UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL – UCS

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS – CARVI

ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DANIEL MAURÍCIO OSS

DIRETRIZES PARA AQUISIÇÃO DE LUMINÁRIAS LED UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

BENTO GONÇALVES

2019

DANIEL MAURICIO OSS

DIRETRIZES PARA AQUISIÇÃO DE LUMINÁRIAS LED UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado na Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. André Bernardes Michel

BENTO GONÇALVES

2019

DANIEL MAURICIO OSS

DIRETRIZES PARA AQUISIÇÃO DE LUMINÁRIAS LED UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado na Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em _____ / _____ / _____.

Banca Examinadora:

_____
Prof. Me. André B. Michel (orientador)
Universidade de Caxias do Sul

_____
Prof. Me. Anderson S. dos Santos
Universidade de Caxias do Sul

_____
Prof. Me. Marta B. Alves
Universidade de Caxias do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais Paulo e Helena que não mediram esforços para garantir minha permanência nos estudos, a minha esposa Barbara por sempre estar me apoiando e aos colegas pelo incentivo e companheirismo durante toda esta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Me. André B. Michel e a todos os professores, por terem me proporcionado o conhecimento, contribuindo no desenvolvimento e formação profissional. A valorização do mestre deve ser reconhecida, pelo fato do mesmo servir como multiplicador de conhecimentos. A minha família, meus pais, minha esposa Bárbara, por sempre me apoiarem, independente da situação. Aos colegas, por dividirem momentos de incertezas, dificuldades, ansiedade, que serviram para fortalecer a amizade e superar desafios. E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, pois sem a ajuda de todos, este momento não seria possível.

RESUMO

O conteúdo apresentado neste trabalho tem por objetivo servir de suporte aos gestores públicos, responsáveis por definir as especificações técnicas, fotométricas e de segurança, contidas no termo de referências das licitações para compra de luminárias viárias LED. Como estudo de caso é proposta a análise de uma situação real, em que foi realizada a substituição de luminárias compostas de lâmpadas vapor de sódio, por luminárias LED, instaladas em uma via da cidade de Caxias do Sul. Por meio do perfil e dimensões da via, um estudo é realizado utilizando normas e modelos de luminárias que atendam aos requisitos luminotécnicos e de qualidade do produto, baseando-se em ensaios e certificações. O estudo define quais características devem ser apresentadas pelos modelos de luminárias ofertadas na compra via processo licitatório. Após aquisição e substituição das luminárias LED, análises foram realizadas por meio de mensurações de luminosidade no local e simulações, confirmando a eficiência do método e escolhas definidas.

Palavras-chave: Iluminação pública com LED, eficiência, modernização, responsabilidade.

ABSTRACT

The content presented in this paper is intended to support public managers responsible for defining technical, photometric and safety specifications contained in the references of the bids for the purchase of LED streetlights. As a case study it is proposed analysis of a real situation, where the replacement of luminaires composed of by LED luminaires, installed in a street in the city of Caxias do Sul. Through the profile and dimensions of the street, a study is carried out using standards and models of luminaires that meet the lighting and quality requirements of the product, based on tests and certifications. This study defines which characteristics should be presented by the models of luminaires offered in the purchase through bidding process. After acquisition and replacement of LED luminaires, analyzes were performed by means of on-site light measurements and simulations, confirming the efficiency of the method and choices.

Keywords: LED street lighting, efficiency, modernization, responsibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Espectro eletromagnético e o espectro visível. 19
Figura 2 - Representação Iluminância 21
Figura 3 - Temperatura de Cor Correlativa 22
Figura 4 - Exemplo de ofuscamento direto e indireto. 23
Figura 5 - Representação da distribuição luminosa onilateral. 24
Figura 6 - Diagrama de intensidade luminosa. 25
Figura 7 - Espectro irradiado lâmpada VSAP 250W 28
Figura 8 - Espectro emitido por um LED de luz branca. 30
Figura 9 - Estrutura LED de potência. 31
Figura 10- Direcionamento luminoso em uma luminária para lâmpada VSAP. 32
Figura 11 - Componentes principais de uma luminária LED. 35
Figura 12 - Lente secundária utilizada sobre o LED. 36
Figura 13 - Depreciação Luminosa da lâmpada VSAP de 400 W. 39
Figura 14 - Depreciação Luminária IP2X. 42
Figura 15 - Depreciação Luminária IP5X. 42
Figura 16 - Depreciação Luminária IP6X. 42
Figura 17 - Índice de sobrevivência lâmpadas VSAP 150 a 400 W. 43
Figura 18 - Exemplo fator de manutenção lâmpadas VSAP de diferentes marcas. 44
Figura 19 - Aplicação do método das intensidades luminosas em IP. 45
Figura 20 - Representação intensidades luminosas longitudinais verticais. 50
Figura 21 - Distribuição das intensidades transversais. 51
Figura 22 - Reprodução das faixas de controle de intensidade luminosa. 52
Figura 23 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). 56
Figura 24 - Fluxograma geral da proposta. 58

Figura 25 - Trecho definido para realização de retrofit. 59
Figura 26 - Planilha extrapolação Energy Star TM-21 Calculator. 63
Figura 27 - Pontos de medição de iluminância na via 67
Figura 28 - Simulação cores falsas. 68
Figura 29 - Simulação distribuição luminosa, calçada lado oposto. 69
Figura 30 - Simulação distribuição luminosa, pista de rolagem 69
Figura 31 - Simulação distribuição luminosa, calçada lado poste. 70
Figura 32 - Comparativo entre situação inicial e final. 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação graus de proteção. 33

Tabela 2 - Iluminância média mínima e uniformidade – tráfego de veículos. 49

Tabela 3 - Iluminância média mínima e uniformidade – tráfego de pedestres..... 49

Tabela 4 - Eficiência energética para luminárias com tecnologia LED 55

Tabela 5 - Medidas retiradas do local..... 60

Tabela 6 - Fator de Depreciação da Luminária (FDL) 63

Tabela 7 - Informações luminárias selecionadas. 64

Tabela 8 - Informações simulações luminárias. 70

Tabela 9 - Parâmetros elétricos e fotométricos situação inicial e final. 80

Tabela 10 - Medições de iluminância nos cenários inicial e atual 81

Tabela 11 - Iluminância média e fator de uniformidade VSAP e LED..... 82

Tabela 12 - Análise entre simulação e medições para a luminária LED 83

Tabela 13 - Iluminância média e fator de uniformidade Simulação x Medições 83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFP	Alto Fator de Potência
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAD	*Computer aided design* - Desenho Assistido por Computador
CIE	*Comission Internationale de l'Eclairage* - Comissão Internacional de Iluminação
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação da Energia
IEC	*International Electrotechnical Commission* – Comissão Internacional de Eletrotécnica
IES	*Illuminating Engineering Society* - Sociedade de Engenharia de Iluminação
IESNA	*Illuminating Engineering Society of North America* - Sociedade de Engenharia Iluminação da América do Norte
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IP	*Ingress Protection* – Proteção de Entrada
IRC	Índice de Reprodução de Cor
JPG	*Joint Photographics Experts Group* – Grupo de Especialistas em Fotografia.
LED	*Light-emitting diode* – Diodo emissor de luz
LNA	Laboratório Nacional de Astrofísica
NBR	Norma Brasileira Registrada
PDF	*Portable Document Format* – Formato Portátil de Documento
SMOSP	Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos
VSAP	Vapor de Sódio de Alta Pressão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1 OBJETIVO GERAL 17

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

1.3 RESTRIÇÕES DO TRABALHO 17

1.4 ESCOPO DO TRABALHO 18

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 19

2.1 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO 19

2.2 GRANDEZAS LUMINOTÉCNICAS 20

2.3 REPRESENTAÇÃO LUMINOSA DAS FONTES DE LUZ 23

2.3.1 Representação simétrica por coordenada polar onilateral 24

2.3.2 Representação assimétrica por curva polar bilateral 25

2.4 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE LUZ 25

2.4.1 Verificação com luxímetro 26

2.4.2 Goniofotômetro 26

2.5 PRINCIPAIS FONTES DE LUZ EMPREGADAS NA ILUMINAÇÃO VIÁRIA 27

2.5.1 Lâmpadas Multivapores Metálicos (MVM) 27

2.5.2 Lâmpadas Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP) 28

2.5.3 LEDs 29

2.6 LUMINÁRIAS UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA 31

2.6.1 Utilização de Refletores 32

2.6.2 Índice de proteção IP e IK 33

2.6.3 Luminárias LED para iluminação viária 35

2.6.3.1 Fonte de alimentação 35

2.6.3.2 Lentes de LED 36

2.6.3.3 Gerenciamento térmico 37

2.6.4 Conclusões parciais 37

2.7 MANUTENÇÃO DO FLUXO LUMINOSO 38

2.7.1 Fator de manutenção das luminárias (FM) 38

2.7.1.1 Fator de Depreciação da fonte Luminosa (FDL) 38

2.7.1.2 Manutenção do fluxo luminoso dos LEDs 39

2.7.1.3 Fator de Depreciação da Luminária (FDL) 41
2.7.1.4 Fator de Sobrevivência da fonte Luminosa (FSL) 43
2.7.2 Considerações do Fator de Manutenção (FM) 43
2.8 FERRAMENTAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO LUMINOTÉCNICO 44
2.8.1 Método das intensidades luminosas 44
2.8.2 Softwares para projetos de iluminação viária 45
2.8.2.1 Software *DIALux*® 46
2.9 REFERÊNCIAS NORMATIVAS E LEGAIS APLICÁVEIS 46
2.9.1 Principais normas técnicas e portaria aplicável à iluminação viária 47
2.9.1.1 Fundamentos da norma ABNT NBR 5101:2012 48
2.9.1.1.1 Classificação das vias 48
2.9.1.1.2 Classificação de luminárias a partir da distribuição luminosa 50
2.9.1.1.3 Controle de distribuição de intensidade luminosa 51
2.9.1.1.4 Verificação iluminância 52
2.9.1.2 Portaria do INMETRO no. 20/2017 53
2.9.1.2.1 Requisitos técnicos de segurança 53
2.9.1.2.2 Requisitos técnicos de desempenho 54
2.9.1.2.3 Identificação luminárias padronizadas 55
2.10 LICITAÇÃO E TERMO DE REFERÊNCIA 56
2.11 TRABALHOS CORRELATOS 56
3 METODOLOGIA 58
3.1 ESTUDO DE CASO 58
3.1.1 Descrição do ambiente 58
3.1.2 Situação encontrada 59
3.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS BÁSICOS PARA AQUISIÇÃO DE LUMINÁRIA LED 60
3.2.1 Classificação do tráfego 60
3.2.2 Iluminância e uniformidade 61
3.2.3 Simulação computacional para definição das grandezas básicas 61
3.2.4 Criação do termo de referências 65
3.2.5 Comparações e análises 66
4 RESULTADOS 68

4.1 RESULTADOS SIMULAÇÕES 68
4.2 DEFINIÇÃO PARÂMETROS TERMO DE REFERÊNCIAS 71
4.2.1 Características básicas 71
4.2.2 Componentes elétricos e eletrônicos 72
4.2.3 Propriedades ópticas e fotométricas 73
4.2.4 Características construtivas 75
4.2.5 Informações complementares: Identificação, manuais e embalagem 76
4.2.6 Ensaios de conformidades das luminárias 77
4.2.7 Entrega das propostas 78
4.3 ANÁLISES COMPARATIVAS 79
4.3.1 Análise de parâmetros entre situação inicial e final 80
4.3.2 Análise de iluminância e uniformidade antes e após substituição 81
4.3.3 Análise entre parâmetros medidos e simulados 82
5 CONCLUSÕES 85
REFERÊNCIAS 86
ANEXO A – RELATÓRIO TESTES LED NICHIA 90

1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública já passou por várias transformações ao longo do tempo. Inicialmente, a luz era gerada a partir do fogo, por meio da queima de combustíveis fósseis. Com a invenção da eletricidade, empregou-se a utilização de lâmpadas elétricas, e desde então a busca pela melhor tecnologia vem sendo discutida.

A necessidade cada vez maior na utilização dos espaços públicos no período noturno, pelo contingente de pessoas, faz com que autoridades do poder público se interessassem cada vez mais, em manter estes ambientes iluminados adequadamente. O objetivo é aumentar a visibilidade noturna para os pedestres, contribuir com a inibição da criminalidade, e proporcionar a sensação de segurança aos usuários. Além disso, uma via corretamente iluminada favorece a redução de acidentes automobilísticos. (FUNCHAL, 2017).

Com a publicação da resolução 479/2012, pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, foi estabelecido que a partir de primeiro de janeiro de 2015, a gestão dos ativos de Iluminação Pública deixaria de ser responsabilidade das distribuidoras de energia e passaria totalmente para os municípios. Desde então, muitos estudos veem sendo realizados, em busca do aperfeiçoamento dos métodos de manutenção e dos equipamentos utilizados para este fim, sempre buscando atender os requisitos exigidos em normas técnicas.

O segmento de iluminação pública e viária de Caxias do Sul sofre constantes mudanças em seus ativos conforme novas tecnologias são ofertadas por empresas do segmento de iluminação, porém, nenhuma aquisição de luminária com tecnologia LED foi realizada até a presente data. O emprego da tecnologia LED, se justifica por colaborar com a redução do consumo de energia, contribuindo com o setor elétrico, ajudando a conservar a energia disponível, principalmente no período considerado “horário de ponta”. Além do mais, permite reduzir os valores das faturas de energia elétrica pagas pelos municípios. (FUNCHAL, 2017).

A aquisição desta tecnologia por parte dos municípios implica na correta especificação técnica do produto a ser adquirido, fundamentada em exigências normativas e legais. Em caso de inconsistência ou escolha de requisitos inadequados, os agentes públicos responsáveis, podem sofrer questionamentos, ser acusados de falha na responsabilidade legal ou até improbidade administrativa.

Desta forma, o foco deste trabalho é apresentar as diretrizes para a criação das especificações técnicas de segurança e desempenho na compra de luminárias públicas LED, via processo licitatório. Por ser uma tecnologia ainda não difundida na cidade de Caxias do Sul, observou-se a necessidade de realizar um estudo, a fim de garantir a aquisição de produtos que atendam aos interesses regulatórios, sociais e ambientais. O estudo será baseado em métodos de cálculos luminotécnicos, normas nacionais e internacionais vigentes, simulações utilizando ferramentas computacionais e análises de equipamentos disponíveis no mercado atual.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver as diretrizes para criação do termo de referências técnicas e normativas, para a correta aquisição de luminárias viárias LED, por meio de processo licitatório.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para este trabalho são:

a) Analisar e definir os parâmetros à serem exigidos no termo de referências para compra das luminárias, conforme descrito na metodologia;
b) Realizar verificações e analisar os parâmetros luminotécnicos, energéticos e expectativa de vida entre instalação inicial e final;
c) Após a substituição, comparar parâmetros medidos no local e simulações para a nova instalação;
d) Verificar a eficiência dos métodos escolhidos para elaboração do termo de referências.

1.3 RESTRIÇÕES DO TRABALHO

Para este trabalho, algumas limitações devem ser definidas para que o seu desenvolvimento siga focado nos objetivos propostos.

a) O aprofundamento nas características de funcionamento dos LEDs e dos conversores, foge do escopo deste trabalho.

b) O termo de referências proposto neste trabalho, atende ao tipo de via utilizada como estudo de caso. Para vias com características diferentes, uma nova análise deve ser realizada.
c) A análise de viabilidade econômica não fará parte da proposta deste trabalho, devido a inconsistência dos valores adquiridos.

1.4 ESCOPO DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho será dividido em cinco capítulos. No capítulo dois, uma revisão bibliográfica apresentará os principais conceitos e características luminotécnicas, fundamentais para compreensões básicas. Também serão apresentados os métodos de cálculo para definir a iluminância na via, bem como alguns *softwares* de simulação que auxiliarão na definição dos parâmetros à serem exigidos no edital de compra das luminárias. No mesmo capítulo, será realizada uma revisão nas normas e leis pertinentes utilizadas em iluminação pública. Ao final do capítulo, o estado da arte descreve os objetivos e resultados de trabalhos utilizados como material orientativo. No capítulo três serão abordadas a metodologia e as ferramentas utilizadas para definir os parâmetros, características e ensaios que serão exigidos no termo de referências, para aquisição das luminárias LED a serem utilizadas na via escolhida como estudo de caso. No mesmo capítulo, serão apresentadas as análises que servirão de auxílio para verificar a eficácia do termo de referências aplicado no edital de compra. No capítulo quatro serão apresentados os resultados e no capítulo cinco as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

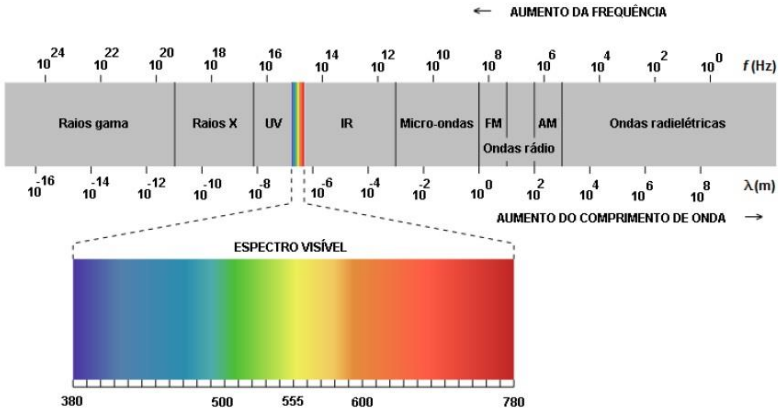
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Buscando o melhor desenvolvimento deste trabalho e auxílio no alcance dos objetivos propostos no capítulo um, alguns conceitos luminotécnicos necessitam ser revisados. Serão abordados neste capítulo, os tipos e características das fontes de luz mais utilizadas na atualidade para iluminação pública, assim como, os principais métodos de cálculo e softwares utilizados no desenvolvimento de projetos de iluminação viária. Além disso, o correto dimensionamento dos sistemas de iluminação, a busca pela qualidade das obras executadas e a responsabilidade legal atribuída aos profissionais responsáveis pelos editais licitatórios, faz com que normas nacionais e internacionais vigentes devam ser seguidas. Desta forma, será realizada uma revisão nas principais normas e legislações que dizem respeito às especificações técnicas relacionadas a iluminação pública.

2.1 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro visível ao olho humano, qual compreende-se como luz, encontra-se em uma pequena fração do espectro eletromagnético, como pode ser observado na Figura 1. O que diferencia a velocidade e propagação das ondas eletromagnéticas é o seu comprimento de onda (λ), medido em metro, e frequência (*f*), em hertz. (NISKIER; MACINTYRE, 2000).

Figura *1*- Espectro eletromagnético e o espectro visível.



Fonte: (FUNCHAL 2017, pg. 37)

O olho humano detecta a faixa de radiação situada entre 380 e 780 nanômetros [10^{-9}] m. Esta faixa situa-se entre o menor valor ao limite dos raios ultravioleta, e o maior, os raios infravermelhos. Além da luz visível, pode-se citar outras faixas de radiação

eletromagnéticas, sendo elas: ondas de rádio, radiação ultravioleta, radiação infravermelha, radiação ultravioleta, raios gama, raios x, dentre outros. (NISKIER; MACINTYRE, 2000).

2.2 GRANDEZAS LUMINOTÉCNICAS

a) Fluxo luminoso (ϕ) - Radiação total emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço, que por meio de estímulos da retina ocular, produz sensação de luminosidade. Sua unidade é o lúmen (lm). (NISKIER; MACINTYRE, 2000). Uma luz monocromática que emite uma potência óptica de 1/683 W, com comprimento de onda de 555nm, tem fluxo luminoso de 1 lm. (SCHUBERT, 2006).

b) Eficácia luminosa (η) - Eficiência luminosa pode ser compreendida como sendo a razão entre o fluxo luminoso emitido pela fonte de luz (ϕ), e a potência elétrica consumida pela mesma P_c. (MAMEDE FILHO, 2010). Utilizando a Equação (1) pode-se determinar qual fonte de luz é mais eficiente.

$$\eta = \frac{\Phi}{P_c} \text{ (lm/W)} \tag{1}$$

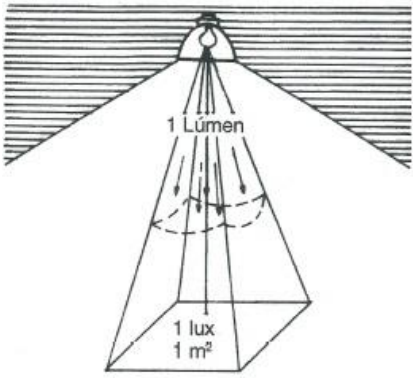
c) Intensidade luminosa (I) - Potência de radiação luminosa incidida em uma certa direção, sendo compreendida como a razão entre o fluxo luminoso (ϕ), emitido pela fonte em um ângulo sólido (ω) em torno de uma direção. A sua unidade é a candela (cd). (NISKIER; MACINTYRE, 2000). É definida pela Equação (2).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \text{ (cd)} \tag{2}$$

A partir destas definições, são construídas as curvas de distribuição luminosa, utilizadas por fabricantes de componentes para iluminação, em seus catálogos técnicos. Luminárias e fontes de luz são reduzidas a um único ponto no diagrama polar, sendo realizadas medições de intensidade luminosa em todas as direções, a partir deste ponto. (MAMEDE FILHO, 2010).

d) Iluminamento ou Iluminância (E) – Relação entre fluxo luminoso (Φ) incidente e a área da superfície iluminada *S* (m^2), expressada em lux (lx). O valor de lux obtido por meio da Equação (3) é definido como sendo a iluminância de uma superfície de 1 m², o qual recebe um fluxo luminoso uniforme de 1 lúmen, conforme pode ser visto na Figura 2. (NISKIER; MACINTYRE, 2000).

Figura *2* - Representação Iluminância



Fonte: (NISKIER; MACINTYRE, 2000, pg. 221)

A iluminância obtida pela Equação (3), na prática corresponde ao valor médio, devido a não uniformidade do fluxo sobre a superfície. (NISKIER; MACINTYRE, 2000).

$$E = \frac{\Phi}{S} (lx) \qquad (3)$$

É uma das grandezas utilizadas para verificação de conformidade em projetos luminotécnicos com valores fixados pela ABNT NBR 5101:2012. O equipamento utilizado para estas verificações é o luxímetro.

e) Luminância (L) – Compreendida como sendo a medida de sensação de claridade avaliada pelo cérebro. O fluxo luminoso, a intensidade luminosa e a iluminância, ou no caso os raios de luz somente poderão ser visíveis, se uma superfície refleti-las. (MAMEDE FILHO, 2010). Sua unidade é candela por metro quadrado e pode ser determinada utilizando a Equação (4).

$$L = \frac{I}{S*cos\alpha} (cd/m^2) \quad (4)$$

onde:

– I é a intensidade luminosa;

– S é a área da superfície iluminada vista pelo observador (m²);

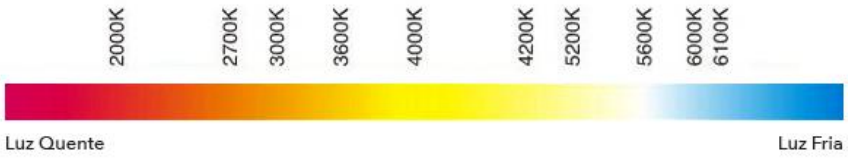
– α é o ângulo entre a direção de observação e a superfície iluminada.

Diferentes luminâncias ao longo de um espaço, resultantes da variação de quantidade de luz refletida, geram uma ideia de profundidade e noção de relevo. (GUERRINI, 2008).

f) Temperatura de Cor Correlata (TCC) – Baseia-se no conceito de corpo negro, objeto imaginário emissor de radiação de maneira contínua. Sua temperatura de trabalho expressa em kelvin (K), influência diretamente na sua cor. (MAMEDE FILHO, 2010).

A tonalidade de cores das lâmpadas é definida pela temperatura da cor, tendo como exemplo a luz do sol, que ao meio dia apresenta uma temperatura de cor de 5300 K. Luz de tonalidade amarelada, é considerada temperatura de cor baixa, porém de luz "quente". Já uma luz dita "fria", apresenta uma temperatura de cor alta e uma tonalidade clara, aproximando-se do branco. (MAMEDE FILHO, 2010). A linha de TCC pode ser vista na Figura 3.

Figura *3* - Temperatura de Cor Correlativa



Fonte: (NEW LINE ILUMINAÇÃO, 2017).

g) Índice de Reprodução de Cores (IRC) – Conceito de reprodução e caracterização das cores de um objeto iluminado, visto por um observador. Devido à dificuldade de avaliar comparativamente a sensação de tonalidades de cor entre os diversos tipos de lâmpadas comercializadas, utiliza-se indicadores que variam de 1 a 100 (em porcentagem). Para caracterizar a fonte de luz em análise, é utilizada como fonte de referência a luz emitida pelo aquecimento de um filamento de tungstênio. Índices de

Reprodução maiores apresentam reprodução de cores mais fiéis. (MAMEDE FILHO, 2010).

h) Ofuscamento – Fenômeno causado por excesso de luminância gerada por uma fonte de luz. Sua magnitude varia com a posição do espectador em relação ao eixo de visão e o tempo de permanência no mesmo local, ocasionando sensação de desconforto visual. (MAMEDE FILHO, 2010). O ofuscamento, como mostrado na Figura 4, pode ser direto (quando ocasionado diretamente pela fonte de luz), ou indireto (quando a luz é refletida por uma superfície).

Figura *4* - Exemplo de ofuscamento direto e indireto.

Fonte: (LNA, 2012)

A solução ou redução para este problema se dá por meio do uso de lentes difusoras ou opacas empregadas nas luminárias, direcionando assim os raios de luz a fim de não ocasionar desconforto às pessoas presentes no ambiente (MAMEDE FILHO, 2010).

2.3 REPRESENTAÇÃO LUMINOSA DAS FONTES DE LUZ

Para a elaboração de um projeto luminotécnico, o profissional da área deve contar com as curvas características de distribuição luminosa da luminária ou da fonte de luz que irá ser utilizada no projeto. As principais informações são: intensidade luminosa (cd) em todos os sentidos e ângulos de abertura. Este material é fornecido pelos fabricantes e encontram-se em formato de catálogos, sites, curvas *IES*, etc. (MAGGI, 2013).

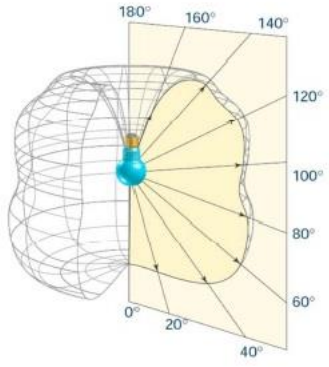
A curva de distribuição luminosa de uma luminária representada na forma gráfica, é formada a partir do elemento emissor de luz e seu sistema ótico reduzidos a um único ponto. A idéia principal é exibir as medições de intensidade luminosa, emitida por este conjunto, sendo que o modo mais comum de realizar este tipo de medição, é centralizada a fonte luminosa no interior de uma esfera e efetuada as medições de intensidade na casca da esfera. (MAGGI, 2013)

Para melhor visualização dos dados de interesse, a representação em um ou mais planos se faz necessária. A partir da necessidade de cada caso poderão ser utilizados distintos métodos representativos, os principais serão vistos a seguir.

2.3.1 Representação simétrica por coordenada polar onilateral

Devido ao fácil entendimento por meio visual, esta representação pode ser considerada como a mais comum para se demonstrar a distribuição de luz gerada por uma fonte, desde que a distribuição do fluxo luminoso se apresente de maneira uniforme. (MAMEDE FILHO, 2010). Situação que pode-se verificar na Figura 5. O termo onilateral é utilizado por se tratar de uma distribuição luminosa que apresenta planos iguais ao longo das latitudes (COSTA, 2006).

Figura 5 - Representação da distribuição luminosa onilateral.



Fonte: (MAGGI, 2013)

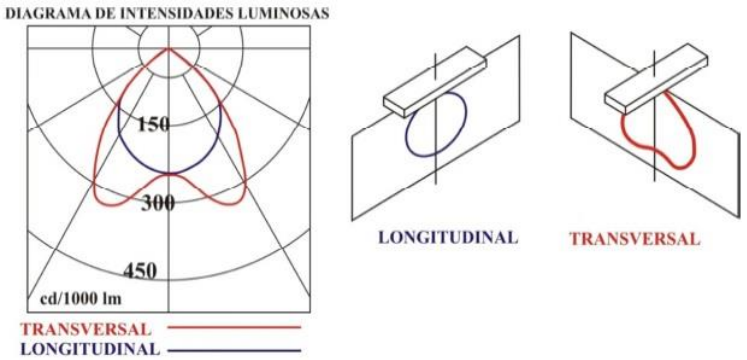
O vetor que une o centro da esfera à extremidade da curva e representa a intensidade luminosa em um dado sentido, tem sua direção determinada pelo ângulo α e sua grandeza

expressa em candelas por mil lumens do fluxo nominal fornecido pela fonte de luz. (COSTA, 2006).

2.3.2 Representação assimétrica por curva polar bilateral

Este método é utilizado em luminárias que apresentam distribuição luminosa no plano longitudinal diferente da distribuição do plano transversal. No caso mais simples utiliza-se pelo menos dois planos. A Figura 6 apresenta as curvas de uma luminária padrão composta por lâmpada fluorescente, onde a utilização de dois planos já se mostra satisfatório para o entendimento das curvas características e retirada de grandezas luminotécnicas. Desta forma, são apresentadas as curvas de distribuição das intensidades luminosas verticais no plano transversal, identificado por C90° e C270°, e as do plano longitudinal C0° e 180°. (COSTA, 2006).

Figura 6 - Diagrama de intensidade luminosa.



Fonte: (MAGGI 2013)

Caso a representação bilateral não se mostre suficiente para o correto entendimento fotométrico, um terceiro plano C intermediário se faz necessário, como por exemplo C45°. (COSTA, 2006). Estas curvas são vastamente utilizadas no setor de iluminação pública, onde os fabricantes de luminárias às ensaiam em laboratório e fornecem os diagramas aos interessados em adquirí-las.

2.4 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE LUZ

Para se conhecer os aspectos luminotécnicos de uma fonte de luz, equipamentos de medição espectrométricas são utilizados. São calibrados para medir comprimentos de ondas

específicos ou apenas comprimentos de ondas dentro do espectro visível pelo olho humano, localizados entre 380 nm e 780 nm conforme visto anteriormente. (MAGGI, 2013).

2.4.1 Verificação com luxímetro

Devido ao baixo custo e fácil manuseio, o luxímetro é o aparelho ideal para medições de iluminância (lux) em aplicações industriais ou em locais onde há necessidade de verificações pontuais. Os valores de iluminância obtidos servem de comparativo com valores normatizados. A conformidade visa um melhor conforto visual aos usuários do local. (FUNCHAL, 2017).

Os luxímetros utilizam um sensor cuja sensibilidade espectral esta calibrada o mais parecido possível com a curva de sensibilidade do olho humano, sendo o pico de sensibilidade encontrado em torno de 550 nm. (CHROMPACK, 2012 apud MAGGI, 2013).

Uma lente difusora é posicionada logo acima do sensor de medição, sua função é corrigir a leitura, levando-se em consideração a lei do cosseno, onde a intensidade luminosa incidida sobre uma superfície é proporcional ao cosseno do ângulo entre a direção da fonte de luz e a normal da superfície. (MAGGI, 2013).

Sobre os valores de iluminância medidos pelos luxímetros, existem inúmeras discordâncias entre profissionais da área, já que os aparelhos seguem a calibragem do sensor em função da curva padrão de sensibilidade do olho humano na condição fotópica (resposta do olho humano a ambientes de boa luminosidade). Pesquisas vêm sendo realizadas para estes equipamentos seguirem o padrão de visão escotópica, definida como o tipo de visão humana noturna ou de ambientes com pouca luminosidade.

2.4.2 Goniofotômetro

Devido à necessidade de conhecer a distribuição da intensidade luminosa de uma fonte, o equipamento goniofotômetro é utilizado. Os dados luminosos são obtidos em diversas coordenadas esféricas, formando uma sequência de medidas que abrangem todo o entorno da lâmpada ou luminária, nas três dimensões. O resultado destas medições são os arquivos *IES* que aplicados a softwares de simulação específicos, representam quase que fielmente as características da fonte de luz após instalação. (RODRIGUES, 2012).

Verifica-se a distribuição luminosa por meio de dois métodos, o primeiro é a fotometria relativa, onde o fluxo luminoso da lâmpada em ensaio é medido separadamente, e após a medição é novamente realizada, mas com a lâmpada instalada no interior da luminária. Este método possibilita determinar a eficiência da luminária. O segundo é o método de fotometria absoluta, realizado já contando com o conjunto luminária e lâmpada, sendo assim a eficiência da luminária não pode ser definida. (MAGGI, 2013).

O método absoluto é o mais indicado para luminárias LED, levando em consideração que os LEDs variam seu desempenho em função da temperatura de trabalho. O ensaio da luminária completa permite alcançar valores mais próximos com a realidade. (MAGGI, 2013).

2.5 PRINCIPAIS FONTES DE LUZ EMPREGADAS NA ILUMINAÇÃO VIÁRIA

O Banco Mundial estima que existam mais de 18 milhões de pontos de iluminação pública no Brasil, atendendo cerca de 95,5% do entorno de domicílios urbanos. A grande maioria dos pontos utilizam lâmpadas de vapor de sódio e vapor de mercúrio, ainda sendo baixo o uso de luminárias com tecnologia LED. Em 2015 a Iluminação Pública representou 4,3% do consumo de energia elétrica do país, um total de 14,3 TWh e R$ 3,5 bilhões destinados a quitar essa despesa. (WORD BANK, 2016). Os municípios ainda sofrem resistência em renovar seu parque luminotécnico, geralmente por falta de informações técnicas. As principais tecnologias empregadas na iluminação pública na atualidade, serão abordados a seguir, sendo apresentadas as características de cada uma.

2.5.1 Lâmpadas Multivapores Metálicos (MVM)

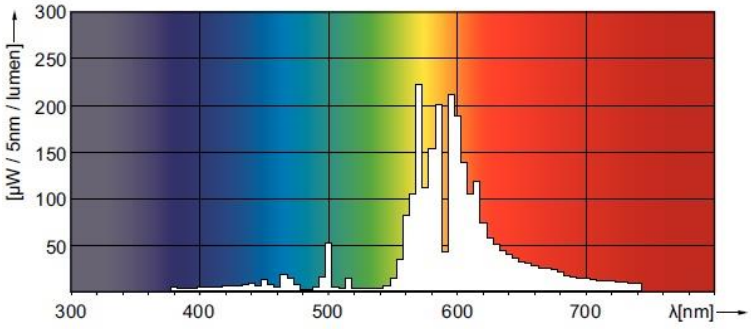
Trata-se de uma lâmpada muito parecida à lâmpada vapor de mercúrio, onde são adicionados iodetos metálicos, proporcionando um desempenho maior, permitindo também variar a coloração da luz emitida, realizando a seleção dos iodetos empregados no interior do tubo de descarga. (GUERINI, 2008). Sua aplicação é recomendada quando se requer elevado IRC, como por exemplo, em ginásios, pista de corrida, estádios, pavilhões, podendo ser usado também para iluminação de vias. (NISKIER; MACINTYRE, 2000). Assim como a lâmpada vapor de mercúrio, a MVM precisa de reator auxiliar e também um ignitor, pois necessita de elevada tensão na partida, para ionizar os gases (em torno de 5kV). (FUNCHAL, 2017).

As lâmpadas MVM, sofrem grande depreciação no fluxo luminoso ao longo de sua vida útil, podendo chegar a 50% do fluxo inicial. Este fato deve ser considerado no momento do projeto luminotécnico. (GUERRINI, 2008). Sua eficiência energética é de 65 lm/W para potências pequenas, podendo chegar a 95 lm/W para potências maiores, já a vida mediana pode atingir 24.000 h. (FUNCHAL, 2017). Em virtude da presença de materiais tóxicos como tálio, mercúrio e lítio, estas lâmpadas necessitam de procedimentos corretos no momento do descarte.

2.5.2 Lâmpadas Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP)

A luz emitida pelas lâmpadas a Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP), as tornam as mais eficientes, comparada com outras lâmpadas de descarga, isto devido a emissão de comprimentos de onda gerados serem próximos a região de pico da curva de sensibilidade do olho humano. (MAGGI, 2013). A Figura 7 apresenta o espectro luminoso gerado por uma lâmpada VSAP da fabricante Philips modelo MASTER SON-T de 250W.

Figura 7 - Espectro irradiado lâmpada VSAP 250W.



Fonte: (PHILIPS, 2017)

Observa-se que grande parte da radiação emitida em forma de luz encontra-se na região central do espectro de cores visíveis pelo olho humano, concentrada entre os comprimentos de onda 540 e 680 nm. Esta concentração em torno da cor amarela e vermelha, explica as principais características da lâmpada VSAP, a cor alaranjada, temperatura de cor em torno dos 2.000 K e o IRC que não ultrapassa o coeficiente 25. (MOREIRA, 1982 apud FUNCHAL, 2017).

Assim como as demais lâmpadas de descarga a VSAP necessita de reator auxiliar para limitar a corrente que flui pela lâmpada e também de um ignitor de partida. (MAGGI, 2013). Analisando as lâmpadas tubulares de vidro transparente de 250W comercializadas por várias marcas, o fluxo luminoso gerado varia entre 26000 lm e 33300 lm e a eficiência luminosa pode alcançar 133 lm/W. Já a vida mediana alcança valores em torno de 28000 à 36000 horas. (MAGGI, 2013). A variação de tensão constante permitida na rede de alimentação é de +/- 3 % para este tipo de lâmpada, variações maiores acarretam na redução do desempenho e diminuição da vida útil. Quedas de tensão acima de 10% poderão ocasionar o apagamento da lâmpada. (MAGGI, 2013). Se tratando de vantagens as lâmpadas VSAP apresentam excelente fator de manutenção do fluxo luminoso, chegando ao fim da vida útil mantendo valores em média acima de 80% em relação ao fluxo inicial. (OSRAM, 2017).

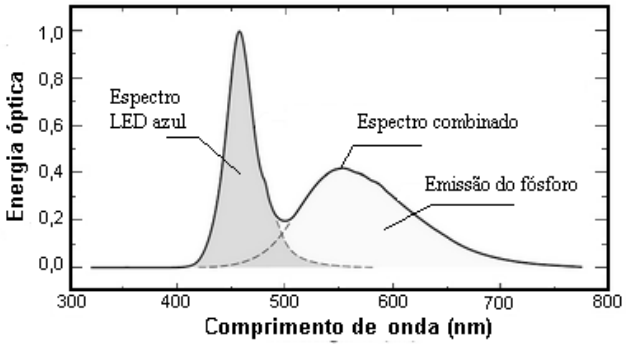
2.5.3 LEDs

O LED que em inglês significa *Light Emitting Diode* ou Diodo Emissor de Luz em português, nada mais é que um tipo de diodo semicondutor composto por uma junção P-N, que emite luz quando energizado, processo este chamado de eletroluminescência (PHILIPS, 2017). A luz produzida na pastilha semicondutora é praticamente monocromática, sendo o comprimento de onda gerado pelo LED definido pela escolha dos elementos químicos empregados na construção do cristal. (OLIVEIRA, 2007 apud MAGGI, 2013).

A obtenção de luz branca se dá basicamente de dois modos, a primeira é utilizando um grupo de LEDs que geram a combinação básica RGB (*Read, Green and Blue*, em português: vermelho, verde e azul), a outra é utilizando LEDs que emitem comprimentos de onda menores, na faixa da radiação ultra-violeta ou da luz azul. Na utilização de LEDs azuis, parte da energia é diretamente aproveitada para o espectro azul da luz branca e o restante é convertido em comprimentos de ondas maiores complementando o espectro da luz branca. Para isso ocorrer, uma camada de fósforo amarelo é utilizada. (MAGGI, 2013; PHILIPS, 2017).

A Figura 8 apresenta um exemplo de distribuição espectral do LED de luz branca, composta pelo espectro emitido pelo LED azul e a outra parte correspondente a camada filtrada pelo fósforo (SCHUBERT, 2006).

Figura 8 - Espectro emitido por um LED de luz branca.



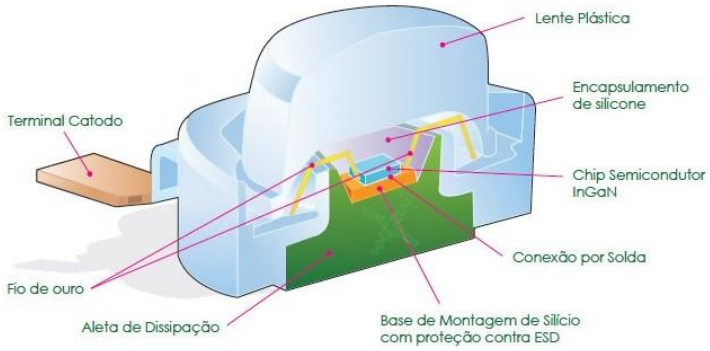
Fonte: (SCHUBERT, 2006).

Nota-se que a distribuição de energia se apresenta em quase todo espectro visível ao olho humano, apresentando expressiva concentração de potência na faixa de luz azul, próximo aos 450 nm e em torno aos 550 nm, faixa pertencente ao espectro de cor verde amarelado. Estes aspectos resultam em uma temperatura de cor geralmente entre 2700 e 6000 K, variando conforme construção do LED. Já o IRC varia entre 70% e 90% de acordo com a porção de fósforo empregada na fabricação. (LUMILEDS, 2012 apud MAGGI, 2013).

Muito se fala nas vantagens oferecidas pelos LEDs, a eficiência, a longa durabilidade, a vasta coloração que pode ser emitida, mas alguns fatores importantes determinam se estas características serão mantidas. Alguns fatores de influência são o correto dimensionamento da dissipação térmica e uma corrente elétrica adequada (otimiza o funcionamento e produz baixa variação do fluxo luminoso). Para isto, o componente LED necessita de um bom sistema estabilizador térmico e um dispositivo eletrônico confiável. (MAGGI, 2013).

Os LEDs indicados para utilização em iluminação pública são os LEDs de potência, um exemplo é representado na Figura 9. Este modelo é utilizado devido a seu tamanho reduzido, alto fluxo luminoso e de fácil aplicação junto a lentes colimadoras usadas para o correto direcionamento da luz gerada. A reprodução e temperatura de cor são consideradas adequadas para uma fonte de luz branca. (RODRIGUES, 2012).

Figura 9- Estrutura LED de potência.



Fonte: (CONEXLED, 2017)

Devido a utilização de baixas tensões, a tecnologia LED oferece maior segurança aos usuários, enquanto as lâmpadas de descarga necessitam de ignitores para gerar elevados níveis de tensão no momento da partida.

2.6 LUMINÁRIAS UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Inicialmente a função das luminárias utilizadas em iluminação pública era fixar as lâmpadas e servir de interface para a ligação da lâmpada com seus periféricos. A proteção para as lâmpadas era de baixa eficiência, deixando-as expostas às intempéries e vulneráveis ao ataque de vândalos e insetos. A solução para este problema foi a criação de modelos fechados que utilizam vidro ou material polimérico. (FUNCHAL, 2017).

Atualmente a solução encontrada para o aumento da vida útil dos componentes foi o fechamento do corpo da luminária, projetada para abrigar em seu interior o reator e a lâmpada. Na parte superior encontra-se a tomada para o relé fotocontrolador. (MAGGI, 2013). Para fixação das luminárias em postes, utilizam-se geralmente braços de sustentação metálicos, cujas características são definidas a partir da altura de montagem e projeção da luminária sobre a via.

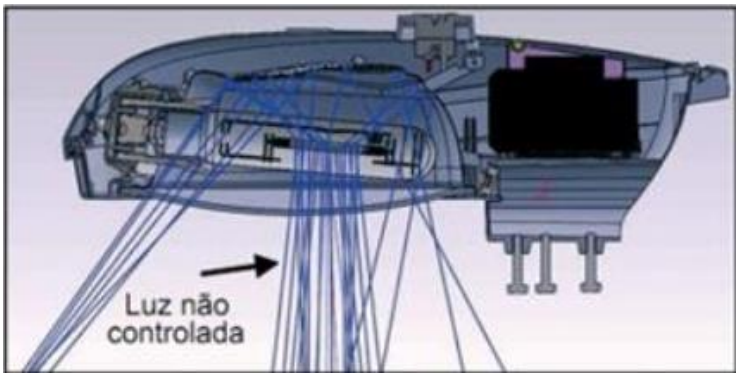
Parâmetros importantes como distribuição fotométrica, rendimento luminotécnico, grau de proteção (IP), entre outros devem ser considerados no momento do desenvolvimento de projeto. Normas específicas foram criadas servindo de referência, as de maior expressão são a ABNT NBR IEC 60598-1:2010 (Luminárias – Requisitos gerais e Ensaios), ABNT NBR 15129:2010 (Luminárias para iluminação pública - Requisitos particulares) e a portaria n° 20/2017 do INMETRO.

2.6.1 Utilização de Refletores

Tendo em vista a necessidade de iluminar todas as partes da via e a área de circulação de pedestres, garantindo a segurança dos usuários, os projetos de luminárias buscam aproveitar ao máximo o fluxo luminoso gerado até então pelas lâmpadas de descarga. O uso de refletor acoplado a luminária se faz necessário, sendo a capacidade do refletor metálico distribuir a luminosidade gerada pela fonte de luz, o fator determinante para a luminária ser de alto rendimento. (MAGGI, 2013).

O refletor deve ser capaz de espalhar a luminosidade de maneira uniforme pela via, a partir do tipo de distribuição estimada. Porém, devido a geração de luz em todos os sentidos, não é possível controlar todos os raios de luz emitidos. A Figura 10 apresenta o comportamento dos raios luminosos gerados por uma lâmpada VSAP tubular instalada em uma luminária. Observa-se que uma parte da luz que incide no refletor é direcionada para fora da luminária, a outra parcela retorna para a lâmpada e a luz gerada na parte inferior da luminária sai diretamente da lâmpada sem incidir no refletor, representando a parcela de energia luminosa com direção não controlada. (MAGGI, 2013).

Figura 10 - Direcionamento luminoso em uma luminária para lâmpada VSAP.



Fonte: (MAGGI, 2013)

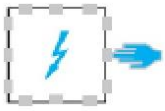
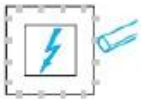
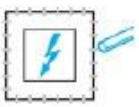
A construção e o formato do refletor implicam diretamente na curva de distribuição luminosa, classificando a luminária quanto a distribuição no sentido transversal da via, podendo ser do tipo I. II, III ou IV e para a distribuição no sentido longitudinal da via, a luminária poderá ser classificada em curto, médio ou longo alcance. Outra definição importante é o controle de distribuição acima de 80° e 90° em relação ao eixo vertical, podendo ser limitada, semi-limitada ou não limitada. (ABNT NBR 5101:2012).

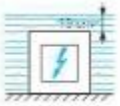
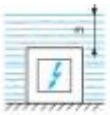
2.6.2 Índice de proteção IP e IK

As luminárias utilizadas em iluminação pública devem possuir um grau de proteção contra entrada de substâncias líquidas e sólidas em seu interior. Buscando a proteção dos equipamentos e componentes alojados em seu interior. (MAGGI, 2013).

A ABNT NBR IEC 60529:2017 – graus de proteção providos por invólucros (Código IP), atualizada em abril de 2017, classifica os graus de proteção de invólucros utilizados em equipamentos elétricos com tensão nominal até 72,5 kV, promovendo a padronização nos ensaios que verificam os níveis de proteção. A norma utiliza o código IP que vem do inglês *Ingress Protection code*, que traduzido para o português, código de proteção de ingresso. A combinação de dois algarismos, onde o primeiro dígito representa a resistência a penetração de objetos sólidos e o segundo digito representa a resistência à líquidos, servindo de referência na escolha do grau de proteção a partir do local de instalação da luminária. O projetista deve optar por invólucros que atendam o mínimo de proteção. A Tabela 1 apresenta as características de cada dígito.

Tabela 1 - Classificação graus de proteção.

PRIMEIRO DÍGITO			SEGUNDO DÍGITO		
0	-	Sem Proteção	0	-	Sem Proteção
1		Protegido contra acesso de objetos sólidos maiores que 50mm.	1		Protegido contra gotas de água caindo na vertical.
2		Protegido contra acesso de objetos sólidos maiores que 12,5mm.	2		Protegido contra gotas de água incidindo no invólucro inclinado à 15°
3		Protegido contra acesso de objetos sólidos maiores que 2,5mm.	3		Protegido contra água aspergida em um ângulo de até 60°
4		Protegido contra acesso às partes perigosas com um fio de Ø1mm.	4		Protegido contra esguicho d'água vinda de qualquer direção.

PRIMEIRO DÍGITO			SEGUNDO DÍGITO		
5		Protegido contra poeira, evita danos aos equipamentos internos	5		Protegido contra jatos d'água vindos de qualquer direção (12,5 l/min).
6		Totalmente vedado contra poeira	6		Protegido contra potentes jatos d'água vindos d qualquer direção (100 l/min).
			7		Protegido temporariamente no caso de imersão em água. Profundidade 1m/30min
			8		Protegido por período indeterminado contra os efeitos de imersão em água.
			9		Protegido contra jatos de água com alta pressão e alta temperatura.

Fonte: (NBR IEC 60529:2017)

A escolha correta do grau de proteção tem grande influência no fator de manutenção e na depreciação da luminária, fatores que ocasionam na perda de luminosidade causados pelo acúmulo de sujeira no visor da luminária. Um sistema de vedação eficiente resulta na redução de poeira e umidade no interior da luminária. (MAGGI, 2013). Segundo a portaria n° 20/2017, os invólucros das luminárias utilizadas em iluminação pública devem assegurar grau de proteção mínimo de IP-65 para o compartimento óptico e IP-44 para o compartimento do reator. Já para luminárias LED, o alojamento das partes vitais (LED, sistema óptico secundário e controlador) deverão possuir no mínimo IP-66 (INMETRO, 2017 ; NBR IEC 60598-1).

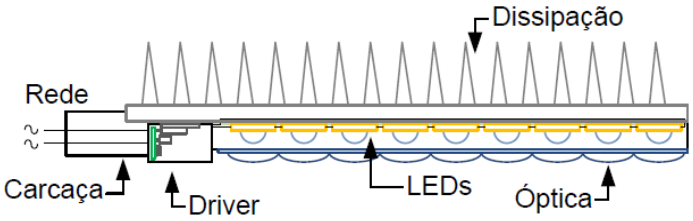
Outro item a ser abordado, é a resistência contra impactos mecânicos externos. Este item é definido pela norma ABNT NBR IEC 62262:2015 – graus de proteção assegurados pelos invólucros de equipamentos elétricos contra impactos mecânicos (código IK), que classifica a robustez do invólucro da luminária por meio das letras IK e mais dois números variáveis de 00 a 10, referente a energia que o invólucro poderá suportar. Segundo a norma, a resistência aos impactos mecânicos apresentado pelas luminárias empregadas em iluminação pública, devem ser no mínimo grau de proteção IK08. (ABNT, 2017).

2.6.3 Luminárias LED para iluminação viária

A tecnologia LED aplicada a iluminação viária, se comparada as fontes de luz vistas anteriormente se destaca devido à alta eficiência, alto IRC, tamanho reduzido, vida útil longa e por ser ecologicamente correta, já que não apresenta metais pesados na sua construção.

A seguir serão abordados os detalhes e características que a luminária LED deve apresentar. Suas partes principais são a carcaça, responsável por acomodar/proteger os componentes internos e realizar a dissipação térmica, o aparato óptico composto por LEDs e lentes e o controlador eletrônico (*driver*). (RODRIGUES, 2012). Uma montagem sucinta de luminária LED é apresentada na Figura 11

Figura 11 - Componentes principais de uma luminária LED.



Fonte: (RODRIGUES, 2012).

2.6.3.1 Fonte de alimentação

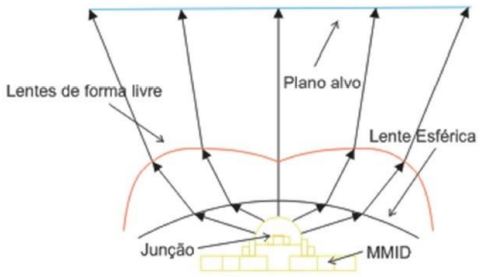
A partir da tensão limiar aplicada diretamente no LED, as variações de corrente elétrica no componente aumentam exponencialmente com o acréscimo de tensão. Desta forma variações pequenas na tensão, resultam em elevadas alterações na corrente por meio do LED. (FUNCHAL, 2017). Devido as inúmeras variações na tensão e corrente apresentadas pelas redes elétricas onde as luminárias poderão ser instaladas, se faz necessário a utilização de um controlador eletrônico, conhecido também por *driver*. Sua função é fornecer e regular um nível de corrente constante para os semicondutores, englobando tratamentos para correção do fator de potência e a redução da distorção harmônica para a corrente de entrada (RODRIGUES, 2012). A utilização de uma fonte de alimentação confiável, favorece o aumento no tempo operacional do sistema de iluminação, diminuindo também o processo depreciativo do fluxo luminoso. (FUNCHAL, 2017).

Para a aquisição do *driver* outros fatores devem ser considerados, como a tensão de alimentação, proteção à sobretensão e presença ou não de reguladores de luminosidade. (RODRIGUES, 2012).

2.6.3.2 Lentes de LED

A tecnologia LED se destaca em relação as outras devido a sua natureza construtiva, a qual caracteriza a emissão da luz gerada apenas para a parte frontal do LED, com ângulo de abertura entre 0° e 180°. (LUMILEDS, 2017). Porém, na prática, para modificar a distribuição luminosa gerada pelo LED, são utilizadas lentes secundárias individuais, onde por refração cada lente direciona os raios luminosos, conforme região de interesse. (COSTA, 2006). A Figura 12 ilustra o direcionamento dos raios luminosos com a aplicação de lente secundária logo acima da pastilha emissora de luz.

Figura 12 - Lente secundária utilizada sobre o LED.



Fonte: (MAGGI, 2013).

As lentes, além de conduzir e distribuir os raios, também reduzem as perdas e evitam o efeito de ofuscamento. O somatório de diversos pontos com lentes de distribuições luminosas variadas, quando instaladas próximas entre si e vistas a mais de 5 vezes o tamanho da luminária, podem ser consideradas como sendo uma única fonte de luz, gerando uma única curva de distribuição luminosa. (COSTA, 2006).

2.6.3.3 Gerenciamento térmico

A parcela de calor gerada é diretamente proporcional à eficiência do LED. Desta forma, os cuidados com o gerenciamento térmico são de grande importância para o bom desempenho e aumento da vida útil dos componentes. (MAGGI, 2013).

Parâmetros como eficácia luminosa, fluxo luminoso, temperatura de cor e espectro, tem seus valores diretamente dependentes dos aspectos térmicos da luminária, variando inversamente uns em relação aos outros. As estruturas dissipadoras de calor devem ser criteriosamente dimensionadas, a fim de transferir para o ambiente externo o máximo de calor gerado pelos componentes internos, impedindo o superaquecimento dos LEDs. (ALMEIDA, 2014).

Em projetos de luminárias alguns detalhes importantes devem ser seguidos para a melhor eficiência do sistema. Para diminuir os efeitos indesejados e facilitar a remoção do calor vale ressaltar a necessidade de separar o sistema de gerenciamento de corrente, da placa de LEDs. Sendo assim o calor do *driver* não afetará os LEDs, nem o calor gerado nos LEDs influenciará no desempenho do *driver* (MAGGI, 2013).

Outro item importante a ser analisado são as características da luminária de iluminação pública. A mesma deve ser construída com materiais de condutibilidade térmica apropriada para a finalidade, seu design deve garantir a maior área possível de troca de calor com o ambiente, de preferência favorecendo o fluxo de ar. A limpeza periódica da luminária influência significativamente na melhor dissipação térmica, sendo por sua vez necessário o emprego do dissipador projetado para autolimpeza, a fim de reduzir a retenção de resíduos em sua superfície (MAGGI, 2013).

2.6.4 Conclusões parciais

Nos itens anteriores foram apresentados os conceitos luminotécnicos, as características e detalhes construtivos das principais tecnologias empregadas no sistema de iluminação viária. O objetivo é um melhor entendimento para auxiliar nos estudos e análises que estão por serem realizados ao decorrer deste trabalho.

Devido ao aumento de modelos de luminárias LED ofertadas no mercado atual, e a previsão da redução gradativa nos preços, presume-se para os próximos anos um aumento na adesão desta tecnologia por parte dos municípios.

2.7 MANUTENÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

As fontes luminosas tradicionais empregadas em iluminações artificiais, normalmente sofrem redução na geração de luz ao longo de sua vida útil, até o ponto de falharem e não emitirem mais luz. (MAGGI, 2013). A diminuição na luminosidade decorrente de falha das fontes de luz ou redução da intensidade luminosa exige a manutenção dos pontos avariados, gerando custos para o responsável deste serviço. No caso da iluminação pública, este custo pode ser elevado, já que as luminárias se encontram em pontos altos, necessitando de equipamentos especiais e uma equipe precisa ser deslocada até o local de intervenção. (MAGGI, 2013).

Para que os projetistas estipulem os intervalos de manutenção nos ativos de iluminação, realizem análises de custos e validem o investimento inicial, os fabricantes das fontes de luz precisam fornecer os valores de durabilidade dos seus produtos. (MAGGI, 2013).

2.7.1 Fator de manutenção das luminárias (FM)

As luminárias utilizadas em iluminação viária sofrem depreciação no fluxo luminoso com o passar do tempo. Desta forma, a análise de depreciação deve ser levada em consideração no momento do projeto inicial. Para quantificar esta ação o valor do FM deverá ser calculado. Este fator é utilizado para verificar o valor de iluminância emitida por uma luminária após certo período, tendo como referência o valor de iluminância inicial, lembrando que as normas vigentes para iluminação pública determinam os valores de iluminância mínima a serem atendidas por meio de cada classe de via em todo seu período de funcionamento. (IES, 2000 apud MAGGI, 2013). Alguns fatores contribuem para a degradação do rendimento luminoso das luminárias. Os principais serão analisados a seguir.

2.7.1.1 Fator de Depreciação da fonte Luminosa (FDL)

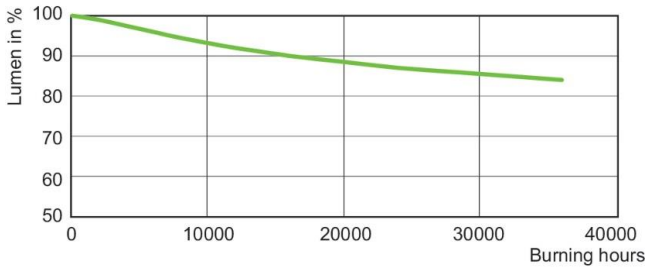
As fontes luminosas com o passar do tempo reduzem a capacidade de geração de luz. A depreciação do fluxo luminoso para um certo período é um fator a ser considerado pelo projetista no momento de dimensionar o sistema de iluminação. O fluxo luminoso nominal inicial informado no catálogo do fabricante é obtido por meio de ensaios em laboratório, onde

os valores são medidos após 100 horas de funcionamento da fonte de luz, sob condições controladas. (MAGGI, 2013)

Se tratando das características do local de instalação, inúmeros fatores podem influenciar nos níveis de iluminação, alguns deles são: variação na temperatura ambiente, variações no funcionamento do reator, oscilações na tensão da rede, posicionamento da luminária, etc. (GENERAL ELETRIC, 2017).

Tomando como exemplo uma lâmpada vapor de sódio de 400W da fabricante Philips, a Figura 13 apresenta a taxa de depreciação do fluxo luminoso em função do tempo, curva esta fornecida pela fabricante da lâmpada. (PHILIPS, 2017).

Figura 13- Depreciação Luminosa da lâmpada VSAP de 400 W.



Fonte: (PHILIPS, 2017).

Para este caso é possível observar uma redução de 16% em relação ao fluxo luminoso inicial, para 36.000 h de funcionamento.

2.7.1.2 Manutenção do fluxo luminoso dos LEDs

Esta fonte de luz dificilmente para de operar repentinamente. Seu comportamento característico implica na redução progressiva da emissão do fluxo luminoso. Desta forma a maneira de avaliar a manutenção do fluxo luminoso em luminárias LEDs é dado em função da estimativa de horas em operação até que o fluxo luminoso da luminária caia para 70% em relação ao valor inicial. (MAGGI, 2013). Segundo a portaria n° 20/2017 do INMETRO é possível demonstrar a conformidade com a manutenção do fluxo luminoso da luminária por meio de duas opções. A primeira opção permite realizar o ensaio com o componente LED utilizado na luminária. O procedimento IESNA LM-80-08 define as condições a serem seguidas no ensaio de depreciação luminosa e variação da cromaticidade dos LEDs, assim

como, as condições como temperaturas de ensaio, localização dos pontos de medições de temperatura, níveis de corrente no LED, etc. (INMETRO, 2017).

A LM-80-08 não estipula quantidade de horas que o LED deve ficar em funcionamento até apresentar o percentual da manutenção de fluxo mínimo estabelecido. No entanto, utiliza um método para calcular o tempo que satisfaça as condições mínimas de luminosidade, método conhecido como extrapolação, baseado na IES TM-21-11 *Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*, onde o percentual da manutenção do fluxo luminoso deve ser maior ou igual ao mínimo permitido e o valor de tempo máximo permitido pela extrapolação é igual a seis vezes o tempo de ensaio adquirido segundo a LM-80-08. (INMETRO, 2017).

Para uma melhor verificação na variação de luminosidade do LED, a coleta de dados no ensaio segundo a LM-80-08 deve durar no mínimo 6.000 horas, realizando medições com intervalos de no máximo 1.000 horas. Para este caso os LEDs ensaiados terão o fluxo luminoso estimado por extrapolação para no máximo 36.000 horas. Quanto maior o período de testes maior a precisão nos valores fornecidos para os clientes. (MAGGI, 2013)

A nomenclatura L_p (Dk) é utilizada para expressar a manutenção de fluxo luminoso dos LEDs. Sendo “p” a porcentagem de fluxo inicial mantida e D a duração do teste em horas, divido por 1.000. (MAGGI, 2013).

Os ensaios em LEDs devem ser realizados simulando a aplicação da luminária em situações reais. Para isso a IES LM-80-08 indica a necessidade de coleta de dados fotométricos sob no mínimo três temperaturas de corpo (T_c), medidos no LED. A norma estipula que as temperaturas devem atingir T_c = 55 °C, T_c = 85 °C e uma outra especificada pelo fabricante. (INMETRO, 2017).

Em casos onde a primeira opção de desempenho do componente LED não tenha como ser aplicada, os fabricantes podem apresentar o desempenho da luminária completa quanto a manutenção do fluxo luminoso, sendo esta submetida aos testes fotométricos exigidos pela norma IESNA LM-79-08. No teste, o fluxo luminoso gerado pela luminária após 6.000 horas de operação é comparado com o fluxo inicial. Para luminárias com vida nominal declarada de 50.000 h a manutenção do fluxo luminoso mínimo a 6.000 horas de operação, deve ser de 95,8% em relação ao fluxo inicial. (INMETRO, 2017).

2.7.1.3 Fator de Depreciação da Luminária (FDL)

A impregnação de resíduos no corpo da luminária diminui a capacidade de transmissão luminosa pelas partes transmissivas da luminária. O acumulo de sujeira prejudica também a capacidade de dissipação térmica da luminária, dificultando a transmissão de calor gerado pelos componentes internos para o ambiente externo da luminária. Estes fatores contribuem para a diminuição no rendimento da luminária e a redução na iluminação da via. (MAGGI, 2013).

Segundo a norma CIE 154:2003 o fator de depreciação da Luminária é correlativo a categoria de poluição do local onde a luminária está instalada, sendo seu valor determinado para cada tipo de ambiente. A norma define três níveis de poluição do ambiente:

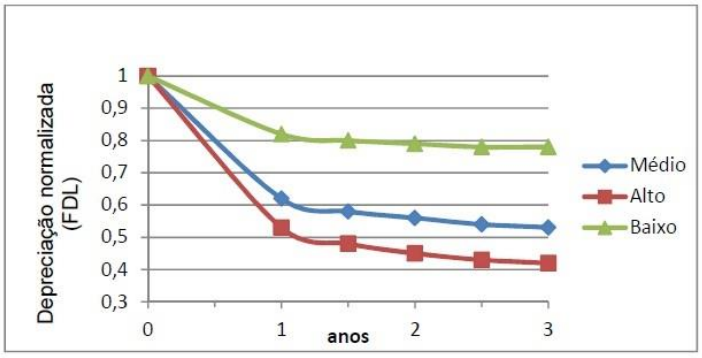
Nível de poluição baixo: Ambientes sem atividades com geração de poeira em suas proximidades. Como exemplo, podemos citar vias de baixo tráfego de veículos, geralmente áreas rurais, com nível de partículas no ambiente, não superior a 150 microgramas por metro cúbico.

Nível de poluição médio: Ambientes de atividades moderadas na produção de fumaça ou poeira nas proximidades. Vias de tráfego moderado a intenso. O nível de partículas no ambiente não é mais do que 600 microgramas por metro cúbico.

Nível de poluição alto: Nuvens de poeira geradas pelas atividades próximas constantemente envolvem as luminárias.

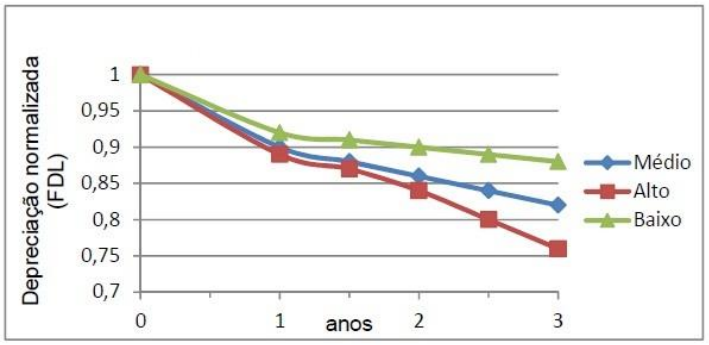
A classe de proteção da luminária, o índice IP, é outro item que influência no FDL, sendo que quanto maior a proteção da luminária, menos sujeira penetrará, resultando em um índice de depreciação menor (MAGGI, 2013). A norma CIE 154:2003 fornece valores de FDL. As Figuras 14, 15 e 16 apresentam a depreciação por sujeira no tempo em função do índice IP e do nível de poluição no ambiente.

Figura 14 - Depreciação Luminária IP2X.



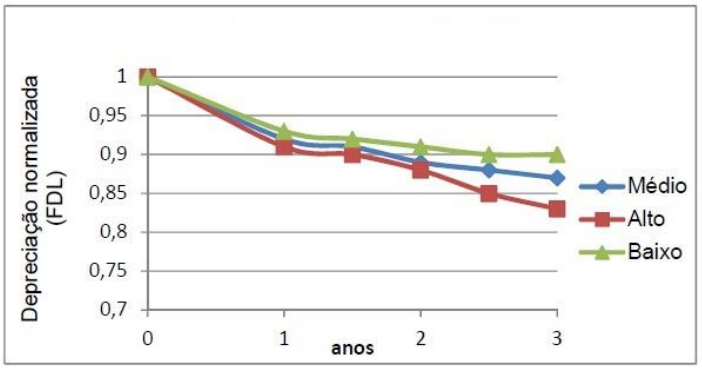
Fonte: (MAGGI, 2013)

Figura 15 - Depreciação Luminária IP5X.



Fonte: (MAGGI, 2013)

Figura 16- Depreciação Luminária IP6X.



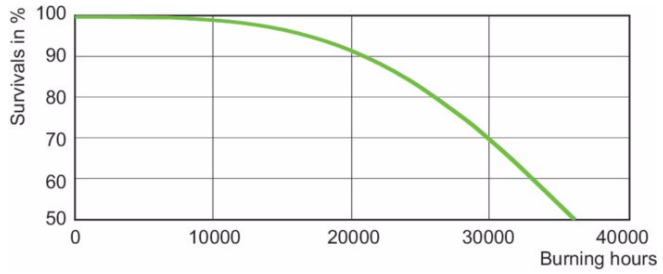
Fonte: (MAGGI, 2013)

Conforme variações obtidas nos gráficos apresentados nas Figuras 14, 15 e 16, conclui-se que luminárias com índice IP maior, resultam em FDL menor. O FDL compara o fluxo luminoso de uma luminária após certo período em funcionamento, tendo como referência o fluxo gerado pela luminária do mesmo modelo no início de operação. (MAGGI, 2013).

2.7.1.4 Fator de Sobrevivência da fonte Luminosa (FSL)

O tempo de mortalidade das lâmpadas depende do tipo de lâmpada utilizada. A vida média das lâmpadas é fornecida em catálogos pelos fabricantes, baseado em ensaios de laboratório onde um número expressivo de lâmpadas são testadas em ciclos de 11 horas por dia, sob condições controladas. A expectativa de vida de uma lâmpada é encontrada, quando metade ou 50% do total de amostras testadas deixam de operar. (GENERAL ELETRIC, 2017). No caso da lâmpada VSAP a taxa de falha das lâmpadas em função do tempo de operação é apresentada na Figura 17.

Figura 17 - Índice de sobrevivência lâmpadas VSAP 150 a 400 W.



Fonte: (PHILIPS, 2017).

Para este caso de lâmpada, observa-se uma expectativa de vida mediana de 36.000 horas e para 20.000 horas em operação é esperado uma queima de aproximadamente 9 % das lâmpadas inicialmente ensaiadas.

Para que se estime o período de funcionamento em função da vida mediana, leva-se em consideração que o sistema de iluminação viário atua entre 4000 e 4300 horas por ano. (IES, 2000 apud MAGGI, 2013).

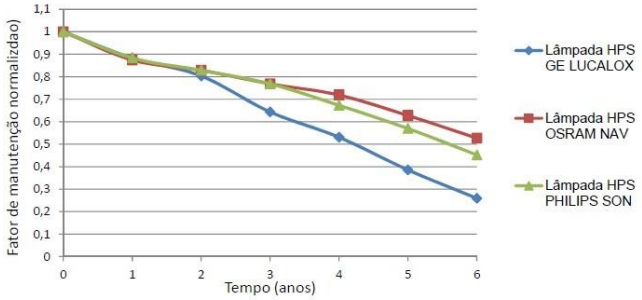
2.7.2 Considerações do Fator de Manutenção (FM)

Para realizar uma projeção das perdas luminosas, no mínimo dois fatores devem ser levados em consideração: a depreciação da fonte luminosa (FDL) e a depreciação da luminária (FDL) por sujeira. Porém o valor encontrado para o fator de manutenção não é preciso. Caso seja necessária maior precisão, o fator de sobrevivência da fonte luminosa (FSL) deve ser acrescido no cálculo. Como resultado a Equação (5) define o fator de manutenção. (TICHELEN, 2007 apud MAGGI, 2013).

$$FM = FDL \times FDL \times FSL \quad (5)$$

O período de funcionamento do sistema é inversamente proporcional ao fator de manutenção. Sendo assim para períodos maiores o FM tende a diminuir. Ilustrando este comportamento, a Figura 18 apresenta a curva de depreciação para uma luminária IP66, com três lâmpadas VSAP 250W de marcas diferentes e nível de poluição média (MAGGI, 2013).

Figura 18 - Exemplo fator de manutenção lâmpadas VSAP de diferentes marcas.



Fonte: (MAGGI, 2013).

Por estes indicadores é possível avaliar o comportamento do sistema de iluminação, sendo necessário ou não alterações no projeto inicial.

2.8 FERRAMENTAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO LUMINOTÉCNICO

A implantação de um sistema de iluminação pública inicia a partir de um projeto luminotécnico básico, fundamentando o modelo de luminária a ser adquirida e as diretrizes de instalação desta no ambiente proposto. As grandezas analisadas pelo projetista devem definir o correto nível de iluminamento, evitar o ofuscamento, garantir a reprodução de cores adequada para o ambiente e seguir normas e leis específicas na área de iluminação.

2.8.1 Método das intensidades luminosas

Também conhecido por método ponto a ponto, permite determinar o iluminamento em um ponto de interesse na superfície, realizando o somatório das contribuições de todas as

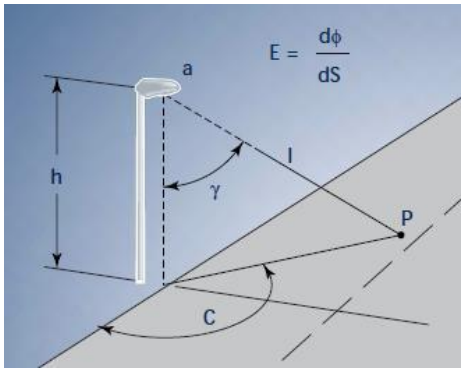
fontes luminosas, cujo fluxo atinja o ponto em análise. (FUNCHAL, 2017). Este método é indicado para projetos de iluminação de quadra de esportes, ginásios e estádios de futebol, também podendo ser usado em aplicações de iluminação pública.

O iluminamento de um ponto qualquer que se encontra na superfície de um plano horizontal, é determinado pela Equação (6), onde *I* é a intensidade do fluxo luminoso, obtido a partir do diagrama de isocandelas, γ é o ângulo entre a direção do fluxo luminoso e o eixo vertical que passa no centro da luminária e *H* a altura de montagem da luminária, em metros (MAMEDE FILHO, 2010).

$$E = \frac{I * cos^3 \gamma}{H^2} \quad (6)$$

Na Figura 19, encontram-se as grandezas de interesse para determinação das intensidades luminosas no ponto P.

Figura 19 - Aplicação do método das intensidades luminosas em IP.



Fonte: (FUNCHAL, 2017, pg.79)

2.8.2 Softwares para projetos de iluminação viária

Os softwares de simulação otimizam o trabalho do profissional da área de iluminação, possibilitando a criação de projetos luminotécnicos dinâmicos e eficientes. Porém para se obter os resultados esperados, o projetista deve saber quais fatores influenciam na escolha e operação do aplicativo. (RODRIGUES, 2012).

O projetista pode contar com as curvas de distribuição luminosa fornecidas pelos fabricantes das luminárias, por meio de arquivos em extensão *IES*. Estes arquivos

contemplam as informações físicas da luz gerada pela luminária em três dimensões. O ensaio da luminária em um goniofotômetro resulta no arquivo *IES*, que com o auxílio de simuladores específicos permite uma simulação computacional de características realistas, representando a iluminação no ambiente após a instalação. (RODRIGUES, 2012; FUNCHAL,2017).

Atualmente no mercado os principais simuladores utilizados para iluminação viária são $DIALux^{®}$, $RELux^{®}$ e $AGI32^{®}$. (SÁ, 2016).

2.8.2.1 Software $DIALux^{®}$

Desenvolvido pela Dial GmbH da Alemanha, o simulador $DIALux^{®}$ é um software gratuito disponível em 25 idiomas. De uso simples e intuitivo, conta com grande quantidade de barras de ferramentas, onde o usuário pode projetar, calcular e visualizar os sistemas de iluminação de maneira profissional. Alguns atributos são: a possibilidade de montagem e interação luminosa de várias luminárias no mesmo ambiente de projeto, a emissão de mapas de distribuição luminosa nos espaços projetados e a geração de relatórios com os valores de iluminância mínima, média e máxima e o índice de uniformidade. (FUNCHAL, 2017).

O uso de texturas nas imagens auxilia o entendimento na concepção de iluminação, possibilitando com o emprego de cores uma melhor análise quantitativa de intensidades luminosas. (SÁ, 2016).

Outra característica importante é a compatibilidade com arquivos no formato *IES*. Além disso, o simulador também interage com arquivos CAD (*Computer Aided Design*) de extensão *DWG* e *DXF*, sendo possível exportar o projeto do $DIALux^{®}$ para a extensão *PDF*. (SÁ, 2016).

2.9 REFERÊNCIAS NORMATIVAS E LEGAIS APLICÁVEIS

Segundo a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, as normas têm por objetivo assegurar as características de produtos e serviços, buscando sempre atender as primícias essenciais, como confiabilidade, qualidade, eficiência, segurança, não deixando de respeitar o meio ambiente.

As normas técnicas são o resultado de comissões de estudos, onde agentes especializados de diversas áreas se reúnem, podendo também participar todas as partes

interessadas visando sempre a troca de conhecimento e experiências já acumuladas. Promovendo a difusão e atualização tecnológica, buscando a melhoria dos produtos e serviços. (ABNT, 2017).

A exigência no atendimento as normas promovem uma concorrência justa entre equipamentos/serviços que apresentam as mesmas características, podendo ser avaliados sob os mesmos parâmetros. No caso da iluminação pública a normatização é de grande importância, já que a aquisição de equipamentos/serviços é por meio de processos licitatórios (RODRIGUES, 2012).

2.9.1 Principais normas técnicas e portaria aplicável à iluminação viária

Os projetos de iluminação devem seguir determinadas recomendações normativas. Para o caso da iluminação pública, os parâmetros de referência a serem seguidos e metodologias para verificação de conformidades são definidos principalmente pela norma ABNT NBR 5101:2012 – iluminação pública - procedimentos, sendo sua última versão publicada em abril de 2012 (ABNT, 2017).

Segundo Rodrigues (2012) as principais mudanças da versão revisada em vigor no momento, em relação a versão anterior datada de 1992, são a adição da classificação das vias em acordo com Código de Trânsito Brasileiro, as premissas de qualidade na iluminação como a análise de ofuscamento e poluição luminosa e a fixação de níveis de luminância, estes já presentes em normas internacionais.

Já a norma ABNT NBR 15129:2012 – Luminárias para iluminação pública – requisitos particulares, estabelece os requisitos para aplicações de iluminação pública ou iluminação externa, podendo ser composta por equipamentos auxiliares integrados ou não integrados, luminárias para túneis, com tensões de alimentação não superiores a 1000V. (ABNT, 2017).

Além das normas já abordadas as luminárias para iluminação pública devem atender a ABNT NBR IEC 60598-1:2012 – Luminárias: Requisitos Gerais e Ensaios, que especifica características técnicas como a construção mecânica, elétrica, proteções contra choque elétrico, marcações, juntamente com seus devidos ensaios a serem realizados.

Com sua publicação em fevereiro de 2017 a portaria n° 20 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), veio para regulamentar o setor de produção

de luminárias para uso público que utilizam LED ou lâmpada de descarga. Segundo Mattos (2017) a algum tempo, sendo mais específico, desde a portaria n° 478, de 2013, vem se discutindo as diretrizes para adequação e certificação compulsória de luminárias LED comercializadas no Brasil.

Os produtos para serem comercializados no mercado nacional deverão apresentar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). O objetivo da certificação é minimizar as diferenças de qualidade entre os equipamentos, obter a melhor eficiência energética possível e oferecer segurança aos usuários. Para os municípios, a portaria deverá servir de guia, auxiliando na formulação de editais de licitação, devendo ser solicitado equipamentos com certificação do INMETRO. (MATTOS, 2017)

2.9.1.1 Fundamentos da norma ABNT NBR 5101:2012

Esta norma determina os requisitos e procedimentos que devem ser empregados em iluminação de vias públicas, podendo ser aplicada tanto em sistemas convencionais que utilizam lâmpadas de descarga, quanto em sistemas que utilizam equipamentos com LED’s. Trata-se de uma norma que classifica as vias, fixando os níveis mínimos de iluminância (lux) e uniformidade, apresentando o método de verificação das iluminâncias em vias públicas e determinando a classificação de luminárias a partir da distribuição luminosa que as mesmas apresentam, não fazendo distinção quanto ao tipo de tecnologia utilizada na aplicação (RODRIGUES, 2012).

2.9.1.1.1 Classificação das vias

A ABNT NBR 5101:2012 define as classes de iluminação e os níveis de luminosidade nos ambientes de acordo com o volume de tráfego e o perfil da via. As vias de tráfego de veículos são classificadas em: V1 (vias de trânsito rápido e trafego intenso, geralmente autoestradas), V2 (vias coletoras de tráfego médio ou intenso, vias radiais de interligação entre bairros), V3 (vias coletoras de tráfego médio), V4 (vias coletoras de tráfego médio, vias locais de acesso residencial), V5 (vias locais, volume de tráfego leve).

Já as classes de iluminação para vias de tráfego de pedestres são divididas em: P1 (calçadões e passeios de zonas comerciais de uso noturno intenso por pedestres), P2 (grande tráfego noturno de pedestres, tais como, passeios de avenidas e praças), P3 (vias de uso

noturno moderado por pedestres, passeios, acostamentos) e P4 (vias de pouco uso por pedestres, por exemplo, passeios de bairros residenciais). (ABNT NBR 5101:2012).

Os valores de iluminância média (E_{med}) são calculados pela média aritmética das leituras obtidas no nível do piso, em plano horizontal. O valor de iluminância mínima (E_{min}) deve satisfazer conjuntamente com o fator de uniformidade a partir do tipo de via e deve ser superior a 1 lux. (FUNCHAL, 2017).

A Tabela 2 apresenta a iluminância média mínima e o fator de uniformidade para cada classe de iluminação relativo ao tipo de tráfego de veículo.

Tabela 2 - Iluminância média mínima e uniformidade – tráfego de veículos.

Classe de iluminação	Iluminâcia média mínima $E_{med,min.}$(lux)	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: (ABNT NBR 5101:2012)

Para as vias de tráfego de pedestre os valores de $E_{med,min}$e fator de uniformidade mínimos são definidos a partir da classe de iluminação e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Iluminância média mínima e uniformidade – tráfego de pedestres.

Classe de iluminação	Iluminância horizontal média $E_{med,min.}$(lux)	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: (ABNT NBR 5101:2012)

2.9.1.1.2 Classificação de luminárias a partir da distribuição luminosa

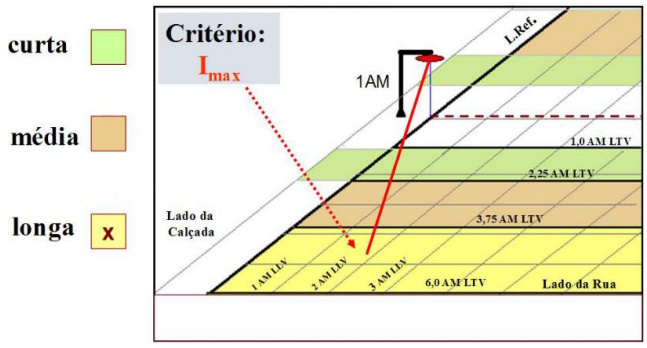
O entendimento da distribuição luminosa das luminárias é um fator essencial para a correta escolha do modelo a ser usado. As intensidades emitidas pela luminária são controladas e distribuídas a partir de cada necessidade, variando seus aspectos de acordo com a altura de montagem, posição transversal (avanço sobre a via), espaçamento dos postes, largura da via qual vai ser instalada, entre outros. (FUNCHAL, 2017).

A distribuição de intensidades luminosas verticais é classificada em distribuição longitudinal, distribuição transversal e controle de distribuição de intensidade.

A classificação da distribuição é baseada nas curvas do diagrama de isocandelas, traçada sobre um sistema retangular de coordenadas, composta por um grupo de linhas longitudinais a via (LLV), esta em função dos múltiplos da altura de montagem (AM) e um outro grupo de linhas transversais a via (LTV), em função também dos múltiplos de altura de montagem. (ABNT NBR 5101:2012).

Se tratando da distribuição luminosa longitudinal, a mesma é classificada em curta, quando o ponto de máxima intensidade luminosa situa-se na região entre 1,0 AM LTV e 2,25 AM LTV, classificada como média se o ponto de máxima intensidade estiver na região entre 2,25 AM LTV e 3,75 AM LTV e será uma distribuição longa, se o ponto máximo encontrar-se entre 3,75 AM LTV e 6,0 AM LTV. (ABNT NBR 5101:2012). A Figura 20 auxilia no melhor entendimento.

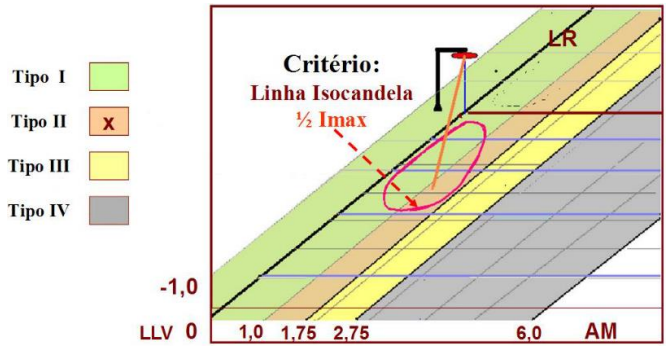
Figura 20 - Representação intensidades luminosas longitudinais verticais.



Fonte: (INMETRO, 2015).

Para a distribuição de intensidade luminosa transversal a ABNT NBR 5101:2012 classifica como tipo I, II, III e IV. A Figura 21 apresenta um exemplo de aplicação tipo II.

Figura 21 - Distribuição das intensidades transversais.



Fonte: (INMETRO, 2015).

A luminária tem distribuição tipo 1 quando a linha de meia intensidade máxima não ultrapassa as linhas LLV 1,0 AM, tanto do lado das casas quanto do lado da via (ABNT NBR 5101:2012). A aplicação ideal para este tipo de distribuição geralmente se dá em vias onde a altura de montagem é praticamente igual à largura da via. (FUNCHAL, 2017).

Define-se sendo tipo II quando a linha de meia intensidade máxima se localiza ente LLV 1,75 AM e a linha de referência da luminária. Geralmente utilizada em passarelas, rampas e vias de entrada local. (ABNT NBR 5101:2012).

A distribuição do tipo III se dá quando a linha de meia intensidade máxima ultrapassa parcial ou totalmente a LLV 1,75 AM, mas não ultrapassa a LLV 2,75 AM (ABNT NBR 5101:2012). Este tipo de distribuição é ideal para rodovias, áreas de estacionamento geral e locais onde se faz necessário uma maior área de iluminação. (FUNCHAL, 2017).

Quando parte da linha de meia intensidade máxima excede parcial ou totalmente a LLV 2,75 AM, a distribuição é do tipo IV. (ABNT NBR 5101:2012).

2.9.1.1.3 Controle de distribuição de intensidade luminosa

A classificação da distribuição de intensidade luminosa é dividida em quatro tipos:

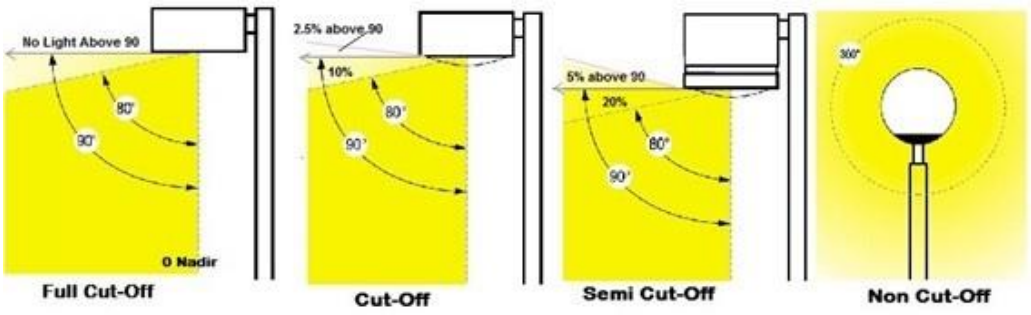
- Distribuição totalmente limitada (*full-cutoff*), se a intensidade luminosa acima de 90° é nula e acima de 80° não excede 10% do fluxo luminoso nominal da fonte luminosa empregada. Estes valores se aplicam para todos os ângulos verticais em torno da luminária.

- Distribuição é limitada (*cutoff*), se a intensidade luminosa acima de 90° não excede 2,5% e acima de 80° não excede 10% do fluxo luminoso nominal da fonte. (ABNT NBR 5101:2012).

- Quando a intensidade luminosa acima de 90º não excede que 5% e acima de 80% não supera os 20% dos lúmens nominais da fonte, a distribuição é classificada como semi-limitada ou (*semi-cutoff*). (ABNT NBR 5101:2012).

Caso não exista uma limitação de intensidade luminosa na zona acima da máxima intensidade a distribuição é classificada como não-limitada ou (*non-cutoff*) (ABNT NBR 5101:2012). A Figura 22 ilustra as faixas de controles de intensidades luminosas.

Figura 22 - Reprodução das faixas de controle de intensidade luminosa.



Fonte: (INMETRO, 2015).

A análise das luminárias quanto a estas classificações permite evitar o fenômeno de ofuscamento causado aos motoristas.

2.9.1.1.4 Verificação iluminância

Na realização de inspeções mais detalhadas de conformidade entre valores de iluminância reais e valores de projeto, uma malha para medições é gerada, formada por pontos definidos pela interseção de linhas transversais e longitudinais. A malha em vias de rolamento é definida a partir do vão médio entre postes (m) e a largura da via, já em vias para uso de pedestres, utiliza-se a largura entre postes e a largura da calçada. (ABNT NBR 5101:2012).

Conforme estabelecido no item 7 da ABNT NBR 5101:2012 (malha para verificação detalhada), com a definição da grade de medição, demarcações nos pontos de interseção na via são realizadas e com o uso do luxímetro, medições de iluminância são feitas no nível horizontal na altura do solo.

A iluminância média E_{med} é obtida com o uso da Equação (7), sendo $E_{pontosmalha}$ o somatório das iluminâncias medidas nos pontos da malha e Q_{pontos} a quantidade de pontos de medição (ABNT NBR 5101:2012).

$$E_{med} = \Sigma \frac{E_{pontosmalha}}{Q_{pontos}} \quad (7)$$

Com o valor de iluminância média calculada, define-se o valor de iluminância média mínima (E_{min}) em função da classe de iluminação e após o fator de uniformidade mínimo (U) pode ser encontrado utilizando a Equação (8).

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (8)$$

A partir dos valores calculados nas equações (7) e (8), é analisado se os mesmos atendem os mínimos de iluminância média e fator de uniformidade, considerando as classes de iluminação determinadas em norma.

2.9.1.2 Portaria do INMETRO no. 20/2017

Publicada em 20 de fevereiro de 2017, a portaria n° 20/2017 visa definir os requisitos técnicos à serem atendidos por luminárias empregadas na Iluminação Pública viária no Brasil, seja ela composta por lâmpada de descarga até 600 W ou por tecnologia LED.

Para casos de editais em órgãos públicos, o atendimento a normas relacionadas a esta portaria garante a segurança jurídica dos profissionais responsáveis pelas descrições técnicas dos equipamentos em análise, atendendo requisitos como eficiência energética e segurança nas instalações.

2.9.1.2.1 Requisitos técnicos de segurança

Baseado em normas nacionais e internacionais, os requisitos técnicos de segurança definem os padrões de materiais e montagem utilizados na construção das luminárias, buscando garantir a segurança elétrica e mecânica.

As marcações no corpo da luminária devem atender o descrito na norma ABNT NBR 15129:2012 - luminárias para iluminação pública – requisitos particulares, devendo ser gravadas de modo legível e indelével. Nelas devem constar o número de série de fabricação, modelo da luminária e a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). (INMETRO, 2017).

A ABNT NBR 15129:2012 define também as marcações que devem constar no folheto de instruções da luminária, onde deve ser apresentado o nome e ou marca do fabricante, modelo do fabricante, país de origem, potência nominal, classificação fotométrica, faixa de tensão nominal, frequência nominal, garantia, recomendações para manuseio, classificação quanto a proteção contra o choque elétrico, estimativa de vida útil e recomendações para aquisição dos arquivos *IES*. (ABNT, 2012).

Se tratando da segurança dos componentes elétricos a portaria n° 20/2017 do INMETRO estipula que os fabricantes devem comprovar as conformidades da fiação interna e externa seguindo a norma ABNT NBR 15129:2012. Já a tomada para relé fotocontrolador deve ser construída com material isolante elétrico, seus contatos devem suportar corrente nominal de 10A e construídos com latão estanhado, seguindo requisitos especificados na norma ABNT NBR 5123:2016 - relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação – especificação e ensaios.

As luminárias devem ser ensaiadas quanto a rigidez dielétrica e resistência de isolamento conforme ABNT NBR IEC 60598-1:2010. A classe de isolação da luminária é que define a tensão de ensaio aplicada nos testes e a resistência mínima de isolamento.

2.9.1.2.2 Requisitos técnicos de desempenho

Estes requisitos visam garantir os níveis de desempenho mínimos esperados para luminárias viárias, padronizando características de controle de distribuição luminosa, manutenção do fluxo luminoso da fonte de luz, expectativa de tempo de vida e níveis fotométricos.

Conforme visto anteriormente a classificação das distribuições de intensidades luminosas é padronizada pela ABNT NBR 5101:2012, com base no projeto luminotécnico e características da luminária.

Ao se tratar de eficiência energética de luminárias com tecnologia LED a portaria n°20/2017 define as classes e os níveis de eficiência que cada modelo de luminária pode indicar na ENCE, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Eficiência energética para luminárias com tecnologia LED

Classes	Nível de Eficiência Energética (lm/W)	Valor mínimo aceitável medido (lm/W)
A	EE ≥ 100	98
B	90 ≤ EE < 100	88
C	80 ≤ EE < 90	78
D	70 ≤ EE < 80	68

Fonte: (INMETRO, 2017)

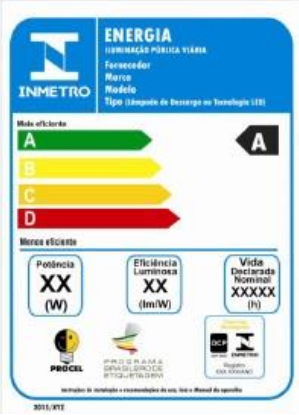
Conforme representado na Tabela 4 os valores de eficiência energética medidos no ensaio não devem ser menores que 90% do valor de eficiência declarado pelo fabricante. Os padrões de método e condições de ensaio devem atender as instruções da IES LM-79-08. (INMETRO, 2017).

O índice de reprodução de cor (IRC) gerado pela fonte de luz artificial, no caso a luminária com tecnologia LED é quantificada pelo índice de cor geral (Ra), que pode apresentar valores de 0 a 100. As luminárias públicas com tecnologia LED deverão comprovar Ra ≥ 70. (INMETRO, 2017).

2.9.1.2.3 Identificação luminárias padronizadas

As luminárias que atenderem aos requisitos da portaria n°20/2017 do INMETRO deveram fixar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), na embalagem e na luminária de maneira que se torne visível ao usuário. (INMETRO, 2017). O modelo de etiqueta deve seguir as características determinadas na portaria, a mesma é apresentada na Figura 23.

Figura 23 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).



Fonte: (INMETRO, 2017).

2.10 LICITAÇÃO E TERMO DE REFERÊNCIA

Segundo Botelho (2016), o termo de referência é descrito na lei n° 8.666/1993, e deve estar contido na licitação para aquisição de bens e serviços sempre que for utilizada a modalidade pregão.

A lei n° 8.666/1993 prevê o princípio de isonomia, onde o gestor público responsável pelo desenvolvimento do termo de referência, deve ser imparcial e impessoal na escolha dos instrumentos convocatórios para licitação.

O decreto federal n°. 5450/2005 determina que o termo de referência seja elaborado pelo órgão requisitante, sob responsabilidade de um grupo técnico detentor de conhecimento na área qual necessita ser licitada. As especificações do objeto licitado devem ser feitas de forma objetiva, precisa e sem especificações demasiadas ou insignificantes. Tais cuidados visam facilitar o julgamento das propostas e permitir a aferição do menor preço. (BOTELHO, 2016).

2.11 TRABALHOS CORRELATOS

Como material de referência para desenvolver este trabalho, foram utilizados outros três trabalhos que propõe a utilização de tecnologia LED em iluminação pública. Uma descrição sucinta de cada será realizada a seguir.

Na dissertação de mestrado desenvolvido por Maggi (2013), o objetivo era desenvolver uma metodologia para construção de uma luminária LED, a fim de substituir os

modelos tradicionais que utilizam lâmpada Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP). Foram desenvolvidos cálculos para quantificar o fluxo luminoso que devia ser gerado pela luminária LED, buscando atingir níveis de iluminância normatizados. Diversas simulações foram realizadas utilizando o software $DIALux^{®}$, com o objetivo de projetar as características luminotécnicas da luminária em um ambiente realista. A luminária LED desenvolvida atingiu níveis de iluminação satisfatórios, muito similares as luminárias que utilizam lâmpadas VSAP, representando uma redução de aproximadamente 50% da potência elétrica consumida. (MAGGI, 2013).

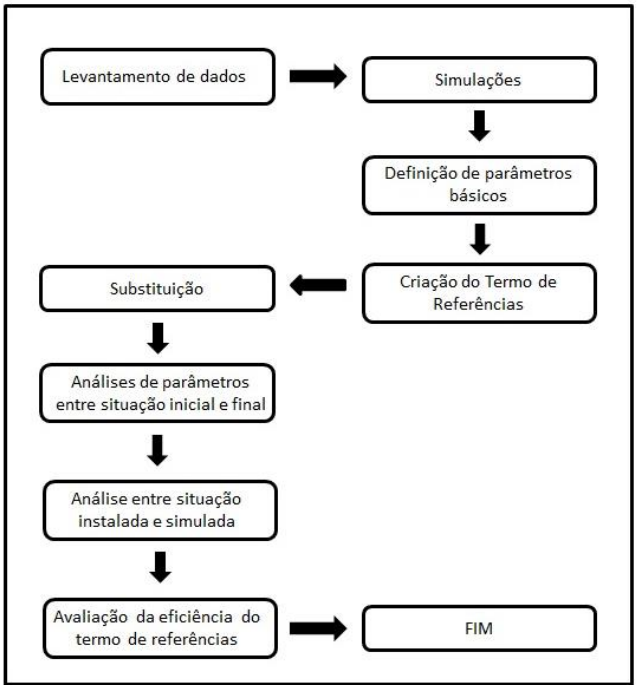
Na tese de doutorado desenvolvida por Rodrigues (2012) foi realizado o estudo de adaptação da fotometria para baixos níveis de luminância. A proposta visava aplicar métricas escotópicas no lugar das clássicas métricas fotópicas, utilizadas em verificações de sistemas de iluminação pública. O trabalhado também traz uma análise de diferentes circuitos de acionamento dos LEDs, buscando o melhor equipamento para controle de corrente e correção de harmônicas. A partir dos estudos desenvolvidos, foi concluído que a utilização de métricas escotópicas se mostraram as mais fiéis em relação a representação luminosa real. Assim, valores medidos por aparelhos que utilizam curva de sensibilidade fotópica podem ser convertidas para valores de métrica escotópica, apenas com a utilização da relação S/P (escotópica/fotópica). (RODRIGUES, 2012).

A dissertação de mestrado apresentada por Funchal (2017), traz o estudo para implantação de luminárias LED no setor público. O objetivo desta dissertação era apresentar a formação de um processo licitatório para compra de luminária LED. Uma situação real de análise quanto a viabilidade de substituição de luminárias com lâmpadas VSAP por luminárias LED é proposta. Por meio de softwares de simulação e análises financeiras, foram apresentadas as vantagens e desvantagens com a realização da substituição. Como resultados verificou-se a redução no consumo de energia, índices de luminosidades melhores, maior período entre manutenções, etc. (FUNCHAL, 2017).

3 METODOLOGIA

No intuito de modernizar o parque luminotécnico do município de Caxias do Sul, é proposto neste trabalho, uma situação real de substituição de luminárias com lâmpadas VSAP, por luminárias com tecnologia LED em uma via da cidade. Utilizando o conteúdo apresentado no segundo capítulo serão determinadas as especificações técnicas que deverão ser apresentadas pelas luminárias LED. A metodologia para aquisição das luminárias LED à serem instaladas na via de escolha para estudo de caso, seguira o fluxograma apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma geral da metodologia.



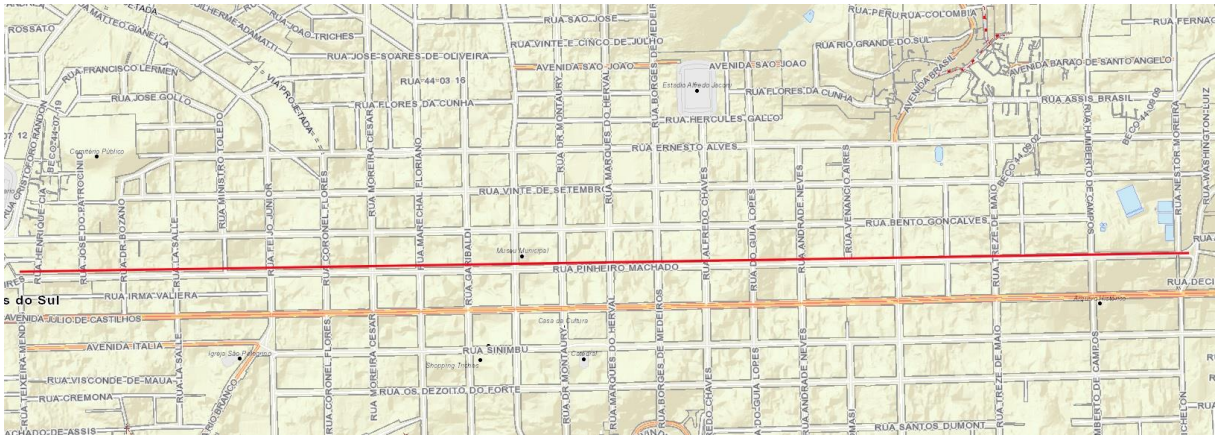
Fonte: O autor (2019).

3.1 ESTUDO DE CASO

3.1.1 Descrição do ambiente

A via pública escolhida para análise é a avenida Pinheiro Machado, importante via da cidade de Caxias do Sul, que liga os bairros Petrópolis, Lourdes, Centro e São Pelegrino. O trecho encontra-se entre as ruas Conselheiro Dantas e Teixeira Mendes, conforme apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Trecho definido para realização de *retrofit*.



Fonte: (GEO CAXIAS, 2018).

As características desta rua é um dos motivos para a escolha como estudo. Por se tratar de uma via arterial, que interliga diversos bairros da cidade e possuir um grande tráfego de veículos e pedestres, é de suma importância a qualidade da iluminação, em toda sua extensão, a fim de garantir a segurança dos usuários.

Outra razão que contribuiu para a escolha, foi a solicitação do secretário municipal quanto a verificação de viabilidade na realização de um retrofit[1] nos ativos de iluminação pública nas vias do município. A luminária definida para a via utilizada como estudo de caso, poderá ser empregada em vias de iguais dimensões e características.

3.1.2 Situação encontrada

O trecho escolhido para estudo, é composto por 114 pontos de iluminação, o distanciamento médio entre postes é de 36 metros e a altura média de montagem das luminárias é de 8,5 metros.

No local a iluminação é composta por luminárias da marca REEME modelo ZE-263, lâmpadas Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP) de 400 Watts, modelo MASTER SON-T PIA Plus 400W E E40 da marca PHILIPS e reator do tipo eletromagnético 400Watts AFP, com perdas internas de até 32 W, totalizando assim, 432W de consumo de energia.

retrofit[1] - termo utilizado para designar o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma.

Para desenvolvimento de cálculos e realização de simulações que serão necessárias ao decorrer deste estudo, os dados presentes na Tabela 5 tiveram de ser coletados no local.

Tabela 5 - Medidas retiradas do local.

Dados coletados	Resultados
Distância média entre postes	36 m
Número de faixas de rolagem	4
Largura da pista de rolagem	13 m
Largura total da via	22 m
Largura da calçada	4,5 m

Fonte: O Autor (2017)

3.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS BÁSICOS PARA AQUISIÇÃO DE LUMINÁRIA LED

Neste item serão abordados os métodos para definição dos parâmetros básicos das luminárias LED. No primeiro momento, serão analisadas as dimensões da via, a classe de iluminação perante norma e as simulações de modelos de luminárias viárias ofertadas no mercado atual. Após, estudos serão realizados a fim de definir as especificações que serão usadas no termo de referência, que estará contido na licitação de compra das luminárias.

3.2.1 Classificação do tráfego

A via escolhida como estudo de caso, é uma via arterial, com 4 faixas de rolagem, sentido único de veículos, cruzamentos com travessias de pedestres e apresenta volume de tráfego intenso. Para este cenário, a iluminação da pista de rolagem é classificada como sendo classe de iluminação V1, conforme tabela 4 - classes de iluminação para cada tipo de via, da norma ABNT NBR 5101:2012. Para as vias de tráfego de pedestres, a classe de iluminação a ser utilizada é a P2 – vias de grande tráfego noturno de pedestres. (ABNT NBR 5101:2012).

3.2.2 Iluminância e uniformidade

Segundo a ABNT NBR 5101:2012, a classe de iluminação V1, determina que a pista de rolagem, deve apresentar valores de iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo de 30 lux e 0,4, respectivamente.

Para os passeios cuja classe de iluminação é P2, recomenda-se 10 lux de iluminância média mínima e 0,25 para fator de uniformidade mínimo. (ABNT NBR 5101:2012).

O item 5.1.1.2 da ABNT NBR 5101:2012 estabelece que, em verificações de iluminância nos pontos situados na pista de tráfego motorizado, nenhum ponto deve apresentar valor de iluminância inferior a 1 lux.

3.2.3 Simulação computacional para definição das grandezas básicas

Para definição das grandezas básicas, inicialmente buscou-se por fabricantes disponíveis no mercado que apresentassem os ensaios exigidos na portaria n° 20 do INMETRO. Em seguida buscou-se obter os arquivos de distribuição fotométrica *IES*, junto aos fabricantes.

O software escolhido como ferramenta de simulação é o $DIALux^{®}$. A sua escolha se dá devido à ampla compatibilidade com diversos formatos de arquivos, sua obtenção é gratuita e também pela diversidade nos materiais explicativos, que servem como esclarecimento de possíveis dúvidas.

Um ambiente de simulação será gerado no software $DIALux^{®}$, utilizando os parâmetros:

a) Dimensões da via - apresentadas anteriormente;
b) Altura de montagem da luminária (AM) – 8,5 m;
c) Avanço transversal da luminária sobre a via (m) – 2,9 m
d) Ângulo de inclinação da luminária em relação ao eixo horizontal, perpendicular à via (graus) - 10°, ângulo padrão apresentado pelos braços de sustentação utilizados na prefeitura de Caxias do Sul.

Com os arquivos *IES* fornecidos pelos fabricantes e aplicados ao ambiente de simulação criado, é possível obter os valores de iluminância média, mínima e máxima, assim

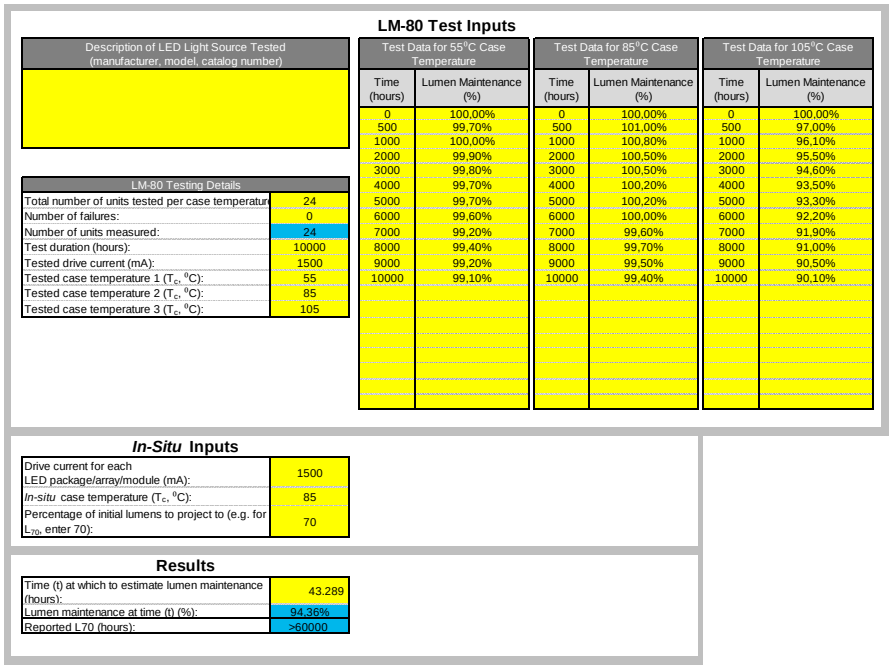
como o fator de uniformidade teórica de cada modelo de luminária ofertada. Valores estes, que após serão comparados com os mínimos determinados nas Tabelas 2 e 3 deste trabalho.

Para as simulações das luminárias LED, é necessário calcular o fator de manutenção do fluxo luminoso estimado para o final do período de funcionamento da luminária, para tal feito utiliza-se a Equação (5).

Na determinação do fator de depreciação da fonte luminosa, utiliza-se o método exposto no Apêndice B2 – Anexo I da portaria n° 20/2017 do INMETRO – Verificação da conformidade da manutenção do fluxo luminoso pelo desempenho do componente. O método baseia-se nos valores de depreciação luminosa do componente LED, ensaiado conforme procedimento descrito na IESNA LM-80-08 (IESNA, 2008) para até 10.000h de ensaio realizados em três níveis de temperatura (55°C, 85°C e outra especificada pelo fabricante). Os valores de depreciação luminosa do componente LED utilizados neste trabalho são fornecidos por meio do relatório de testes da empresa Nichia Corporation, apresentados no ANEXO A deste trabalho. A escolha por este fabricante ocorreu devido aos seus ensaios serem realizados para um período de 10.000 horas e serem recentes.

Com o intuito de garantir o fluxo luminoso mínimo, ao longo do período de operação da luminária a ser utilizada neste estudo de caso, os valores de depreciação luminosa do LED serão inseridos na tabela da *Energy Star* TM-21 *Calculator* (Energy Star, 2018), aferida conforme IES TM-21-11 (IES, 2011). Esta possibilita extrapolar a depreciação do fluxo para o período de interesse, 10 anos ou no caso, segundo a resolução 414/2010 da ANEEL, um tempo médio de operação da luminária de 43.289 horas, gerando assim um fator de manutenção do fluxo luminoso próximo a 94,36%, conforme pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Planilha extrapolação *Energy Star* TM-21 *Calculator*.



LM-80 Test Inputs

Description of LED Light Source Tested (manufacturer, model, catalog number)

Test Data for 55°C Case Temperature		Test Data for 85°C Case Temperature		Test Data for 105°C Case Temperature	
Time (hours)	Lumen Maintenance (%)	Time (hours)	Lumen Maintenance (%)	Time (hours)	Lumen Maintenance (%)
0	100,00%	0	100,00%	0	100,00%
500	99,70%	500	101,00%	500	97,00%
1000	100,00%	1000	100,80%	1000	96,10%
2000	99,90%	2000	100,50%	2000	95,50%
3000	99,80%	3000	100,50%	3000	94,60%
4000	99,70%	4000	100,20%	4000	93,50%
5000	99,70%	5000	100,20%	5000	93,30%
6000	99,60%	6000	100,00%	6000	92,20%
7000	99,20%	7000	99,60%	7000	91,90%
8000	99,40%	8000	99,70%	8000	91,00%
9000	99,20%	9000	99,50%	9000	90,50%
10000	99,10%	10000	99,40%	10000	90,10%

LM-80 Testing Details	
Total number of units tested per case temperatur	24
Number of failures:	0
Number of units measured:	24
Test duration (hours):	10000
Tested drive current (mA):	1500
Tested case temperature 1 (T_C, °C):	55
Tested case temperature 2 (T_C, °C):	85
Tested case temperature 3 (T_C, °C):	105

***In-Situ* Inputs**

Drive current for each LED package/array/module (mA):	1500
In-situ case temperature (T_C, °C):	85
Percentage of initial lumens to project to (e.g. for L_{70}, enter 70):	70

Results

Time (t) at which to estimate lumen maintenance (hours):	43.289
Lumen maintenance at time (t) (%):	94,36%
Reported L70 (hours):	>60000

Fonte: (O autor, 2019).

Outro valor a ser determinado é o Fator de Depreciação da Luminária, para isso é utilizado os valores contidos na CIE-154:2003, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Fator de Depreciação da Luminária (FDL)

Classificação IP do compartimento	**Categoria de Poluição**	**Tempo de Exposição (Anos)**				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP6X	Alta	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Média	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Baixa	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

Fonte: O Autor (2019).

As luminárias deverão ser IP6X e a categoria de poluição definida para o local é média. A norma CIE-154:2003 fornece fatores de depreciação da luminária para até 3 anos de exposição, porém necessita-se para este caso, um fator para o período entre limpezas das luminárias instaladas, definido em 5 anos. Desta forma, extrapolou-se o tempo de exposição para o período de interesse, por meio da equação linear característica utilizando o método de regressão linear simples (HOFFMANN, 2016), cujo modelo é apresentado na Equação 9.

$$Y_i = A + B.X_i + u_i \quad (9)$$

Onde Y_i é a variável dependente, X_i é a variável explanatória, B é o coeficiente angular da reta, A é o termo constante da equação e u_i é o erro para o i-ésimo fator, que para esta equação assume-se um erro médio igual a 0. A definição de B e A é realizada por meio do método dos mínimos quadrados (HOFFMAN, 2016), conforme Equações 10 e 11.

$$B = \frac{\sum X_i.(Y_i - \bar{Y})}{\sum X_i.(X_i - \bar{X})} \quad (10)$$

$$A = \bar{Y} - (B.\bar{X}) \quad (11)$$

Utilizando as equações acima descritas, junto aos valores da Tabela 6, obtêm-se o valor de FDL de 0,83.

O Fator de Sobrevivência da fonte Luminosa para as luminárias LED não será utilizado, pois o mesmo não é fornecido por nenhum fabricante. Os ensaios encontrados são somente para medir a depreciação do fluxo luminoso.

Utilizando a Equação (5) definiu-se um Fator de Manutenção de 0,8 a ser utilizado nas simulações.

Conforme mostra a Tabela 7, foram selecionados 8 modelos de luminárias cujos fabricantes manifestaram-se em conformidade com as normas e disponibilizaram as curvas *IES* para simulações.

Tabela 7 – Informações luminárias selecionadas.

Modelo/ Marca	**Potência Nominal**	**Fluxo Luminoso**	**Eficiência Energética**
Ares / Ilumatic	234,9W	27.378 lm	116,5 lm/w
Green Vision / Philips	242 W	24.340 lm	100,5 lm/w
Infinity DI-3100/ Repume	239,9W	29.751 lm	124,01 lm/w
LD-3P/4 / Reeme	231W	28.127 lm	121,7 lm/w
LPN-250 / Brigthlux	250 W	28.496 lm	114 lm/w
NATLX_GTFR2MR_DL233W /Tecnowatt	233 W	27.090 lm	116,2 lm/w
NATLX_GTFR3MR_DL274W /Tecnowatt	274W	29.553 lm	107,85 lm/w
Trooki / Unicoba	239,7W	28.883 lm	120,5 lm/w

Fonte: O Autor (2019).

3.2.4 Criação do termo de referências

Para a criação do termo de referências, além das características básicas e de distribuição luminosa, definidas por meio das simulações das luminárias selecionadas anteriormente, as seguintes normas técnicas se farão necessárias:

a) ANEEL – PRODIST MÓDULO 8 - Qualidade de Energia Elétrica (ANEEL, 2018).
b) ANSI C136.41 – *For Roadway and Area Lighting Equipment – Dimming Control Between an External Locking Type Photocontrol and Ballast or Driver* (ANSI, 2013).
c) ASTM G154 – *Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet(UV*) (ASTM, 2016);
d) EN 55015:2013 - *Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment* (EN, 2013);
e) IEC 61000-3-2 - *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase)*(IEC, 2018);
f) LM-79-08 - *Electrical and photometric measurements of Solid-State LightingProducts* (IESNA, 2008);
g) LM-80-08 - *Measuring lumen maintenance properties of light sources* (IESNA, 2008);
h) NBR 15129:2012 - Luminárias para iluminação pública - requisitos particulares (ABNT, 2012);
i) NBR 16026:2012 – Dispositivo de controle eletrônico c.c ou c.a para módulos LED – Requisitos de desempenho (ABNT, 2012);
j) NBR 5101:2012 - Iluminação pública – procedimento (ABNT, 2012);
k) NBR 5123:2016 - Relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação (ABNT, 2016);
l) NBR 5419:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas (ABNT, 2015);
m) NBR IEC 60529:2017 - Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP) (ABNT, 2017);
n) NBR IEC 60598-1:2010 - Requisitos gerais e ensaios (ABNT, 2010);
o) NBR IEC 61347-2-13 - Dispositivo de controle da lâmpada - Parte 2-13: Requisitos particulares para dispositivos de controle eletrônicos alimentados em c.c ou c.a p/ módulos de LED (ABNT, 2012);

p) NBR IEC 61643-1:2007 – Dispositivos de Proteção contra Surtos em baixa tensão (ABNT, 2007);
q) NBR IEC 62262:2015 - Graus de proteção assegurados pelos invólucros de equipamentos elétricos contra os impactos mecânicos externos (código IK) (ABNT, 2015);
r) NBR 7288:2018 – Cabos de potência com isolação sólida extrudada de cloreto de polivinila (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1kV a 6kV (ABNT, 2018);
s) NBR 9117:2006 – Condutores Flexíveis ou não, isolados com policloreto de vinila (PVC/EB), para 105°C e tensões até 750V, usados em ligações internas de aparelhos elétricos (ABNT, 2006);
t) NBR IEC/CISPR 15 – Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares (ABNT, 2015);
u) TM-21-11 *(Projecting long term lumen maintenance of LED light sources* (IES, 2011);
v) Portaria n°20/2017 INMETRO - Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária (INMETRO, 2017).

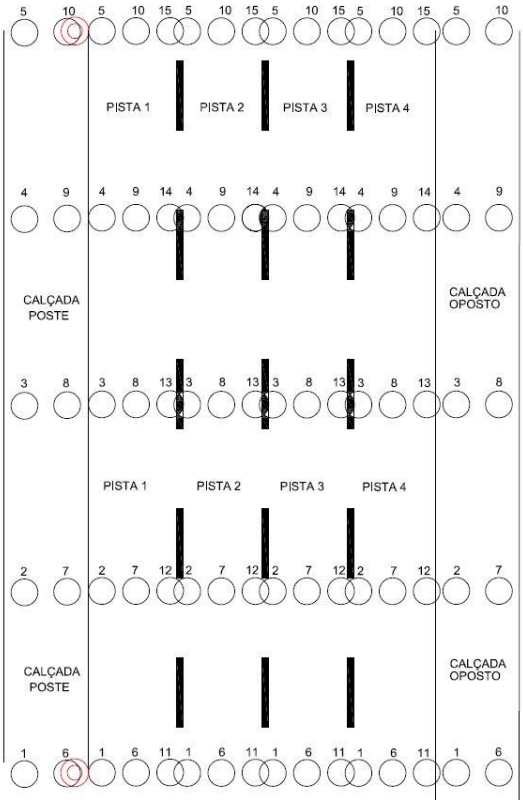
3.2.5 Comparações e análises

Com a aquisição e instalação das luminárias LED para a via escolhida como estudo de caso, três análises serão realizadas a fim de avaliar a eficiência da substituição de tecnologia e dos métodos escolhidos para aquisição das luminárias.

A primeira análise irá comparar os parâmetros elétricos e fotométricos: Potência total, rendimento óptico, fluxo luminoso projetado para a via, eficiência luminosa, fator de depreciação luminosa, Temperatura de Cor Correlativa e Índice de Reprodução de Cor, estes fornecidos pelos fabricantes para a antiga e a nova tecnologia instalada.

Após, outra análise comparativa será realizada entre os valores de iluminância medidas na via e o fator de uniformidade calculado, antes e após a substituição das luminárias VSAP por luminárias LED. O método utilizado para definir a quantidade e a localização dos pontos de medição, está disposto no item 7 da ABNT NBR 5101:2012 – malha para verificação detalhada e é apresentado na Figura 27. Com os valores de Iluminância ponto-a-ponto, será calculado a E_{med} por meio da Equação (7), para posteriormente o fator de uniformidade ser encontrado utilizando a Equação (8).

Figura 27 – Pontos de medição de iluminância na via.



Fonte: O Autor (2019).

Por fim, os valores de iluminância ponto a ponto, iluminância média e uniformidade obtidos na simulação para o modelo de luminária LED adquirido, serão comparados com os valores encontrados por meio das medições realizadas na via após substituição, aplicando a malha para verificação detalhada da ABNT NBR 5101:2012. Este comparativo visa verificar a confiabilidade dos valores obtidos em simulações, a partir dos dados fotométricos fornecidos pelos fabricantes.

4 RESULTADOS

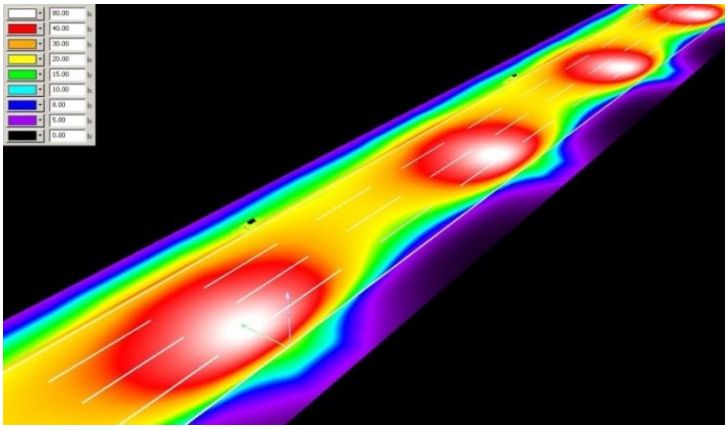
Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento dos métodos abordados no Capítulo 3. Serão expostos os resultados das simulações com as luminárias já selecionadas, assim como a definição dos parâmetros e características a serem exigidas no termo de referência contido no edital de compra. Por fim, os resultados das análises serão apresentados, com o intuito de concluir sobre a eficiência dos métodos escolhidos neste trabalho.

4.1 RESULTADOS SIMULAÇÕES

Com o auxilio do software DIALux®, realizou-se as simulações com os modelos selecionados definidos na Tabela 7. Os resultados avaliados nestas simulações, foram a iluminância média, mínima e o fator de uniformidade, para calçada onde encontram-se os postes com as luminárias, calçada do lado oposto aos postes e pista de rolagem.

Uma ferramenta utilizada para breve visualização da distribuição luminosa no software DIALux®, é as cores falsas. Estas não permitem uma análise precisa, porém permitem ao projetista uma rápida avaliação dos pontos de maior incidência de luz nas três áreas de interesse. A Figura 28 apresenta a simulação da luminária LED Green Vision/Philips.

Figura 28 – Simulação cores falsas



Fonte: Autor (2019).

Na grade de cores posicionada na parte superior esquerda da Figura 28, são apresentados os valores de iluminância interpolados, sendo a cor preta utilizada para representar regiões na via com 0 lux e a cor branca para regiões onde a iluminância é próxima ou superior a 80 lux. Sendo assim, é possível observar na simulação, uma baixa uniformidade

da iluminância na via, sendo o passeio onde os postes estão instalados, prejudicado por possuir grande parte de sua área com valores de iluminância entre 0 e 5 lux.

Para um maior e mais preciso detalhamento da distribuição luminosa sobre a superfície da via, foi realizada a simulação da iluminância ponto a ponto para cada luminária apresentada na Tabela 7, utilizando a malha de simulação conforme padrão ABNT NBR 5101:2012. Como exemplo, as Figuras 29, 30 e 31 apresentam os valores de distribuição luminosa ponto a ponto, junto aos resultados de E_{med}, E_{min}, $E_{máx}$ e Fator de Uniformidade para a simulação da luminária Green Vision/Philips.

Figura 29 – Simulação distribuição luminosa, calçada lado oposto.

PINHEIRO MACHADO / OPOSTO / Tabela (E)

3.375	7.27	7.41	7.38	7.05	7.11	7.26	7.42	7.88	7.57	7.88	7.42	7.26	7.11	7.05	7.38	7.41	7.27
1.125	18	18	17	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	17	18	18
m	**1.059**	**3.176**	**5.294**	**7.412**	**9.529**	**11.647**	**13.765**	**15.882**	**18.000**	**20.118**	**22.235**	**24.353**	**26.471**	**28.588**	**30.706**	**32.824**	**34.941**

Atenção: As coordenadas referem-se à imagem de visualização acima. Valores em Lux.

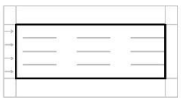
Grelha: 17 x 2 Pontos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
12	7.05	18	0.601	0.393

Fonte: Autor (2019).

Figura 30 – Simulação distribuição luminosa, pista de rolagem.

PINHEIRO MACHADO / PISTA / Tabela (E)



12.675	28	27	25	23	22	21	20	19	19	19	20	21	22	23	25	27	28
12.025	32	31	28	26	24	23	21	20	20	20	21	23	24	26	28	31	32
11.375	36	35	32	29	26	24	23	22	21	22	23	24	26	29	32	35	36
10.725	41	39	35	31	28	26	24	22	22	22	24	26	28	31	35	39	41
10.075	45	42	38	34	30	27	25	23	23	23	25	27	30	34	38	42	45
9.425	49	45	40	36	31	28	25	24	23	24	25	28	31	36	40	45	49
8.775	54	49	43	38	32	29	26	24	23	24	26	29	32	38	43	49	54
8.125	58	52	46	40	33	29	26	24	23	24	26	29	33	40	46	52	58
7.475	62	56	48	41	34	29	25	24	23	24	25	29	34	41	48	56	62
6.825	67	59	50	43	34	29	25	23	23	23	25	29	34	43	50	59	67
6.175	71	63	51	43	34	28	25	23	22	23	25	28	34	43	51	63	71
5.525	76	66	53	44	34	28	24	22	21	22	24	28	34	44	53	66	76
4.875	79	68	54	43	33	27	23	21	20	21	23	27	33	43	54	68	79
4.225	81	69	55	42	32	26	22	20	19	20	22	26	32	42	55	69	81
3.575	81	68	54	40	30	24	20	18	17	18	20	24	30	40	54	68	81
2.925	77	66	51	37	27	21	18	16	15	16	18	21	27	37	51	66	77
2.275	69	59	45	32	24	18	15	14	13	14	15	18	24	32	45	59	69
1.625	56	48	37	27	20	15	12	11	10	11	12	15	20	27	37	48	56
0.975	39	33	26	19	14	11	9.12	8.29	7.99	8.29	9.12	11	14	19	26	33	39
0.325	23	20	16	12	9.41	7.73	6.45	5.86	5.81	5.86	6.45	7.73	9.41	12	16	20	23
m	**1.059**	**3.176**	**5.294**	**7.412**	**9.529**	**11.647**	**13.765**	**15.882**	**18.000**	**20.118**	**22.235**	**24.353**	**26.471**	**28.588**	**30.706**	**32.824**	**34.941**

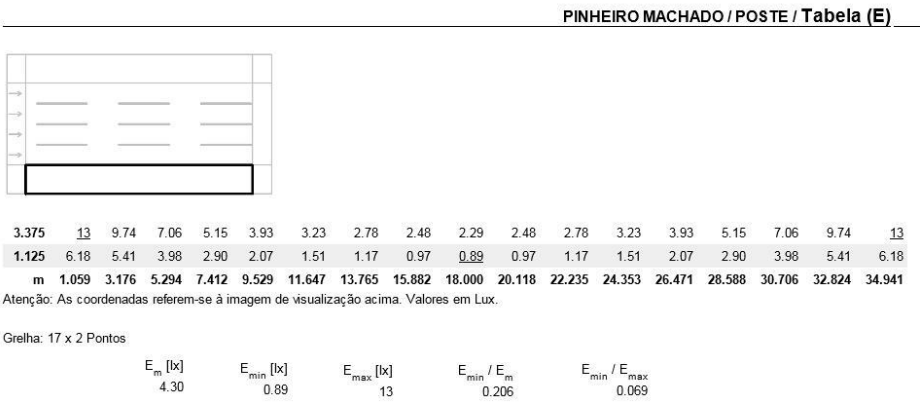
Atenção: As coordenadas referem-se à imagem de visualização acima. Valores em Lux.

Grelha: 17 x 20 Pontos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
33	5.81	81	0.175	0.071

Fonte: Autor (2019).

Figura 31 – Simulação distribuição luminosa, calçada lado poste.



Fonte: Autor (2019).

Com a simulação ponto a ponto, é possível obter a E_{med}, E_{min}, assim como o fator de uniformidade E_{min}/E_{med}, para cada modelo simulado. Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Informações simulações luminárias

Modelo/ Marca	**Calçada Poste** E_{med} / FU	**Calçada Oposto** E_{med} / FU	**Pista** E_{med} / FU
Ares / Ilumatic	12 lux / 0,55	11 lux / 0,58	35 lux/ 0,37
Green Vision / Philips	4,3 lux/ 0,20	12 lux/ 0,6	33 lux/ 0,17
Infinity DI-3100/ Repume	12 lux / 0,39	12 lux / 0,71	35 lux/ 0,43
LD-3P/4 / Reeme	19 lux / 0,58	12 lux / 0,74	33 lux/ 0,44
LPN-250 / Brigthlux	9,18 lux/ 0,14	3,21 lux/ 0,3	40 lux/ 0,23
NATLX_GTFR2MR_DL233W /Tecnowatt	5,37 lux/ 0,06	11 lux/ 0,31	35 lux/ 0,089
NATLX_GTFR3MR_DL274W /Tecnowatt	6,53 lux/ 0,22	20 lux/ 0,69	30 lux/ 0,22
Trooki / Unicoba	18 lux / 0,49	12 lux / 0,73	32 lux/ 0,45

Fonte: O Autor (2019).

Cabe ressaltar, a importância das simulações e o entendimento da distribuição luminosa apresentada por cada luminária. É possível observar na Tabela 8, os resultados de iluminância e uniformidade dos modelos NATLX_GTFR2MR_DL233W e NATLX_GTFR3MR_DL274W, mesmo com potência e fluxo luminoso maior a DL274W apresenta E_{med} menor na pista de rolagem e FU maior, se comparado com a DL233W, já na

área definida como sendo calçada poste, os dois modelos em questão não apresentaram E_{med} mínimo, para o tipo de passeio.

A primeira seleção é perante os valores mínimos de iluminância e uniformidade exigidos na ABNT NBR 5101:2012. Nesta análise, como pode ser visto na Tabelo 8, três modelos atenderam aos requisitos iniciais para este tipo de via, são elas: LD-3P/4, Infinity DI-3100 e Trooki. Estas apresentaram simultaneamente todos os parâmetros de iluminância e fator de uniformidade, assim como, apresentaram conformidade com a portaria n° 20 e normas anteriormente citadas.

4.2 DEFINIÇÃO PARÂMETROS TERMO DE REFERÊNCIAS

A partir das simulações realizadas e das especificações contidas nas normas técnicas já revisadas no segundo capítulo, o termo de referências foi criado para especificar as características que deveriam ser apresentadas pelas luminárias LED a serem instaladas na via utilizada como estudo de caso. Desta maneira, as empresas interessadas poderiam verificar a conformidade de seus produtos perante o exigido no termo de referência antes de as ofertarem na licitação. A seguir serão descritas as especificações que se julgaram necessárias.

4.2.1 Características básicas

A partir das simulações anteriormente realizadas com as luminárias que atendem aos requisitos estabelecidos, definiram-se as características básicas a serem solicitadas em edital.

a) Potência nominal máxima do conjunto controlador (*driver*), LEDs e demais componentes que compõem a luminária, não deve ultrapassar 240 Watts;
b) Fluxo luminoso efetivo mínimo de 27.300 lúmens;
c) Eficiência energética mínima de 114 lm/W;
d) Temperatura de cor correlata (TCC) de 5000K;

A TCC escolhida para este edital se deve a estudos de segurança no trânsito, que identificaram uma melhor reação dos usuários quanto ao tempo de respostas e percepção de espaço, refletindo assim na maior segurança em vias onde circulam veículos e pedestres (RODRIGUES, 2012). Também esta temperatura de cor é utilizada no município de Caxias do Sul e em locais onde há câmeras de monitoramento há relatos de melhor visualização dos ambientes.

4.2.2 Componentes elétricos e eletrônicos

a) Driver eletrônico:

Os parâmetros do *driver* são definidos a fim de atender os requisitos apresentados no documento Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica (ANEEL, 2018). Além deste, analisou-se normas pertinentes e equipamentos ofertados no mercado, no intuito de garantir conformidade com especificações disponíveis. Os parâmetros são:

- Tensão nominal 220 V – 50/60Hz;

- Tensão de operação: *Full Range* 100 a 277 V / 50/60Hz;

- Distorção de Harmônica Total (THD) - menor ou igual a 10% a 220V;

- Apresentar fator de potência maior ou igual a 0,93;

- Proteção contra curto circuito da saída "*short circuit protection*";

- Proteção contra sobre tensão e contra surtos de entrada de no mínimo 4kV (Fase-Neutro) e 6kV (Fase/Neutro-Terra);

- Proteção contra sobre temperatura "*over temperature protection*";

- Deve apresentar características de saída como fonte de corrente controlada;

- Deve conter filtros para supressão de interferência eletromagnética e de radiofrequência;

- Estar em conformidade com as normas EN 55015 ou ABNT NBR IEC/CISPR 15 e IEC 61000-3-2;

- Expectativa de vida maior ou igual a 50.000 horas quando em operação na temperatura de carcaça declarada (Tc);

- Em conformidade com as normas NBR IEC 61347-2-13 e NBR 16026;

- Grau de proteção mínimo IP66;

- Invólucro metálico, com indicação da temperatura de carcaça.

b) Protetor contra Surto – DPS:

Para este item, seguiu-se o exposto nas normas NBR 5419:2015 - Proteção Contra Descargas Atmosféricas e NBR IEC 61643-1:2007 - Dispositivos de Proteção contra Surtos em baixa tensão. Os parâmetros definidos são:

- Classe de Proteção II;

- Tensão nominal de operação de no mínimo 220V / 60 Hz (Fase - Neutro);

- Suportar impulsos de tensão de no mínimo 10 kV (forma de onda1,2/50μs);

- Nível de proteção menor ou igual a 1,6 kV;

- Suportar correntes de descarga de no mínimo 5 kA (8/20μs);

- Conexão com a rede (Fase - Terra), (Neutro-Terra) ou (Fase - Neutro);

- Deve possuir LED indicativo de status de proteção;

- Devera possuir conexão em série de forma que, caso o protetor atinja o final da sua vida útil a carga deverá ser desenergizada;

c) Fiação para conexão da luminária a rede elétrica deve ser com cabo PP 2,5 mm2 0,6/1kV, classe 5, dupla isolação, conforme NBR 7288:2018, com no mínimo 200 mm de comprimento;

d) Os cabos elétricos internos deverão possuir isolação de no mínimo 750 V e possuir temperatura mínima de operação compatível com a temperatura interna dos respectivos alojamentos, sendo no mínimo de 105 °C, atendendo assim as normas ABNT NBR 9117:2006 e ABNT NBR 15129:2012.

e) Todas as passagens de fios ou partes que façam algum contato mecânico com os fios deverão ser isentos e livres de rebarbas, cantos vivos, ou qualquer outro elemento que possa causar danos a isolação dos mesmos;

f) A luminária deve atender os requisitos de ensaio de isolação definidos na ABNT NBR IEC 60598-1, classe de isolamento elétrico I ou II;

4.2.3 Propriedades ópticas e fotométricas

a) Índice de Reprodução de Cores (IRC) maior ou igual a 70;

b) Vida nominal da manutenção do fluxo luminoso (LP) L70 @ 50.000 horas;

c) Módulo de LED:

- Deverá ser projetado para ser alimentado por drive eletrônico com características de fonte de corrente e controlada;

- O modulo de LED poderá estar protegido por refrator de vidro plano temperado, resistente a alta temperatura, radiação ultravioleta e infravermelha ou exposto a intempérie. Para ambas as situações o alojamento óptico devera possuir grau de proteção mínimo IP66;

- O sistema óptico devera utilizar lentes de elevada eficiência e resistentes a temperatura a fim de garantir a fotometria adequada da luminária por toda a sua vida útil. Obrigatoriamente todas as luminárias devem utilizar lentes poliméricas com aditivos anti UV;

- Todos os componentes em polímero de aplicação externa do produto deverão seguir as indicações da norma ASTM G154, ciclo 3, na câmara de UV com um tempo de exposição de 2.016 horas;

- Os LEDs deverão ser montados com tecnologia SMD (*Surface Mount Device*) em placas do tipo MCPCB (Metal Core). Não serão aceitas placa de material do tipo fenolite ou fibra de vidro;

d) Desempenho fotométrico:

d.1) A luminária devera possuir controle de intensidade limitada ou totalmente limitada conforme NBR 5101:2012;

d.2) A luminária deverá atender as exigências de desempenho fotométrico conforme informações:

Características da via:

- largura da pista de rolagem: 13 metros;
- calçada direita e esquerda: 4,5 metros cada;
- espaçamento entre postes: 36 metros;
- altura do ponto de luz: 8,5 metros;
- avanço do braço metálico: 2,9 metros / inclinação: 10°;

d.3) Iluminância mínima desejada:

- fator de manutenção para projeto ou simulação: 0,80;

- faixa de rolamento: E_{med}: 32 lux / Fator de Uniformidade mínimo: 0,40 / malha de cálculo em simulação: 17 x 20 pontos;

- calçadas: E_{med}: 12 lux / Fator de Uniformidade mínimo: 0,25 / malha de cálculo em simulação: 17 x 2 pontos;

Os valores de iluminância serão comprovados por meio de simulação computacional a partir de arquivo extensão IES obtido em laboratório credenciado ao INMETRO;

4.2.4 Características construtivas

a) Grau de Proteção mínimo IP66;
b) A luminária devera possuir resistência ao impacto mecânico mínimo IK-08;
c) A luminária deverá ser projetada de forma a possibilitar a substituição de cada componente de forma individual;
d) O alojamento óptico poderá ser fabricado em alumínio injetado a alta pressão conjuntamente com o alojamento dos dispositivos auxiliares ou em perfil de alumínio extrudado com resistência mecânica adequada para a sustentação dos módulos de LED com fechamento frontal através de tampa em alumínio injetado a alta pressão ou extrudado, com acesso ao alojamento óptico através de fechos de pressão ou parafusos;
e) Modelos que utilizam refrator de vidro temperado como proteção do alojamento óptico, deverão ser planos, possuir espessura mínima de 4 milímetros e resistência mecânica IK-08;
f) A luminária deverá possuir, base 7 pinos padrão ANSI C136.41 incorporada na parte superior do corpo da luminária, para operação com sistema de telegestão ou somente com rele fotocontrolador eletrônico ou eletromecânico conforme padrão NBR 5123.
g) Dimensões da luminária

Baseado em modelos ofertados no mercado atual, buscou-se as dimensões que melhor definissem um padrão, a fim de evitar uma vasta diversidade de modelos e formas geométricas de luminárias quando realizados outros editais, definindo-se assim as medidas apresentadas abaixo:

- comprimento total: mínimo 520mm e máximo 785mm;

- largura total: mínima 140mm e máxima 385 mm;

- altura total: mínima 90mm e máxima 185mm.

4.2.5 Informações complementares: Identificação, manuais e embalagem

a) As luminárias devem ser identificadas de acordo com as disposições da ABNT 15129 e da ABNT item 3.4 da NBR IEC 60598-1, de forma legível e indelével, com, no mínimo, as seguintes informações nesta ordem:

Nome ou marca comercial do fabricante, modelo ou tipo da luminária, nome da p.m. de Caxias do Sul (P.M.C.S.), referência técnica (luminária tipo LED 4), n° de série de fabricação, potência(s) nominal em (W), corrente elétrica em (A), fator de potência, distorção harmônica total em (%) (THD), mês e ano de fabricação, data do vencimento da garantia, grau de proteção do alojamento e do grupo óptico, classe de isolamento elétrico, peso em (Kg), a placa de identificação devera ser em alumínio.

b) As luminárias devem possuir um folheto (em português) com as informações solicitadas na ABNT NBR 15129, onde, além dos dados exigidos, devem também ser apresentadas as seguintes informações:

Nome ou marca do fornecedor, modelo ou código do fornecedor, classificação fotométrica, com indicação do ângulo de elevação correspondente, potência nominal em watts, faixa de tensão nominal, em volts, frequência nominal, em hertz, pais de origem do produto, informações sobre o controlador (*driver*) (marca, modelo, potência, corrente elétrica nominal, etc), instruções ao usuário quanto à instalação elétrica, manuseio e cuidados recomendados, informações sobre o importador ou distribuidor, expectativa de vida (horas) que corresponde a manutenção do fluxo luminoso, de 70% (L70), 80% (L80) ou conforme especificação, orientação para obtenção do arquivo extensão IES da fotometria da luminária, instruções para montagem da luminária, diagrama elétrico para conexão a rede (especificação das cores dos fios), peso em (kg), na parte inferior da luminária devera ser possível indicar, externamente, a potência nominal da luminária, através de etiqueta de difícil remoção, visível e inteligível a olho nu do nível do solo. Sendo a luminária fornecida com as 2 (duas) etiquetas com o número de acordo com a respectiva potência nominal. Uma das etiquetas devera vir instalada na luminária e a segunda dentro da embalagem, a embalagem deverá prover todas as informações relativas ao adequado transporte e armazenamento do material, bem como resistir aos impactos/vibrações provenientes do transporte deste material, apresentação: embalagem de papelão individual.

4.2.6 Ensaios de conformidades das luminárias

Até a data da licitação, não seria compulsória a apresentação da certificação de conformidades em desempenho e segurança, para luminárias comercializadas no território nacional conforme disposições na portaria n°20/2017 do INMETRO, a portaria estipulou um prazo máximo de 24 meses a partir da sua publicação, para os fabricantes se adequarem. Entretanto, para assegurar a compra, uma lista de ensaios que comprovem a qualidade e as características da luminária que ganhar a licitação, teve de ser exigida.

As empresas interessadas em participar da licitação, devem entregar em formato impresso os ensaios solicitados, no momento da tomada de preços no dia do pregão presencial. Após a confirmação da empresa vencedora, os ensaios devem ser entregues em formato digital e impresso no momento da compra do produto. A proposta vencedora deve montar uma pasta com todos os ensaios que atestem as características exigidas no termo de referências, seguindo as normas citadas. Os ensaios só terão validade se forem realizados por laboratórios nacionais certificados pelo INMETRO, e somente serão aceitos se estiverem todos em língua nacional (português Brasil).

As propostas devem vir acompanhadas por laudos técnicos originais ou cópias autênticas, certificando os seguintes ensaios:

- Ensaio fotométrico da luminária - Classificação das intensidades luminosas, distribuição longitudinal, transversal e controle de distribuição de intensidade, conforme NBR 5101;

- Ensaios elétricos e de eficiência energética – Potência total do circuito, fator de potencia, corrente de alimentação, fluxo luminoso efetivo e eficiência energética (relação lumens por watt), conforme IES LM-79 e IEC 61000-3-2 (Emissões de Correntes Harmônicas);

- Ensaios de características fotométricas da luz – Índice de reprodução de cores (IRC) e Temperatura de cor correlata (TCC), conforme IES LM-79;

- **Ensaio de manutenção do fluxo luminoso da luminária** – Método de desempenho do componente, conforme IESNA LM-80 e TM-21;

- **Ensaio de Grau de Proteção**, conforme NBR IEC 60598-1;

- **Ensaio de resistência mecânica**, conforme NBR IEC 62262;

- Ensaio de proteção contra raios UV, conforme ASTM G154, se aplicável;

- **Ensaio de isolamento**, corrente de fuga e rigidez dielétrica, conforme NBR IEC 60598-1;

- **Ensaio contra choque elétrico**, conforme NBR IEC 60598-1;

- **Ensaio de resistência ao torque de parafusos e conexões,** conforme NBR IEC 60598-1;

- **Ensaio de resistência a vibração**, conforme NBR IEC 60598-1;

- **Ensaio de resistência a força do vento**, conforme NBR 15129;

- Ensaio de tensão e corrente de saída do driver eletrônico, conforme NBR 16026;

- Ensaio para qualificação do driver eletrônico, conforme NBR 61347-2-13.

Os laudos dos ensaios devem conter no mínimo: Nome e/ou marca comercial do fabricante; Tipo e/ou número de catálogo da luminária; Mês e ano de fabricação da luminária; Descrição sucinta dos ensaios, indicação de normas técnicas, instrumentos e circuitos de medição; Memorial de cálculo, com resultados e eventuais observações, podendo estes serem apresentados em formato digital; Tamanho do lote, número e identificação das unidades amostradas e ensaiadas; Datas de início e término dos ensaios; Atestado dos resultados, informando de forma clara e explicita se a luminária ensaiada passou ou não no referido ensaio; Imagem da luminária ensaiada; Selo do INMETRO com o respectivo CRL (Número de Acreditação junto ao INMETRO) do laboratório onde os ensaios foram executados.

4.2.7 Entrega das propostas

A fim de garantir que o equipamento fornecido, seja o mesmo ofertado no dia da licitação, os interessados devem fornecer material informativo ou catálogo editado com informações do fabricante, marca, modelo, características elétricas, fotométricas, dimensões, peso, tipo de material do corpo da luminária, características técnicas do *driver*, dispositivos auxiliares, características do DPS, etc.

Material informativo, catálogo ou prospecto editado por representantes, revendedores ou importadores, não devem ser aceitos. O catálogo deve reproduzir o desenho técnico ou a impressão fotográfica real das peças.

Na entrega do documento com a proposta, a empresa licitante deverá mencionar no documento, a marca ou fabricante, a referência técnica e o período de garantia do equipamento ofertado, sendo o período de garantia, não inferior a 120(cento e vinte) meses, contados da data do Termo de Recebimento.

O termo de referências completo está disponibilizado em: https://grp.caxias.rs.gov.br/grp/materiais/acessoexterno/compras/licitacaoConsultaFiltroAcessoExternoListaMaisCampos.faces (PMCS, 2018).

4.3 ANÁLISES COMPARATIVAS

A licitação ocorreu no dia 20 de dezembro de 2018, sob a modalidade pregão presencial nº. 250-2018 na modalidade Sistema Registro de Preço.

Após aberto os envelopes com as devidas propostas de cada licitante, iniciou-se a conferência de documentos por parte dos representantes técnicos do setor de iluminação pública da cidade de Caxias do Sul. A empresa vencedora foi a REPUME REPUXAÇÃO E METALURGIA LTDA, ofertando a luminária Infinity modelo DI-3100/237.

A empresa foi a única que apresentou todos os requisitos solicitados no termo de referência presente neste edital de compra.

Assim que adquirida a luminária e realizada a substituição na via proposta para estudo de caso, foi possível iniciar as análises propostas no Capítulo 3. A Figura 32 apresenta a iluminação na via antes e após a substituição das luminárias.

Figura 32 – Comparativo entre situação inicial e final.

Iluminação com VSAP

Iluminação com LED

Fonte: O Autor (2019)

4.3.1 Análise de parâmetros entre situação inicial e final

Uma análise comparativa entre a antiga e a nova tecnologia instalada foi realizada. Para tal feito buscou-se os parâmetros elétricos e fotométricos disponibilizados pelos fabricantes em catálogos e ensaios em laboratórios acreditados pelo INMETRO/CGCRE(Coordenação Geral de Acreditação). A Tabela 9 apresenta os parâmetros da lâmpada VSAP, modelo MASTER SON-T PIA Plus PHILIPS 400W instalada em luminária REEME ZE-263, e também os parâmetros da Luminária LED REPUME Infinity.

Tabela 9 – Parâmetros elétricos e fotométricos situação inicial e final.

Modelo	**Potência Total**	**Rendimento Óptico Luminária**	**Fluxo Luminoso Projetado p/ a via**	**Eficiência energética**	**Fator Depreciação Luminosa**	**TCC**	**IRC**
ZE-263	432 W	73%	40.734 lm	94,2 lm/w	84% p/ 36.000h	2000K	≤ 25
Infinity	239,9W	100%	29.751 lm	124 lm/w	87,3% p/ 36.000h	4862K	73,3

Fonte: O Autor (2019).

Neste comparativo é importante ressaltar a redução de consumo de energia em 44,5% para cada luminária, a eficiência luminosa da luminária LED consideravelmente superior ao

conjunto luminária e lâmpada VSAP e também o FDL da lâmpada VSAP estimada para 36.000h que no caso da LED, é extrapolado para 36.000h a partir dos valores do ensaio seguindo os procedimentos da IESNA LM-80.

Outros fatores importantes são a Temperatura de Cor Correlata e o Índice de Reprodução de Cor, onde segundo Rodrigues (2012), fundamentais em vias de tráfego para percepção do espaço e profundidade dos objetos.

4.3.2 Análise de iluminância e uniformidade antes e após substituição

Os valores de iluminância sobre a via foram verificados com a utilização do luxímetro Amprobe-LM631A, a malha de medição utilizada foi de 3 x 5 para cada faixa de rolagem e 2 x 5 para os passeios, conforme ABNT NBR 5101:2012. Os pontos analisados na calçada e na pista estão definidos na Figura 27. A Tabela 10 apresenta os valores coletados no local.

Tabela 10 - Medições de iluminância nos cenários inicial e atual

Calçada Poste			**Faixa 01**			**Faixa 02**			**Faixa 03**			**Faixa 04**			**Calçada Oposto**		
Pt	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**	
	V.S	**Led**		**V.S**	**Led**		**V.S**	**Led**		**V.S**	**Led**		**V.S**	**Led**		**V.S**	**Led**
1	15	18,6	**1**	27,2	54,7	**1**	60,2	92,3	**1**	113	91,5	**1**	105	63,2	**1**	39	28,2
2	12,4	12,9	**2**	23,1	27,6	**2**	40	45,2	**2**	44,8	46,3	**2**	35,1	32,1	**2**	24,8	15,7
3	5,9	7,8	**3**	14,4	17,1	**3**	18,2	25,2	**3**	23,1	27,2	**3**	21,8	22,8	**3**	10,3	11,7
4	13,2	10,8	**4**	27,7	18,9	**4**	43,2	38,7	**4**	50,1	45,7	**4**	39,3	33,7	**4**	17,8	14,8
5	20,2	16,2	**5**	38,3	48,8	**5**	58,1	82,9	**5**	115	89,1	**5**	122	57,2	**5**	50,1	26,8
6	22,3	35,5	**6**	34,2	67,2	**6**	84	101	**6**	114	82,3	**6**	98	49,8	**6**	18,4	12,5
7	17,8	16,8	**7**	27,5	33,2	**7**	44,2	46,7	**7**	42,1	40,8	**7**	32	25,4	**7**	15,6	11,3
8	10,3	12,5	**8**	16	19,4	**8**	17,8	26,4	**8**	24,5	25,7	**8**	19,6	18,5	**8**	5,6	7,4
9	20,6	15,8	**9**	31,7	24,7	**9**	52,4	44,1	**9**	47,2	41,6	**9**	34,8	26,7	**9**	12,4	8,1
10	33,8	33,6	**10**	47,3	59,5	**10**	86,5	96,4	**10**	134	74,7	**10**	115	39,3	**10**	26,8	10,3
			11	48,2	86,2	**11**	101	94,2	**11**	106	70,7	**11**	78	33,1			
			12	34	41,2	**12**	42,5	47,2	**12**	36,3	36,4	**12**	30,2	19,4			
			13	17,6	23,4	**13**	20,7	27,3	**13**	22,9	23,4	**13**	13,1	16,8			
			14	37,9	32,4	**14**	57,8	49,8	**14**	42,6	35,4	**14**	28,3	21,9			
			15	55,4	68,3	**15**	110	90,7	**15**	140	65,4	**15**	90,5	31,2			

Fonte: O Autor (2019).

A partir dos valores de iluminância medidos em cada ponto definidos no local de instalação, foi possível realizar as comparações de intensidades luminosas antes e após o projeto de substituição. Para isso utilizando as Equações 7 e 8 calculou-se a E_{med}e o Fator de Uniformidade para as áreas de interesse na via. Os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Iluminância média e fator de uniformidade VSAP e LED.

Áreas da Via	**Luminária VSAP**	**Luminária LED**
Passeio Oposto ao Poste	E_{med} = 22 lux FU = 0,2	E_{med} = 15 lux FU = 0,5
Pista de Rolagem	E_{med} = 54 lux FU = 0,2	E_{med} = 47 lux FU = 0,4
Passeio Poste	E_{med} = 17 lux FU = 0,3	E_{med} = 18 lux FU = 0,4

Fonte: O Autor (2019).

É possível observar uma redução da iluminância média apresentada pela luminária LED em duas áreas analisadas, porém o Fator de Uniformidade apresenta-se superior em relação a VSAP nas três áreas de interesse. Este fenômeno se dá, devido a grande concentração de luminosidade no eixo vertical, abaixo de onde a luminária VSAP está instalada, enquanto a luminária LED mesmo com E_{med} menor, fornece uma distribuição luminosa mais uniforme, se comparada com a tecnologia inicialmente instalada.

4.3.3 Análise entre parâmetros medidos e simulados

Tendo em vista verificar a confiabilidade das curvas de distribuição luminosa obtidas em laboratórios e posteriormente utilizadas em simulações, foi realizada uma análise entre os valores de iluminância ponto-a-ponto para a luminária Infinity, adquiridos via simulação utilizando o software DIALux®, com os valores de iluminância medidos no local de instalação das luminárias, respeitando o mesmo distanciamento da malha simulada, esta baseada na malha de medição conforme ABNT NBR 5101:2012 e apresentada na Figura 27. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Análise entre simulação e medições para a luminária LED.

Calçada Poste			Faixa 01			Faixa 02			Faixa 03			Faixa 04			Calçada Oposto		
Pt	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**		**Pt**	**Lux**	
	Led¹	**Led²**		**Led¹**	**Led²**		**Led¹**	**Led²**		**Led¹**	**Led²**		**Led¹**	**Led²**		**Led¹**	**Led²**
1	16	18,6	**1**	42	54,7	**1**	89	92,3	**1**	83	91,5	**1**	48	63,2	**1**	16	28,2
2	8,05	12,9	**2**	23	27,6	**2**	35	45,2	**2**	41	46,3	**2**	32	32,1	**2**	15	15,7
3	8,77	7,8	**3**	22	17,1	**3**	31	25,2	**3**	36	27,2	**3**	29	22,8	**3**	14	11,7
4	8,38	10,8	**4**	22	18,9	**4**	34	38,7	**4**	40	45,7	**4**	31	33,7	**4**	14	14,8
5	17	16,2	**5**	44	48,8	**5**	93	82,9	**5**	83	89,1	**5**	48	57,2	**5**	16	26,8
6	32	35,5	**6**	55	67,2	**6**	98	101	**6**	72	82,3	**6**	37	49,8	**6**	8,4	12,5
7	16	16,8	**7**	27	33,2	**7**	39	46,7	**7**	40	40,8	**7**	26	25,4	**7**	8,1	11,3
8	16	12,5	**8**	26	19,4	**8**	34	26,4	**8**	35	25,7	**8**	25	18,5	**8**	8,3	7,4
9	15	15,8	**9**	26	24,7	**9**	38	44,1	**9**	38	41,6	**9**	26	26,7	**9**	7,8	8,1
10	33	33,6	**10**	58	59,5	**10**	97	96,4	**10**	72	74,7	**10**	37	39,3	**10**	8,4	10,3
			11	72	86,2	**11**	93	94,2	**11**	60	70,7	**11**	27	33,1			
			12	31	41,2	**12**	42	47,2	**12**	36	36,4	**12**	22	19,4			
			13	29	23,4	**13**	36	27,3	**13**	32	23,4	**13**	21	16,8			
			14	31	32,4	**14**	40	49,8	**14**	35	35,4	**14**	21	21,9			
			15	77	68,3	**15**	93	90,7	**15**	60	65,4	**15**	27	31,2			

Led¹ - Simulação; Led² - Medição no local

Fonte: O Autor (2019).

A partir dos valores de iluminância ponto-a-ponto obtidos na simulação da luminária LED e dos valores medidos no local de instalação, foi possível calcular a E_{med} e o FU para posteriormente compara-los. A Tabela 13 apresenta os resultados.

Tabela 13 – Iluminância média e fator de uniformidade Simulação x Medições

Método	**Simulação**	**Medições**
Passeio Oposto ao Poste	E_{med} = 12 lux FU = 0,6	E_{med} = 15 lux FU = 0,5
Pista de Rolagem	E_{med} = 45 lux FU = 0,4	E_{med} = 47 lux FU = 0,4
Passeio Poste	E_{med} = 17 lux FU = 0,4	E_{med} = 18lux FU = 0,4

Fonte: O Autor (2019).

Os parâmetros de iluminância expostos na Tabela 13 se mostraram próximos, sendo 20% o maior erro encontrado para a iluminância média do passeio oposto ao poste. Algumas diferenças podem ser atribuídas a barreiras presentes na via, estas quais não poderiam ser previstas no ambiente de simulação. Outro fator a ser considerado, é o posicionamento da luminária instalada, onde sucintas variações na fixação podem resultar em alterações na distribuição luminosa. Também se deve considerar, o erro de medição, atribuído ao aparelho utilizado.

Ainda, é possível observar que os valores de E_{med} e FU entre simulação e medições se mostraram adjacentes, com erro máximo de 20%, confirmando assim a veracidade nos valores de distribuição luminosa, fornecidos por meio das curvas de destruição nos ensaios das luminárias.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado um estudo dos materiais teóricos e normas técnicas pertinentes ao estudo de caso. O objetivo proposto neste trabalho teve o enfoque principal na criação de uma metodologia para auxiliar o responsável na aquisição de um modelo de luminária LED que melhor atenda as especificações técnicas e as exigências normativas vigentes neste país. Além dos documentos de embasamento, buscou-se a ferramenta de simulação computacional, servindo de auxílio na especificação de alguns itens que estariam no termo de referência do produto a ser licitado. Ouve um atento principalmente, quanto a transparência e a imparcialidade por parte do órgão público, permitindo assim, a disputa competitiva entre os licitantes interessados.

Os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados, a licitação ocorreu seguindo todas as etapas previstas, não ouve impugnação, fato este pode ser atribuído aos cuidados com a elaboração do termo de referências. As empresas que por sua vez não atenderam a todas as exigências contidas no documento, foram automaticamente excluídas da etapa de tomada de preço.

Os métodos definidos, apresentaram-se eficientes quanto a determinação dos parâmetros do objeto licitado. A luminária LED instalada atende as exigências solicitadas e apresenta níveis de desempenho fotométrico equivalentes ao estabelecido, confirmando o que já era esperado, uma maior distribuição luminosa e maior uniformidade, se comparada com a tecnologia VSAP.

Em trabalhos futuros poderá ser abordada a viabilidade quanto a utilização de sistemas de iluminação com telegestão para controle de luminosidade, manutenção, entre outros. Também seria possível realizar um estudo quanto ao uso da métrica escotópica no lugar da clássica métrica fotópica, utilizada em equipamentos tradicionais de medição de luminosidade.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Catálogo de Normas Técnicas**. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 15 set. 2018.

ALMEIDA, P. S. **Síntese de conversores ressonantes com alto fator de potência e alta eficiência para o acionamento de diodos emissores de luz**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2014.

AMES ILUMINAÇÃO. **Braços de aço para iluminação pública**. <>. Acesso dia 10 Out. 2017

AMPROBE, **Amprobe LM-120 Light Meter / LM – 631A Digital Light Meter**. Disponível em: <http://www.amprobe.com/Amprobe/usen/Products/Environmental-Test.htm>. Acesso em: 10 de out. 2017.

ANEEL, **PRODIST Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica.** Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 31 maio 2019.

_____. ANSI C136.41:2013 – ***For Roadway and Area Lighting Equipment – Dimming Control Between an External Locking Type Photocontrol and Ballast or Driver*.** AMERICAN NATIONAL STANDARDS STITUTE.

_____. ASTM G154:2016 – ***Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet(UV*)**. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

BOTELHO, G. L. G. **Elaboração de termo de referência**. Escola de Gestão Pública. Universidade Federal do Piauí. 2016 Disponível em: < http://www.leg.ufpi.br/subsiteFiles/cpl /arquivos/files/Elaboracao_de_Termo_de_Referencia.pdf>. Acesso em: 10 set. 2017.

CHROMPACK. **Luxímetros analógicos e Digitais**, disponível em: <http://www.chrompack.net/index.php?page=luximetros_des>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

_____. CIE 154:2003 **The Maintenance of Outdoor Lighting Systems**, Janeiro de 2003.

CONEXLED, **Conheça o LED**. Disponível em: <http://www.conexled.com.br/sobre/led>. Acesso em: 26 de set. 2017.

COSTA, G. J.C. **Iluminação Econômica** – cálculo e avaliação. 4°.edição. EDIPUCRS. Porto Alegre, 2006.

_____ . Decreto Federal no. 5.450 de 31de maio de 2005. **Regulamenta o pregão, na forma**

eletrônica, para aquisição de bens e serviços comuns, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5450.htm>. Acesso em 9 out. 2017.

ENERGY STAR, **Luminaires Specification Version 2.1**. Disponível em: <https://www.energystar.gov/products/spec/luminaires_specification_version_2_0_pd>. Acesso em 15 de set. 2018.

FUNCHAL, R.S. **Diretrizes normativas e legais para aquisição de luminárias viárias com diodos emissores de luz pelas administrações municipais em ambiente sustentável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

GENERAL ELETRIC, **Lâmpada HID Sódio - Lucalox Standard**. Disponível em: <http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/products/technologies/hid/lucalox-standard-tubular-clear/overview/index.jsp>. Acesso em 07 de out. 2017.

GEO CAXIAS, **Mapa digital georeferenciado de Caxias do Sul,** Disponível em: <http://geointerno.caxias.rs.gov.br:8813/geocaxias/inicio>. Acesso em: 02 nov. 2017.

GUERRINI, D. P. **Iluminação:** Teoria e Projeto. São Paulo: Érica, 2008.

HOFFMANN, RODOLFO. **Análise de Regressão –** Uma introdução à econometria. USP. Piracicaba, 2016.

_____. IES TM-21-11. ***Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources***. ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY.

_____. IESNA LM-79-08. ***Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting products*.** ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY.

_____. IESNA LM-80-08***. Approved Method for Meeasuring Lumen Maintenance of LED Light Sources.*** ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY.

ILUMATIC, **Luminárias públicas**. Disponível em: <http://www.ilumatic.com.br/produtos.asp?codCategoria=35&codSubCategoria=106>. Acesso em: 30 de set. 2017.

INMETRO. **Conheça o INMETRO**. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/>. Acesso em: 21 out. 2017.

INMETRO, **Congresso Brasileiro de Metrologia.** (Bento Gonçalves – RS, 2015). Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/ciebrasil/docs/As-bases-da-Fotometria-em-Medicoes-Goniofotometricas.pdf >. Acesso em: 25 out. 2017.

_____. Lei Federal no. 8.666, de 21 de junho de 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI,**

da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm>.

LIMA, T. B. S.; GARROCHO, J. S. **Relux profissional:** simulando projetos de iluminação. ed. 19. Disponível em: <http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed19/ed_19_Software.pdf>.

LNA, **Aprendendo mais sobre poluição luminosa.** Disponível em: <http://www.lna.br/lp/definicao.html>. Acesso em 27 de set. 2017.

LUMILEDS, **Illumination LEDs**. Disponível em: <http://www.philipslumileds.com>. Acesso em: 30 de set. de 2017.

MAGGI, T. **Estudo e implementação de uma luminária de iluminação pública à base de LEDs.** 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

MAMEDE FILHO, J., **Instalações Elétricas Industriais**, 8ª edição, **LTC**, 2010.

MATTOS, W**. INMETRO publica portaria para certificação de luminárias destinadas a iluminação pública**. São Paulo, 21/02/2017. Disponível em <http://www.jornaldainstalacao.com.br/index.php?id_secao=1&noticia=12951>. Acesso em: 17 de set. 2017.

MOREIRA, V. de A. **Iluminação e fotometria**: teoria e aplicação. São Paulo: Ed. Blücher, 1982.

_____. NBR 5101:2012 - **Iluminação pública** – procedimento. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 04/2012.

_____. NBR 15129:2012 - **Luminárias para iluminação pública** - requisitos particulares. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 26/08/2012.

_____. NBR IEC 60529:2017 - **Graus de proteção providos por invólucros (Código IP)**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 24/04/2017.

_____.NBR 5123:2016 - **Relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação -** Especificação e ensaios**.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 12/12/2016.

_____. NBR IEC 60598-1:2010 - **Requisitos gerais e ensaios**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 09/12/2010.

_____. NBR IEC 62262:2015 - **Graus de proteção assegurados pelos invólucros de equipamentos elétricos contra os impactos mecânicos externos**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 22/01/2015.

_____. NBR 9117:2006 - **Condutores flexíveis ou não, isolados com policloreto de vinila (PVC/EB), para 105° C e tensões até 750 V, usados em ligações internas de aparelhos elétricos.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Válida a partir de 11/01/2007.

NEW LINE, **Espectro temperatura de cor**. Disponível em: <http://www.newline.ind.br/voce-sabe-o-que-e-temperatura-de-cor/>. Acesso em: 24 de set. 2017.

NISKIER, Júlio; MACINTYRE, Archibald J**. Instalações Elétricas**. 6ª. Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2000.

OSRAM. ***VIALOX NAV high-pressure sodium lamps****: technical information*. Disponível em: <http://docs europe.electrocomponents.com/webdocs/09ab/0900766b809ab9dd.pdf>. Acesso em: 19 out. 2017.

PHILIPS, **Catálogo lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**. Disponível em: <http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/comf1612-pss-pt_br>. Acesso em: 02 de Set. 2017.

PHILIPS. ***What are AlGaAs, AlInGa and InGaN?*** Disponível em: < http://www.lighting. philips.com/main/support/support/faqs/white-light-and-colour/what-are-algaas-alingap-andingan.html>. Acesso em: 25 out. 2017.

_____. Portaria n° 20, de 15 de fevereiro de 2017. **Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária, que estabelece os requisitos, de cumprimento obrigatório, referentes ao desempenho e segurança do produto**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002452.pdf>.

PREFEITURA CAXIAS DO SUL. **Prefeitura testa sistema de telegestão em iluminação pública.** Caxias do Sul, 07/07/2015. Disponível em: <https://www.caxias.rs.gov.br/comunicacao/noticias_ler.php?codigo=34140>. Acesso em: 12 de nov. 2017.

PREFEITURA CAXIAS DO SUL. **Central de Licitações.** Caxias do Sul, 08/11/2018. Disponível em: <https://grp.caxias.rs.gov.br/grp/materiais/acessoexterno/compras/licitacaoConsultaFiltroAcessoExternoListaMaisCampos.faces>. Acesso em 12 jun. 2019.

RODRIGUES, C. R. B. S. **Contribuições ao uso de diodos emissores de luz em iluminação pública**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012.

SÁ, C. **Softwares de iluminação**: um raio X dos mais populares. Disponível em: <http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed40/ed_40%20Software.pdf>. Acesso em 03 out. 2017.

SCHUBERT, E. F. **Light-Emitting Diodes**, second edition, Cambrigde University Press, 2006.

WORD BANK. **Iluminando cidades brasileiras:** modelos de negócio para eficiência energética em iluminação pública. Relatório do Banco Mundial. Washington, DC, E.U.A. 01 jun. 2016.

ANEXO A – RELATÓRIO TESTES LED NICHIA

LM-80 Test Report

NVSL219C

Issue Date:	February 2, 2016	**Revision Date:**	-
Test Initiation Date:	September 26, 2014	**Test Completion Date:**	January 26, 2016
Test Duration:	10,000 hours	**Report Number:**	SQETMOJ75501

Customer Information:

Company Name:	Nichia Corporation
Address:	491-100, Oka, Kaminaka-cho, Anan-shi, Tokushima, 774-8601, JAPAN

Description of Test Samples:

Classification:	LED Package
Model Name:	Warm White LED
Model Number:	NVSL219C (Nominal CCT: 2700 K)

Test Summary:

Data Set	Case Temperature [T_S]	Ambient Temperature [T_A]	Drive Current [I_F]	Lumen Maintenance at 10,000 hours	Chromaticity Shift ($\Delta u'v'$) at 10,000 hours	TM-21 Projection L_{70}(10K)
1	55 °C	> 50 °C	700 mA	99.8 %	0.0016	> 60000 hours
2	55 °C	> 50 °C	1500 mA	99.1 %	0.0019	> 60000 hours
3	85 °C	> 80 °C	700 mA	99.4 %	0.0019	> 60000 hours
4	85 °C	> 80 °C	1200 mA	97.0 %	0.0018	> 60000 hours
5	85 °C	> 80 °C	1500 mA	99.4 %	0.0021	> 60000 hours
6	105 °C	> 100 °C	700 mA	94.4 %	0.0014	> 60000 hours
7	105 °C	> 100 °C	1200 mA	91.8 %	0.0017	54100 hours
8	105 °C	> 100 °C	1500 mA	90.1 %	0.0022	46500 hours
9	120 °C	> 115 °C	700 mA	94.4 %	0.0018	> 60000 hours
10	120 °C	> 115 °C	1200 mA	94.5 %	0.0029	> 60000 hours
11	120 °C	> 115 °C	1500 mA	89.1 %	0.0037	49100 hours

ilac-MRA

IAJapan International Accreditation Japan

ASNITE 0057 T

Approved Signatory:

Hitoshi TOHYAMA, Lab Manager

Nichia Corporation LED Testing Laboratory

1-1,Tatsumi-Cho, Anan-Shi, TOKUSHIMA 774-0001, JAPAN

The certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval of the laboratory.
The laboratory is accredited in acordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2005.

Data Set 2 : 55 °C, 1500 mA

Actual Case Temperature [T_S]	59.8 °C
Actual Ambient Temperature [T_A]	58.1 °C
Drive Current [I_F]	1500 mA
Measurement Current	1500 mA

NOTES:
T_S and T_A were measured during initial setup.

TABLE 2-2
Lumen Maintenance

LED No.	Lumen Maintenance % (Normalized to 100 % at 0 hours)														
	0 h	500 h	1000 h	2000 h	3000 h	4000 h	5000 h	6000 h	7000 h	8000 h	9000 h	10000 h			
1	100.0	98.7	99.6	99.5	99.4	99.2	99.4	99.1	98.8	98.9	98.8	98.7			
2	100.0	99.1	99.5	99.6	99.4	99.2	99.2	99.3	98.9	98.9	98.8	98.8			
3	100.0	99.3	99.8	100.0	99.7	99.7	99.8	99.4	99.0	99.2	99.0	99.0			
4	100.0	99.1	99.8	99.7	99.5	99.2	99.5	99.3	99.0	98.9	98.9	98.8			
5	100.0	99.1	99.3	99.3	99.3	99.1	99.0	98.9	98.5	98.9	98.6	98.5			
6	100.0	98.3	99.5	99.6	99.4	99.3	99.5	99.3	98.9	99.1	98.9	98.9			
7	100.0	100.2	100.1	99.7	99.6	99.6	99.8	99.4	99.1	99.2	99.2	98.9			
8	100.0	97.7	98.8	99.3	99.3	99.1	99.1	99.2	98.7	98.8	98.7	98.8			
9	100.0	100.3	100.1	99.9	99.9	99.9	99.5	99.3	98.9	99.0	98.9	98.8			
10	100.0	99.4	100.1	99.7	99.6	99.4	99.7	99.4	99.1	99.2	99.0	99.2			
11	100.0	98.3	99.5	99.3	99.2	99.3	99.3	99.2	98.7	98.8	98.9	98.6			
12	100.0	100.0	100.2	100.0	100.0	100.2	99.0	99.4	99.3	99.7	99.4	99.3			
13	100.0	101.0	100.8	100.5	100.5	100.2	100.2	100.2	99.7	99.6	99.7	99.4			
14	100.0	99.8	99.8	99.9	99.7	99.6	99.5	99.4	99.1	99.4	99.1	99.2			
15	100.0	100.3	100.4	100.3	100.4	100.2	100.4	100.1	99.8	100.0	99.8	99.7			
16	100.0	100.7	100.9	100.7	100.7	100.3	100.3	100.4	100.1	100.1	100.1	99.9			
17	100.0	100.4	100.2	100.0	100.0	99.9	100.1	99.7	99.3	99.6	99.4	99.5			
18	100.0	98.7	99.5	99.8	99.9	99.7	99.9	99.6	99.2	99.5	99.3	99.2			
19	100.0	100.5	100.6	100.3	100.3	100.2	100.2	100.2	99.6	99.9	99.9	99.8			
20	100.0	99.5	99.8	99.9	99.9	99.6	99.8	99.6	99.4	99.4	99.3	99.2			
21	100.0	100.7	100.8	100.6	100.6	100.4	100.5	100.4	100.1	100.3	100.1	100.0			
22	100.0	100.5	100.2	99.8	99.8	99.6	99.5	99.3	99.0	98.9	99.0	98.9			
23	100.0	100.2	99.9	99.8	99.6	99.4	99.4	99.4	98.7	99.1	98.9	98.6			
24	100.0	101.1	100.9	100.6	100.5	100.3	100.1	100.1	99.7	99.9	99.8	99.7			
n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
Avg.	100.0	99.7	100.0	99.9	99.8	99.7	99.7	99.6	99.2	99.4	99.2	99.1			
Med.	100.0	99.9	100.0	99.9	99.8	99.6	99.6	99.4	99.1	99.2	99.1	99.1			
σ	0.00	0.93	0.54	0.41	0.45	0.44	0.44	0.43	0.44	0.45	0.45	0.43			
Min.	100.0	97.7	98.8	99.3	99.2	99.1	99.0	98.9	98.5	98.8	98.6	98.5			
Max.	100.0	101.1	100.9	100.7	100.7	100.4	100.5	100.4	100.1	100.3	100.1	100.0			

TM-21 Projection

Time	5000 h	6000 h	7000 h	8000 h	9000 h	10000 h									
ln(Avg.)	-0.0031	-0.0044	-0.0081	-0.0065	-0.0078	-0.0086									

Test duration used	5000 h to 10000 h
B	1.0013
α	1.0300E-06
R^2	0.7623
Calculated L_{70} (10K)	348000 hours
Reported L_{70} (10K)	>60000 hours

Curve-fit equation:
$\Phi(t)=Bexp(-\alpha t)$

Lumen maintenance life eqation:
$L_{70}=ln(B/0.7)/\alpha$

The certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval of the laboratory.
The laboratory is accredited in acordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2005.

Data Set 5 : 85 °C, 1500 mA

Actual Case Temperature [T_S]	88.2 °C
Actual Ambient Temperature [T_A]	86.3 °C
Drive Current [I_F]	1500 mA
Measurement Current	1500 mA

NOTES:
T_S and T_A were measured during initial setup.

TABLE 5-2
Lumen Maintenance

LED No.	Lumen Maintenance % (Normalized to 100 % at 0 hours)														
	0 h	500 h	1000 h	2000 h	3000 h	4000 h	5000 h	6000 h	7000 h	8000 h	9000 h	10000 h			
1	100.0	100.3	99.7	98.7	98.4	97.8	97.6	97.3	96.7	96.5	96.2	96.0			
2	100.0	100.9	99.9	99.1	98.7	98.2	97.7	97.3	96.8	96.8	96.2	96.0			
3	100.0	101.7	101.4	101.2	101.3	101.0	101.1	100.9	100.4	100.7	100.4	100.6			
4	100.0	100.6	100.2	100.0	100.0	99.6	99.8	99.6	99.2	99.2	99.1	99.1			
5	100.0	100.5	100.3	100.1	100.1	99.8	99.8	99.7	99.2	99.6	99.2	99.1			
6	100.0	101.6	101.2	101.0	100.9	100.7	101.0	100.6	100.2	100.6	100.2	100.2			
7	100.0	100.9	100.8	100.3	100.3	100.2	100.1	99.8	99.5	99.6	99.4	99.4			
8	100.0	100.3	99.9	99.7	99.7	99.2	99.4	99.3	98.6	98.9	98.6	98.5			
9	100.0	101.5	101.4	101.1	101.2	100.8	101.0	100.7	100.2	100.5	100.3	100.2			
10	100.0	100.7	100.4	100.1	100.2	99.8	99.8	99.7	99.2	99.3	99.1	99.1			
11	100.0	100.1	99.8	99.5	99.5	99.3	99.2	99.0	98.5	98.6	98.4	98.4			
12	100.0	101.7	101.7	101.5	101.5	101.1	101.2	101.1	100.6	100.9	100.5	100.5			
13	100.0	101.1	101.0	100.7	100.8	100.6	100.5	100.4	100.0	100.1	100.0	100.0			
14	100.0	101.3	101.0	101.0	100.9	100.7	100.8	100.7	100.3	100.4	100.1	100.0			
15	100.0	101.7	101.7	101.5	101.6	101.4	101.5	101.3	100.8	101.1	100.8	100.7			
16	100.0	100.4	100.6	100.3	100.3	100.1	100.0	99.9	99.3	99.4	99.3	99.3			
17	100.0	100.1	99.9	99.7	99.6	99.3	99.2	99.1	98.8	98.9	98.5	98.4			
18	100.0	100.7	100.4	100.2	100.2	99.9	100.2	99.8	99.3	99.6	99.1	99.1			
19	100.0	101.4	101.2	100.8	100.9	100.6	100.2	100.3	99.8	100.0	99.6	99.6			
20	100.0	101.7	101.6	101.5	101.4	101.1	101.1	100.9	100.4	100.6	100.5	100.4			
21	100.0	102.3	102.3	102.1	102.2	101.9	102.3	101.7	101.3	101.6	101.1	101.1			
22	100.0	101.0	101.1	100.8	101.0	100.8	100.5	100.5	100.0	100.2	100.0	100.0			
23	100.0	101.3	101.0	101.0	100.9	100.6	100.6	100.4	100.2	100.2	99.9	99.5			
24	100.0	101.2	101.1	100.9	100.9	100.7	100.9	100.7	100.2	100.6	100.3	100.2			
n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
Avg.	100.0	101.0	100.8	100.5	100.5	100.2	100.2	100.0	99.6	99.7	99.5	99.4			
Med.	100.0	101.0	101.0	100.8	100.8	100.6	100.4	100.3	99.9	100.0	99.8	99.5			
σ	0.00	0.59	0.71	0.82	0.91	0.97	1.09	1.09	1.12	1.23	1.24	1.27			
Min.	100.0	100.1	99.7	98.7	98.4	97.8	97.6	97.3	96.7	96.5	96.2	96.0			
Max.	100.0	102.3	102.3	102.1	102.2	101.9	102.3	101.7	101.3	101.6	101.1	101.1			

TM-21 Projection

Time	5000 h	6000 h	7000 h	8000 h	9000 h	10000 h									
ln(Avg.)	0.0024	0.0003	-0.0044	-0.0026	-0.0055	-0.0062									

Test duration used	5000 h to 10000 h
B	1.0099
α	1.6666E-06
R^2	0.8448
Calculated L_{70} (10K)	220000 hours
Reported L_{70} (10K)	> 60000 hours

Curve-fit equation:
$\Phi(t)=Bexp(-\alpha t)$

Lumen maintenance life eqation:
$L_{70}=ln(B/0.7)/\alpha$

The certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval of the laboratory.
The laboratory is accredited in acordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2005.

Data Set 8 : 105 °C, 1500 mA

Actual Case Temperature [T_s]	106.0 °C
Actual Ambient Temperature [T_a]	102.7 °C
Drive Current [I_F]	1500 mA
Measurement Current	1500 mA

NOTES:
T_S and T_A were measured during initial setup.

TABLE 8-2
Lumen Maintenance

LED No.	Lumen Maintenance % (Normalized to 100 % at 0 hours)														
	0 h	500 h	1000 h	2000 h	3000 h	4000 h	5000 h	6000 h	7000 h	8000 h	9000 h	10000 h			
1	100.0	96.8	96.0	95.5	94.4	93.4	93.2	92.2	91.9	91.1	90.6	90.1			
2	100.0	96.8	95.8	94.9	94.3	93.2	93.0	92.0	91.6	90.8	90.3	90.0			
3	100.0	97.8	96.9	96.3	95.0	93.8	93.8	92.5	92.3	91.2	90.5	90.3			
4	100.0	96.9	96.1	95.5	94.6	93.5	93.2	92.3	92.1	91.1	90.9	90.3			
5	100.0	97.0	96.0	95.4	94.5	93.4	93.1	92.1	91.9	91.1	90.8	90.1			
6	100.0	97.6	96.4	95.8	94.8	93.6	93.1	92.1	91.9	90.7	90.1	89.3			
7	100.0	96.7	95.9	95.4	94.4	93.2	93.1	92.1	91.7	91.0	90.5	90.0			
8	100.0	96.7	95.8	95.3	94.3	93.1	93.0	92.0	91.6	90.9	90.3	90.0			
9	100.0	97.3	96.4	95.7	95.2	93.4	93.4	92.2	92.0	90.8	90.2	89.8			
10	100.0	96.5	95.6	95.1	94.0	93.1	92.7	91.6	91.4	90.5	90.3	89.7			
11	100.0	96.6	95.7	95.2	94.0	93.1	92.9	92.0	91.7	90.8	90.7	90.0			
12	100.0	97.4	96.7	95.9	94.7	93.7	93.5	92.4	91.7	90.2	90.2	89.4			
13	100.0	97.0	96.1	95.5	94.6	94.0	93.3	92.4	92.1	91.3	91.0	90.4			
14	100.0	97.0	96.1	95.5	94.5	94.0	93.3	92.5	92.2	91.3	91.1	90.5			
15	100.0	97.6	96.7	96.3	95.2	94.4	93.7	92.6	92.3	91.2	90.7	90.3			
16	100.0	96.9	96.0	95.6	94.6	93.6	93.4	92.3	92.0	91.2	90.7	90.3			
17	100.0	96.9	96.0	95.3	94.4	93.6	93.3	92.3	91.8	91.2	90.6	90.2			
18	100.0	97.5	96.6	96.0	95.5	94.2	94.0	92.9	92.4	91.5	90.7	90.7			
19	100.0	96.8	96.0	95.4	94.4	93.3	93.0	92.2	91.8	90.9	90.5	90.0			
20	100.0	96.7	95.8	95.3	94.3	93.3	93.0	92.0	91.6	90.8	90.4	90.0			
21	100.0	97.5	96.4	95.8	95.3	93.8	93.7	92.5	91.9	91.2	90.3	90.1			
22	100.0	96.6	95.7	95.1	94.1	93.2	92.7	91.6	91.5	90.8	90.3	89.8			
23	100.0	96.6	95.8	95.2	94.3	93.3	93.1	92.2	91.9	91.0	90.6	90.3			
24	100.0	97.2	96.3	95.7	94.8	93.8	93.4	92.5	92.0	91.0	90.3	90.0			
n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
Avg.	100.0	97.0	96.1	95.5	94.6	93.5	93.3	92.2	91.9	91.0	90.5	90.1			
Med.	100.0	96.9	96.0	95.5	94.5	93.5	93.2	92.2	91.9	91.0	90.5	90.1			
σ	0.00	0.38	0.37	0.36	0.40	0.37	0.32	0.29	0.25	0.28	0.27	0.33			
Min.	100.0	96.5	95.6	94.9	94.0	93.1	92.7	91.6	91.4	90.2	90.1	89.3			
Max.	100.0	97.8	96.9	96.3	95.5	94.4	94.0	92.9	92.4	91.5	91.1	90.7			

TM-21 Projection

Time	5000 h	6000 h	7000 h	8000 h	9000 h	10000 h									
ln(Avg.)	-0.0699	-0.0809	-0.0846	-0.0945	-0.0995	-0.1047									

Test duration used	5000 h to 10000 h
B	0.9631
α	6.8570E-06
R^2	0.9807
Calculated L_{70} (10K)	46500 hours
Reported L_{70} (10K)	46500 hours

Curve-fit equation:
$\Phi(t)=Bexp(-\alpha t)$

Lumen maintenance life eqation:
$L_{70}=ln(B/0.7)/\alpha$

The certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval of the laboratory.
The laboratory is accredited in acordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2005.