicada à iluminação pública tem o objetivo de reduzir os gastos com consumo de energia elétrica e manutenções, baseando-se na substituição de equipamentos menos eficientes por tecnologias que ofereçam um melhor aproveitamento da energia elétrica. Diante disso, o presente trabalho tem a finalidade de realizar uma análise técnica e econômica para implantação de uma tecnologia mais eficiente, a qual permita a redução no consumo de energia elétrica e na quantidade de manutenção feita no sistema de iluminação pública na cidade de Palmas, Tocantins. Para tanto, este estudo será baseado no levantamento dos pontos de iluminação pública convencional com lâmpadas a vapor de sódio e vapor metálicos existentes, além dos dados técnicos das lâmpadas utilizadas. Em seguida, será feito um estudo comparativo para substituição desses pontos de iluminação pela utilização do *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz) (*LED*). Com isso, será levantado todo o custo de aquisição do sistema de iluminação *LED*. Na análise econômica, será utilizado o método da Taxa Interna de Retorno (*TIR*) e do Valor Presente Líquido (*VPL*). Através da análise dos dados (juntamente com a distribuição do conhecimento sobre iluminação pública), este trabalho poderá auxiliá-lo no desenvolvimento de ações educativas, as quais promovam uma melhor eficiência energética na iluminação pública na cidade de Palmas, Tocantins.

Palavras-chave: Iluminação Pública. Eficiência Energética. LED - Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz). Consumo de energia. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The energy efficiency applied to public lighting aims to reduce expenses with electricity consumption and maintenance, based on the replacement of less efficient equipment by technologies that offer a better use of electricity. Therefore, this work aims to carry out a technical and economic analysis for the implementation of a more efficient technology, which allows for a reduction in electricity consumption and the amount of maintenance carried out in the public lighting system in the city of Palmas, Tocantins . Therefore, this study will be based on a survey of conventional public lighting points with existing sodium vapor and metal vapor lamps, in addition to the technical data of the lamps used. Then, a comparative study will be carried out to replace these lighting points by the use of Light Emitting Diode (Light Emitting Diode) (LED). With this, the entire acquisition cost of the LED lighting system will be raised. In the economic analysis, the Internal Rate of Return (IRR) and the Net Present Value (NPV) method will be used. Through data analysis (along with the distribution of knowledge about public lighting), this work can help in the development of educational actions, which promote better energy efficiency in public lighting in the city of Palmas, Tocantins.

Keywords: Public Lighting. Energy Efficiency. LED - Light Emitting Diode. Energy Consumption. Economic Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lâmpadas a vapor de sódio	18
Figura 2 - Lâmpadas a vapor Metálico.....	18
Figura 3 - Modelo de luminária LED	19
Figura 4 - Serviço de manutenção da iluminação pública.....	21
Figura 5 - Legislação da Iluminação Pública	23
Figura 6 - Normas Técnicas para elaboração de projetos.	25
Figura 7 - Construção Básica de um Diodo Emissor de Luz.....	33
Figura 8 - Símbolo gráfico de um Diodo Emissor de Luz.....	33
Figura 9 - Reator	36
Figura 10 - Relé Fotoelétrico	37
Figura 11 - Braço de sustentação da Luminária	38
Figura 12 - Avenida LO-27 (Entre Av. NS-10 e NS-04) em Palmas - TO	50
Figura 13 - Avenida NS-02 (Entre Av. LO-11 e LO-13) em Palmas - TO	50
Figura 14 - Projeto de Iluminação Pública da Av. LO-27 (Entre NS-04 e NS-10).....	51
Figura 15 - Detalhe Iluminação Pública da Av. LO-27 (Entre NS-04 e NS-10).....	51
Figura 16 - Projeto de Iluminação Pública da Av. NS-02 (Entre LO-11 e LO-13).....	52
Figura 17 - Detalhe Iluminação Pública da AV. NS-02 (Entre LO-11 e LO-13).....	53
Figura 18 - Lâmpada a vapor de sódio SON 250.....	56
Figura 19 - Modelo de Luminária Instalada na LO-27 anterior a troca pela tecnologia LED	57
Figura 20 - Lâmpada multivapor metálico TUB 400 W	57
Figura 21 - Modelo de Luminária Instalada na NS-02 anterior a troca pela tecnologia LED	58
Figura 22 - Luminária com lâmpada LED ESAT-PLUS 150 W	58
Figura 23 - Luminária com lâmpada LED ESAT-PLUS 150 W (VERSO).....	59
Figura 24 - Luminária com lâmpada LED ARES 240 W	59
Figura 25 - Luminária com lâmpada LED ARES 240 W (VERSO).....	60
Figura 26 - Medida do fluxo luminoso.....	61
Figura 27 - Comparativo de eficiência luminosa	62
Figura 28 - Comparativo da vida útil das lâmpadas.....	63

Figura 29 - Comparativo da temperatura de cor.....	65
Figura 30 - Comparativo da corrente de alimentação das lâmpadas.....	66
Figura 31 - Comparativo consumo de energia elétrica mensal na avenida LO-27 ...	67
Figura 32 - Comparativo de consumo de energia elétrica diária na avenida LO-27.	68
Figura 33 - Comparativo de consumo de energia elétrica mensal na avenida NS-02	69
Figura 34 - Comparativo consumo de energia elétrica diária na avenida NS-02	70
Figura 35 - Comparativo do valor pago na fatura de energia elétrica na avenida LO-27 (NS-04 a NS-10).....	74
Figura 36 - Comparativo do valor pago na fatura de energia elétrica na avenida NS-02 (LO-11 a LO-13)	75
Figura 37 - VPL Total para cada modelo de luminária LED.....	90
Figura 38 - TIR Total para cada modelo de luminária LED	91
Figura 39 - Payback Descontado da luminária LED 150 W.....	92
Figura 40 - Payback Descontado da luminária LED 240 W.....	93

LISTA DE SIGLAS

IP	Iluminação Pública
BEN	Balanço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
REN	Resolução Normativa
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
COSIP	Contribuição para Custeio dos Serviços de Iluminação Pública
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
SEISP	Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos
OSB	Observatório Social do Brasil
PPA	Plano Plurianual
PPP	Parceria Público-Privada
SEISP	Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos
IRC	Índice de Reprodução de Cor
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MVM	Multivapor Metálico

VS	Vapor de Sódio
VM	Vapor de Mercúrio
LDR	Light Dependent Resistor (Resistor Dependente de Luz)
ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
HP-LED	High Power (LED de alta potência)
MP-LED	Mid Power (LED de média potência)
LP-LED	Low Power (LED de baixa potência)
PEE	Programa de Eficiência Energética
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
IGPM	Índice Geral de Preços do Mercado
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
FC	Fluxo de Caixa

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	MOTIVAÇÕES.....	16
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	17
3.1.1	Iluminação Pública de Palmas	19
3.2	PREFEITURAS MUNICIPAIS	21
3.3	FATURAMENTO E MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	22
3.4	LEVANTAMENTO DE LUMINÁRIAS PÚBLICAS EM PALMAS	23
3.5	LEGISLAÇÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	23
3.6	LEI MUNICIPAL COMPLEMENTAR PARA CUSTEIO DE GASTOS DE ILUMINAÇÃO	24
3.7	NORMAS TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS.....	24
3.8	NORMA TÉCNICA SOBRE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	25
3.9	NORMA TÉCNICA SOBRE ILUMINAÇÃO DE TÚNEIS	26
3.10	NORMA TÉCNICA SOBRE LUMINÁRIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	26
3.11	NORMA TÉCNICA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA - ENERGISA.....	26
3.12	NORMA TÉCNICA SOBRE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO.....	27
3.13	CRITÉRIOS LUMINOTÉCNICOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	28
3.14	FLUXO LUMINOSOS.....	28
3.15	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	28
3.16	ILUMINÂNCIA.....	29
3.17	LUMINÂNCIA.....	29
3.18	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR - IRC	30
3.19	TEMPERATURA DE COR.....	30
3.20	COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	31
3.21	LUMINÁRIAS.....	31
3.21.1	Lâmpada LED – (Light Emitting Diode).....	31
3.22	LÂMPADA DE DESCARGA.....	34
3.23	LÂMPADA A VAPOR DE MERCÚRIO	34
3.24	LÂMPADA DE ALTA PRESSÃO A VAPOR DE SÓDIO.....	35

3.25	LÂMPADA DE ALTA PRESSÃO MULTIVAPOR METÁLICO.....	35
3.26	REATORES	36
3.27	RELÉ FOTOELÉTRICO.....	36
3.28	BRAÇO DE SUSTENTAÇÃO DAS LUMINÁRIAS.....	37
3.29	A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA REDUÇÃO DE CUSTOS.....	38
3.30	POLÍTICAS DE INCENTIVO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	39
3.31	AGENTES REGULADORES DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	41
3.32	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL.....	42
3.33	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	43
3.34	ASPECTOS ECONÔMICOS.....	44
3.35	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE.....	45
3.36	TAXA INTERNA DE RETORNO	45
3.37	VALOR PRESENTE LÍQUIDO	46
4.	ESTUDO DE CASO DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM AVENIDAS DA CIDADE DE PALMAS	47
4.1	EDITAL DE CHAMADA PÚBLICA DE PROJETOS PROCEL RELUZ	47
4.2	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	47
4.3	LEVANTAMENTO DE DADOS	53
4.4	MODELOS DE LÂMPADAS UTILIZADAS NO OBJETO DE ESTUDO.....	56
4.4.1	Luminária com lâmpada de descarga de alta pressão a vapor de sódio 250W	56
4.4.2	Luminária com lâmpada de descarga de alta pressão multivapor metálico 400W	57
4.4.3	Luminária com lâmpada LED 150W	58
4.4.4	Luminária com lâmpada LED 240 W	59
4.5	ANÁLISE TÉCNICA DAS LÂMPADAS	60
4.5.1	Fluxo Luminoso	61

4.5.2	Eficiência Luminosa	62
4.5.3	Vida Útil.....	63
4.5.4	Temperatura de Cor.....	64
4.5.5	Corrente de alimentação	65
4.6	ANÁLISE TÉCNICA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	66
4.6.1	Percentual de redução	70
4.7	ANÁLISE DA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	73
4.8	APLICAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	76
4.8.1	Cálculo do Valor Presente Líquido	79
4.8.2	Cálculo da Taxa Interna de Retorno	81
4.8.3	Payback Descontado.....	82
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
5.1	COMPARATIVO DE CONSUMO DAS LUMINÁRIAS EM CADA AVENIDA	86
5.2	COMPARATIVO DO VALOR PAGO NAS FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM CADA AVENIDA.....	89
5.3	RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA	90
6.	CONCLUSÃO	94
	REFERÊNCIAS.....	97

1. INTRODUÇÃO

O entendimento sobre a energia elétrica tem considerável importância por ser uma das principais fontes de energia do mundo, podendo ser convertida em diversas formas como: energia luminosa, sonora, química, mecânica e outras. Além do mais, é relevante observar que a evolução das sociedades acompanhou o processo de avanço da conversão de energia (GOUVEIA, 2018).

Devido a importância dessa fonte de energia, é fundamental que ocorra um consumo consciente, a fim de garantir que as futuras gerações usufruam dos mesmos benefícios. O uso da energia elétrica de maneira eficiente previne, pois, problemas econômicos e sociais. Nesse sentido, o Balanço Energético Nacional Brasileiro de 2020 (BEN 2020) apontou que o consumo final de eletricidade no país em 2019 registrou uma progressão de 1,3% em relação ao ano anterior (EPE, 2020).

O setor de iluminação pública representa uma parcela considerável no consumo final de energia do Brasil. A responsabilidade pela gerência dos recursos e prestação de serviços é competência do poder público municipal ou distrital, conforme art. 30 e 149-A da Constituição Federal de 1988 (ANEEL, 2020).

Segundo a (COPEL, 2020), a iluminação pública é um serviço essencial da administração municipal, pois atua como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar plenamente de espaços públicos no período noturno. O bom funcionamento da iluminação pública serve como ferramenta de segurança, posto que ajuda a prevenir a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca a arquitetura e o patrimônio histórico das cidades e ainda facilita uma melhor visão das vias (COPEL, 2020).

Por sua vez, o aumento no consumo de energia estimula o desenvolvimento de novas tecnologias para solução desse problema. A modernização dos equipamentos na iluminação propiciou a utilização das lâmpadas *LED - Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz), o modelo proporciona, em média, 50% de economia no consumo de energia, mais conforto e melhor percepção visual devido à emissão de luz branca e boa reprodução de cores (O SETOR ELÉTRICO, 2020). Além do benefício econômico, as lâmpadas LED apresentam uma redução dos custos de manutenção em função da vida útil elevada, o que gera

menos interferência nas vias para manutenção, contribuindo para a mobilidade urbana da cidade e para a preservação do meio ambiente (O SETOR ELÉTRICO, 2020).

Diante disso, este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade técnica e econômica da substituição da iluminação pública LED em algumas avenidas na cidade de Palmas, Tocantins, uma vez que este sistema de iluminação é mais eficiente que a iluminação convencional a vapor de sódio (VS) ou multivapor metálico(MVM) empregada atualmente.

A maneira mais utilizada para iluminar grandes ambientes, considerando nesse caso não apenas ruas e estradas, como também, por exemplo, monumentos públicos ou grandes edifícios, era a aplicação de lâmpadas de vapor de descarga em alta pressão (SANTOS, 2020). Por sua vez, as lâmpadas de descarga de alta pressão mais utilizadas são as de vapor de sódio e metálico.

À medida que ocorreram avanços na modernização dos meios de iluminação pública (*IP*), as cidades começaram a apresentar uma redução nas despesas devido a aplicação dessas tecnologias em seus sistemas de iluminação. O uso da eficiência energética na iluminação pública é um importante vetor no atendimento à demanda futura de energia, tanto no Brasil quanto no mundo. Isso contribui para a segurança energética, competitividade econômica e redução de impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa (KRÜGER; RAMOS, 2016).

Assim sendo, o presente trabalho contém informações sobre a evolução da iluminação pública, legislação aplicada, normas técnicas do setor e eficiência energética na iluminação.

2. MOTIVAÇÕES

A Cidade de Palmas possui altos custos com a implantação e manutenção do sistema de iluminação pública, devido a isso se faz necessário buscar alternativas para redução desses custos. A utilização tanto dos recursos financeiros como energéticos de forma eficiente é dever dos municípios.

Diante disso, o presente trabalho busca avaliar a viabilidade técnica-econômica da substituição de lâmpadas de descarga de alta pressão do tipo Vapor de Sódio e Vapor Metálico por lâmpadas *LED* em algumas vias públicas da cidade de Palmas - TO.

Para tanto, este estudo leva em consideração aspectos econômicos: Payback Descontado, Taxa interna de Retorno e Taxa mínima de atratividade. Os cálculos de viabilidade econômica apresentarão o tempo de amortização do investimento, ou seja, o tempo mínimo em que o valor do investimento é pago. O investimento deste estudo de caso consiste na substituição do sistema de iluminação pública com lâmpadas de descarga de alta pressão por um sistema com utilização da tecnologia *LED* em algumas avenidas de Palmas - TO.

O estudo de caso será baseado na realização de uma análise comparativa entre o sistema de iluminação pública convencional versus iluminação *LED*. Com isso, haverá uma análise comparativa entre as características técnicas e econômicas de cada sistema, levando em conta os parâmetros técnicos como o consumo das lâmpadas, índices luminotécnicos, custo de aquisição, tempo de vida útil e custo operacionais.

O problema a ser resolvido busca avaliar a viabilidade da utilização da iluminação *LED* para redução nos gastos operacionais e financeiros do sistema de iluminação pública em Palmas - Tocantins.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O sistema de iluminação pública tem como objetivo promover práticas de atividades noturnas nas cidades, através da iluminação de vias públicas, monumentos, praças e outros. A utilização de equipamentos com tecnologias mais eficientes tem sido aplicada para redução dos custos de energia elétrica, o que ocasiona uma melhor qualidade de uso do recurso.

Pesquisas do setor elétrico estimam que o setor de iluminação pública no Brasil tenha mais de 18 milhões de pontos de luz, com uma penetração do serviço prestado que atende cerca de 95,5% dos domicílios. O parque luminotécnico instalado no Brasil é composto - predominantemente - de lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e vapor metálico, em menor escala, por lâmpadas a vapor de mercúrio. A penetração da tecnologia *LED* é muito baixa, embora diversas cidades tenham projetos pilotos em andamento para implementar a tecnologia (WORLD BANK GROUP, 2016).

As prefeituras de médio e menor porte têm utilizado uma nova modalidade para prestar os serviços de iluminação pública. Essa nova modalidade é a ação de outorgar os serviços de iluminação pública por meio de uma concessão administrativa, ou Parceria Público-Privada (PPP), sob a égide da Lei 11.079/04 (WORLD BANK GROUP, 2016).

A iluminação pública apresenta diversos benefícios para que a sociedade continue evoluindo, o que contribui com a prevenção da criminalidade, melhoria no tráfego de pessoas e veículos para a realização de atividades noturnas de lazer, comércio e outros (ENERGISA, 2020). Dessa forma, é importante que a população questione os municípios sobre a qualidade dos serviços prestados, visto que parte dos recursos financeiros são destinados para o setor de iluminação pública.

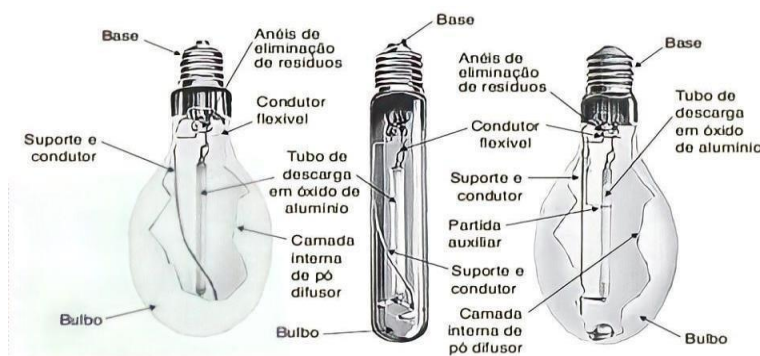
Desde 1º de janeiro de 2015, de acordo com a Resolução 414/2010 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a responsabilidade obrigatória pela manutenção do parque de iluminação pública passou a ser das Prefeituras Municipais, no qual abrange a iluminação de monumentos, praças, vias públicas, parques e outros (ENERGISA, 2020).

O custeio do sistema de iluminação pública de forma a garantir a operação, manutenção, administração e expansão pode ser feito de algumas maneiras como: inclusão no orçamento do Município, cobrança por meio do carnêdo Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU) e o mais utilizado através da Contribuição para Custeio dos Serviços de Iluminação Pública (COSIP) (COPEL, 2020).

A iluminação convencional costuma utilizar as lâmpadas de vapor de alta pressão como as de vapor de sódio e metálico. Essas lâmpadas precisam de reatores para o processo de ignição, e os postes de concreto ou metálicos são os mais utilizados.

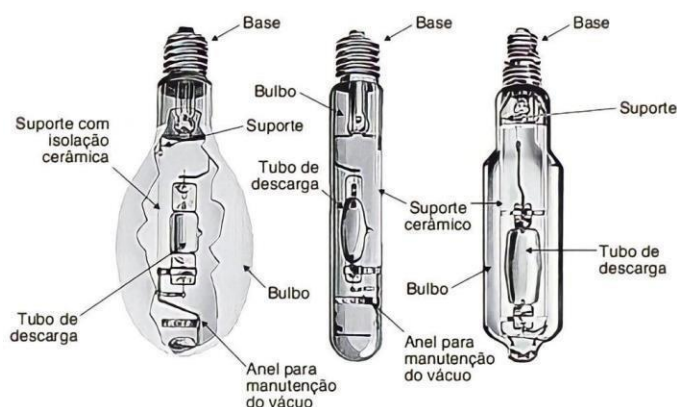
As Figuras 1 e 2 apresentam modelos de lâmpadas a vapor de sódio e metálico comumente utilizadas na iluminação pública convencional.

Figura 1 – Lâmpadas a vapor de sódio.



Fonte: FILHO, 2017.

Figura 2 – Lâmpadas a vapor Metálico.



Fonte: FILHO, 2017.

As lâmpadas LED apresentaram um desempenho mais eficiente no uso da energia elétrica. Com isso, tornou-se mais atrativa para a redução dos custos na administração pública. A Figura 3 apresenta um modelo de luminária LED.

Figura 3 - Modelo de luminária LED.



Fonte: LEDSTAR, 2020.

3.1.1 Iluminação Pública na cidade de Palmas

No funcionamento da Prefeitura de Palmas existe a divisão das atividades de interesse público em Secretarias (Departamentos). O setor da Superintendência de Iluminação Pública é de responsabilidade da Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos (SEISP). O setor de Iluminação Pública tem como responsável um Superintendente. O referido setor possui entre contratados e concursados cerca de 90 servidores desempenhando atividades em áreas administrativas e técnicas correlacionadas a Iluminação Pública de maneira direta ou indireta.

O setor de Iluminação Pública desempenha atividades relacionadas a área de projetos elétricos de Iluminação Pública em avenidas no canteiro central, praças, estacionamentos, parques e campos de futebol de responsabilidade Municipal. Após a realização dos projetos, o referido setor é responsável pela execução das obras de Iluminação Pública. Para tanto, os funcionários do setor atuam através de visitas técnicas para exercer manutenções das instalações elétricas e dos demais equipamentos utilizados na iluminação pública (luminárias,

lâmpadas, relés e reatores), a fim de garantir o bom funcionamento do parque de iluminação da cidade.

Na cidade de Palmas - TO, atualmente, o sistema de iluminação é composto por lâmpadas de alta pressão a vapor de sódio e vapor metálico, instaladas em sua maioria nos postes de concreto duplo T (DT) da concessionária de energia local, e o seu acionamento é comandado através de relés fotoelétricos. Na cidade de Palmas, foi realizado um dos primeiros testes com o uso da tecnologia LED empregada na iluminação pública. Nesse sentido, foram instaladas na avenida Leste – Oeste (LO-19) 44 luminárias LED 210 W entre os trechos das avenidas NS-04 e NS-10. A tabela 1 apresenta algumas informações da luminária empregada nesse trecho.

Tabela 1 – Dados Elétricos LED BBE LU-6.

Tabela 1 - Dados Elétricos da BBE LU6				
MODELO	N° DE LED's	POTÊNCIA TOTAL (W)	CORRENTE TOTAL(A)	
			220 V	230 V
LU6	168	210	0.937	0.9

Fonte: SIMÃO; GRIGOLETTI, 2015.

A tabela acima apresenta alguns dados da luminária instalada na avenida LO-19. Além disso, ela demonstra através de números a eficiência desse tipo de tecnologia quando comparada às lâmpadas de alta pressão vapor de sódio ou multivapores metálicos. O LED necessita de um baixo valor de corrente para sua operação, logo, apresenta um consumo menor de energia elétrica.

Na busca por um sistema de iluminação mais eficiente, o setor de iluminação pública de Palmas tem investido na utilização de equipamentos mais modernos e eficientes. O investimento em novas tecnologias tem sido uma prioridade para redução dos custos e expansão do parque de iluminação. A Figura 4 apresenta um dos serviços prestados pelo setor de iluminação pública no município de Palmas.

Figura 4 - Serviço de manutenção da iluminação pública.



Fonte: SE ISP, 2020.

3.2 PREFEITURAS MUNICIPAIS

A prestação de serviços de Iluminação pública (IP) é de competência dos municípios, conforme se depreende do art. 30, combinado com o art. 149 -A da Constituição Federal de 1988 (ENERGISA, 2020). Com isso, a Prefeitura é a responsável pelos seguintes itens da Iluminação Pública:

- ▮ Manutenção e operação das instalações de iluminação pública de acervo. Nesse caso, a tarifa aplicada é a do tipo B4a, conforme resolução 414, na qual não está incluso o serviço de manutenção, sendo a responsabilidade técnica e financeira atribuída à Prefeitura;
- ▮ Elaboração do projeto para execução dos serviços de iluminação pública;
- ▮ Atribuição de anuência aos projetos elaborados por empresas contratadas para serem analisadas pela Energisa;
- ▮ Produção de obras de iluminação pública, quer sejam de construção, expansão e/ou manutenção são de responsabilidade financeira da Prefeitura ou de quem tenha recebido desta a delegação para prestar tais serviços, conforme prescrições desta Norma Técnica e Resolução Normativa ANEEL Nº 414/2010;

- Instalação das caixas de medição e dispositivos de proteção para as instalações de iluminação pública;
- Cumprimento do estabelecido no Acordo Operativo.

3.3 FATURAMENTO E MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A ANEEL, através da resolução homologatória nº 2590/2019, determinou os tempos a serem considerados para o consumo diário para fins de faturamento da energia elétrica destinada a iluminação pública e a iluminação de vias internas de condomínio. O tempo diário considerado pela concessionária para o faturamento da energia gasta com iluminação pública é de 11 horas e 28 minutos (ANEEL, 2019).

A forma de medição e o faturamento do consumo de energia consumido nas unidades consumidoras de iluminação pública é feito com base em um estudo realizado pela ANEEL, que determina uma estimativa média de uso diário da energia elétrica e, após a ciência do tempo diário de utilização, a concessionária de energia realiza os cálculos de faturamento da energia consumida.

Segundo a NDU 035, cada município terá um tempo de faturamento para iluminação pública calculado pela ANEEL através do software Hélios, conforme resolução homologatória 2.590 de 13 de agosto de 2019 (ENERGISA, 2019). A relação das cargas relativas à iluminação pública deve ser separada das demais cargas com vistas a possibilitar a aplicação tarifária correspondente, mediante a instalação de medição exclusiva ou pela estimativa do consumo, conforme Resolução Normativa ANEEL nº 768/2017 (ENERGISA, 2019).

Segundo o art. 218 da resolução normativa nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as concessionárias de energia foram determinadas a transferir os ativos de iluminação pública para as prefeituras (luminárias, lâmpadas, relés e reatores) por meio da CIP (Contribuição de Iluminação Pública) (ANEEL, 2018). Dessa forma, as prefeituras recebem as contribuições para a realização de manutenções, expansão, operação e administração da iluminação pública na cidade de Palmas, Tocantins.

No Brasil, a determinação da tarifa aplicável ao fornecimento de energia elétrica cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador

federal. A ANEEL dividiu a tarifa de energia por grupo de consumidores, em função da tensão de fornecimento. A iluminação pública está no subgrupo B4. B4a, sendo a tarifa aplicável quando os ativos de IP são de propriedade do município (WORLD BANK GROUP, 2016).

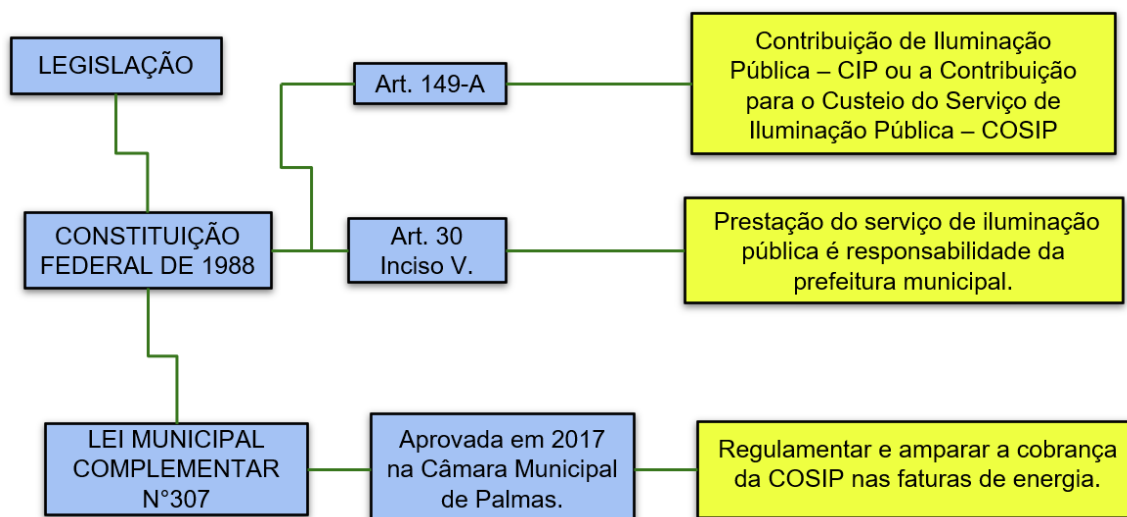
3.4 LEVANTAMENTO DE LUMINÁRIAS PÚBLICAS EM PALMAS

Atualmente, o município de Palmas - TO conta com 40.000 (Quarenta Mil) luminárias instaladas em pleno funcionamento na Iluminação Pública. As luminárias instaladas variam em diversos tipos: lâmpadas de descarga em alta pressão Multivapor metálico (MVM), vapor de sódio (VS), e ainda há trechos da capital que contam com a iluminação em tecnologia LED.

3.5 LEGISLAÇÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Constituição Federal de 1988 determinou que a Contribuição de Iluminação Pública (CIP) ou a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP) está estabelecida no art. 149-A da Constituição Federal (ANEEL, 2018). Ainda segundo a Constituição, a forma de cobrança deve ser estabelecida nas leis municipais. É bastante usual que a cobrança da CIP ou da COSIP seja realizada na fatura de energia elétrica (ANEEL, 2018).

A Constituição Federal ainda determina que seja aplicada a menor tarifa ao consumo de energia para a iluminação pública (OSB, 2019). A figura 5 apresenta um fluxograma da legislação vigente do setor de iluminação pública.

Figura 5 - Legislação da Iluminação Pública.

Fonte: elaboração dos autores.

3.6 LEI MUNICIPAL COMPLEMENTAR PARA CUSTEIO DOS GASTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM PALMAS

A Lei municipal responsável por regulamentar e amparar a cobrança da COSIP nas faturas de energia da concessionária local é a Lei complementar Nº 370 (LEGISWEB, 2017). A Lei apresenta todas as informações a respeito da Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública - COSIP, prevista no art.149-A da Constituição Federal.

Os consumidores do tipo residenciais e não residenciais que apresentarem consumo mensal inferior a 50 kWh são isentos do pagamento da COSIP, mediante o art. 121º da Lei Complementar Nº285 (LEGISWEB, 2013).

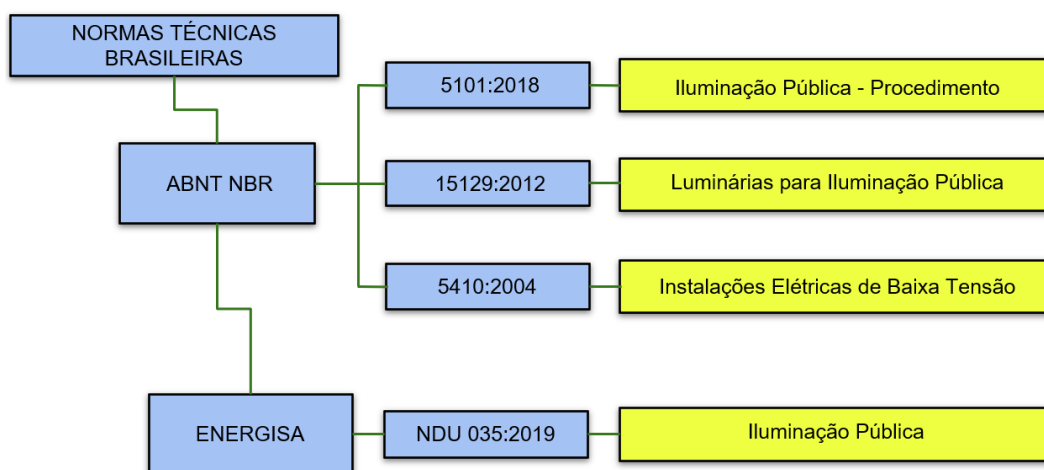
3.7 NORMAS TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS

A criação de normas técnicas tem o objetivo de padronizar processos e meios de produção de qualquer atividade, no intuito de facilitar a realização de qualquer atividade específica. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fundada em 1940, é o órgão responsável pela normalização técnica no país. A ABNT é uma entidade privada, sem fins lucrativos, reconhecida como Fórum Nacional de Normalização (RODRIGUES, 2020).

A elaboração de projetos elétricos de iluminação pública deve atender aos requisitos específicos do usuário, promovendo benefícios econômicos e sociais para a população (ABNT, 2012). A aplicação das normas no processo de projetos permitirá a produção de uma iluminação adequada e uma utilização racional da energia, através de métodos e equipamentos mais eficientes (ABNT, 2012).

As concessionárias possuem suas respectivas normas para elaboração de projetos de iluminação pública, e essas normas são elaboradas com base e respeitando de forma hierárquica as normas técnicas da ABNT. As normas são a ABNT NBR 5101/2021 e a ABNT NBR 15129/2012. A figura 6 apresenta um fluxograma das normas técnicas utilizadas na elaboração de projetos elétricos de iluminação pública.

Figura 6 - Normas Técnicas para elaboração de projetos.



Fonte: elaboração dos autores.

3.8 NORMAS TÉCNICAS SOBRE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Os requisitos para iluminação de vias públicas, propiciando segurança ao tráfego de pedestres e de veículos, são estabelecidos na ABNT NBR 5101:2018 – Iluminação Pública. Essa norma foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) (ABNT, 2020).

A norma apresenta a base para elaboração de projetos de iluminação pública. A presença de termos, definições, classificações das vias, classificação do

volume de tráfego em vias públicas, controle de distribuição de intensidade luminosa e entre outros assuntos abordados garantem a realização de projetos cada vez mais executáveis e com menores chances de erros.

3.9 NORMA TÉCNICA SOBRE ILUMINAÇÃO EM TÚNEIS

A ABNT NBR 5181:2013 - Sistemas de iluminação em túneis - Requisitos, elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), especifica os requisitos mínimos para os sistemas de iluminação em túneis viários, inclusive a iluminação de emergência relacionada à prevenção e proteção de incidentes nos túneis urbanos, subaquáticos, rodoviários e ferroviários com usuários, cargas transportadas e patrimônio público ou privado (ABNT, 2020).

3.10 NORMA TÉCNICA SOBRE LUMINÁRIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A ABNT NBR 15129:2012 – Luminárias para Iluminação Pública – Requisitos Particulares, elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), estabelece os requisitos para: a) luminárias para vias públicas, iluminação pública e outros tipos de aplicações de iluminação externa, com equipamentos auxiliares integrados ou não integrados para iluminação pública; b) luminárias para túneis; c) luminárias integradas com coluna, com uma altura mínima em relação ao solo de 2,5 m; e uso de outras fontes elétricas de iluminação com tensões de alimentação não superiores a 1 000 V (ABNT, 2020).

As luminárias são componentes fundamentais no sistema de iluminação. Há diversos tipos de luminárias e várias aplicações possíveis. Os benefícios apresentados são desde a proteção mecânica a um melhor aproveitamento da intensidade luminosa das lâmpadas. Assim, a melhor distribuição do fluxo luminoso garante que a iluminação seja mais otimizada.

3.11 NORMA TÉCNICA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA - ENERGISA

A Norma de Distribuição Unificada (NDU) estabelece os modelos técnicos e operacionais da concessionária do grupo Energisa, NDU 035 - Iluminação Pública

Estabelecer. Isso diz respeito aos procedimentos técnicos e critérios básicos para elaboração de projetos, pela Energisa ou por terceiros, instalação e manutenção de iluminação pública conectadas à rede de distribuição secundária da Energisa (ENERGISA, 2019).

A Norma apresenta ao engenheiro eletricista um fundamento sobre termos técnicos, processo necessário para conexão na rede de distribuição, regras de faturamento da energia elétrica, escolha dos materiais e equipamentos, distância mínima e os tipos de estruturas para cada aplicação. Isso é um breve resumo do que a NDU 035 aborda.

3.12 NORMA TÉCNICA SOBRE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

A ABNT NBR 5410:2004 – Iluminação Elétrica de Baixa Tensão elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003) estabelece as condições nas quais se devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens (ABNT, 2008). As instalações elétricas cobertas por esta Norma estão sujeitas, também, naquilo que for pertinente, às normas para fornecimento de energia estabelecidas pelas autoridades reguladoras e pelas empresas distribuidoras de eletricidade (ABNT, 2008).

A aplicação dessa norma permite que o projetista tenha ciência dos conhecimentos necessários para fazer o dimensionamento dos condutores, divisão dos circuitos, forma de alimentação dos circuitos, dimensionamento dos equipamentos de proteção e controle, entre outros. As normas são utilizadas para garantir um padrão de qualidade e segurança nos serviços prestados. Para que o engenheiro eletricista realize projetos de iluminação pública, é imprescindível o conhecimento das Normas específicas.

3.13 CRITÉRIOS LUMINOTÉCNICOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.

Para elaborar projetos de iluminação, é necessário conhecer as normas vigentes e os conceitos que permeiam o meio. Nesta seção, são apresentados todos os aspectos relacionados a luminotécnica como fluxo luminoso, eficiência luminosa, Índice de Reprodução de Cores (IRC) e temperatura de cor, de acordo com a NBR 5101:2012 de iluminação pública (OLIVEIRA, 2018).

3.14 FLUXO LUMINOSO

Fluxo luminoso é a quantidade de luz ou radiação total emitida por uma lâmpada em todas as direções. Sua unidade é o lúmen (lm) é o símbolo a letra grega Φ (OLIVEIRA, 2018).

3.15 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

É a relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência (W) consumida. É representada pelo símbolo grego Eta (η) e a unidade é lúmen por watt (lm/W). A Equação 1 mostra como se calcula a eficiência energética de uma lâmpada.

$$\eta = \frac{\text{lúmen}}{\text{W}}$$

Equação 1 - Cálculo da Eficiência Energética de uma Lâmpada.

É uma grandeza extremamente simples. Permite a seleção de fontes luminosas eficientes e adequadas à tarefa visual. Quanto maior o fluxo luminoso de uma lâmpada em relação a potência, melhor será a sua eficiência (OLIVEIRA, 2018).

É importante analisar esse critério luminotécnico, porque existem casos em que 2 luminárias de LED com mesma potência, porém de marcas diferentes,

apresentem eficiências energéticas completamente diferentes. Esse fator é fundamental na escolha de uma luminária eficiente.

3.16 ILUMINÂNCIA

É o fluxo luminoso que incide em uma área, ou seja, a quantidade de luz que chega a um determinado ponto. É representada pelo símbolo (E) e sua unidade é o lux (lx). Logo, a iluminância é a quantidade de luz necessária para realização de determinadas tarefas.

A NBR 5413 de Iluminação de Interiores determina a quantidade de iluminância mínima, média e máxima necessárias para realização de certas atividades, espaços e cômodos (OLIVEIRA, 2018).

A Equação 2 representa como é feito o cálculo da Iluminância.

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Equação 2 - Cálculo da Iluminância.

Onde:

Φ é o fluxo luminoso (lm);

A é a área (m²);

E é a iluminância (lx).

Logo, um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen (OLIVEIRA, 2018).

3.17 LUMINÂNCIA

A luminância é um aspecto que descreve a medição da quantidade de emissão de luz que passa através ou é refletida a partir de uma superfície em particular em um certo ângulo. O seu símbolo é L e o cálculo é definido pelo número de candelas por metro quadrado (cd/m²), representado na Equação 3.

$$L = \frac{cd}{A}$$

Equação 3 - Cálculo da Luminância.

Onde:

L é a Luminância (cd/m²);

cd é a quantidade de candela, característica da fonte luminosa;

A é a área da superfície (m²).

3.18 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR - IRC

É a relação entre a cor real de um objeto ou superfície e a aparência percebida diante de uma fonte luminosa. Esse índice varia de 0 a 100%, sendo que quanto mais próximo de 100% maior a fidelidade e precisão das cores dos objetos (OLIVEIRA, 2018). Normalmente, os LEDs utilizados em luminárias para iluminação pública apresentam $IRC \geq 70$.

É representado pelo símbolo IRC e a unidade é a porcentagem (%). As lâmpadas halógenas, incandescentes e LED apresentam IRC de 80% a 100%. Logo, essas são as que reproduzem com mais fidelidade as cores reais dos objetos. Já as lâmpadas a vapor de sódio e mercúrio, com IRC de menos de 40%, apresentam menos fidelidade de cor (OLIVEIRA, 2018).

3.19 TEMPERATURA DE COR

É a aparência cromática da luz emitida por determinada fonte luminosa. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a tonalidade da luz emitida. É representada pelo símbolo K e a unidade é Kelvin.

As cores quentes vão até 3.000 K, as cores neutras entre 3.000 K e 4.000 K e as cores frias acima deste último valor. As cores quentes são empregadas quando se deseja um ambiente mais íntimo, sociável, pessoal e exclusivo, como em residências, bares e restaurantes. As cores frias são usadas em atividades que exigem maior atenção e quando se deseja um ambiente mais limpo, as suas

aplicações variam em locais como escritórios, recintos de fábricas, hospitais, dentre outras (OLIVEIRA, 2018).

3.20 COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O sistema de iluminação pública atual é constituído de luminárias, lâmpadas, relés fotocélulas, reatores, braço de sustentação das luminárias, suportes e condutores. A seguir, será detalhada a função e objetivo de cada equipamento (OLIVEIRA, 2018).

3.21 LUMINÁRIAS

As luminárias têm a função de abrigar a lâmpada para protegê-la das intempéries climáticas e vandalismo. Além disso, elas também refletem a luz da lâmpada no sentido do solo, de modo a proporcionar maior luminosidade no ambiente em que estiver instalada (OLIVEIRA, 2018). Existem vários modelos e fatores que devem ser considerados na especificação e compra de luminárias para iluminação pública. Dentre eles, os mais importantes são: corpo refletor, porta-lâmpada, fechamento, alojamento para equipamentos auxiliares e tomada paralelé (OLIVEIRA, 2018).

3.21.1 Lâmpada LED – (Light Emitting Diode)

Uma das particularidades da tecnologia LED é a emissão de luz visível ou invisível (infravermelha) quando energizado. Em qualquer junção p-n polarizada diretamente, existe, dentro da estrutura e principalmente próximo da junção, uma recombinação de lacunas e elétrons (BOYLESTAD, 2013). A recombinação exige que a energia do elétron livre não ligado seja transferida para outro estado. Todas as junções p-n semicondutoras, uma parte dessa energia, será liberada na forma de calor e, outra parte, na forma de fótons (BOYLESTAD, 2013).

O LED pode ser classificado em alguns tipos: LED de alta potência (High Power ou HP-LED) pode funcionar com correntes até 1,5 A - 4,5 W; LED de média potência (Mid Power ou MP-LED) pode funcionar com correntes até 200mA - 1,2 W;

e LED de baixa potência (Low Power ou LP-LED) pode funcionar com correntes até 130mA – 0,4 W (ABILUX, 2017).

O LED é uma tecnologia que vem crescendo em larga escala nos últimos anos. Ela é considerada promissora na iluminação pública pela sua baixa potência, diversidade de utilização e combinação para formar painéis. Devido às suas dimensões reduzidas, possui vida útil maior que as lâmpadas convencionais e tem uma excelente saturação de cor, pois emite um comprimento de onda, gerando a luz em uma frequência determinada e específica (OLIVEIRA, 2018).

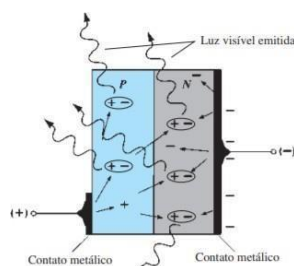
A Eficiência Luminosa das lâmpadas de LED é maior se comparada com a fluorescente. O fluxo luminoso emitido por um LED é proporcional à corrente que o percorre, ou seja, a intensidade luminosa da lâmpada é diretamente proporcional à sua corrente de polarização direta. Logo o controle da intensidade luminosa do LED pode ser feito através do controle da corrente.

Essa lâmpada é composta por um bulbo de LED disposto em um dissipador de calor conhecido como Thermal Heatsink, pois a quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura. Por isso, ocorre a necessidade desse dispositivo e de um *driver*. Os dispositivos de LED podem ser classificados em três categorias: indicativos, de alto brilho e de potência (RODRIGUES; VAZQUEZ; MORAIS, 2019).

O *driver* presente nas luminárias de LED tem a função de converter a energia elétrica da rede em forma alternada para tensão contínua, e ainda auxiliar no processo de controle da tensão, com o intuito de evitar que aconteçam oscilações e queimem o LED. A vida útil do *Driver*, assim como a do LED, depende da temperatura de trabalho do dispositivo. Quanto maior a temperatura, menor será a vida útil desse dispositivo.

A Figura 7 mostra a construção básica de um diodo emissor de luz e a Figura 8 representa o símbolo gráfico.

Figura 7 - Construção Básica de um Diodo Emissor de Luz.



Fonte: Boylestad, 2013.

Figura 8 - Símbolo gráfico de um Diodo Emissor de Luz.



Fonte: Boylestad, 2013.

A necessidade por recursos mais sustentáveis é uma demanda da contemporaneidade. Logo, é importante que tanto as empresas quanto a iniciativa pública promovam a sustentabilidade. Uma luminária com tecnologia dos diodos emissores de luz é capaz de evitar a emissão de 0,4 toneladas de dióxido de carbono na atmosfera (SANTOS, 2020). Ainda sobre esse tema, sabe-se que a iluminação pública é responsável por 25% das emissões de CO₂ e que, por isso, a opção dos LED se mostra não apenas a mais barata, mas a que menos agride o meio-ambiente (SANTOS, 2020).

As vantagens do LED frente aos demais tipos de iluminação são diversas. Por exemplo, na iluminação pública gera-se mais conforto visual, contribuindo para que os indivíduos possam ter um desempenho visual melhor do que acontece no ambiente. Outro ponto de destaque é que com esse tipo de tecnologia pode-se obter altos índices de reprodução de cor (IRC) (SANTOS, 2020).

O uso da tecnologia LED aplicada à iluminação pública deve atender as normas brasileiras vigentes. A principal norma brasileira que trata a respeito da iluminação pública é a ABNT 5101:2018. A norma não limita a sua aplicação a uma determinada tecnologia de fonte de luz, introduzindo um método de verificação das iluminâncias para vias públicas e a classificação das luminárias quanto à sua distribuição luminosa (SIMÃO; GRIGOLETTI, 2015).

3.22 LÂMPADAS DE DESCARGA

As lâmpadas de descarga funcionam pela passagem de uma descarga elétrica num meio de gases metálicos — mercúrio, xenônio, sódio etc. (CREDER, 2016).

Existem vários tipos e estes são classificados em função disso. A vida útil das lâmpadas de descarga varia muito de acordo com o tipo, desde 7.500 horas para lâmpadas fluorescentes até 24.000 horas para lâmpadas a vapor de sódio. Seu custo inicial é normalmente elevado, porém apresenta um custo de manutenção relativamente reduzido (FILHO, 2017).

Os reatores, ignitores e starters são dispositivos utilizados para proporcionar a partida das lâmpadas de descarga e controlar o fluxo de corrente no seu circuito (FILHO, 2017).

3.23 LÂMPADA A VAPOR DE MERCÚRIO

As lâmpadas são constituídas de um pequeno tubo de quartzo, que são instalados nas extremidades, em geral, dois eletrodos principais e um eletrodo auxiliar, ligados em série com uma resistência de valor elevado. Internamente, no tubo, são colocadas algumas gotas de mercúrio, junto com o gás inerte, como o argônio, cujo efeito é facilitar a formação da descarga inicial (FILHO, 2017). De outra forma, o mercúrio é vaporizado durante o período de pré aquecimento da lâmpada. O tubo de quartzo é colocado dentro de um invólucro de vidro contendo certa quantidade de azoto cuja função é a distribuição uniforme da temperatura (FILHO, 2017).

Uma característica presente nessas lâmpadas é que quando se desliga uma lâmpada a vapor de mercúrio é necessário um tempo de 5 a 10 minutos para que se possa reacendê-la, tempo suficiente para possibilitar as condições mínimas de reionização do mercúrio (FILHO, 2017). Essas lâmpadas são sensíveis às quedas de tensão. Por exemplo, quando a queda de tensão no circuito de alimentação é de 1 %, o fluxo luminoso das lâmpadas VM (Vapor de Mercúrio) cai para 3 % aproximadamente. Já quedas de tensão de 5 % comprometem a ignição das lâmpadas (FILHO, 2017).

3.24 LÂMPADA DE ALTA PRESSÃO A VAPOR DE SÓDIO

Na iluminação pública, são utilizadas lâmpadas de vapor de sódio (VS) a alta pressão. A constituição é de um tubo de descarga contendo um excesso de sódio que se vaporiza durante o período de acendimento em condições de saturação. É utilizado um gás inerte, o xenônio, em alta pressão, para se obter uma baixa tensão de ignição (FILHO, 2017).

A sua aplicação abrange tanto o uso em áreas internas quanto externas. Devido às radiações de banda quente, estas lâmpadas apresentam o aspecto de luz branco-dourada e são utilizadas na iluminação de ruas, áreas externas, indústrias cobertas etc. (CREDER, 2016).

3.25 LÂMPADA DE ALTA PRESSÃO MULTIVAPOR METÁLICO

As lâmpadas multivapores metálicos (MVM) de alta pressão são adequadas para a aplicação em áreas internas e externas. Para tanto, elas operam segundo os mesmos princípios de todas as lâmpadas de descarga, sendo a radiação proporcionada por iodeto de índio, tálio e sódio em adição ao mercúrio (CREDER, 2016).

A proporção dos compostos no tubo de descarga resulta em reprodução de cores de adequada qualidade. Assim, essas lâmpadas possuem alta eficiência, alto índice de reprodução de cor, baixa depreciação, vida longa e alta confiabilidade (CREDER, 2016).

3.26 REATORES

Os reatores são equipamentos auxiliares utilizados em conjunto com lâmpadas de descarga. Servem para dar partida estabilizada e firme à lâmpada, sem cintilação em qualquer situação. Sem reator, a lâmpada ligada diretamente à rede iria exigir mais e mais corrente até se queimar (OLIVEIRA, 2018).

Para a iluminação pública, no mercado, têm-se as opções de reatores embutidos na luminária e externos encaixados através de uma alça ao poste. Os dois tipos de reatores que podem ser usados na iluminação pública são os eletromagnéticos e os eletrônicos. O eletromagnético é mais comumente encontrado nas instalações atuais, devido à sua maior robustez e menor custo. Contudo, o reator eletrônico também tem suas vantagens. Por possuir uma tecnologia inovadora, não necessita de reignição constante, como ocorre nos reatores eletromagnéticos convencionais. Isso faz com que a lâmpada aumente em até 30% sua vida útil (OLIVEIRA, 2018). A Figura 9 representa um reator.

Figura 9 - Reator.



Fonte: Philips, 2020.

3.27 RELÉ FOTOELÉTRICO

O relé fotoelétrico é um equipamento muito utilizado em iluminação pública, automação residencial e industrial. Ele faz com que qualquer equipamento entre em funcionamento quando a iluminância do ambiente estiver abaixo de um valor desejado, fazendo o desligamento ao amanhecer ou quando a iluminância

estiver acima de um valor previamente especificado. No caso da Iluminação Pública (IP), as lâmpadas são acesas quando a iluminância fica abaixo de 10 lux e desligadas ao amanhecer (OLIVEIRA, 2018).

O equipamento possui em seu interior um sensor LDR - Light Dependent Resistor (Resistor Dependente de Luz), que é capaz de variar uma pequena resistência de acordo com a quantidade de luz, esta é incidida sobre ele. Dessa maneira, de acordo com essa resistência, é possível fazer circular uma corrente por uma bobina, a qual fará com que um contato possa abrir ou fechar, comutando, assim, o circuito que estará ligado a este relé (OLIVEIRA, 2018). A figura 10 representa o modelo de um relé fotoelétrico.

Figura 10 - Relé Fotoelétrico.



Fonte: Exatron, 2020.

3.28 BRAÇO DE SUSTENTAÇÃO DAS LUMINÁRIAS

A utilização dos braços é para dar suporte à luminária e também para proporcionar uma melhor distribuição do fluxo luminoso da lâmpada. Sem a sua utilização, grande parte da luz emitida refletiria na estrutura de concreto dos postes e seria desperdiçada. Para saber o comprimento ideal e a inclinação dos braços, devem-se seguir as normas da NBR 5101:2012, que foram feitas para otimização da distribuição da luz (OLIVEIRA, 2018).

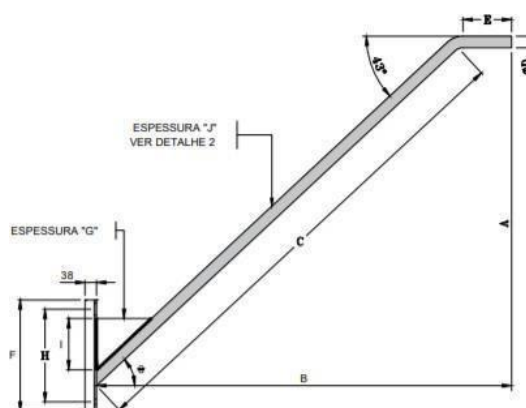
A altura em que o braço de sustentação será instalado influenciará diretamente na uniformidade da iluminação do ambiente. Além de escolher o comprimento ideal e a inclinação desse braço, é importante instalar esse braço na

altura correta, de acordo com a potência da luminária que será instalada. No *datasheet* de cada modelo de luminária, as fabricantes recomendam a altura ideal para a instalação.

Ao instalarmos braços com uma altura muito elevada para uma luminária com potência pequena, é possível que determinados pontos apresentem um nível de iluminação satisfatório e nos demais pontos de um ambiente esses níveis fiquem abaixo do que é necessário. A situação contrária pode fazer com que a iluminação cause ofuscamento no ambiente, ou seja, quando temos a situação em que o braço de sustentação apresenta uma altura reduzida e uma potência de luminária muito elevada.

Por sua vez, a negligência desses fatores pode levar a não uniformidade da iluminação, o que pode prejudicar a qualidade do nível de iluminação. A figura 11 apresenta a vista lateral de um braço de sustentação.

Figura 11 - Braço de sustentação da Luminária.



Fonte: Energisa, 2020.

3.29 A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA REDUÇÃO DE CUSTOS

O crescimento populacional das sociedades ao longo dos anos gerou uma necessidade por recursos cada vez maior, a fim de promover a evolução e a subsistência da população. A energia elétrica é um dos recursos mais utilizados no mundo e, por isso, o seu uso de maneira eficiente se faz necessário.

A eficiência energética é um assunto preponderante na atualidade, pois disponibiliza utilização racional de recursos, visando à sustentabilidade. A eficiência

energética fundamenta-se em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia, como, por exemplo, a modernização de equipamentos e processos no sentido de reduzir seu consumo, o que também contribui para a economia (RODRIGUES; VAZQUEZ; MORAIS, 2019).

O consumo consciente deve ser aplicado em qualquer recurso energético. Em 2001, no Brasil, ocorreu a crise energética. Com isso, houve a necessidade de redução de consumo de energia elétrica para evitar o racionamento. Isso, por sua vez, impulsionou diversas ações e projetos vislumbrando a melhoria da eficiência no consumo de energia (RODRIGUES; VAZQUEZ; MORAIS, 2019).

Um problema que atualmente tem causado preocupação nas sociedades é com relação ao consumo de energia. Diversos países estão enfrentando dificuldades para atender à demanda crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, manter o fornecimento de recursos energéticos para suprir seu crescimento econômico (ALTOÉ et al., 2017). É necessário, pois, que ocorra uma preocupação com a manutenção dos recursos para a atual sociedade, visando também para as futuras gerações, porque a grande maioria desses recursos são finitos no meio ambiente.

De acordo com estudos realizados (ALTOÉ et al., 2017), há muito espaço para ampliar a gestão governamental na área de conservação de energia no Brasil, principalmente quanto à criação de instrumentos legais de incentivo à geração descentralizada de energia por fontes renováveis e de incentivo à eficiência energética.

3.30 POLÍTICAS DE INCENTIVO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Com o objetivo de combater o desperdício e promover o uso eficiente da energia elétrica, foi instituído, em 30 de dezembro de 1985, pela Portaria Interministerial nº 1.877, a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobras (ELETROBRAS, 2020).

Após a criação desse programa, iniciou-se uma série de ações que contribuíram para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, para postergar investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável (ELETROBRAS, 2020).

O Procel tem papel importante na promoção de diversas ações relacionadas à eficiência energética em diversos segmentos da economia, o que ajuda o país a economizar energia elétrica e contribui para geração de benefícios para toda a sociedade.

Com a promulgação da Lei nº 13.280, um novo ciclo se iniciou, pois o Procel passou a contar com uma fonte de recursos. Nessa perspectiva, está prevista na referida Lei a definição de planos anuais de aplicação desses recursos, planos esses que são elaborados e aprovados após processo de consulta pública, por representantes do governo e agentes do setor energético nacional, o que dá transparência e credibilidade aos investimentos realizados (ELETROBRAS, 2020).

No ano de 2001, o Brasil alcançou um importante instrumento para a indução da eficiência energética: a Lei nº 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética. Concebida sob o entendimento de que a conservação de energia deve ser a finalidade da Política Energética Nacional, a Lei estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional (PROCEL, 2015).

A Lei de Eficiência Energética é o instrumento que determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia (elétrica, derivados de petróleo ou outros insumos energéticos) fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas, com base em indicadores técnicos pertinentes e de forma compulsória (PROCEL, 2015).

No processo de definição dos parâmetros necessários para a regulamentação dos equipamentos, há uma fundamentação em metodologias e regulamentos específicos, estudos de impacto e priorização, critérios de avaliação de conformidade, além de contar com laboratórios credenciados para ensaios e

testes do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), do Selo Procel Eletrobras e do Selo Conpet. Tanto a Lei quanto o Decreto estabelece a obrigatoriedade de realização de audiências públicas para aprovação das regulamentações específicas (PROCEL, 2015).

O Governo brasileiro criou o Programa de Eficiência Energética (PEE), este programa é uma obrigação de investimento que passou a constar com contratos de concessão das distribuidoras de energia elétrica a partir do ano de 2000 e que prevê que as concessionárias devam aplicar no mínimo 0,5% de sua Receita Operacional Líquida em atividades voltadas para o combate ao desperdício de energia elétrica. De acordo com a regulamentação do PEE, cabe às concessionárias de distribuição selecionar projetos de eficiência energética dentro dos parâmetros da lei aplicável e apresentá-los à ANEEL (WORLD BANK GROUP, 2016).

3.31 AGENTES REGULADORES DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Para que ocorra o estímulo do uso de energia de forma mais sustentável, tanto da parte privada quanto pública, além da criação da Lei de Eficiência Energética, foi necessária a criação de agentes que incentivassem a utilização de produtos eficientes, que compartilham metodologias de ensaio e rede laboratorial para a certificação de equipamentos destinados ao consumidor final (MME, 2020).

A aplicação da Lei n.º 10.295/2001, por meio do Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), e sob a coordenação do MME, articula-se intrinsecamente à Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) e ao Selo Procel. Trata-se de três mecanismos complementares de estímulo à utilização de produtos eficientes (MME, 2020). O Ministério de Minas e Energia (MME), juntamente com a Eletrobras, têm sido os agentes reguladores do setor de eficiência energética, atuando no estímulo e oferecendo informação ao consumidor final.

3.32 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL

Desde 1985, a Eletrobras tem desempenhado um papel importante no âmbito da eficiência energética no Brasil. Para tanto, suas ações contribuem com o desenvolvimento e a implantação de soluções que influenciam positivamente a vida diária de milhões de cidadãos, aprimorando o bem-estar e assegurando energia necessária para movimentar as atividades econômicas, a produção e o consumo (MME, 2020). Ano a ano é divulgado um relatório anual que contempla as atividades desenvolvidas pelo Procel. Nesse documento, são apresentados resultados gerais, assim como detalhes referentes aos projetos conduzidos pelo programa (PROCEL, 2020).

Os projetos fomentados pelo Reluz se baseiam no conceito de maximizar a eficiência energética, atribuindo níveis de iluminância compatíveis com os ambientes e de acordo com os índices estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras de IP. Além disso, as iniciativas englobam a modernização dos sistemas de IP em todos os seus aspectos técnicos e nos equipamentos que os compõem (ELETROBRAS, 2020).

Desde 2016, com o advento da Lei n.º 13.280, o programa visa a promoção da iluminação pública a LED, tecnologia mais eficiente e durável que outras utilizadas em cidades brasileiras (ELETROBRAS, 2020).

A publicação do relatório anual de 2020 destaca os 21,6 bilhões de kWh de energia elétrica economizada em 2019 com apoio do programa, além dos benefícios diretos, como, por exemplo, a preservação da emissão de 1,6 milhão de tCO₂ equivalentes na atmosfera, o que corresponde às emissões de 557 mil veículos durante um ano (PROCEL, 2020).

Os resultados acumulados do Procel entre 1986 e 2019 revelam que, nesse período, a economia de energia total decorrente das ações do programa foi da ordem de 173,2 bilhões de kWh (MME, 2020). Alguns dos setores abrangidos são os de iluminação pública, equipamentos elétricos no geral e outros. O Programa mostrou uma excelente saída para os problemas relacionados ao crescimento da demanda de energia no Brasil.

Nessa perspectiva, os investimentos em políticas públicas com foco na eficiência apresentaram redução com gastos energéticos, além de promoverem melhor qualidade de vida para população com incentivo ao cuidado do meio ambiente.

3.33 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O consumo de energia na iluminação pública tem aumentado a cada ano. À medida que o espaço urbano cresce, a necessidade de oferta dos serviços públicos acompanha a mesma tendência. Portanto, é relevante buscar maneiras de ofertar cada vez mais energia elétrica à população e garantir um menor consumo possível. Assim, a troca de equipamentos ineficientes por produtos cada vez mais eficientes é uma necessidade na iluminação pública.

O Governo Brasileiro criou o programa Procel Reluz para atuar na área de eficiência energética na iluminação pública em específico. O Procel promove a implantação de projetos de iluminação pública e sinalização semafórica, a qual prevê a substituição de lâmpadas, luminárias e outros equipamentos relacionados por modelos mais eficientes, buscando oferecimento de melhor iluminação, com consumo de menos eletricidade (ELETROBRAS, 2020).

O incentivo a utilização de tecnologias eficientes nos sistemas de iluminação pública pode reduzir a demanda em horários de ponta e combater o desperdício de energia elétrica, com a melhora na qualidade dos serviços prestados. Apesar de existir potencial para melhoria da eficiência energética nos sistemas de iluminação pública, ainda existem barreiras que impedem um maior avanço dessas ações.

Uma barreira é a legislação quanto à responsabilidade dos envolvidos, concessionárias e municípios. Como visto anteriormente, a responsabilidade pela prestação dos serviços públicos é de competência dos municípios, conforme determina a Constituição Federal, já as atividades de implantação e manutenção são executadas diretamente tanto pelos municípios quanto pelas concessionárias (KRÜGER; RAMOS, 2016).

De maneira geral, é possível atingir uma economia de energia de cerca de 30% por sistema de iluminação pública com o uso de tecnologias mais eficientes e de 90% na sinalização semafórica pela substituição com a tecnologia LED, por exemplo. Outros benefícios são a melhoria da segurança no tráfego de automóveis e nas ruas, o embelezamento e a valorização de monumentos, prédios e paisagens, o aumento do tráfego de pedestres em locais antes abandonados por serem mal iluminados e o melhor aproveitamento de áreas de lazer (ELETROBRAS, 2020).

A Eletrobras realiza ações desde 2000. Assim, equipamentos de mais de 2,78 milhões de pontos de iluminação pública foram substituídos por modelos mais eficientes, em mais de 1.300 municípios brasileiros, somando mais de R\$ 500 milhões em investimentos (ELETROBRAS, 2020).

O Governo brasileiro visa incentivar e auxiliar os municípios brasileiros a economizarem nos seus gastos com energia elétrica, com o foco maior para a iluminação pública. Tendo em vista que existem municípios de todos os portes e nem todos conseguem colocar em prática ferramentas que proporcionem uma economia na iluminação pública, O Governo tem criado programas como o Procel Reluz e o PEE, os quais oferecem recurso financeiros e parcerias com concessionárias de distribuição para prestação de serviços de eficiência energética que muitos municípios não conseguem executar.

Os serviços ofertados no programa são a substituição do sistema de iluminação menos eficiente por lâmpadas LED, expansão do sistema de iluminação pública nas cidades. Dessa maneira, ocorre melhoria na qualidade de vida da população e ainda possibilita fomento econômico aos cofres públicos. A cada ano mais municípios têm usufruído desse Programa de Eficiência Energética. Para tanto, os municípios se inscrevem e, dentro do funcionamento do processo, são selecionados através de editais de chamadas públicas divulgados pela ANEEL.

3.34 ASPECTOS ECONÔMICOS

Ceconello e Ajzentel (2008) definem que análise de viabilidade visa obter indicadores que recomendem ou não o investimento no objeto da análise. Segundo o referido autor, os métodos atuais de avaliação de investimento buscam apresentar

ao investidor interessado quatro informações básicas para a tomada de decisão: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Descontado.

Essas ferramentas são muito importantes para análise da viabilidade de um investimento, posto que trazem informações relevantes para a tomada de decisão, diminuindo o risco e trazendo maior segurança na análise do projeto (MATTEI, 2016).

3.35 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é uma taxa paga a um investimento, sendo de baixo risco e que não exige muito esforço do investidor para obter esse rendimento. Dessa maneira, um projeto sempre busca alcançar uma taxa no mínimo igual ou maior ao que mercado paga. Caso contrário, não se tornará rentável o investimento em determinado projeto (MATTEI, 2016).

Alguns exemplos de investimentos de baixo risco são a poupança, Tesouro Direto Selic, Índice Geral de Preços do Mercado (IGPM), Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

Diante dos diversos indexadores econômicos apresentados e existentes, o escolhido para o presente trabalho é o Tesouro Direto Selic, porque a Taxa Selic influencia em todas as taxas de juros do país. Portanto, a TMA do presente trabalho é a Taxa Selic.

3.36 TAXA INTERNA DE RETORNO

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é o indicador usado na análise de viabilidade econômica de um projeto. É usada para avaliar o percentual de retorno, podendo ser definida como a taxa que faz o VPL zerar (NOVAIS, 2019). Para que um investimento seja rentável, é necessário que a Taxa Interna de Retorno (TIR) seja maior que a TMA.

A TIR é difícil de ser calculada sem a ajuda de uma calculadora financeira ou um *soft ware*, principalmente quando o número de períodos (n) do projeto começa a aumentar. Isso ocorre porque sua resolução gera a necessidade de resolver

equações polinomiais. Como a TIR não possui uma fórmula algébrica para ser calculada diretamente, ela pode ser encontrada por meio de tentativa e erro, tanto manualmente, quanto por algoritmos computacionais (NOVAIS, 2019).

3.37 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Leão (2012) apresenta a determinação do valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento com o conceito de fluxo de caixa descontado, calculando o somatório do valor presente dos fluxos de caixa (FC), os quais ocorrem nos instantes $t = 0, 1, \dots, z$, a uma taxa de desconto denominada de taxa mínima de atratividade (TMA). A equação 4 mostra a fórmula para cálculo do VPL.

$$VPL = FC_0 + \sum_{t=1}^z \frac{FC_t}{(1+TMA)^t}$$

Equação 4 - Cálculo do Valor Presente Líquido.

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido;

FC: Fluxo de Caixa;

TMA: Taxa Mínima de Atratividade;

t: Período de tempo percorrendo todo o fluxo de caixa.

Devido à complexidade dos cálculos, todos esses parâmetros foram calculados através de ferramentas computacionais, por exemplo, através da planilha eletrônica Excel.

4 ESTUDO DE CASO DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM AVENIDAS DA CIDADE DE PALMAS – TO

4.1 EDITAL DE CHAMADA PÚBLICA DE PROJETOS PROCEL RELUZ

O Procel Reluz desenvolve diversos tipos de ações com o intuito de promover o uso eficiente da energia elétrica aplicada na iluminação pública e de semáforos. Todos os anos são lançados editais de chamada pública para projetos de eficiência energética, principalmente para a seleção de projetos de iluminação pública com tecnologia LED.

De acordo com a ANEEL, as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar o montante anual mínimo de 0,5% de sua receita operacional líquida em ações de eficiência energética (ANEEL, 2017). O presente trabalho apresenta um projeto de eficiência energética aplicado na iluminação pública com tecnologia LED em algumas avenidas na cidade de Palmas – TO. A cidade foi contemplada por meio do edital de chamada pública de projetos do ano de 2019.

A escolha do trabalho baseou-se no fato de Palmas está investindo cada vez mais na tecnologia LED em sua iluminação pública. Este trabalho, pois, colabora com a compreensão de como esses investimentos têm se comportado ao longo do tempo, por meio da análise de dados técnicos e financeiros, gráficos e projeções.

4.2 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O objeto de estudo foi realizado com foco na iluminação pública das avenidas LO-27 (entre as avenidas NS-04 e NS-10) e NS-02 (entre as avenidas LO-11 e LO-13) da cidade de Palmas, no Estado do Tocantins. As avenidas LO-27 e NS-02 foram contempladas através do edital de chamada pública de projetos de 2019, realizado pela ANEEL em parceria com as concessionárias de energia.

O projeto apresentado pelo grupo Energisa propôs a substituição da iluminação a vapor de sódio e multivapor metálico pela utilização da tecnologia LED, visando alcançar redução de custos de iluminação pública e, consequentemente,

diminuição da demanda de energia ofertada pela concessionária destinada à iluminação noturna.

Faz-se significativo destacar que a cidade de Palmas foi contemplada com a substituição de luminárias e implantação da tecnologia LED em várias avenidas no mês de outubro de 2020. Entretanto, para este trabalho, foi feita a escolha das avenidas LO-27 e NS-02, com o intuito de analisar o comportamento anterior e posterior a substituição das luminárias. A avenida LO-27 contava com lâmpadas de alta pressão a vapor de sódio de 250 W até outubro de 2020, a avenida NS-02 contava com lâmpadas multivapor metálico de 400 W.

Para o estudo, foram levantadas as informações sobre o consumo de energia elétrica da IP no trecho das vias em análise junto a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas, em específico ao setor de Iluminação Pública Municipal. Em seguida, foram levantados os dados técnicos das luminárias substituídas de vapor de sódio, multivapor metálico e das lâmpadas LED implantadas nos trechos das vias de análise deste trabalho.

Após o levantamento de todos os dados, o estudo baseou-se na divisão de dois cenários. O cenário 1 representa a situação da iluminação pública antes da substituição das lâmpadas a vapor de sódio e multivapor metálico por lâmpadas LED. O cenário 2 representa a situação da IP após a substituição das lâmpadas a vapor de sódio e multivapor metálico por lâmpadas LED. A tabela 2 apresenta uma descrição do objeto de estudo da iluminação pública na avenida LO-27.

Tabela 2 - Descrição do objeto de estudo Avenida LO-27.

CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
Endereço: AV. LO-27 (Entre as Av. NS-04 e NS-10);	Endereço: AV. LO-27 (Entre as Av. NS-04 e NS-10);
Tipo de Lâmpada Vapor de sódio de alta pressão;	Tipo de Lâmpada: Light Emitting Diode (LED);
Quantidade de lâmpadas: 44 Unidades;	Quantidade de lâmpadas: 44 Unidades;
Potência Unitária (Lâmpada + Reator): 275 W;	Potência Unitária (Lâmpada): 150 W;
Fabricante Lâmpada: SON - PHILIPS	Fabricante Lâmpada: ESAT PLUS - TECNOWATT

Tipo de Poste: Metálico;	Tipo de Poste: Metálico;
Altura da Luminária (H): 10,50 m.	Altura da Luminária (H): 10,50 m.

Fonte: elaboração dos autores.

O Consumo de um reator eletromagnético fica em torno de 10% da potência da luminária a ser acionada. Essa informação foi obtida por meio da análise do funcionamento desse equipamento na prática. No entanto, o consumo do reator não foi levado em consideração nas análises do presente trabalho, apenas o consumo das lâmpadas. A tabela 3 apresenta uma descrição do objeto de estudo na avenida NS-02.

Tabela 3 - Descrição do objeto de estudo Avenida NS-02.

CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
Endereço: AV. NS-02 (Entre as Av. LO-11 e LO-13);	Endereço: AV. NS-02 (Entre as Av. LO-11 e LO-13);
Tipo de Lâmpada: Multivapor metálico de alta pressão;	Tipo de Lâmpada: Light Emitting Diode (LED);
Quantidade de lâmpadas: 32 Unidades;	Quantidade de lâmpadas: 32 Unidades;
Potência Unitária (Lâmpada + Reator): 440 W;	Potência Unitária (Lâmpada): 240 W;
Fabricante Lâmpada: TUB - AVANT	Fabricante Lâmpada: LPL - ARES MAXI Illumatic
Tipo de Poste: Metálico;	Tipo de Poste: Metálico;
Altura da Luminária (H): 13,70 m.	Altura da Luminária (H): 13,70 m.

Fonte: elaboração dos autores.

A iluminação pública nas avenidas que são objeto de estudo deste trabalho possui a distribuição dos postes metálicos colocados no canteiro central. Neles, é possível verificar a presença de algumas árvores nos canteiros das avenidas que provocam um sombreamento na luz emitida pelas lâmpadas. Para uma melhor distribuição do nível de iluminância e uniformidade da iluminação, a realização do serviço de poda dos galhos e de algumas árvores são uma alternativa para reduzir os efeitos dos sombreamentos.

Nas figuras 12 e 13, apresentam-se as imagens das avenidas LO-27 e NS-02, nas quais é possível verificar as características construtivas dos elementos presente na avenida: o tipo de poste, a presença de elementos que provoquem sombreamentos, a disposição dos postes e outros.

Figura 12 - Avenida LO-27 (Entre Av. NS-10 e NS-04) em Palmas - TO.



Fonte: elaboração dos autores.

Figura 13 - Avenida NS-02 (Entre Av. LO-11 e LO-13) em Palmas - TO.



Fonte: elaboração dos autores.

A figura 12 apresenta a imagem da avenida LO-27 (entre NS-04 e NS-10), que é caracterizada por conter árvores de médio porte. Com isso, existe um sombreamento na faixa mais próxima ao canteiro central. A LO-27 é constituída por 44 luminárias e 25 postes metálicos que se distanciam entre si em uma média de 41,1m.

As luminárias estão instaladas 10,50 m de altura com relação ao solo, os postes são classificados de acordo com a quantidade de luminárias que sustentam. Há postes simples (1 Luminária), postes duplos (2 Luminárias) e postes triplos (3 Luminárias).

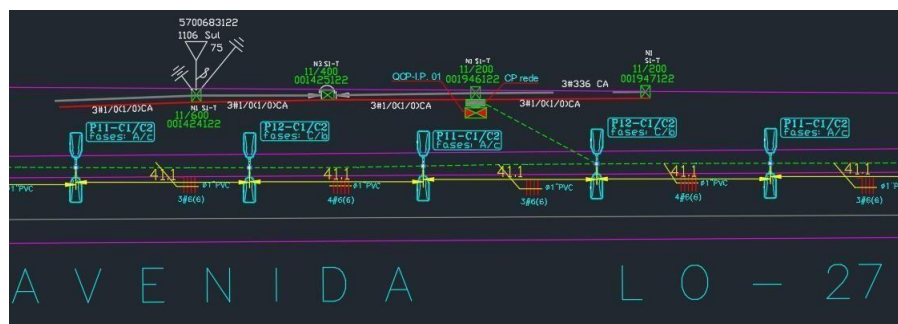
As Figura 14 e 15 apresentam uma imagem do projeto elétrico de iluminação pública da avenida LO-27, descrevendo a tipologia dos postes, quantidade de postes, os condutores utilizados, quantidade de fases e outros. Através da imagem, é possível visualizar a configuração da iluminação pública no trecho em análise deste estudo.

Figura 14 - Projeto de Iluminação Pública da Av. LO-27 (Entre NS-04 e NS-10).



Fonte: elaboração dos autores.

Figura 15 - Detalhe Iluminação Pública da Av. LO-27 (Entre NS-04 e NS-10).



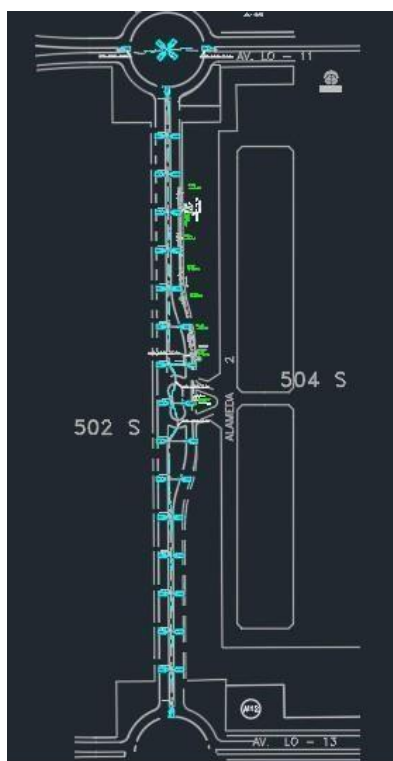
Fonte: elaboração dos autores.

A figura 13 apresenta a imagem da avenida NS-02 (entre LO-11 e LO-13), a qual é caracterizada por conter árvores de médio a grande porte. O porte das árvores é maior, se comparado ao porte das árvores presentes na avenida LO-27 (entre NS-04 e NS-10).

Com isso, existe um sombreamento maior na faixa mais próxima ao canteiro central, comparado ao da LO-27, ou seja, parte da energia luminosa produzida pelas lâmpadas não consegue ser refletida no solo. A NS-02 é constituída por 32 luminárias e 22 postes metálicos que se distanciam entre si por uma média de 41 m. As luminárias estão instaladas 13,70 metros de altura com relação ao solo. Os postes são classificados de acordo com a quantidade de luminárias que sustentam. Há postes simples (1 Luminária), postes duplos (2 Luminárias).

As Figura 16 e 17 apresentam uma imagem do projeto elétrico da avenida NS-02, descrevendo a tipologia dos postes, quantidade de postes, os condutores utilizados, quantidade de fases e outros. Através das imagens, é possível visualizar a configuração da iluminação pública no trecho em análise deste estudo.

Figura 16 - Projeto de Iluminação Pública da Av. NS-02 (Entre LO-11 e LO-13).



Fonte: elaboração dos autores.

Figura 17 - Detalhe Iluminação Pública da AV. NS-02 (Entre LO-11 e LO-13).



Fonte: elaboração dos autores.

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para a coleta de dados, foi realizada uma visita *in loco* no Departamento de Iluminação Pública de Palmas, localizado dentro da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos. O objetivo da visita era executar o levantamento das faturas de energia elétrica das avenidas LO-27 e NS-02 e coletar todas as informações importantes para a realização do trabalho. Após a coleta de dados, foram organizadas as informações em uma planilha eletrônica no *software* Excel 2020.

As tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam os dados técnicos das luminárias vapor de sódio, multivapor metálico e LED, respectivamente.

Tabela 4 - Lâmpada de alta pressão a vapor de sódio 250 W.

AVENIDA	LO-27
TECNOLOGIA	Vapor de Sódio
FABRICANTE	PHILIPS
MODELO	SON
POTÊNCIA - (W)	250
FLUXO LUMINOSO - (lm)	27.000
EFICIÊNCIA LUMINOSA - (lm/W)	106
VIDA ÚTIL - (h)	28.000

TEMPERATURA DE COR - (K)	2.000
CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO - (A)	3
TENSÃO DE OPERAÇÃO - (V)	85 - 115
ETIQUETA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	A
BASE	E40

Fonte: elaboração dos autores.

Tabela 5 - Lâmpada de alta pressão multivapor metálico 400 W.

AVENIDA	NS-02
TECNOLOGIA	Multivapor Metálico
FABRICANTE	AVANT
MODELO	TUB
POTÊNCIA - (W)	400
FLUXO LUMINOSO - (lm)	40.000
EFICIÊNCIA LUMINOSA - (lm/W)	100
VIDA ÚTIL - (h)	15.000
TEMPERATURA DE COR - (K)	5.500
CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO - (A)	4,6
TENSÃO DE OPERAÇÃO - (V)	105
ETIQUETA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	A
BASE	E40

Fonte: elaboração dos autores.

Tabela 6 - Lâmpada de tecnologia LED 150 W.

AVENIDA	LO-27
TECNOLOGIA	LED
FABRICANTE	TECNOWATT
MODELO	ESAT PLUS
POTÊNCIA - (W)	150
FLUXO LUMINOSO - (lm)	19.126
EFICIÊNCIA LUMINOSA - (lm/W)	128
VIDA ÚTIL - (h)	66.000
TEMPERATURA DE COR - (K)	5.000
CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO - (mA)	717,7

TENSÃO DE OPERAÇÃO - (V)	90 - 305
ETIQUETA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	A
BASE	Não Aplicável

Fonte: elaboração dos autores.

Tabela 7 - Lâmpada de tecnologia LED 240 W.

AVENIDA	NS-02
TECNOLOGIA	LED
FABRICANTE	ILUMATIC
MODELO	ARES
POTÊNCIA - (W)	240
FLUXO LUMINOSO - (lm)	28.193
EFICIÊNCIA LUMINOSA - (lm/W)	117,5
VIDA ÚTIL - (h)	70.000
TEMPERATURA DE COR - (K)	5.000
CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO - (mA)	500
TENSÃO DE OPERAÇÃO - (V)	198 - 242
ETIQUETA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	A
BASE	Não Aplicável

Fonte: elaboração dos autores.

As tabelas 4, 5, 6 e 7 foram construídas através da coleta da ficha técnica de cada fabricante. O processo de busca das fichas técnicas das lâmpadas a vapor de sódio e multivapor metálico apresentaram uma dificuldade maior no início, devido ao tempo em que as luminárias se encontravam instaladas. Por conta disso não havia documentos físicos ou documentos digitais no banco de dados do Departamento de Iluminação Pública.

Nesse sentido, foi necessário encontrar através do site do fabricante via internet. Sobre as luminárias LED, observou-se que elas não apresentaram esse problema, pois foram entregues pela concessionária Energisa - no ano de 2020 - para o Departamento de Iluminação Pública. Por isso, foi possível conseguir a ficha técnica de forma física.

Assim, é possível verificar as características técnicas das lâmpadas substituídas a vapor de sódio 250 W na avenida LO-27 e multivapor metálico 400 W

na avenida NS-02, substituídas por lâmpadas LED de 150 W e 240 W, respectivamente.

4.4 MODELOS DE LÂMPADAS UTILIZADAS NO OBJETO DE ESTUDO

4.4.1 Luminária com lâmpada de descarga de alta pressão a vapor de sódio 250W

O sistema de iluminação pública da avenida LO-27 (NS-04 a NS-10) possuía a lâmpada a vapor de sódio do modelo SON 250 W, da fabricante PHILIPS. Para o acionamento desse tipo de lâmpada, é necessário a presença de um reator eletrônico, ou seja, o consumo de energia desse sistema deve considerar a potência da lâmpada e do reator. Dessa maneira, torna-se um sistema não muito eficiente se comparado ao LED, pois as luminárias LED não necessitam de um reator para seu acionamento.

A figura 18 apresenta o modelo da lâmpada SON 250 W e a figura 19 apresenta o modelo da luminária instalada na LO-27, anterior à troca pela tecnologia LED.

Figura 18 - Lâmpada a vapor de sódio SON 250.



Fonte: PHILIPS, 2021.

Figura 19 - Modelo de Luminária Instalada na LO-27 anterior à troca pela tecnologia LED.



Fonte: elaboração dos autores.

4.4.2 Luminária com lâmpada de descarga de alta pressão multivapor metálico 400W

O sistema de iluminação pública da avenida NS-02 (LO-11 a LO-13) possuía a lâmpada multivapor metálico do modelo TUB 400 W e da fabricante AVANT. Para o acionamento desse tipo de lâmpada, é necessário a presença de um reator eletrônico, ou seja, o consumo de energia desse sistema deve considerar a potência da lâmpada 400 W e do reator. Dessa maneira, torna-se um sistema não muito eficiente se comparado ao LED, pois as luminárias LED não necessitam de um reator para seu acionamento.

A figura 20 apresenta o modelo da lâmpada TUB 400 W e a figura 21 apresenta o modelo da luminária instalada na NS-02, anterior a troca pela tecnologia LED.

Figura 20 - Lâmpada multivapor metálico TUB 400 W.



Fonte: AVANT, 2021.

Figura 21 - Modelo de Luminária Instalada na NS-02 anterior a troca pela tecnologia LED.



Fonte: elaboração dos autores.

4.4.3 Luminária com lâmpada LED 150 W

O sistema de iluminação pública da avenida LO-27 (NS-04 a NS-10) teve a substituição das luminárias com lâmpadas a vapor de sódio 250 W, presente nas figuras 18 e 19, por lâmpadas LED do modelo ESAT-PLUS 150 W e da fabricante TECNOWATT.

As luminárias LED não necessitam de um reator para seu acionamento. Além disso, elas têm uma tecnologia mais recente se comparado à tecnologia das lâmpadas a vapor de sódio. Com isso, o consumo das lâmpadas LED é menor que as demais tecnologias como: vapor de sódio, multivapor metálico, vapor de mercúrio e outros.

A figura 22 apresenta o modelo de luminária com lâmpada LED ESAT-PLUS 150 W e a figura 23 apresenta o modelo da luminária com lâmpada LEDESAT-PLUS 150 W com a parte de trás, essas luminárias estão instaladas na avenida LO-27.

Figura 22 - Luminária com lâmpada LED ESAT-PLUS 150 W.



Fonte: TECNOWATT, 2021.

Figura 23 - Luminária com lâmpada LED ESAT-PLUS 150 W (VERSO).



Fonte: TECNOWATT, 2021.

4.4.4 Luminária com lâmpada LED 240 W

O sistema de iluminação pública da avenida NS-02 (LO-11 a LO-13) teve a substituição das luminárias com lâmpadas multivapor metálico 400 W, presente nas figuras 20 e 21, por lâmpadas LED do modelo ARES 240 W e da fabricante ILUMATIC.

A figura 24 apresenta o modelo luminária com lâmpada LED ARES 240 W e a figura 25 apresenta o modelo da luminária com lâmpada LED ARES 240 W de verso, luminárias instaladas na avenida NS-02.

Figura 24 - Luminária com lâmpada LED ARES 240 W.



Fonte: ILUMATIC, 2021.

Figura 25 - Luminária com lâmpada LED ARES 240 W (VERSO).



Fonte: elaboração dos autores.

4.5 ANÁLISE TÉCNICA DAS LÂMPADAS

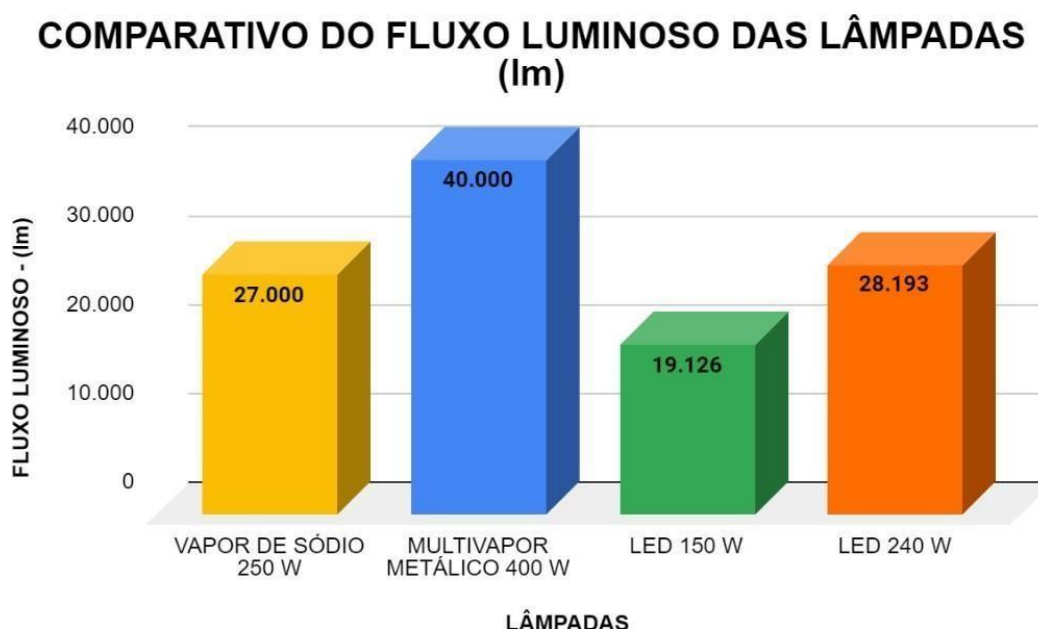
Com os dados de cada lâmpada, como já foi apresentado anteriormente, foi possível comparar qual modelo é mais eficiente. A seguir, consta o comparativo entre os modelos de lâmpadas utilizadas nas avenidas LO-27 e NS-02, considerando as lâmpadas instaladas anteriormente e a troca pelas lâmpadas LED. A comparação ocorre em apresentação por meio de gráficos que levam em consideração o fluxo luminoso, eficiência luminosa, vida útil, temperatura de cor e um comparativo do custo de aquisição de cada lâmpada com o tempo de vida útil.

Para a realização da análise, foram utilizados dados extraídos do *datasheet* respectivo de cada modelo de lâmpada. As lâmpadas consideradas para análise foram as de vapor de sódio 250 W e multivapor metálico 400 W, substituídas por lâmpadas LED de 150 W e 240 W, respectivamente, levando em questão os dados técnicos mencionados no parágrafo acima.

4.5.1 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a quantidade de luz que será emitida por uma lâmpada ou luminária. A unidade de medida dessa grandeza é o lúmen (lm), ou seja, quanto maior a quantidade de lúmens maior será o brilho da luz emitida.

Figura 26 - Medida do fluxo luminoso.



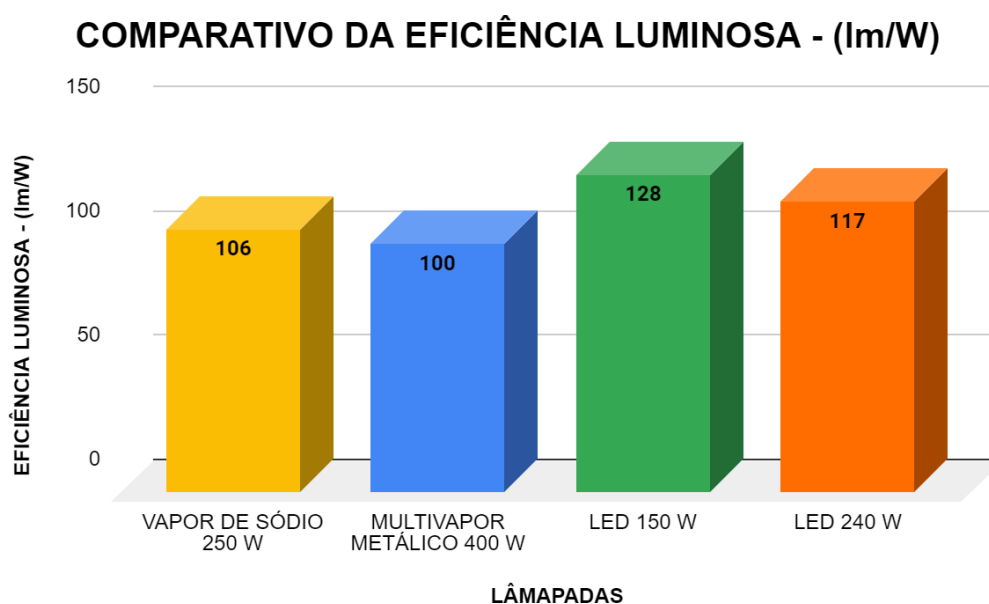
Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 26 apresenta o gráfico comparativo do fluxo luminoso de cada lâmpada. Nele, é percebido que a lâmpada LED de 240 W e multivapor metálico em alta pressão de 400 W possuem os maiores valores de fluxo luminoso. Podemos dizer que essas lâmpadas apresentam uma maior emissão de luz comparada às lâmpadas LED de 150 W e vapor de sódio em alta pressão de 250 W. É percebido, também, por meio do gráfico, que as lâmpadas LED de 150 W e 240 W apresentam fluxo luminoso menor que as lâmpadas a vapor de sódio 250 W e multivapor metálico 400 W em alta pressão.

4.5.2 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa é um indicador que mensura o rendimento da conversão de energia em luz por uma lâmpada. Lâmpadas eficientes consomem o mínimo de energia para produzir o máximo de energia luminosa. A figura 27 apresenta um comparativo da eficiência luminosa de cada lâmpada do objeto de estudo.

Figura 27 - Comparativo de eficiência luminosa.



Fonte: elaborado pelos autores.

As lâmpadas LED 150 W e 240 W apresentam os melhores índices de eficiência. Observando a figura 26, é possível verificar que a lâmpada LED 150 W apresentou o menor fluxo luminoso entre as lâmpadas avaliadas. Com isso, podemos concluir que escolher uma lâmpada baseada apenas em um critério luminotécnico pode ser um erro. Nesse sentido, faz-se necessário avaliar várias características luminotécnicas ao se comparar lâmpadas.

Para mais, é percebido que as lâmpadas LED possuem uma conversão de energia elétrica em energia luminosa mais eficaz que as demais tecnologias

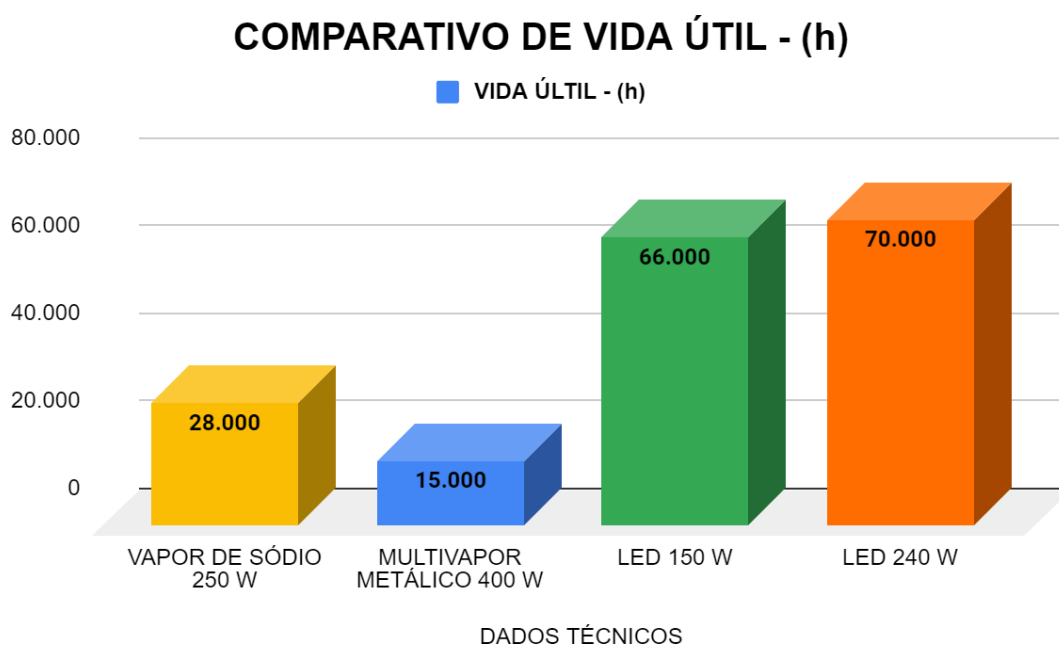
avaliadas. Esse fator faz com que as lâmpadas com tecnologia LED sejam mais econômicas do que as demais tecnologias.

4.5.3 Vida Útil

Um dado muito importante na especificação de sistemas de iluminação é a vida dos equipamentos. Quanto maior a vida de uma lâmpada, melhor é o sistema, posto que isso implica em menor necessidade de manutenção nas instalações (IWASHITA, 2011).

A comparação da vida útil dos quatro modelos de lâmpadas é apresentada na figura 28.

Figura 28 - Comparativo da vida útil das lâmpadas.



Fonte: elaboração dos autores.

Na avenida LO-27 (NS-04 a NS-10), ocorreram as substituições das luminárias em alta pressão a vapor de sódio 250 W pelas luminárias LED de 150 W. Na figura 28, é possível verificar que a vida útil da luminária LED é 2,4 vezes maior que a luminária a vapor de sódio, ou seja, o sistema de iluminação LED leva mais

tempo para necessitar de um novo investimento de troca de luminárias em comparação às demais tecnologias do objeto de estudo.

Na avenida NS-02 (LO-11 a LO-13), ocorreram as substituições das luminárias em alta pressão multivapor metálico de 400 W pelas luminárias LED de 240 W.

Pela figura 28, é possível verificar que a vida útil da luminária LED é cerca de 4,7 vezes maior que a luminária multivapor metálico.

4.5.4 Temperatura de Cor

A temperatura de cor expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte da luz. As lâmpadas podem ser classificadas entre luz fria, neutra e quente. Ao aumentar a temperatura de cor, a cor de luz emitida passa de uma tonalidade quente a uma tonalidade mais fria. A luz quente tem a característica de cor mais amarelada e a luz fria a cor mais azulada. Já a luz neutra fica no meio dessas duas tonalidades. A unidade desse critério luminotécnico é o Kelvin (K). A tabela 8 apresenta uma classificação da temperatura de cor das lâmpadas.

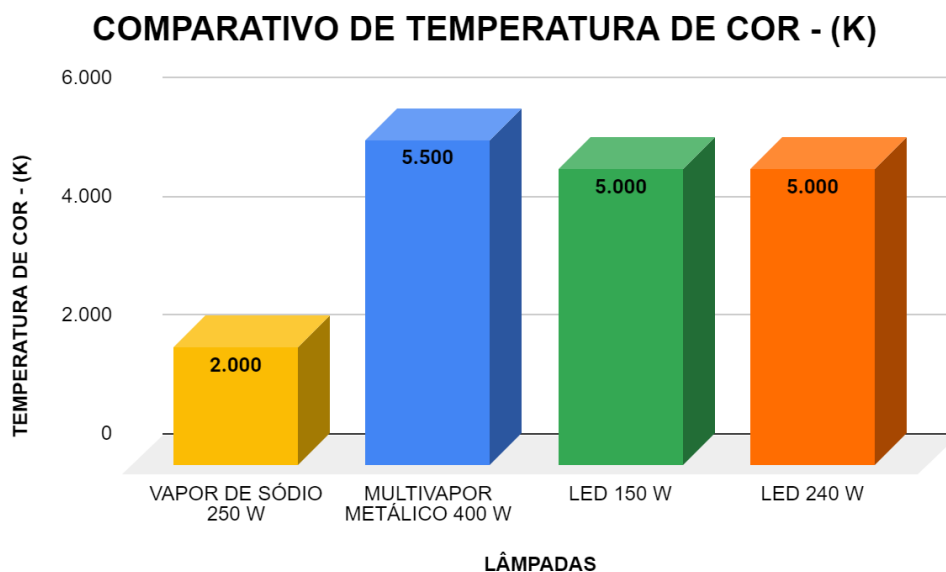
Tabela 8 - Classificação da temperatura de cor.

TEMPERATURA DE COR	CLASSIFICAÇÃO DE COR
Inferior até 2700 K	QUENTE
Entre 3000 K até 4000 K	NEUTRA
5000 K à 6500 K	FRIA

Fonte: elaboração dos autores.

A temperatura de cor de uma lâmpada influencia no desempenho das atividades desenvolvidas em determinado ambiente para o qual ela foi especificada. Quanto mais baixa a temperatura de cor, maior é a sensação de conforto e relaxamento no ambiente. Esse tipo de temperatura é utilizado preferencialmente em salas de estar ou quartos. Quanto maior a temperatura de cor, maior é a sensação de atenção no ambiente. As vias públicas e locais de trabalho necessitam desse nível maior de atenção e por isso têm a presença de luz com a tonalidade mais fria.

Figura 29 - Comparativo da temperatura de cor.



Fonte: elaboração dos autores.

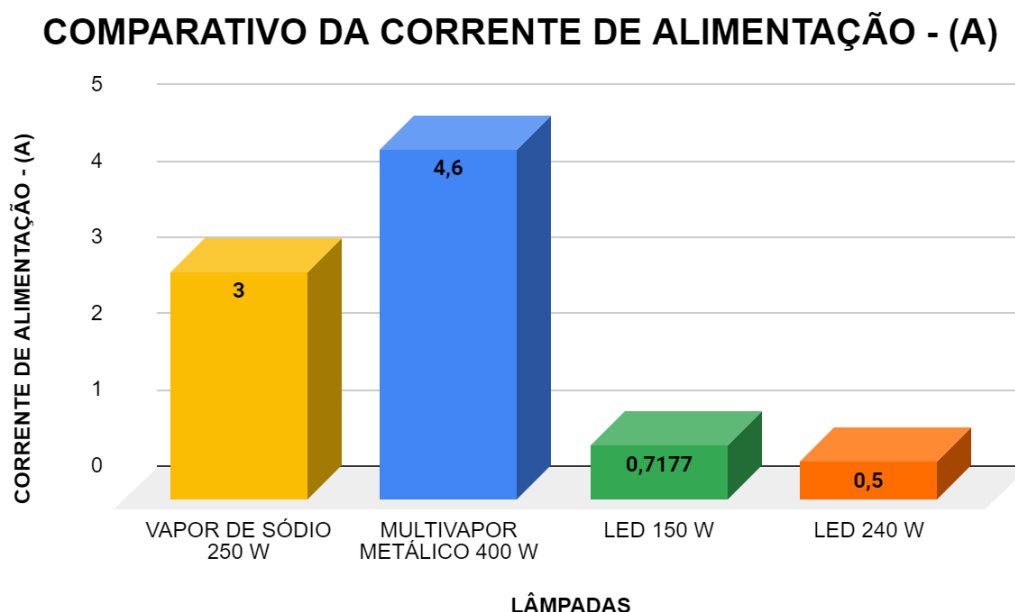
A figura 29 mostra que as lâmpadas LED e multivapor metálico apresentam as tonalidades de cores mais frias, aumentando a sensação de atenção das avenidas, enquanto a lâmpada de descarga em alta pressão a vapor de sódio apresenta a tonalidade de cor mais quente. Para iluminação pública, é comumente utilizada lâmpadas com tonalidade mais frias e de maior intensidade, o que proporciona maior visibilidade e atenção no trânsito.

4.5.5 Corrente de alimentação

Para o funcionamento de uma lâmpada de forma correta, na qual a energia elétrica é transformada em energia luminosa, é necessário que exista uma circulação de corrente elétrica nos terminais da lâmpada. Quanto maior for a solicitação de corrente elétrica em um equipamento, consequentemente, maior será o seu consumo de energia elétrica. Tendo isso em vista, é necessário a adoção de lâmpadas que sejam mais econômicas e que ao mesmo tempo forneçam energia luminosa necessária.

A Figura 30 apresenta um comparativo de corrente necessária para o funcionamento de cada modelo de luminária.

Figura 30 - Comparativo da corrente de alimentação das lâmpadas.



Fonte: elaboração dos autores.

4.6 ANÁLISE TÉCNICA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A comparação do consumo de energia elétrica das avenidas LO-27 (entre NS-04 e NS-10) e NS-02 (entre LO-11 e LO-13) foi elaborada a partir da coleta de dados nas faturas de energia elétrica. As faturas de cada unidade consumidora destinada a iluminação pública ficam armazenadas e são preenchidas com as informações presentes na fatura de energia de cada mês. O preenchimento acontece por meio de uma planilha eletrônica no Departamento de Iluminação Pública na cidade de Palmas - TO.

O período de análise das faturas de energia elétrica aconteceu em duas etapas. A primeira etapa compreende o período de análise do consumo de energia elétrica com a utilização de 44 luminárias em alta pressão a vapor de sódio 250 W na avenida LO-27 e 32 luminárias em alta pressão do tipo multivapor metálico 400 W, durante os meses de novembro de 2019 a março de 2020. A segunda etapa compreende a substituição de 44 luminárias a vapor de sódio 250 W por luminária LED 150 W na avenida LO-27 e a substituição de 32 luminárias multivapor metálico 400 W pelas luminárias LED 240 W na avenida NS-02. Com isso, a análise do

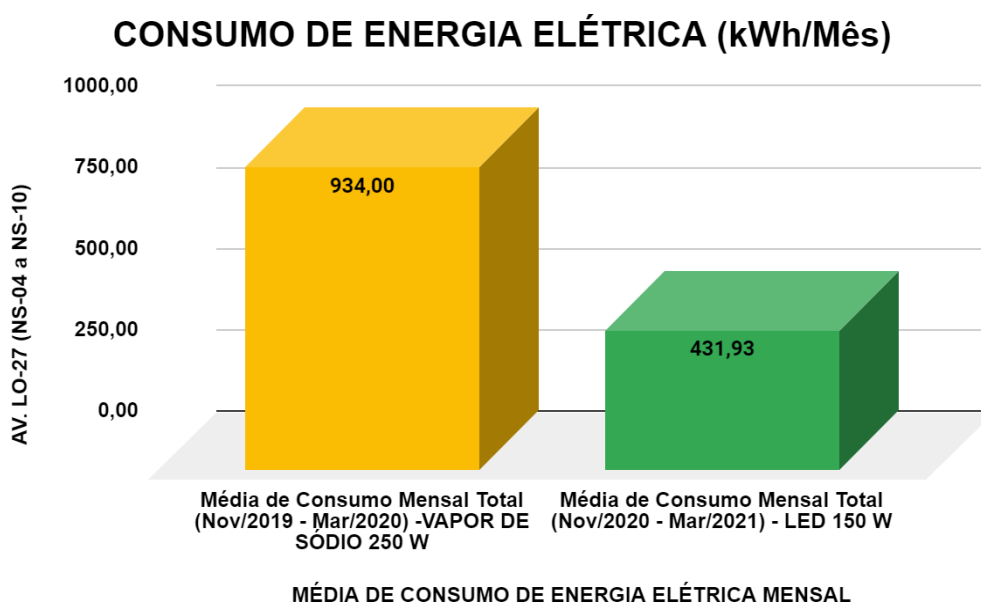
consumo de energia elétrica com as luminárias LED ocorreu durante os meses de novembro de 2020 a março de 2021.

A análise da primeira etapa consistiu no total de 152 dias e a segunda etapa no total de 151 dias. As figuras 31 e 32 apresentam um comparativo do consumo de energia elétrica das luminárias a vapor de sódio versus LED. A duração da análise foi no total de 5 meses na avenida LO-27. As figuras 31 e 32 apresentam um comparativo de consumo mensal e diário de energia elétrica.

As figuras 33 e 34 apresentam um comparativo da média de consumo de energia elétrica mensal e diária das luminárias multivapor metálico *versus* LED. A duração da análise foi no total de 5 meses na avenida NS-02. As figuras 33 e 34 apresentaram um comparativo da média de consumo mensal e diário de energia elétrica.

O consumo de energia elétrica de qualquer equipamento pode ser encontrado a partir do produto da potência elétrica do equipamento pelo tempo de uso em horas. Para tanto, é importante buscar equipamentos que apresentem uma boa eficiência energética. Com relação a iluminação pública, é necessário escolher luminárias que consomem o mínimo de energia elétrica para fornecer o máximo de energia luminosa.

Figura 31 - Comparativo consumo de energia elétrica mensal na avenida LO-27.

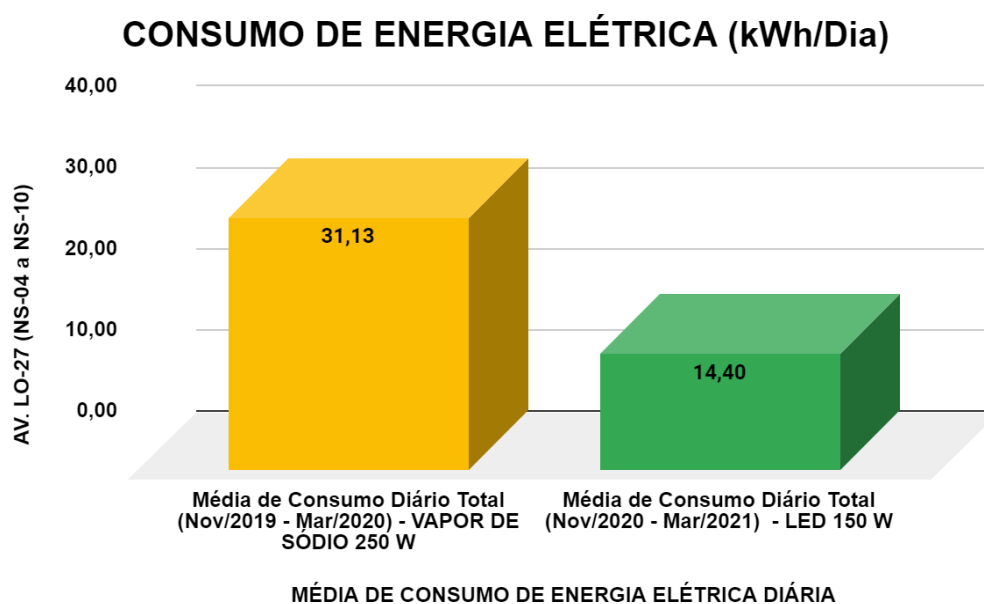


Fonte: elaboração dos autores.

É percebido, através da figura 31, que a média de consumo de energia elétrica mensal foi reduzido com a substituição da luminária em alta pressão a vapor de sódio SON 250 W pela luminária LED ESAT-PLUS 150 W. A média de consumo reduziu de aproximadamente 934,00 kWh/mês para 431,93 kWh/mês após a utilização da luminária LED no lugar da luminária a vapor de sódio em alta pressão.

A tecnologia LED é mais recente que a vapor de sódio e, com isso, o foco nesse tipo de tecnologia proporcionou um uso mais eficiente da energia elétrica. Mesmo a luminária LED sendo 100 W de potência elétrica menor que a vapor de sódio, na comparação dos aspectos luminotécnicos dos dois modelos de luminária, a luminária LED 150 W tem melhores índices de eficiência luminosa, vida útil, corrente de alimentação e temperatura de cor. As figuras 27, 28, 29 e 30 comprovamos índices luminotécnicos das luminárias a vapor de sódio e LED na avenida LO-27.

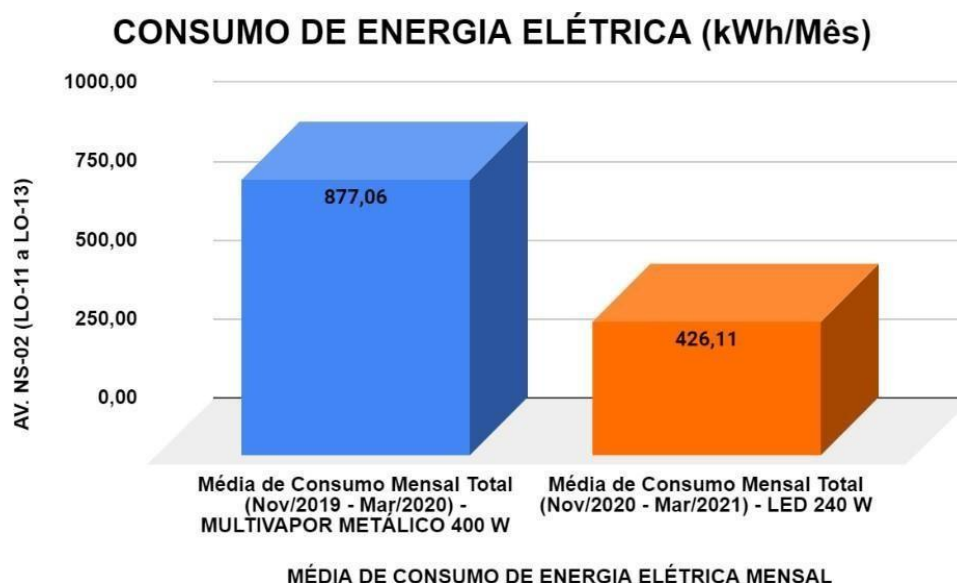
Figura 32 - Comparativo de consumo de energia elétrica diária na avenida LO-27.



Fonte: elaboração dos autores.

A figura 32 exibe a média de consumo de energia elétrica diária. Nela, é observável uma redução de aproximadamente 53,75%, após a utilização da luminária LED 150 W. Com isso, a luminária LED 150 W proporcionou uma redução do consumo de energia elétrica.

Figura 33 - Comparativo de consumo de energia elétrica mensal na avenida NS-02.

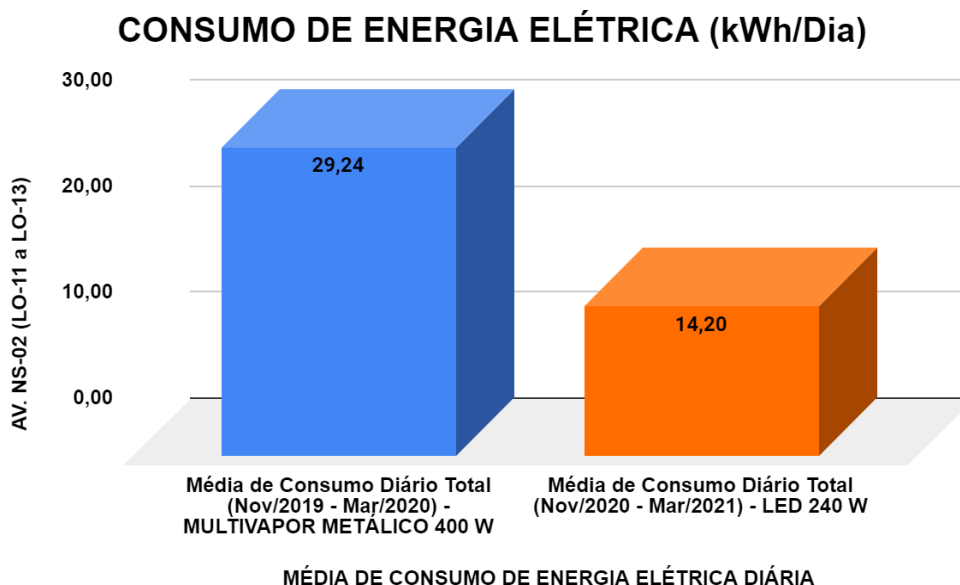


Fonte: elaboração dos autores.

A figura 33 apresenta a situação da média de consumo de energia elétrica mensal da avenida NS-02. A média de consumo de energia elétrica com a luminária multivapor metálico TUB 400 W era de aproximadamente 877,06 kWh/Mês e teve uma redução após a substituição pela luminária LED ARES 240 W para uma média mensal de 426,11 kWh/mês. Em valores percentuais, a redução do consumo de energia elétrica fica em torno de 51,42%.

Os parâmetros luminotécnicos da luminária LED 240 W, mesmo apresentando 160 W de potência elétrica menor que luminária do tipo multivapor metálico 400 W, em comparação aos índices luminotécnicos dos dois modelos de luminárias citados acima, a luminária LED 240 W tem melhores índices de eficiência luminosa, vida útil e corrente de alimentação. As figuras 27, 28, e 30 comprovam os índices luminotécnicos das luminárias multivapor metálico 400 W e LED 240 W na avenida NS-02.

Figura 34 - Comparativo consumo de energia elétrica diária na avenida NS-02.



Fonte: elaboração dos autores.

A figura 34 exibe a média de consumo de energia elétrica diária. Com ela, é observável uma redução do consumo diário após a utilização da luminária LED ARES240 W no lugar da luminária multivapor metálico TUB 400 W. A luminária LED240 W, portanto, proporcionou uma redução do consumo de energia elétrica.

4.6.1 Percentual de redução

O percentual no contexto matemático é compreendido como uma forma de apresentação de um número. Um número em percentual significa que esse número é dividido por 100. A variação percentual é uma forma de representar a relação entre dois números na forma percentual. Para tanto, é possível calcular a variação percentual para sabermos o crescimento ou decréscimo de um valor.

Existe a fórmula para o cálculo da variação percentual de aumento ou redução. Contudo, neste trabalho, será apresentado apenas a fórmula para o cálculo da variação percentual de redução da média de consumo de energia elétrica após a substituição das luminárias em alta pressão a vapor de sódio 250 W e multivapor metálico 400 W por luminárias LED 150 W e 240 W nas avenidas LO-27 e NS-02,

respectivamente. A equação 5 apresenta a fórmula para o cálculo da variação percentual de redução da média de consumo de energia elétrica.

$$\text{Variação percentual} = \frac{(\text{Valor maior} - \text{Valor Menor})}{\text{Valor}} \times 100$$

Equação 5 - Cálculo da variação percentual de redução.

A partir da equação 5, foi calculada a variação percentual da média de consumo de energia elétrica, avaliando o consumo de energia elétrica com a utilização da luminária a vapor de sódio 250 W na avenida LO-27. Depois, foi feito o consumo de energia elétrica a partir da utilização da luminária LED 150 W na avenida LO-27. O demonstrativo de cálculo para a avenida LO-27 é apresentado logo abaixo.

Onde:

Valor Maior = 934,00 kWh/mês;

Valor Menor = 431,93 kWh/Mês

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(\text{Valor maior} - \text{Valor Menor})}{\text{Valor}} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(934,00 - 431,93)}{934,00} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(502,07)}{934,00} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = 0,537548 \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} \cong 53,75\%$$

Diante da resolução da variação percentual apresentada logo acima, é possível perceber que a substituição da luminária em alta pressão a vapor de sódio 250 W pela luminária LED 150 W representou uma variação percentual de redução do consumo de energia elétrica em aproximadamente 53,75 %. Com isso, é possível

verificar que o objetivo de redução do consumo de energia elétrica através do uso da tecnologia LED se mostrou bastante satisfatório.

A tabela 9 apresenta um resumo da média de consumo mensal e diária com as luminárias a vapor de sódio e LED, além da redução percentual do consumo após a utilização da tecnologia LED.

Tabela 9 - Luminária a Vapor de sódio x LED na avenida LO-27.

CONSUMO (kWh/Mês)					
ENDEREÇO	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2019 - Mar/2020) -VAPOR DE SÓDIO 250 W	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 150 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2019 - Mar/2020) - VAPOR DE SÓDIO 250 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 150 W	Percentual de Redução do Consumo de Energia Elétrica (%)
AV. LO-27 (NS-04 a NS-10)	934,00	431,93	31,13	14,40	53,75%

Fonte: elaboração dos autores.

A partir da equação 5, foi calculada a variação percentual da média de consumo de energia elétrica, avaliando o consumo de energia elétrica com a utilização da luminária multivapor metálico 400 W na avenida NS-02. Depois, foi feito o consumo de energia elétrica a partir da utilização da luminária LED 240 W na avenida NS-02. O demonstrativo de cálculo para a avenida NS-02 é apresentado logo abaixo.

Onde:

Valor Maior = 877,06 kWh/mês;

Valor Menor = 426,11 kWh/Mês

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(\text{Valor maior} - \text{Valor Menor})}{\text{Valor}} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(877,06 - 426,11)}{877,06} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(450,95)}{877,06} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = 0,514116 \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} \cong 51,42 \%$$

Diante da resolução da variação percentual apresentada logo acima, é possível perceber que a substituição da luminária multivapor metálico 400 W pela luminária LED 240 W representou uma variação percentual de redução do consumo de energia elétrica de aproximadamente 51,42 %. Com isso, é possível verificar que o objetivo de redução do consumo de energia elétrica através do uso da tecnologia LED se mostrou bastante satisfatório.

A tabela 10 apresenta um resumo da média de consumo mensal e diário com as luminárias multivapor metálico e LED, além da redução percentual do consumo após a utilização da tecnologia LED.

Tabela 10 - Luminária Multivapor metálico x LED na avenida NS-02.

CONSUMO (kWh/Mês)					
ENDEREÇO	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2019 - Mar/2020) - MULTIVAPOR METÁLICO 400 W	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 240 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2019 - Mar/2020) - MULTIVAPOR METÁLICO 400 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 240 W	Percentual de Redução do Consumo de Energia Elétrica (%)
AV. NS-02 (LO-11 a LO-13)	877,06	426,11	29,24	14,20	51,42%

Fonte: elaboração dos autores.

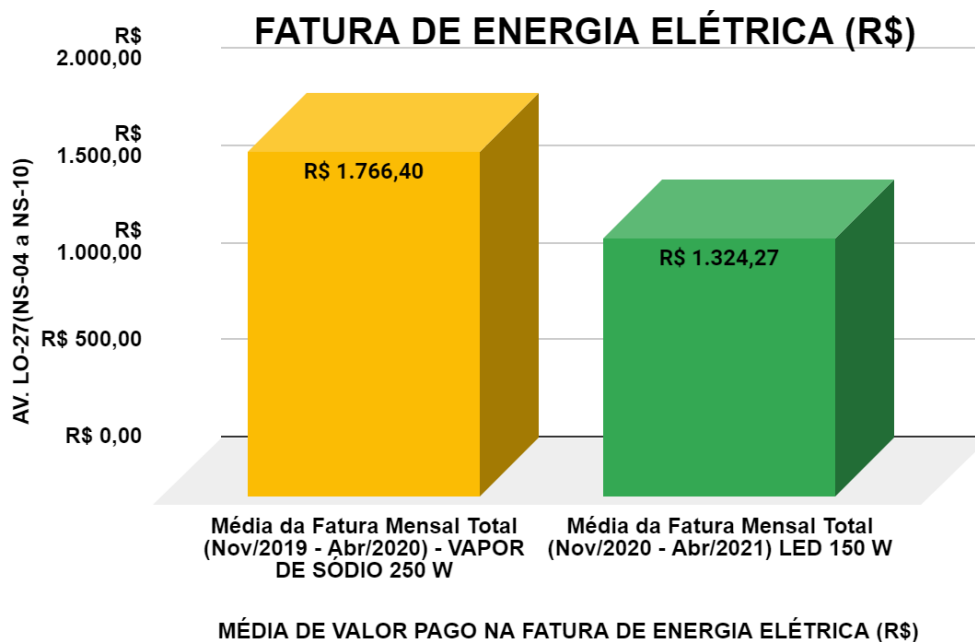
4.7 ANÁLISE DA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA

A fatura de energia elétrica é um documento que apresenta a quantidade total que deve ser paga pela prestação do serviço público de fornecimento de energia elétrica referente a um período especificado (ANEEL, 2020). Os impostos federais, estaduais e municipais incidem ainda sobre esse documento, como PIS (Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público), COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias) e Taxa de Iluminação Pública.

A partir do entendimento sobre fatura de energia elétrica, foram coletadas as informações das unidades consumidoras de iluminação pública referente às avenidas LO-27 (NS-04 a NS-10) e NS-02 (LO-11 a LO-13). Diante das faturas de energia elétrica dessas avenidas, foram elaborados gráficos que apresentam valor pago em reais antes e depois da substituição das luminárias a vapor de sódio e multivapor metálico por LED.

A figura 35 apresenta o comparativo da média de valor pago da fatura de energia elétrica da avenida LO-27. Já a figura 36 apresenta o comparativo da média de valor pago da fatura de energia da avenida NS-02.

Figura 35 - Comparativo do valor pago na fatura de energia elétrica na avenida LO-27 (NS-04 a NS-10).



Fonte: elaboração dos autores.

A figura 35 mostra que após a substituição da luminária a vapor de sódio 250 W pela luminária LED 150 W, ocorreu uma variação percentual de redução em aproximadamente 25,03 %. Na média, ocorreu uma economia de aproximadamente R\$ 442,13, levando-se em consideração o período de análise compreendido por um total de 5 meses.

O cálculo para o percentual de redução da fatura de energia elétrica será apresentado logo abaixo. Esse cálculo representa a avenida LO-27.

Onde:

Valor Maior = 1.766,40 R\$/kWh;

Valor Menor = 1.324,27 R\$/kWh.

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(\text{Valor maior} - \text{Valor Menor})}{\text{Valor}} \times 100$$

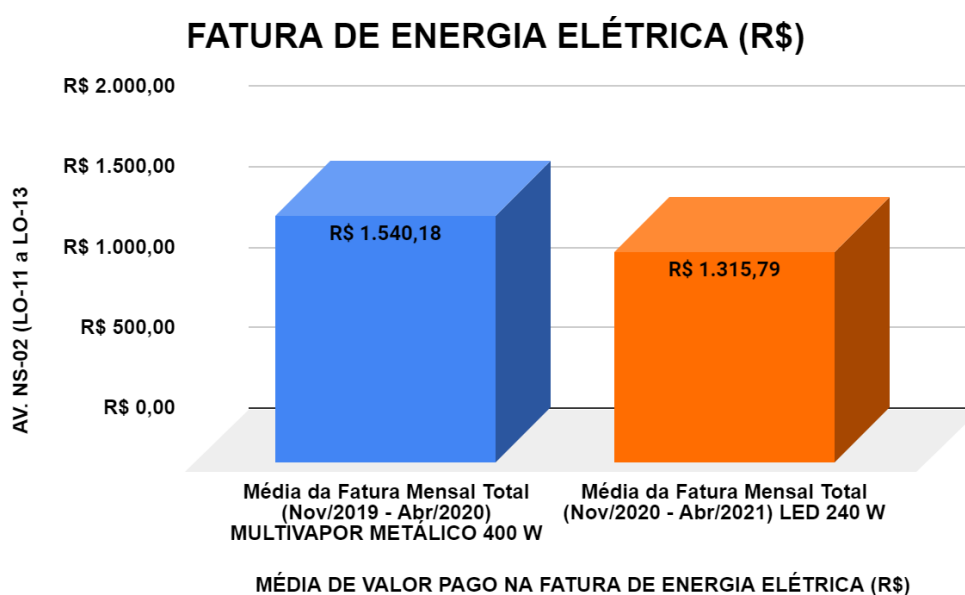
$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(1.766,40 - 1.324,27)}{1.766,40} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(442,13)}{1.766,40} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = 0,250300 \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} \cong 25,03 \%$$

Figura 36 - Comparativo do valor pago na fatura de energia elétrica na avenida NS-02 (LO-11 a LO-13).



Fonte: elaboração dos autores.

A figura 36 prova que após a substituição da luminária multivapor metálico 400 W pela luminária LED 240 W ocorreu uma variação percentual de redução em aproximadamente 14,57 %. Na média, ocorreu uma economia de aproximadamente R\$ 224,39 com o período de análise compreendido por um total de 5 meses.

O cálculo para o percentual de redução da fatura de energia elétrica será apresentado logo abaixo. Esse cálculo representa a avenida LO-27.

Onde:

Valor Maior = 1.540,18 R\$/kWh;

Valor Menor = 1.315,79 R\$/kWh.

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(\text{Valor maior} - \text{Valor Menor})}{\text{Valor}} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(1.540,18 - 1.315,79)}{1.315,18} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = \frac{(224,39)}{1.540,18} \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} = 0,145690 \times 100$$

$$\rightarrow \text{Variação percentual} \cong 14,57 \%$$

4.8 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Nessa etapa do trabalho, aplicam-se os cálculos de viabilidade econômica estudados neste projeto. Este tópico é de suma importância para a análise do estudo de Eficiência Energética. Os indicadores de viabilidade econômica avaliaram se o projeto é viável ou não. Inicialmente, durante o processo de coleta de dados no Departamento de Iluminação Pública, foram levantados os valores unitários pagos em cada modelo de luminária LED. Essa informação fez-se necessária para os cálculos dos indicadores econômicos.

A luminária ESAT-PLUS LED 150 W da fabricante Tecnowatt teve um custo unitário de R\$ 698,37 e a luminária ARES MAXI LED 240 W da fabricante Ilumatic teve um custo unitário de R\$ 878,12. Foram instaladas 44 luminárias

ESAT-PLUS LED 150 W na avenida LO-27 (NS-04 a NS-10), totalizando em um custo de R\$ 30.728,28. Na avenida NS-02 (LO-11 a LO-13), foram instaladas 32 luminárias ARES MAXI LED 240 W, totalizando em um custo de R\$ 28.099,84.

A figura 28 apresenta a vida útil das luminárias LED 150 W e 240 W. A vida útil para a das luminárias LED 150 W é de 66.000 h e a de 240 W é 70.000 h. O tempo médio em que a iluminação pública em Palmas-TO permanece ligada por dia é de aproximadamente 11 horas e 28 minutos, segundo a resolução homologatória 2590/2019 da ANEEL.

Logo abaixo, apresenta-se o cálculo para descobrir a média de vida útil das luminárias LED em anos. Esse cálculo foi feito para a utilização nas fórmulas de indicadores econômicos.

Onde:

Potência da Luminária: 150 W;

Vida útil total: 66.000 h;

$$\text{Vida útil (anos)} = \frac{\text{Vida útil total}}{\text{Total de horas utilizada por ano}}$$

$$\text{Total de horas utilizada por ano} = \text{Total de horas utilizada por dias} * 30 * 12$$

$$\text{Total de horas utilizada por ano} = 11,47 \text{ h} * 30 * 12$$

$$\text{Total de horas utilizada por ano} \cong 4.129 \text{ h/ano}$$

$$\text{Vida útil (anos)} = \frac{66.000 \text{ h}}{4.129}$$

$$\text{Vida útil (anos)} \cong 16 \text{ anos}$$

Equação 6 - Cálculo da média de vida útil em anos das luminárias LED.

Onde:

Potência da Luminária: 240 W;

Vida útil total: 70.000 h;

$$Vida\ útil\ (anos) = \frac{Vida\ útil\ total}{Total\ de\ horas\ utilizada\ por\ ano}$$

$$Total\ de\ horas\ utilizada\ por\ ano = Total\ de\ horas\ utilizada\ por\ dias * 30 * 12$$

$$Total\ de\ horas\ utilizada\ por\ ano = 11,47\ h * 30 * 12$$

$$Total\ de\ horas\ utilizada\ por\ ano \cong 4.129\ h/ano$$

$$Vida\ útil\ (anos) = \frac{70.000\ h}{4.129}$$

$$Vida\ útil\ (anos) \cong 17\ anos$$

Equação 6 - Cálculo da média de vida útil em anos das luminárias LED

A tabela 11 apresenta a média do valor economizado após a substituição das luminárias a vapor de sódio e multivapor metálico por LED em cada avenida objeto de estudo do presente trabalho.

Tabela 11 - Resumo do comparativo do valor economizado após a substituição das luminárias nas avenidas LO-27 e NS-02.

Endereço	Média do Valor Total Pago da Fatura de Energia Elétrica (R\$/kWh)				
	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2019 - Abr/2020) - VAPOR DE SÓDIO 250 W	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2020 - Abr/2021) LED 150 W	Percentual de Redução (%)	Média da Economia Mensal da Fatura de Energia Elétrica	Média da Economia Anual da Fatura de Energia Elétrica
A V. LO-27 - EM FRENTE AO CHEFINHO LANCHES	R\$ 1.766,40	R\$ 1.324,27	25,03%	R\$ 442,13	R\$ 5.305,56
Endereço	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2019 - Abr/2020) MULTIVAPOR METÁLICO 400 W	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2020 - Abr/2021) LED 240 W	Percentual de Redução (%)	Média da Economia Mensal da Fatura de Energia Elétrica	Média da Economia Anual da Fatura de Energia Elétrica

AV. NS-02 - EM FRENTE A PREFEITURA	R\$ 1.540,18	R\$ 1.315,79	14,57%	R\$ 224,38	R\$ 2.692,58
--	--------------	--------------	--------	------------	--------------

Fonte: elaboração dos autores.

4.8.1 Cálculo do Valor Presente Líquido

O Valor presente líquido nos permite entender o valor do dinheiro ao longo do tempo, ou seja, o valor do dinheiro se altera ao longo do tempo por conta da inflação, taxa de juros e o panorama do mercado. R\$ 2 mil hoje não valem o mesmo que valiam no passado ou valerão no futuro. Por isso, é importante calcular o valor presente líquido.

Nas tabelas 12 e 13, são apresentados os cálculos executados para definir o Valor Presente Líquido (VPL) de cada avenida, utilizando os parâmetros como o custo inicial do investimento em cada avenida num período de 16 anos para a luminária LED 150 W e 17 anos para a luminária LED 240 W, segundo a equação 6 que apresenta os cálculos da vida útil dessas luminárias e, por último, será considerado a Taxa mínima de atratividade (TMA) de 3,50 %.

O indexador financeiro para escolha da TMA foi a Taxa Selic, que representa a taxa básica de juros da economia brasileira. No mês de junho de 2021, a taxa estava atrelada ao valor de 3,50%. A equação 4 foi utilizada para calcular o Valor Presente Líquido em cada avenida.

O cálculo do VPL permite avaliar a rentabilidade financeira de um investimento, logo, caso o VPL dê um valor negativo, significa que as despesas serão maiores que as receitas, ou seja, o investimento é inviável. Se o VPL for positivo, temos uma viabilidade de receitas maiores que as despesas, o que torna viável. Caso o VPL dê igual a zero, as receitas e despesas são iguais, temos um resultado neutro.

Tabela 12 - Cálculo do Valor Presente Líquido para a avenida LO-27

AVENIDA LO-27 (NS-04 a NS-10)		
Custo Inicial	TMA	Valor Presente Líquido
R\$ 30.728,28	3,50%	
Período	Fluxo de Caixa	
1	-R\$ 30.728,28	-R\$ 29.689,16
2	R\$ 5.305,56	R\$ 4.952,80
3	R\$ 5.305,56	R\$ 4.785,31
4	R\$ 5.305,56	R\$ 4.623,49
5	R\$ 5.305,56	R\$ 4.467,14
6	R\$ 5.305,56	R\$ 4.316,08
7	R\$ 5.305,56	R\$ 4.170,12
8	R\$ 5.305,56	R\$ 4.029,10
9	R\$ 5.305,56	R\$ 3.892,85
10	R\$ 5.305,56	R\$ 3.761,21
11	R\$ 5.305,56	R\$ 3.634,02
12	R\$ 5.305,56	R\$ 3.511,13
13	R\$ 5.305,56	R\$ 3.392,40
14	R\$ 5.305,56	R\$ 3.277,68
15	R\$ 5.305,56	R\$ 3.166,84
16	R\$ 5.305,56	R\$ 3.059,75
VPL TOTAL (16 A nos)		R\$ 29.350,76

Fonte: elaboração dos autores.

Como é possível observar na tabela 12, o VPL ao longo dos 16 anos resultou em R\$ 29.350,76. Como o valor do VPL total foi positivo, isso significa que o investimento é viável. As receitas são, portanto, maiores que as despesas.

Na tabela 13, o VPL ao longo dos 17 anos resultou em R\$ 4.313,56, como o VPL total foi positivo, significa que o investimento é viável, do ponto de vista do VPL.

Tabela 13 - Cálculo do Valor Presente Líquido para a avenida NS-02

AVENIDA NS-02 (LO-11 a LO-13)		
Custo Inicial	TMA	Valor Presente Líquido
R\$ 28.099,84	3,50%	
Período	Fluxo de Caixa	
1	-R\$ 28.099,84	-R\$ 27.149,60

2	R\$ 2.692,58	R\$ 2.513,55
3	R\$ 2.692,58	R\$ 2.428,55
4	R\$ 2.692,58	R\$ 2.346,43
5	R\$ 2.692,58	R\$ 2.267,08
6	R\$ 2.692,58	R\$ 2.190,42
7	R\$ 2.692,58	R\$ 2.116,34
8	R\$ 2.692,58	R\$ 2.044,78
9	R\$ 2.692,58	R\$ 1.975,63
10	R\$ 2.692,58	R\$ 1.908,82
11	R\$ 2.692,58	R\$ 1.844,27
12	R\$ 2.692,58	R\$ 1.781,90
13	R\$ 2.692,58	R\$ 1.721,65
14	R\$ 2.692,58	R\$ 1.663,43
15	R\$ 2.692,58	R\$ 1.607,18
16	R\$ 2.692,58	R\$ 1.552,83
17	R\$ 2.692,58	R\$ 1.500,32
VPL TOTAL (17 A nos)		R\$ 4.313,56

Fonte: elaboração dos autores.

4.8.2 Cálculo da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é o indicador usado na análise de viabilidade econômica de um projeto. Ela é utilizada para avaliar o percentual de retorno. Para que um investimento seja rentável, é necessário que a Taxa Interna de Retorno (TIR) seja maior que a TMA.

A TIR é difícil de ser calculada sem a ajuda de uma calculadora financeira ou um software, principalmente quando o número de períodos (n) do projeto começa a aumentar. Isso ocorre porque sua resolução gera a necessidade de resolver equações polinomiais. Por conta disso, foi utilizado a função TIR presente na planilha eletrônica Excel para calcular a taxa interna de retorno do investimento. Essa função TIR faz o cálculo de maneira automática.

Nas tabelas 14 e 15, são apresentados os resultados dos cálculos realizados da Taxa Interna de Retorno para cada avenida.

Tabela 14 - Cálculo da TIR para a avenida LO-27

AVENIDA LO-27	
TIR	11,30%
TMA	3,50%
TIR>TMA	Viável

Fonte: elaboração dos autores.

Na tabela 14, é possível verificar o valor da Taxa Interna de Retorno de 11,30% para a avenida LO-27. A TIR tem um valor maior que a TMA. Significa que o investimento é viável, pois o investimento apresentou um retorno maior que o retorno em uma aplicação mais conservadora, como o Tesouro Direto Selic, a qual indexamos a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Tabela 15 - Cálculo da TIR para a avenida NS-02

AVENIDA NS-02	
TIR	1,96%
TMA	3,50%
TIR<TMA	Inviável

Fonte: elaboração dos autores.

Na tabela 15, é possível verificar o valor da Taxa Interna de Retorno de 1,96%, para a avenida NS-02. A TIR tem um valor menor que a TMA. Significa que o investimento é inviável. O investimento apresentou um retorno menor que o retorno em uma aplicação mais conservadora como o Tesouro Direto Selic, a qual indexamos a nossa Taxa Mínima de Atratividade (TMA) no valor de 3,50%. Logo, do ponto de vista da TIR, esse investimento é inviável.

4.8.3 Payback Descontado

Foi utilizado o cálculo do payback descontado para as duas avenidas. O cálculo foi realizado a partir da equação 7, a qual permite identificar o tempo em que o investimento passará a ter saldo positivo.

Para obter essa projeção de saldo positivo, foi empregado um período de 16 anos e com um custo inicial negativo no fluxo de caixa de R\$ - 30.728,28, que é referente ao valor total do investimento para a compra das 44 luminárias LED ESAT

PLUS 150 W na avenida LO-27 e para a avenida NS-02. Para alcançar a projeção de saldo positivo, foi empregado um período de 17 anos e com custo inicial negativo no fluxo de caixa de R\$ -28.099,84, que é referente ao valor total do investimento para a compra das 32 luminárias LED ARES MAXI 240 W.

Nas tabelas 16 e 17, podemos observar o payback descontado para cada avenida.

$$PV = \frac{FV}{(1+i)^n}$$

Equação 7 - Cálculo do Payback Descontado.

Onde:

PV: Valor Presente - Valor Descontado;

FV: Valor Futuro;

i: Taxa de Juros - TMA

n: Período - Tempo (anos ou meses).

Tabela 16 - Cálculo do Payback Descontado da AV. LO-27.

AVENIDA LO-27			
Custo Inicial	TMA	Fluxo de Caixa Descontado	Saldo
R\$ 30.728,28	3,50%		
Período (Anos)	Fluxo de Caixa		
1	-R\$ 30.728,28	-R\$ 30.728,28	-R\$ 30.728,28
2	R\$ 5.305,56	R\$ 4.952,80	-R\$ 25.775,48
3	R\$ 5.305,56	R\$ 4.785,31	-R\$ 20.990,17
4	R\$ 5.305,56	R\$ 4.623,49	-R\$ 16.366,68
5	R\$ 5.305,56	R\$ 4.467,14	-R\$ 11.899,54
6	R\$ 5.305,56	R\$ 4.316,08	-R\$ 7.583,47
7	R\$ 5.305,56	R\$ 4.170,12	-R\$ 3.413,34
8	R\$ 5.305,56	R\$ 4.029,10	R\$ 615,76
9	R\$ 5.305,56	R\$ 3.892,85	R\$ 4.508,61
10	R\$ 5.305,56	R\$ 3.761,21	R\$ 8.269,82
11	R\$ 5.305,56	R\$ 3.634,02	R\$ 11.903,84
12	R\$ 5.305,56	R\$ 3.511,13	R\$ 15.414,98

13	R\$ 5.305,56	R\$ 3.392,40	R\$ 18.807,37
14	R\$ 5.305,56	R\$ 3.277,68	R\$ 22.085,05
15	R\$ 5.305,56	R\$ 3.166,84	R\$ 25.251,89
16	R\$ 5.305,56	R\$ 3.059,75	R\$ 28.311,64
PAYBACK DESCONTADO (ANOS)			7,8

Fonte: elaboração dos autores.

De acordo com a tabela 16, o tempo que o saldo do investimento fica positivo está entre o 7° e 8° após o investimento inicial de R\$ -30.728,28. O valor exato do payback descontado acontecerá entre 7 e 8 anos. Esse tempo de payback é referente ao investimento feito na avenida LO-27 (NS-04 a NS-10).

Segundo com a tabela 17 do presente trabalho, o tempo de retorno do investimento fica entre o 14° e 15° ano após o investimento inicial de R\$ -28.099,84. Para ser mais exato, o payback descontado acontecerá em 14,6 anos. Esse tempo de payback é referente ao investimento feito na avenida NS-02 (LO-11 a LO-13). Do ponto de vista desse indicador econômico, não houve a apresentação de um tempo muito viável para retorno do investimento.

Tabela 17 - Cálculo do Payback Descontado da AV. NS-02.

AVENIDA NS-02			
Custo Inicial	TMA	Fluxo de Caixa Descontado	Saldo
R\$ 28.099,84	3,50%		
Período	Fluxo de Caixa		
1	-R\$ 28.099,84	-R\$ 28.099,84	-R\$ 28.099,84
2	R\$ 2.692,58	R\$ 2.513,55	-R\$ 25.586,29
3	R\$ 2.692,58	R\$ 2.428,55	-R\$ 23.157,73
4	R\$ 2.692,58	R\$ 2.346,43	-R\$ 20.811,31
5	R\$ 2.692,58	R\$ 2.267,08	-R\$ 18.544,23
6	R\$ 2.692,58	R\$ 2.190,42	-R\$ 16.353,81
7	R\$ 2.692,58	R\$ 2.116,34	-R\$ 14.237,47
8	R\$ 2.692,58	R\$ 2.044,78	-R\$ 12.192,69
9	R\$ 2.692,58	R\$ 1.975,63	-R\$ 10.217,06
10	R\$ 2.692,58	R\$ 1.908,82	-R\$ 8.308,24
11	R\$ 2.692,58	R\$ 1.844,27	-R\$ 6.463,97
12	R\$ 2.692,58	R\$ 1.781,90	-R\$ 4.682,07
13	R\$ 2.692,58	R\$ 1.721,65	-R\$ 2.960,42
14	R\$ 2.692,58	R\$ 1.663,43	-R\$ 1.296,99

15	R\$ 2.692,58	R\$ 1.607,18	R\$ 310,18
16	R\$ 2.692,58	R\$ 1.552,83	R\$ 1.863,01
17	R\$ 2.692,58	R\$ 1.500,32	R\$ 3.363,33
PAYBACK DESCONTADO (ANOS)			14,6

Fonte: elaboração dos autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas informações levantadas no tópico anterior do presente trabalho, foi possível determinar a situação da atual iluminação pública das avenidas LO-27 (NS-04 a NS-10) e NS-02 (LO-11 a LO-13) da cidade de Palmas -TO. O tratamento dessas informações permitiu analisar os estudos de viabilidade técnica e econômica do sistema de iluminação pública.

Esta seção apresenta os resultados obtidos por meio da análise de consumo de energia elétrica em cada avenida antes e depois da substituição pelas luminárias com tecnologia LED, fazendo um comparativo de consumo de energia elétrica em cada avenida com a utilização de luminárias em alta pressão a vapor de sódio e multivapor metálico.

Em seguida foram levantados os dados do valor monetário pago nas faturas de energia elétrica de cada avenida, a partir disso foi possível realizar um comparativo do antes e depois da substituição pelas luminárias LED. Além disso, os dados coletados permitiram realizar a análise de viabilidade econômica do objeto de estudo por meio de indicadores econômicos já calculados no tópico 5, sendo eles o VPL, TIR, e Payback Descontado.

5.1 COMPARATIVO DO CONSUMO DAS LUMINÁRIAS EM CADA AVENIDA

O projeto de eficiência energética aplicado à iluminação pública tem como objetivo produzir energia luminosa e reduzir os custos com a energia elétrica. As avenidas LO-27 e NS-02 de Palmas-TO contavam com a utilização de tecnologias defasadas, com alto custo de manutenção e consumo de energia elétrica. Com isso, a busca por novas tecnologias é de suma importância. As tabelas 18 e 19 mostram o comparativo de consumo de energia elétrica e o percentual de redução nas avenidas LO-27 e NS-02, respectivamente.

Tabela 18 - Comparativo do consumo de energia elétrica da AV. LO-27.

CONSUMO (kWh/Mês)					
ENDEREÇO	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2019 - Mar/2020) - VAPOR DE SÓDIO 250 W	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 150 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2019 - Mar/2020) - VAPOR DE SÓDIO 250 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 150 W	Percentual de Redução do Consumo de Energia Elétrica (%)
AV. LO-27 (NS-04 a NS-10)	934,00	431,93	31,13	14,40	53,75%

Fonte: elaboração dos autores.

Tabela 19 - Comparativo do consumo de energia elétrica da AV. NS-02.

CONSUMO (kWh/Mês)					
ENDEREÇO	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2019 - Mar/2020) - MULTIVAPOR METÁLICO 400 W	Média de Consumo Mensal Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 240 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2019 - Mar/2020) - MULTIVAPOR METÁLICO 400 W	Média de Consumo Diário Total (Nov/2020 - Mar/2021) - LED 240 W	Percentual de Redução do Consumo de Energia Elétrica (%)
AV. NS-02 (LO-11 a LO-13)	877,06	426,11	29,24	14,20	51,42%

Fonte: elaboração dos autores.

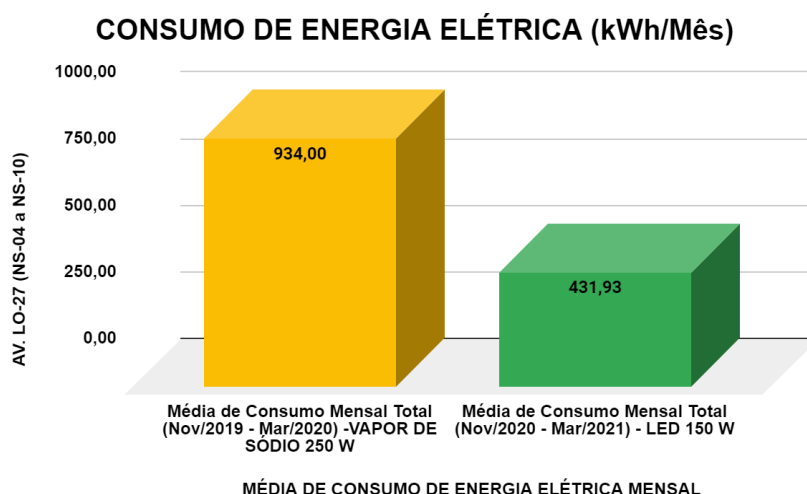
Nota-se, por meio dos dados da tabela 18, uma queda relativa no consumo durante o período de 5 meses de análise. Na avenida LO-27, a redução foi de 934 kWh/mês para 431,93 kWh/mês após a utilização das luminárias LED. Essa redução reflete em um percentual de decréscimo de aproximadamente 53,75%, em que foram substituídas 44 luminárias do tipo vapor de sódio 250 W pelas luminárias LED 150 W.

A tabela 19 apresenta uma queda relativa no consumo durante o período de 5 meses de análise. Na avenida NS-02, a redução foi de 877,06 kWh/mês para 426,11 kWh/mês após a utilização das luminárias LED. Essa redução reflete em um percentual de decréscimo de aproximadamente 51,42%, em que foram substituídas 32 luminárias do tipo multivapor metálico 400 W pelas luminárias LED 240 W.

Por meio da análise individual de cada avenida detalhada no tópico 5 do presente trabalho, chegou-se ao resultado da média de consumo de energia mensal

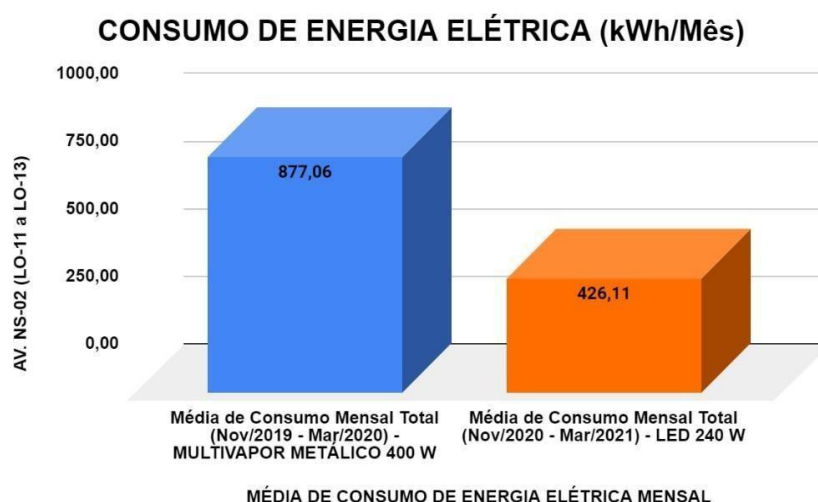
no período de análise de 5 meses, dos meses de novembro até o mês de março. As figuras 31 e 33 do tópico 5 do presente trabalho apresentam o comparativo da média de consumo de cada modelo de luminária em cada avenida, através dessas figuras é possível verificar a quantidade de consumo que foi reduzido.

Figura 31 - Comparativo consumo de energia elétrica mensal na avenida LO-27



Fonte: elaboração dos autores.

Figura 33 - Comparativo consumo de energia elétrica mensal na avenida NS-02



Fonte: Elaboração dos autores.

5.2 COMPARATIVO DO VALOR PAGO NAS FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM CADA AVENIDA

A partir dos dados coletados na fatura de energia elétrica das unidades consumidores das avenidas LO-27 e NS-02, foi possível comparar o valor pago em cada fatura de energia elétrica da avenida LO-27 e NS-02, ou seja, um comparativo entre o valor pago nas faturas com utilização das luminárias a vapor de sódio 250 W e depois pelas luminárias LED 150 W. O mesmo raciocínio vale para as luminárias multivapor metálico e LED 240 W.

A tabela 20 exibe o valor pago na fatura de energia elétrica de cada avenida para todos os modelos de luminárias abordadas no presente trabalho. Na AV. LO-27, a diferença entre o valor pago após a substituição das luminárias a vapor de sódio 250 W pelas luminárias LED 150 W chega ao total de R\$ 442,13 mensal de economia e R\$ 5.305,56 de economia anual, com um percentual de redução de 25,03%. Na AV. NS-02, a diferença entre o valor pago após a substituição das luminárias multivapor metálico 400 W pelas luminárias LED 240 W chega ao total de R\$ 224,38 mensal de economia e R\$ 2.692,58 de economia anual com um percentual de redução de 14,75%.

Tabela 20 - Valor pago na fatura de energia das Avenidas LO-27 e NS-02.

Endereço	Média do Valor Total Pago da Fatura de Energia Elétrica (R\$/kWh)				
	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2019 - Abr/2020) - VAPOR DE SÓDIO 250 W	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2020 - Abr/2021) LED 150 W	Percentual de Redução (%)	Média da Economia Mensal da Fatura de Energia Elétrica	Média da Economia Anual da Fatura de Energia Elétrica
A V. LO-27 - EM FRENTE AO CHEFINHO LANCHES	R\$ 1.766,40	R\$ 1.324,27	25,03%	R\$ 442,13	R\$ 5.305,56
Endereço	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2019 - Abr/2020) MULTIVA POR METÁLICO 400 W	Média da Fatura Mensal Total (Nov/2020 - Abr/2021) LED 240 W	Percentual de Redução (%)	Média da Economia Mensal da Fatura de Energia Elétrica	Média da Economia Anual da Fatura de Energia Elétrica

AV. NS-02 - EM FRENTE A PREFEITURA	R\$ 1.540,18	R\$ 1.315,79	14,57%	R\$ 224,38	R\$ 2.692,58
--	--------------	--------------	--------	------------	--------------

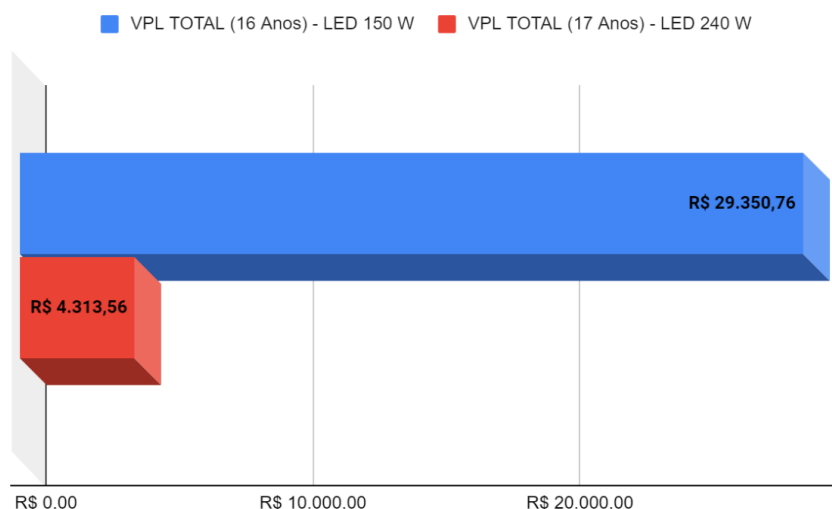
Fonte: elaboração dos autores.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

A partir dos cálculos executados para definir o Valor Presente Líquido Total (VPL) de modelo de luminária presente na avenida LO-27 e NS-02, realizados no tópico 5.7.1 do presente trabalho, a análise foi feita para um período de 16 anos para a luminária LED ESAT PLUS 150 W e um período de 17 anos para a luminária LED ARES 240 W. Assim, foram encontrados os valores do VPL em R\$ e apresentados na Figura 37, na qual se pode analisar o resultado para os dois modelos de luminárias avaliadas.

Nesse caso, é notável um VPL positivo para ambas as luminárias LED, porém o VPL não teve um valor muito grande para a luminária LED 240 W. Nesse caso, é importante optar pela escolha de outra luminária ou rever as condições em que essa luminária foi instalada para alcançar essa performance. Nesse caso, o projeto é considerado viável pelo indicador econômico VPL positivo. O VPL positivo indica que o investimento realizado teve mais receita do que despesas.

Figura 37 - VPL Total para cada modelo de luminária LED.

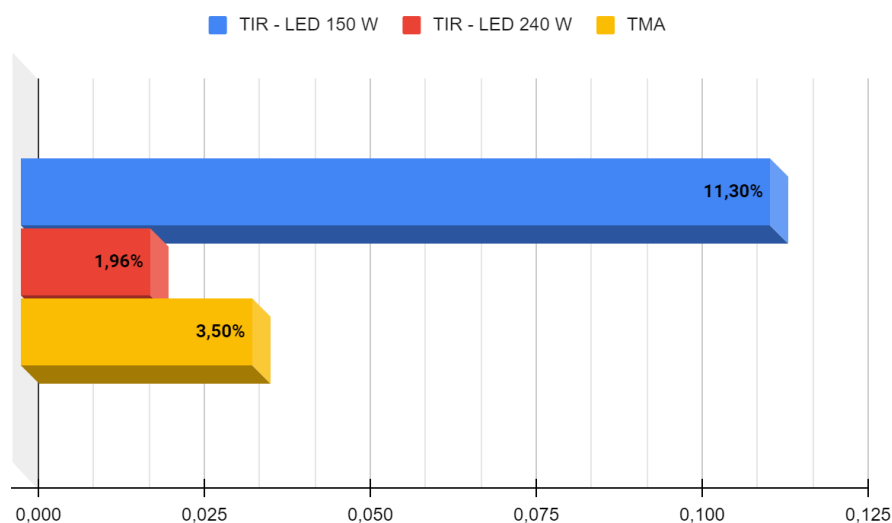


Fonte: elaboração dos autores.

Outro parâmetro de cálculo foi a Taxa Interna de Retorno Total (TIR) de cada modelo de luminária presente na avenida LO-27 e NS-02, o tópico 5.7.2 deste trabalho apresenta os cálculos realizados da TIR. A análise foi realizada para um período de 16 anos para a luminária LED ESAT PLUS 150 W e um período de 17 anos para a luminária LED ARES 240 W. Para que o investimento seja viável, o valor da TIR deve ser maior que o valor da Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

A Figura 38 apresenta o valor da TIR para cada luminária e a sua comparação com a TMA utilizada no projeto. Como é possível verificar, o valor da TIR para a luminária LED 150 W é maior que a TMA. Logo, o investimento é viável do ponto de vista desse parâmetro. Já para a luminária LED 240 W, a TIR é menor que a TMA de 3,50%. Logo esse investimento não é viável, pois o investidor teria mais custos do que receitas com esse investimento.

Figura 38 - TIR Total para cada modelo de luminária LED.



Fonte: elaboração dos autores.

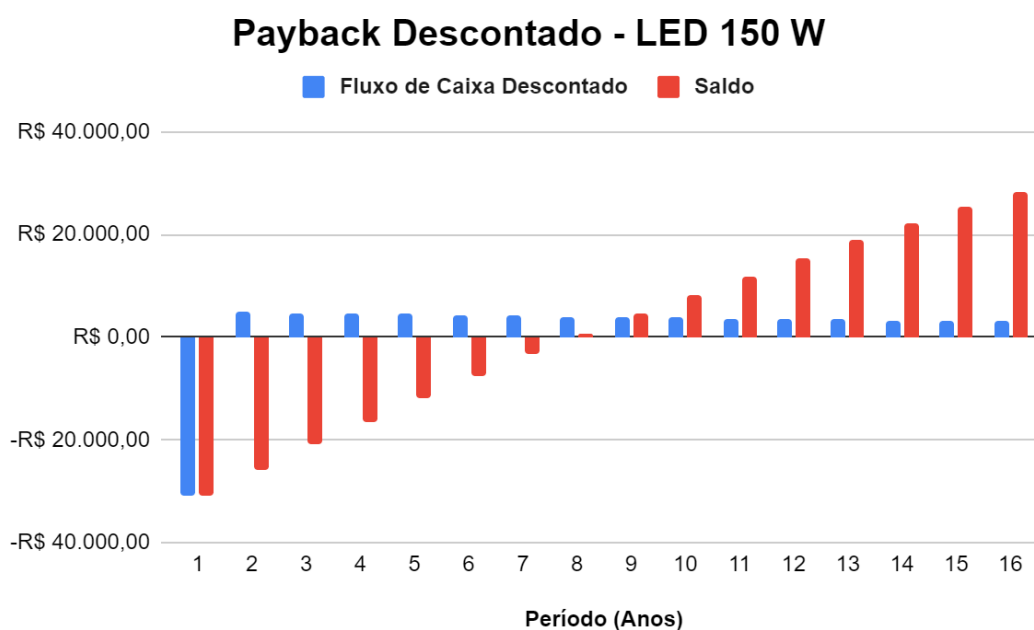
O último indicador econômico aplicado foi o Payback Descontado. Ainda no que se refere à viabilidade econômica do projeto de Eficiência Energética realizado neste trabalho, foi realizado o cálculo do Payback dos cenários em estudo detalhado no tópico 5.7.3. Assim, foi realizada uma análise na qual foi possível

identificar o tempo em que o investimento passará a ter saldo positivo em cada modelo de luminária empregado.

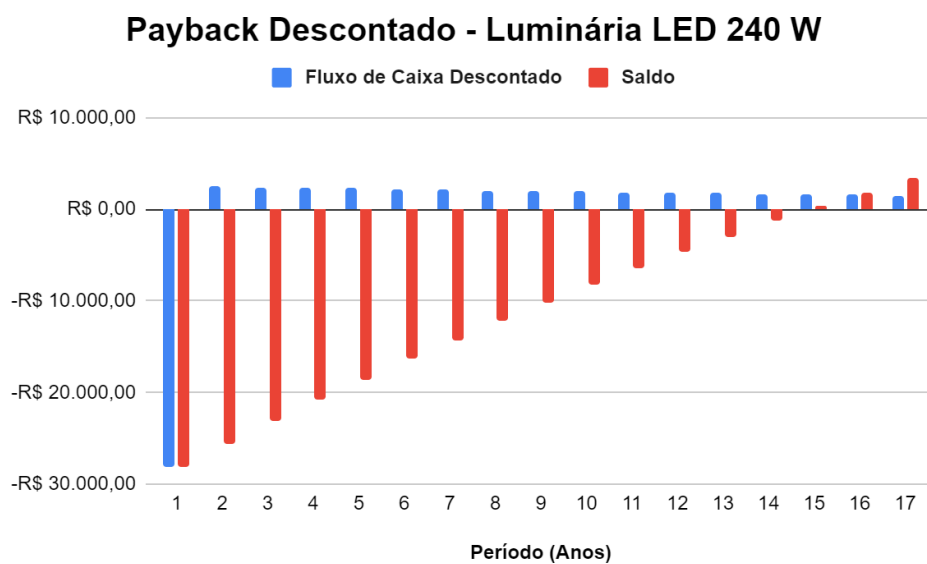
Na avenida LO-27, onde a projeção para obter saldo positivo em um intervalo de 16 anos, de acordo com a Figura 39, é a partir do oitavo ano após o investimento inicial de R\$30.728,28, dessa maneira o projeto é executável.

Na avenida NS-02, onde a projeção para obter saldo positivo em um intervalo de 17 anos, de acordo com Figura 40, é a partir do décimo quinto ano, passa a ter saldo positivo. Isso representa que a avenida LO-27, com a utilização da luminária LED 150 W, em relação a avenida NS-02, com a utilização de luminária LED240W, terá o retorno do investimento inicial para a avenida LO-27 mais rápido, equivalente a 7 anos de diferença. Do ponto de vista do Payback descontado, a NS- 02, apresentou um valor muito longo para retorno do investimento, isso pode ser um fator que inviabilize um investimento.

Figura 39 - Payback Descontado da luminária LED 150 W.



Fonte: elaboração dos autores.

Figura 40 - Payback Descontado da luminária LED 240 W.

Fonte: elaboração dos autores.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como intuito realizar a análise de eficiência energética no estudo de caso realizado no projeto de eficiência energética aplicado ao sistema de iluminação pública da cidade de Palmas - TO. Cidade onde 44 luminárias em alta pressão a vapor de sódio 250 W foram substituídas por luminárias da tecnologia LED 150 W, especificamente na avenida LO-27 (NS-04 a NS-10), e onde 32 luminárias em alta pressão multivapor metálico 400 W foram substituídas pelas luminárias LED 240 W na avenida NS-02 (LO-11 a LO-13).

Para tanto, foi apresentado o consumo energético antes e depois da substituição das luminárias das unidades consumidoras das respectivas avenidas. Com base no consumo e na inspeção dos equipamentos elétricos em uso, verificou-se que as luminárias empregadas nessas avenidas estavam com um tipo de tecnologia defasada, posto que elas estavam representando um alto valor no consumo de energia elétrica e, portanto, gerando altos custos de iluminação pública para o município de Palmas-TO.

Com isso, o município foi contemplado com um programa de eficiência energética que promoveu a troca das luminárias do tipo vapor de sódio e multivapor metálico por luminárias LED. Esse projeto foi executado pela empresa Energisa. Após a substituição das luminárias, foi realizado o processo de coletas de dados, com o intuito de realizar um estudo comparativo do consumo de energia elétrica e do valor pago nas faturas de energia elétrica das avenidas LO-27 e NS-02 antes e depois da substituição das luminárias por LED. Os dados coletados ainda permitiram a realização de cálculos de viabilidade econômica para analisar o investimento realizado do ponto de vista financeiro, analisando se o investimento foi viável ou não.

Com os dados das luminárias, foi possível realizar a comparação dos aspectos luminotécnicos de cada modelo de luminária abordada no presente trabalho. Com o levantamento do consumo durante 5 meses nas duas avenidas e para cada modelo de luminária antes e depois da substituição por luminária LED, foi feita a análise de viabilidade econômica. No período de 16 anos para a avenida LO-27, obteve-se uma economia de R\$29.350,76 no valor presente líquido, com a

utilização da luminária LED 150 W. Um payback com retorno positivo em 8 anos e uma taxa de retorno interna (TIR) de 11,30%, o que torna viável o investimento, pois teve sua taxa maior que a TMA, que é o mínimo que o investidor se propõe a ganhar. Lembrando que todos os cálculos e técnicas ocorreram através do software Microsoft Excel 2019.

Para mais, foi feita a análise de viabilidade econômica na avenida NS-02, no período de 17 anos, na qual se obteve uma economia de R\$ 4.313,56 no valor presente líquido, com a utilização da luminária LED 240 W. Um payback com retorno positivo em 15 anos e uma taxa de retorno interna (TIR) de 1,96%, o que torna inviável o investimento, pois teve sua taxa menor que a TMA, que é o mínimo que o investidor se propõe a ganhar. Lembrando que todos os cálculos e técnicas utilizadas ocorreram através do software Microsoft Excel 2019.

Contudo, salienta-se que a partir da visitação in loco das avenidas LO-27 e NS-02 e o conhecimento da sua disposição física e elétrica, verificou-se que o programa de eficiência energética se propôs apenas em trocar as luminárias a vapor de sódio e multivapor metálico pelas de tecnologia LED, não levando em consideração informações dos fabricantes para a instalação ideal das luminárias, como as distâncias mínima entre postes, altura ideal de instalação das luminárias e objetos que causam sombreamentos na iluminação pública. Essas informações interferem em um melhor aproveitamento da iluminação pública. Para que isso ocorra, há a necessidade de um custo financeiro para adequação do sistema de iluminação pública conforme a luminária que será aplicada.

Portanto, dada a relevância do tema abordado, que além de propiciar a redução no consumo energético e, conseqüentemente, a minimização dos investimentos de produção de energia e de impactos ambientais, conclui-se que as metas propostas neste trabalho foram alcançadas, levando-se em consideração o intuito de que os resultados obtidos possam servir de incentivo para que o município de Palmas-TO e outras localidades implantem medidas de eficiência energética visando um bom desempenho econômico e energético.

A sugestão para trabalhos futuros é que seja feita uma nova avaliação do comportamento dessas avenidas em um período maior de análise. Para tanto, os custos de manutenção, depreciação e substituição de cada componente do sistema

de iluminação pública deverão ser levados em consideração nas análises tanto técnica quanto financeira para obtenção de resultados fidedignos.

Outra sugestão é a análise na prática da vida útil das luminárias instaladas durante um período de um ano e da vida útil dos demais componentes de iluminação pública. Essa análise permite obter resultados mais reais. Outra sugestão é a realização de um questionário com as pessoas que transitam sobre as vias, sobre a qualidade da temperatura de cor com as luminárias LED, se causam um cansaço visual ou não. O questionário poderá ajudar a receber o máximo de feedbacks. As sugestões de trabalhos futuros têm como objetivo influenciar em uma análise mais concreta dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABILUX. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **ORIENTAÇÕES GERAIS PARA USUÁRIOS SOBRE LUMINÁRIAS LED PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA – VIÁRIA, RUAS, AVENIDAS, TRAVESSAS, LOGRADOUROS, PARQUES E ÁREAS PÚBLICAS**. São Paulo, SP. Disponível em:< https://abilux.com.br/docs/abilux_cartilha_2017.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5101:2012 – Iluminação Pública – Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ. p.35.

_____. **ABNT NBR 5101:2012 – Iluminação Pública – Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, c2020. 27 p. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=406808>>. Acesso em: 06 jan. 2021.

_____. **ABNT NBR 5181:2013 – Sistemas de iluminação de túneis — Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, c2020. 27 p. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=251952>>. Acesso em: 06 jan. 2021.

_____. **ABNT NBR 15129:2012 – Luminárias para iluminação pública — Requisitos particulares**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, c2020. 16 p. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=91547>>. Acesso em: 06 jan. 2021.

_____. **ABNT NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, RJ. P. 209.

ALTOÉ, LEANDRA; [et al.]. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. São Paulo, SP. 2017. v. 31. no.89 . p. 285-297. Jan./Apr. 2017. Estudos Avançados. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0285.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Iluminação Pública**. Brasília, DF. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/ip>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

_____. **Iluminação Pública**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/destaques-consumidor/-/asset_publisher/kM1X2uTBr6qH/content/iluminacao-publica/655804>. Acesso em: 05 jan. 2021.

_____. **PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, REVISTA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 3ª Edição, Junho 2017. Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/ip>>. Acesso em: 20 Maio. 2021.

_____. **Fatura de fornecimento de energia elétrica**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximize>.

d&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3D9Ggf5GjV%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15048875&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=fatura-de-fornecimento-de-energia-eletrica&inheritRedirect=true>. Acesso em: 14 jun. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. **O Plano Plurianual – PPA**. Brasília, DF. Disponível em:

<<https://www.justica.gov.br/Acesso/governanca/PPA>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

CECCONELLO, Antonio Renato; AJZENTAL, Alberto. **A construção do plano de negócio**. São Paulo: Saraiva, 2008. 1 Ed. 328 p. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=PStrDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 14 jan. 2021.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Manual de Iluminação Pública**.

Curitiba, PR: COPEL, c2020. Disponível em:

<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fsitearquivos2.nsf%2Farquivos%2Fmanual_iluminacao_publica>. Acesso em: 28 dez. 2020.

CREDER, HÉLIO. **Instalações elétricas / Hélio Creder; atualização e revisão Luiz Sebastião Costa**. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ELETROBRAS. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica Reluz - PROCEL**. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BCC4A0FEF-A8D7-41C0-BC18-66507F3192F8%7D&Team=¶ms=itemID=%7BD72C274C-52A8-4CED-B954-02556F4BC6AF%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FA D4803C8898%7D>>. Acesso em: 08 jan. 2021.

ELETROBRAS. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL**. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

ENERGISA. **Iluminação Pública**. Disponível em:

<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxasprazosnormas/iluminacao-publica.aspx>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

_____. **Normas Técnicas – NDU 035 – Iluminação Pública**. Palmas, TO:

ENERGISA, c2020. Disponível em:<

<https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20035%20%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20P%C3%BAblica.pdf>>. Acesso em: 06 Jan. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese BEN 2020/Ano Base 2019**. Brasília, DF: EPE, c2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/balancoenergetico-nacional-2020>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

EXATRON. **Relé Fotocélula**. 2020. Disponível em: <<https://www.exatron.com.br/produtos/rele-fotocelula-tri-facil-220-v>>. Acesso em: 08 jan. 2021.

FILHO, JOÃO MAMEDE. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. [S. l.]. LTC, 2017.

GOUVEIA, ROSIMAR. **Energia Elétrica**. In: *TodaMatéria*. Dezembro, 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-eletrica/>>. Acesso em: 24 dez. 2020.

IWASHITA, JULIANA. **Vida mediana ou vida útil**. O setor elétrico. Março, 2011. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/vida-mediana-ou-vida-util/>>. Acesso em: 10. Mar. 2021.

KRÜGER, CRISTIANE; RAMOS, LUKAS FESKA. **Iluminação pública e efficientização energética**. Revista Espaço Acadêmico, [S. l.]: v.16(185), p.37-49, outubro, 2016 - ISSN 1519.6186, p. 38. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/31530/17597>>. Acesso em: 29 dez.2020.

LEÃO, A. G. **ENGENHARIA ECONÔMICA AVANÇADA - TÓPICOS AVANÇADOS – MATERIAL DE APOIO**. Rio Grande Do Sul, RS. 2012. 55 p. Disponível em:<https://www.politecnica.pucrs.br/professores/alvaro/Engenharia_Economica_Avancada/Topicos_Avancados.pdf>. Acesso em 14 jan. 2021.

LEDSTAR. **Luminária Pública LED 96 W LEDSTAR DURA**. São Paulo, SP. Disponível em:<<https://www.ledstar.com.br/produto/luminaria-publica-led-96w-dura/>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

LEGISWEB - PALMAS/TO. **Lei Complementar N° 370, De 02 de Maio de 2017**. Palmas, TO. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=342967>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

_____. **Lei Complementar N° 285, De 31 de Outubro de 2013**. Palmas, TO. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=261379>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

LIMA, C. A. F; DA SILVA, E. B.; MUNIZ, L. M. **Luminotécnica: matemática e iluminação, fatores de excelência na aprendizagem**. 2009. 121p. Tese (Graduação em Ciências) – Universidade Estadual do Maranhão. Imperatriz, p.17. Disponível em:

<<https://www.docsity.com/pt/luminotecnica-matematica-e-iluminacao-fatores-de-excelencia-na-aprendizagem/4793290/>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

MATTEI, JEFFERSON. **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA, DA AMPLIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE RAPADURAS NA AGRICULTURA MATTEI, CONSIDERANDO O RISCO ASSOCIADO AO RETORNO ESPERADO.** 2016. 83p. Tese (Graduação em Administração de Empresas) - Centro Universitário - UNIVATES. Sério, RS, Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1467/1/2016JeffersonMattei.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resultados Procel 2020, Ano Base – 2019.** Brasília, DF. 2020. p. 1-85. Disponível em: <<file:///C:/Users/marco/Downloads/2020%2007%2030%20rel%20procel%202020%20versao%20WEB.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

NOVAIS, M. I. O. **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE GRUPO DE GERADOR A DIESEL NO INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS - IFTO CAMPUS PALMAS.** 2019. 63p. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal do Tocantins - IFTO. Palmas-TO.

OLIVEIRA, S. A. M. G. S. **Eficiência energética em iluminação pública na UFERSA.** 2018. 13p. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA. Mossoró, RN, Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3631>>. Acesso em: 08 Jan. 2021.

OSB - OBSERVATÓRIO SOCIAL do BRASIL - PALMAS/TO **Relatório de Análise da Iluminação Pública do município de Palmas - TO.** Palmas, TO: OSB, c2019. Disponível em: <https://osbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/05/Relat%C3%B3rioOSPALMASIlumina%C3%A7%C3%A3o-P%C3%BAblica_2019.pdf>. Acesso em: 05 Jan. 2021.

O SETOR ELÉTRICO. **A Necessidade de uma gestão eficiente no setor de iluminação pública das cidades.** [S. l.]: , fevereiro, 2020. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/a-necessidade-de-uma-gestao-eficiente-no-setor-de-iluminacao-publica-das-cidades/>>. Acesso em: 27 Dez. 2020.

PHILIPS. **Reator Vapor Metálico AFP Interno 35 W 220V PHILIPS.** Loja Elétrica. 2020. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/reator-vapor-metalico-afp-interno-35w220vphilips,product,2450503700101,dept,1005.aspx>>. Acesso em: 08 Jan. 2021.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Lei de Eficiência Energética.** 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

PPA. PLANO PLURIANUAL. **Plano Plurianual 2018-2021 de Palmas-TO**. Palmas, TO: PPA, 2020. Disponível em: <https://www.palmas.to.gov.br/media/transparencia/f5a0bdf90a44afa795c1bd0cf3184808_14052018102420.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

RODRIGUES, S. F.; VAZQUEZ, G. H.; MORAIS, J. S. **Substituição de lâmpadas fluorescentes por *light emitting diode* (LED) em uma instituição de ensino: preocupação ambiental, energética e econômica**. Rio de Janeiro, RJ. 2019. v. 24. n.4 . p. 799-808. Jul/ago 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v24n4/18094457esas141341522019187418.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

RODRIGUES, JEORGINA GENTIL. **Normalização Bibliográfica**. Disponível em: <<https://pesquisaclinica.ini.fiocruz.br/sites/pesquisaclinica.ini.fiocruz.br/files/u33/5.%20Orientacoes%20e%20Normas%20para%20Apresentacao%20de%20Dissertacoes%20e%20Teses%20%28Normaliza%C3%A7%C3%A3o%20ABNT%29%202016.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2021.

ROSITO, LUCIANO HAAS. **Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil**, As origens da iluminação pública no Brasil, [S. I.] cap. 1, p. 30-31. Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/wpcontent/uploads/2012/11/Ed36_fasc_P_cap1.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2020.

SANTOS, MARCOS. **Iluminação pública com LEDS: vantagens que você deve conhecer**. Fevereiro, 2020. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/iluminacao-publica-com-leds-vantagensquevoce-deve-conhecer_3614>. Acesso em: 27 dez. 2020.

SCHUCH, LUCIANO; [et al.]. **SISTEMA AUTÔNOMO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE ALTA EFICIÊNCIA BASEADO EM ENERGIA SOLAR E LEDS**. Fevereiro, 2011. Disponível em: <<https://sobraep.org.br/site/uploads/2018/06/rvol16no1p12.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

SIMÃO, Luís Augusto Alves. GRIGOLETTI, Giane de Campos . **AValiação da Tecnologia LED para Iluminação Pública de Palmas - Tocantins**. 2015. Tese (Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Polo: Vila Flores. Santa Maria – RS.

WORLD BANK GROUP. **Iluminando Cidades Brasileiras: Modelos de Negócio para Eficiência Energética em Iluminação Pública**. Washington, DC. Edição do Seminário, 01 jun. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/marco/Downloads/Relatorio_Iluminando_Cidades_Brasileiras.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2021.