

BRILHO SUSTENTÁVEL

Explorando Alternativas de
Iluminação Pública com Lâmpadas LED,
de Indução e a Vapor de Sódio

Thais Jeniffer Roberto
Juliano Pizzano Ayoub



Thais Jeniffer Roberto
Julianno Pizzano Ayoub

BRILHO SUSTENTÁVEL

Explorando Alternativas de Iluminação Pública com Lâmpadas LED, de Indução e a Vapor de Sódio

EDITORA PASCAL
2023

Editor Chefe: Prof. Dr. Patrício Moreira de Araújo Filho

Edição e Diagramação: Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte: Marcos Clyver dos Santos Oliveira

Bibliotecária: Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Dr^a. Eliane Rosa da Silva Dilkin

Dr. José Ribamar Neres Costa

Dr. Will Ribamar Mendes Almeida

Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda

Dr. Raimundo Luna Neres

Dr. Glauber Túlio Fonseca Coelho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B857

Roberto, Thais Jeniffer; Ayoub, Julianno Pizzano

Brilho Sustentável: explorando alternativas de iluminação pública com lâmpadas LED, de indução e a vapor de sódio / Thais Jeniffer Roberto e Julianno Pizzano Ayoub — São Luís: Editora Pascal, 2023.

58 f. : il.:

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-80751-99-0

D.O.I.: 10.29327/5307984

1. Eficiência Energética. 2. Consumo . 3. Iluminância. I. Roberto, Thais Jeniffer. II. Ayoub, Julianno Pizzano. III. Título.

CDU: 536.7+ 535.241.46

Qualquer parte deste livro poderá ser reproduzida ou transmitida, sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros, desde que seja citado o autor.

2023

www.editorapascal.com.br

APRESENTAÇÃO

Em meio à expansão urbana e ao ritmo acelerado das cidades, a iluminação pública (IP) emerge como uma bússola que guia o caminho para uma vida mais segura, vibrante e inclusiva. O livro “Brilho Sustentável: Explorando Alternativas de Iluminação Pública com Lâmpadas LED, de Indução e a Vapor de Sódio” lança sua luz sobre esse cenário vital, trazendo à tona os benefícios e desafios que residem nas sombras da noite.

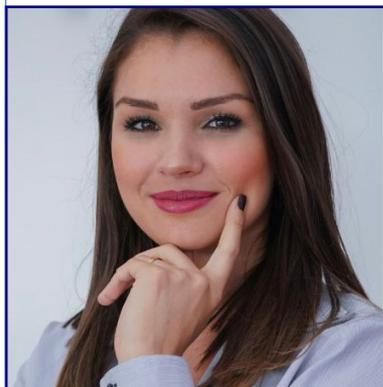
As ruas ganham vida quando o sol se põe, e é nesse momento que a IP desenha um espetáculo de possibilidades. Mais do que uma simples fonte de luz, ela oferece aos cidadãos a liberdade de desfrutar plenamente do espaço público durante a noite, ao mesmo tempo em que atua como um escudo contra a criminalidade e uma bússola para a segurança do tráfego.

O livro “Brilho Sustentável” se aprofunda no brilho da inovação, explorando três protagonistas luminosos: as lâmpadas LED, de indução e a vapor de sódio. Estas alternativas representam o futuro da IP, um futuro onde a eficiência e a sustentabilidade caminham de mãos dadas. Em um mercado repleto de escolhas, a análise metódica das vantagens e desvantagens de cada modelo traça um mapa claro para os gestores públicos, apontando o caminho para a adoção da luminosidade mais eficiente e, possivelmente, de menor custo.

“Brilho Sustentável: Explorando Alternativas de Iluminação Pública com Lâmpadas LED, de Indução e a Vapor de Sódio” é mais do que um livro; é uma jornada que conduz o leitor por entre as vias iluminadas da inovação. Um guia para cidades mais brilhantes, sustentáveis e conscientes, onde o futuro se revela em cada feixe de luz.

Boa leitura!

AUTORES



Thais Jeniffer Roberto

Engenheira Eletricista formada pela Faculdade Guarapuava no ano de 2017. Possui sólida experiência no setor de projetos e faturamento de energia, também se estabeleceu como perita judicial analisando e interpretando complexos cenários relacionados à engenharia elétrica. Demonstrando um compromisso contínuo com o aprimoramento profissional, encontra-se atualmente cursando pós-graduação em Engenharia de Segurança no Trabalho. Essa busca constante por conhecimento reflete sua dedicação em garantir ambientes seguros e saudáveis para os profissionais que atuam em diversas áreas.



Julianno Pizzano Ayoub

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Engenheiro de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário Campo Real. Especialista em Engenharia da Qualidade. Especialista em Engenharia de Produção. Especialista em Engenharia de Suprimentos. Especialista em Engenharia Geotécnica. Especialista em Meio Ambiente, Desenvolvimento e Sustentabilidade. Especialista em Gestão Ambiental. Especialista em Direito Ambiental. Especialista em Educação Ambiental. Especialista em Docência no Ensino Superior. Especialista em Gestão de Produção Industrial. Mestre em Bioenergia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Escritor e membro de conselho editorial. Tem experiência com gestão de pessoas, redução de custos, adequações às NRs, aplicação de ferramentas de Qualidade, certificações, auditorias, perícias e treinamentos. Possui também experiência em laboratório, análise, desenvolvimento de produtos e processos de isolantes termoacústicos minerais, inclusive atuando como Gerente de uma Fábrica de lã de Rocha. Desde 2023 atua como Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho na Atlas Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTO

Toda jornada, com gratidão primeiramente a Deus,
Hoje, concretizado o sonho de publicar um Livro,
Agradecemos também aos que estiveram ao nosso lado,
Indubitavelmente, suas presenças fizeram a diferença,
Sejam professores, amigos ou familiares.
Todos aqueles que, diretamente ou indiretamente,
Estando perto ou longe, ainda
Assim, contribuíram cada um ao seu modo,
Merecem nossa estima, nosso reconhecimento.
Obrigado, muito obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 DESENVOLVIMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	11
2.2 PRINCÍPIOS DA LUZ.....	13
2.2.1 Espectro Eletromagnético.....	13
2.2.2 Radiações Infravermelhas e Ultravioletas.....	14
2.2.3 Espectro Visível.....	15
2.3 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	15
2.3.1 Temperatura de Cor.....	15
2.3.2 Índice de Reprodução de Cor (IRC)	16
2.3.3 Intensidade Luminosa (I).....	16
2.3.4 Fluxo Radiante (P) e Luminoso (F ou f)	17
2.3.5 Quantidade de Luz (Q).....	18
2.3.6 Eficiência Luminosa (h).....	18
2.3.8 Exitância Luminosa (antiga Emitância Luminosa) (H).....	19
2.3.9 Luminância (L):.....	19
2.4 TIPOS DE LÂMPADAS	20
2.4.1 Lâmpadas Incandescentes.....	20
2.4.2 Lâmpadas Halógenas	21
2.4.3 Lâmpadas Fluorescentes	22
2.4.4 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio.....	23
2.4.5 Lâmpadas de Luz Mista.....	23
2.4.6 Lâmpadas de Multivapores Metálicos.....	23
2.4.7 Lâmpadas a Vapor de Sódio.....	24
2.4.7.1 Baixa Pressão (VSBP)	24
2.4.7.2 Alta Pressão (VSAP)	25
2.4.8 Lâmpadas de Indução.....	27
2.4.9 Lâmpadas LED	28
2.5 DISPOSITIVOS DE ACIONAMENTO OU PARTIDA	31
2.5.1 Reator	31
2.5.2 Ignitor	31
2.5.3 Starter.....	32
2.6 LUMINÁRIAS.....	32
2.7 DEFINIÇÃO DAS NORMAS PARA O ESTUDO DAS LUMINÁRIAS PÚBLICAS.....	34
2.7.1 Classificação das Vias Públicas.....	34
2.7.2 Classificação do Volume do Tráfego de Vias Públicas.....	34
2.7.3 Fixação dos Níveis de Iluminância	35
2.7.4 Requisitos de Iluminância e Uniformidade	36
2.7.5 Compatibilidade com a Arborização.....	38
2.7.6 Malha para Verificação Detalhada	39
2.7.7 Malha de Medição.....	40
2.7.8 Malha de Referência	40
2.7.9 Disposição das Luminárias.....	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS	43
4. RESULTADOS	48
4.1 COLETA DOS DADOS DE ILUMINÂNCIA.....	48
4.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS	52
4.3 LEVANTAMENTO DE CUSTOS	52
5. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS	56

RESUMO

A iluminação pública (IP) é essencial para a qualidade de vida nas áreas urbanas. Pois, possibilita aos cidadãos desfrutar plenamente do espaço público no período noturno prevenindo contra a criminalidade e ajudando na segurança do tráfego. No mercado existe uma variedade de lâmpadas para IP, porém, o presente trabalho visa apontar as vantagens e desvantagens de três modelos que estão sendo muito utilizados nos sistemas de IP. Para que posteriormente auxilie o poder público adotar um modelo de lâmpada mais eficiente e talvez menor custo.

Palavras-chave: Eficiência Energética, consumo, iluminância.

ABSTRACT

The public illumination (IP) is essential to the quality of life in the urban area. Because, enables citizens to fully enjoy the public space at night, preventing crimes and assisting in traffic safety. In market exists variety of lamps to IP, but, the present work aims to point advantages and disadvantages of three models that are being very used in system of IP. To assist later the public institutions to adopt a model of lamp but efficient and maybe lower cost.

Keyword: Energy Efficiency, consumption, iluminance.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa comparativa dos sistemas de iluminação pública envolve a avaliação de três tipos de lâmpadas atualmente empregados na cidade de Guarapuava, PR. O propósito central é analisar minuciosamente os diferentes modelos de lâmpadas utilizados para a iluminação pública, visando estabelecer um comparativo abrangente a fim de identificar o modelo mais adequado e eficiente para essa finalidade.

A eficiência energética tem sido um dos grandes desafios nos dias atuais. Desse modo, a busca pela economia tem aumentado cada vez mais e chamado à atenção de muitos consumidores. Pois, além de reduzir a tarifa de energia elétrica ela colabora com o meio ambiente reduzindo alguns impactos ambientais [2,16].

Por essa razão existe a necessidade de realizar estudos técnicos científicos nas mais diversas áreas. Neste caso, será feita uma avaliação sobre os três modelos de lâmpadas que estão sendo utilizadas ou que serão adotados na iluminação pública nos próximos anos.

A iluminação pública (IP) é essencial para a qualidade de vida nas áreas urbanas, possibilitando aos cidadãos desfrutar plenamente do espaço público no período noturno. Além disso, ela está diretamente ligada à segurança pública no tráfego, prevenindo a criminalidade, embelezando os centros urbanos, destacando e valorizando monumentos, prédios e paisagens, orientando percursos e aproveitando melhor as áreas de lazer. Traduzindo-se assim em melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio e o lazer noturno [15].

As tecnologias eficientes nos sistemas de IP podem reduzir a demanda no horário de ponta e ainda combater o desperdício de energia elétrica, com a melhoria da qualidade do serviço. Contribuindo também para adiar investimentos na expansão do sistema elétrico de potência (SEP) e para minimizar os impactos sociais e ambientais provenientes das etapas do SEP [3].

Considerando esses pontos fundamentais, o objetivo deste estudo é destacar as vantagens e desvantagens de três tipos de lâmpadas empregados na iluminação pública. O propósito final é fornecer informações que possam orientar as autoridades locais na escolha de um modelo de lâmpada mais eficiente e potencialmente mais econômico no futuro.

1.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os três modelos de lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública (IP) de Guarapuava, tanto tecnicamente quanto economicamente, analisando suas vantagens e desvantagens nos sistemas de IP, assim como, seus conceitos luminotécnicos.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analisar o funcionamento das lâmpadas de Led, indução magnética e vapor de sódio;
- Realizar levantamento em campo sobre a eficiência luminosa dos três modelos;
- Comparar o custo de aquisição de cada modelo de lâmpada;
- Verificar o consumo de energia nos três modelos;
- Realizar os cálculos luminotécnicos.
-

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Iluminação Pública (IP), mais do que um fator de embelezamento urbano ou de conforto pessoal, é condição imprescindível de segurança pública, fundamental para a vida moderna, ela é também uma peça importante para o combate ao crime e para o desenvolvimento das cidades [6].

O principal objetivo da IP é proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres. Para conforto e auxílio aos usuários, existem os projetos os projetos de IP [1].

Esses projetos devem atender aos requisitos específicos do usuário, provendo benefícios econômicos e sociais para os cidadãos, incluindo: redução de acidentes noturnos, melhoria das condições de vida, auxílio à proteção policial, facilidade do fluxo do tráfego, destaque a edifícios e obras públicas durante a noite e eficiência energética [1].

Com o passar dos anos, a IP passou por várias transformações até chegar aos sistemas atuais. Por esse motivo é importante fazer uma retrospectiva para entender o desenvolvimento desses sistemas de iluminação pública no Brasil.

2.1 DESENVOLVIMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Estudos apontam que a iluminação vem fazendo parte da vida humana, desde a época primitiva até a atualidade e vem se desenvolvendo junto com a evolução do homem. Sendo utilizada de forma natural e artificial [15].

As primeiras referências ao uso de velas remontam a cerca de 5.000 a.C., quando pessoas utilizavam fibras vegetais em recipientes, juntamente com gordura animal, como fonte de iluminação. Essa gordura era mantida em estado líquido, ao contrário das velas no Egito antigo, que eram sólidas. Já as lâmpadas a óleo foram registradas como sendo empregadas por volta de 8.000 a.C. na Mesopotâmia. [6].

No Brasil, essa evolução começou com os indígenas que utilizavam fogueiras e a luz da lua para iluminar suas noites. Com a chegada dos portugueses, eles passaram a conhecer e conseqüentemente utilizar as lamparinas abastecidas a óleo vegetais e animais, que foram apresentadas por eles. Nessa época o óleo mais utilizado era o óleo de oliva, o qual era produzido somente na Europa e utilizado na maioria das vezes pela população de classe alta devido ao custo elevado. Com o tempo o óleo de oliva foi trocado pelo óleo de coco e de mamona. Também era utilizado óleo de peixe, entre outros e criadas as velas com cera de abelha [15].

Há indícios que a iluminação pública se originou na Inglaterra, em 1415, com o objetivo auxiliar no combate à crimes. Onde passou a ser desenvolvida a lâmpada a gás a qual foi utilizada conforme relatos entre o século XIX até o século XX, logo sendo trocada pelas lâmpadas elétricas [15].

As primeiras lâmpadas elétricas começaram a ser estudadas e desenvolvidas por volta de 1800, que inicialmente foram chamadas de lâmpadas a arco voltaico [7]. Por volta de 1870, Thomas Edison passou a comercializar as mesmas, como lâmpadas incandescentes [2].

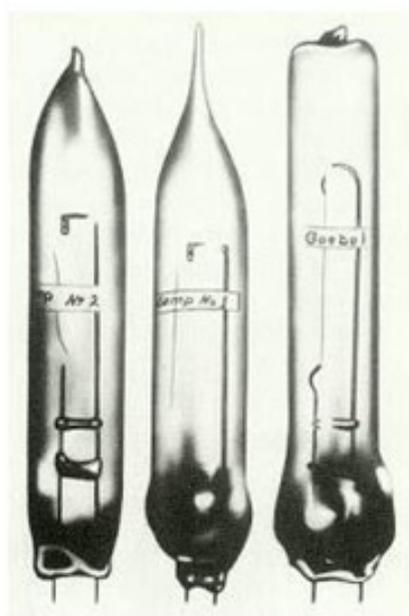


FIGURA 1. Lâmpada de Goebel

Fonte: Primeira Lâmpada Elétrica. Disponível em: <http://www2.mfk.ch:8080/telesite/11main.asp?Index=1210>. Acesso em: 20 mar. 16.

Ao contrário do que muitos pensam quem inventou a lâmpada incandescente foi o alemão Johann Heinrich Goebel (1818-1893) em 1854. Ela era composta de fibras de bambu e ampolas de vidro transparente. A lâmpada de Goebel (FIGURA 1) foi utilizada apenas em sua joalheria em Nova Iorque, pois não tinha base para ser usada em larga escala [2].

Em 1867 surgiu o dínamo, criado pelo engenheiro alemão Werner Siemens. O dínamo é um mecanismo que permite a utilização industrial da eletricidade. Essa descoberta ajudou Thomas Alva Edison (1847 - 1931), a comercializar a lâmpada incandescente [2]. Na FIGURA 2 Thomas Edison aparece segurando a primeira lâmpada incandescente comercializável.

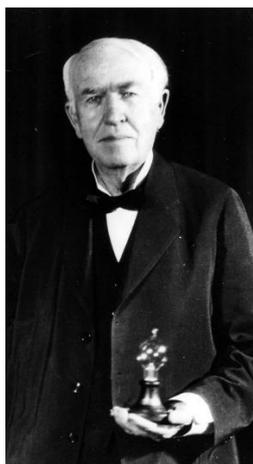


FIGURA 2. Thomas Edison e sua invenção.

Fonte: Thomas Edison: Gênio da Lâmpada. Disponível em: <http://thomasedisonogniodalmpada.blogspot.com.br/>. Acesso em: 21 Mar. 16

Em 1876 D. Pedro II visitou a Exposição de Filadélfia e voltou ao Brasil estimulado com a energia elétrica autorizando que Thomas Edison introduzisse suas invenções no Brasil. Assim, em 1879 foi inaugurada a iluminação elétrica da estação central da Estrada de Ferro D. Pedro II (depois Central do Brasil, no Centro do Rio de Janeiro), que é representada na

FIGURA 3, constituída por apenas seis lâmpadas Jablockhov acionadas a partir da energia elétrica gerada por dois dínamos. Em 1887, Porto Alegre inaugurava um serviço municipal de iluminação elétrica, que foi o primeiro do país, o qual se aproveitava da energia elétrica gerada em usina térmica da Companhia 11/161 Fiat Lux. No Rio de Janeiro, criava-se a Companhia de Força e Luz, responsável por mais de 100 lâmpadas de iluminação pública. Os serviços viabilizados pela energia elétrica se estendiam à força motriz, principalmente no setor têxtil [7].



FIGURA 3. Primeira cidade a receber iluminação pública no Brasil

Fonte: RankBrasil. Disponível em: www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/0640. Acesso em: 21 Mar. 16.

As lâmpadas de descarga começaram a ser descobertas no início de 1750 pelo cientista inglês Francis Hauksbee, que produziu uma descarga em um tubo de vidro com vácuo que estava eletricamente carregado. Mas, foi em 1850 que ele obteve luz ao gerar um arco elétrico em tubos carregados com vários gases. Em 1901, Peter Cooper, introduziu a primeira lâmpada a vapor de mercúrio no comércio a qual tinha um tom azul-esverdeado sendo usada em iluminação industrial, pois eram mais eficientes que as lâmpadas incandescentes da época. Nesse mesmo período as lâmpadas a vapor de sódio começaram a ser fabricadas. As primeiras lâmpadas de vapor de mercúrio modernas apareceram em 1934 que continham eletrodos de tungstênio e dosagem correta de mercúrio, permitindo uma descarga estável [7].

A primeira lâmpada fluorescente surgiu no século XX no ano de 1938 e foi usada para aplicações práticas [11]. Já no século XXI começou a aparecer no mercado lâmpadas de indução eletromagnéticas e lâmpadas de LED.

2.2 PRINCÍPIOS DA LUZ

Quando uma lâmpada elétrica é acesa ela emite uma série de radiações que são resultantes da energia elétrica em outras formas de energia [11].

2.2.1 Espectro Eletromagnético

Segundo [11], o espectro eletromagnético contém uma série de radiações (fenômenos

vibratórios), com velocidade de propagação constante (3×10^5 km/s), que se diferenciam pela frequência e pelo comprimento de onda, de maneira que a velocidade é igual a frequência vezes o comprimento de onda, como mostra a equação 1:

$$(1) \quad v = \lambda \times f$$

Onde:

v = velocidade de propagação;

λ = comprimento de onda;

f = frequência.

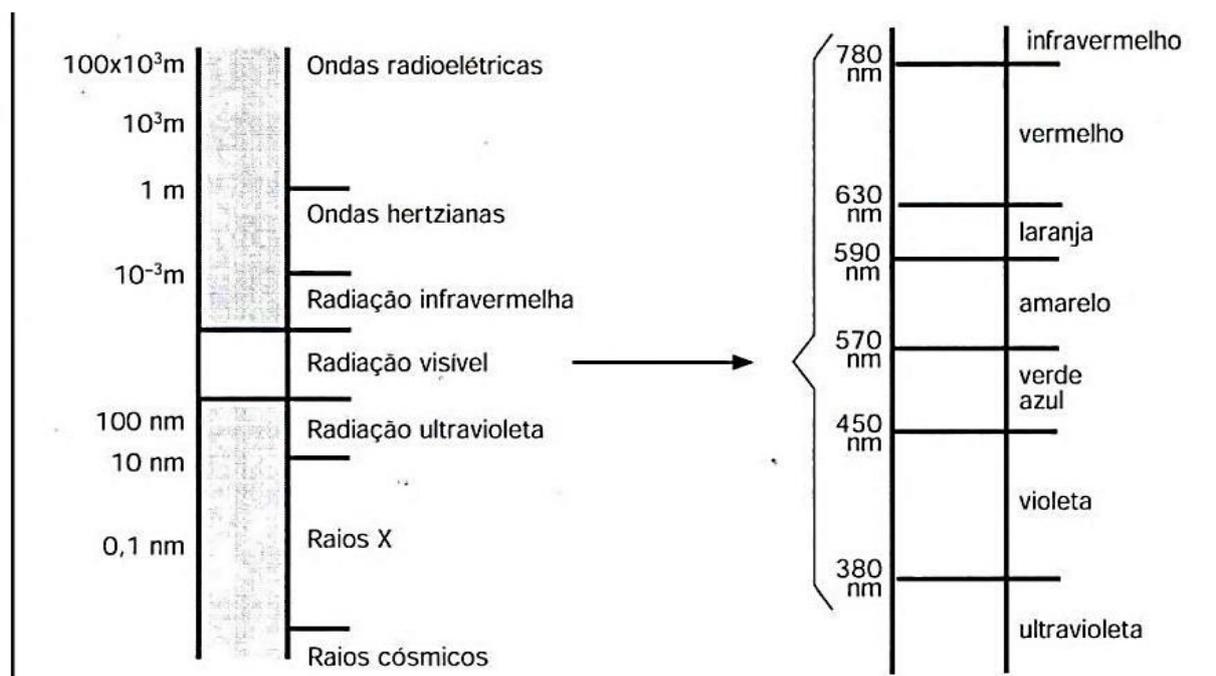


FIGURA 4. O espectro eletromagnético

Fonte: MOREIRA, 1999.

As radiações com comprimento de onda entre 380 e 760 nanômetros (nm) são especialmente importantes para o estudo de iluminação, pois estimulam a retina do olho, produzindo a sensação luminosa. As radiações infravermelhas e ultravioletas se localizam nas extremidades do espectro eletromagnético, limitando-o [11]. A FIGURA 4 apresenta as ondas e raios que as luzes emitem, assim como, os comprimentos de ondas e suas respectivas tonalidades.

2.2.2 Radiações Infravermelhas e Ultravioletas

As radiações infravermelhas são invisíveis ao olho humano, com comprimento de onda de 780 a 10000 nm. São utilizadas em muitas aplicações devido ao seu forte efeito calorífico. Normalmente são produzidas por lâmpadas incandescentes ou através de resistores aquecidos [11].

As radiações ultravioletas têm seus comprimentos de onda na faixa de 100 a 400 nm e são caracterizadas por ter elevada ação química atacando e descolorindo tintas, vernizes, plásticos, entre outros e pela excitação da fluorescência de diversas substâncias. Normal-

mente são divididas em: ultravioleta próximo ou luz-negra (UV-A), ultravioleta intermediário (UV-B) e ultravioleta remoto ou germicida (UV-C) [11].

2.2.3 Espectro Visível

Além da impressão luminosa também é obtida a impressão de cor. A sensação de cor está intimamente ligada aos comprimentos de ondas das radiações que se diferenciam por suas cores (comprimentos de onda), produzindo assim, diversas sensações de luminosidade [11].

Os raios ultravioletas e os raios infravermelhos são invisíveis a olho nu, a radiação visível fica em uma faixa, entre esses raios. A FIGURA 5 mostra o espectro visível de cores, que é a faixa entre os raios ultravioletas e infravermelhos.

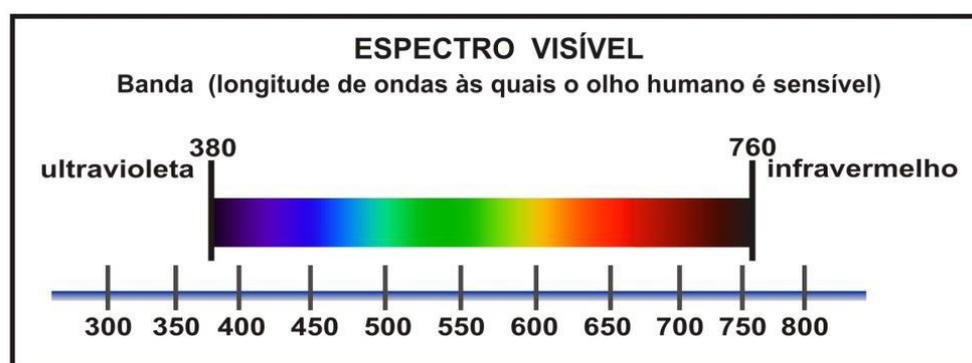


FIGURA 5. Espectro visível.

Fonte: Pegasus Portal (2012). Disponível em: <http://pegasus.portal.nom.br/percepcao-visual/>. Acesso em: 25 Mar. 16

2.3 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

2.3.1 Temperatura de Cor

É relacionada com a tonalidade de cor emitida pela lâmpada. Quanto maior a temperatura, mais branca será a luz emitida, sendo considerada luz fria. Pelo contrário, quanto menor for a temperatura mais amarelada será sua luz, também chamada de luz quente. As fontes luminosas normalmente variam de 2000 K (muito quente) até 10000 K (muito fria). A luz branca natural emitida pelo sol em céu aberto, ao meio-dia, fica dividida entre luz quente e luz fria, pois sua temperatura de cor é aproximadamente 5800 K [6,11].

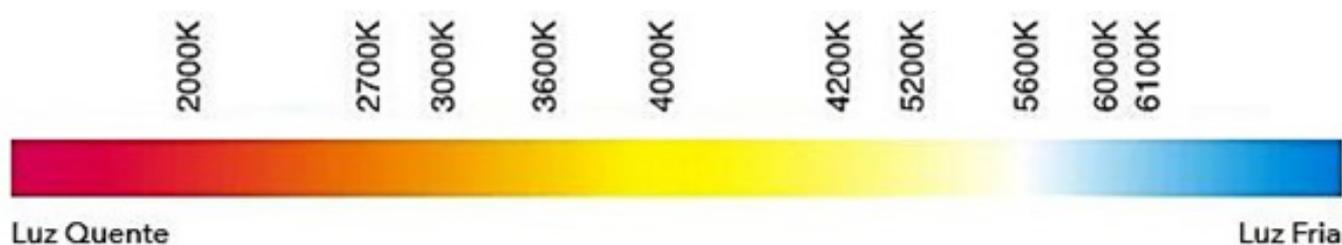


FIGURA 6. Temperatura de cor.

Fonte: NewLine. Disponível em: <http://www.newline.ind.br/voce-sabe-o-que-e-temperatura-de-cor/> Acesso em: 26 Mar. 16

2.3.2 Índice de Reprodução de Cor (IRC)

É usado para comparar a cor real de um objeto e sua aparência perante a uma fonte de luz. O IRC é medido de 0 a 100, e indica aproximadamente como a iluminação artificial permite ao olho humano perceber as cores com maior ou menor fidelidade. [11,19]. O QUADRO 1 apresenta os níveis de IRC, classificando desde a iluminação insuficiente até a excelente, assim como, suas utilizações no dia a dia.

	Conceito	Nível	Equivalência	Utilizações
100	Excelente	Nível 1	1a - Ra 90 a 100	Teste de cor, floricultura, residências, lojas.
	Muito bom		1b - Ra 80 a 89	
80	Bom	Nível 2	2a - 70 a 79	Áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios esportivos.
	Razoável		2b - Ra 60 a 69	
60	Regular	Nível 3	Ra 40a 59	Depósitos, postos de gasolina, pátio de montagem industrial.
40	Insuficiente	Nível 4	Ra 20 a39	Vias de tráfego, canteiros de obra, estacionamentos.

QUADRO 1. Níveis de IRC. Fonte: Adaptado SILVA, 2014.

Quanto mais próximo de 100 for o IRC de uma fonte artificial de luz, mais próxima da luz natural estará, ou seja, reproduzirá mais fielmente as cores e, quanto menor for este índice, pior será a reprodução de cores [6,11]. É possível verificar a reprodução de cor na FIGURA 7, onde a imagem do lado direito mostra o IRC de uma lâmpada a vapor de sódio, e a imagem da esquerda o IRC de uma lâmpada LED.



FIGURA 7. Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRC's.

Fonte: COPEL, 2012

2.3.3 Intensidade Luminosa (I)

A intensidade luminosa indica como é distribuída a energia irradiada por uma fonte de luz, em um ponto determinado. Sua unidade é o candela (cd) [11,19]. Ela é definida pela razão entre o limite da relação entre o fluxo luminoso (Φ) em um ângulo sólido em torno

de uma dada direção e o valor desse ângulo sólido (ω), desde que tenda a zero [11], apresentada na equação 2. A representação da Intensidade Luminosa pode ser observada na FIGURA 8.

$$(2) \quad I = \frac{d\phi}{d\omega} (cd)$$

Onde:

I = intensidade luminosa;

$d\phi$ = limite do fluxo luminoso em um ângulo sólido;

$d\omega$ = valor do ângulo sólido.

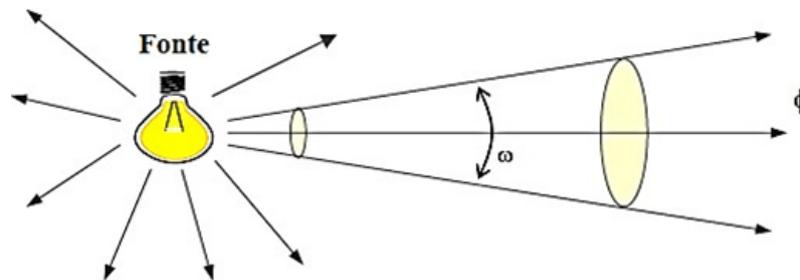


FIGURA 8. Intensidade Luminosa.

Fonte: PEREIRA; SOUZA, 2005.

Muitas vezes, se faz preciso determinar a intensidade luminosa média em fontes industriais, pois elas geralmente não possuem distribuição uniforme de suas intensidades luminosas, não sendo a mesma em todas as direções [11].

2.3.4 Fluxo Radiante (P) e Luminoso (F ou f)

Segundo [11], “Fluxo radiante é a quantidade de energia transportada por uma radiação. As unidades que medem o fluxo radiante são as unidades de energia: Watt-hora (Wh), quilowatt-hora (kWh), Joule (J) e etc.”

Fluxo luminoso é a radiação total que uma fonte de luz emite (FIGURA 9), sua unidade de fluxo é o lúmens (lm) definido pelo “fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido igual a um esferorradiano, por uma fonte luminosa puntiforme de intensidade invariável e igual a uma candela, de mesmo valor em todas as direções” [11,19].

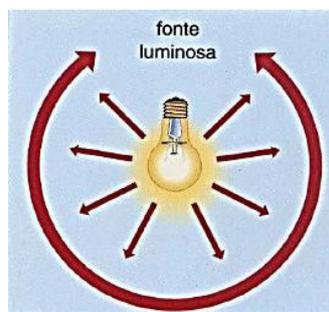


FIGURA 9. Fluxo luminoso.

Fonte: SILVA, 2014.

2.3.5 Quantidade de Luz (Q)

É a quantidade de energia radiante, sendo avaliada de acordo com sua capacidade de reproduzir sensação visual. Sua unidade corresponde à “quantidade de luz, durante um segundo, de um fluxo luminoso uniforme e igual a 1lm”. Medida em lúmen-segundo (lm.s) [11].

2.3.6 Eficiência Luminosa (h)

É a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte e a potência por ela absorvida [11], representada na figura 10, é calculada pela equação 3.

Onde:

$$(3) \quad \eta = \frac{\phi}{P} \text{ Ou } \eta = \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

η = Eficiência Luminosa;

ϕ = Lúmens emitidos pela lâmpada;

W = potência da lâmpada.

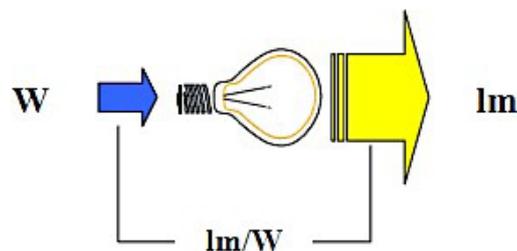


FIGURA 10. Eficiência luminosa.

Fonte: PEREIRA; SOUZA, 2005.

2.3.7 Iluminância (E):

É a relação entre a luz irradiada por uma lâmpada e a superfície sobre onde ela incide. É definida também como a densidade superficial de fluxo luminoso recebido. A iluminância é medida em lux (lx), e calculada pela equação 4 [11,19].

$$(4) \quad E = \frac{\phi}{dS} \text{ ou } E = \frac{\phi}{A}$$

Onde:

E = iluminância;

ϕ = luz irradiada pela lâmpada;

A = área da superfície.

A FIGURA 11 faz uma demonstração da iluminância, onde uma lâmpada ilumina uma superfície de 1m².

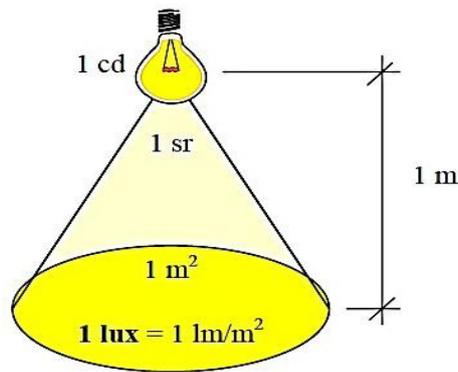


FIGURA 11 – Iluminância.

Fonte: PEREIRA; SOUZA, 2005.

2.3.8 Exitância Luminosa (antiga Emitância Luminosa) (H)

Medida em lúmen por metro quadrado (lm/m^2), ela é a densidade superficial de um fluxo luminoso emitido por uma fonte [11]. Onde a exitância Luminosa (H) é igual a razão entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada ($d\Phi$) pela área iluminada (dS).

$$(5) \quad H = \frac{d\Phi}{dS}$$

2.3.9 Luminância (L):

É a sensação de claridade que uma luz não visível transmite ao se refletir em uma superfície (FIGURA 12). Onde luminância (L) é a relação entre a intensidade luminosa (dI) pela área refletida (dS_a), apresentada na equação 6. Sua unidade é o candela por metro quadrado (cd/m^2), como na equação 6 [11].

$$(6) \quad L = \frac{dI}{dS_a}$$

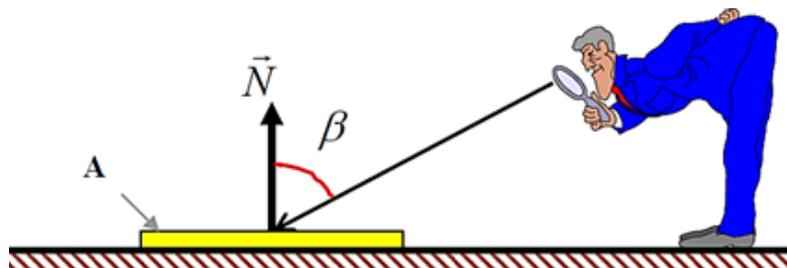


FIGURA 12. Luminância.

FONTE: PEREIRA; SOUZA, 2005

Para uma superfície difusora a luminância é igual em todas as direções, sendo proporcional ao iluminamento (E) sobre a superfície, vezes o fator de luminância (q), como apresenta a equação 7:

$$(7) \quad L = q \cdot E$$

Nos casos dos pavimentos das ruas, a superfície é não difusora e o fator de luminância será em função dos ângulos α , β e γ [11].

2.4 TIPOS DE LÂMPADAS

No QUADRO 2 são apresentadas fontes de luz que existem ou que já existiram. Também são consideradas algumas que não tem muita utilidade nos dias de hoje, mas que tiveram alguma importância na evolução da luz [13].

As lâmpadas normalmente são classificadas com base no princípio de funcionamento da fonte luminosa em:

LÂMPADAS DE INCANDESCÊNCIA: emitem luz por meio de um filamento, que durante a passagem da corrente elétrica entra em estado de incandescência. Na natureza são comparadas com a luz do sol [11,19].

LÂMPADAS DE DESCARGA: a luz é emitida devido à excitação dos elétrons que é produzida por meio da descarga elétrica em um gás. As lâmpadas de descarga são comparadas com o raio (relâmpago) e necessitam de reator e ignitor para dar início ao seu funcionamento [11,19].

LÂMPADAS DE INDUÇÃO: produzem luz através da vaporização das moléculas de mercúrio que são excitadas pelas bobinas magnéticas. Essas lâmpadas utilizam reator para dar partida [19].

LÂMPADAS LED: são compostas por diodos emissores de luz (LED s) que transformam energia elétrica em luz. Na natureza são comparadas com os vaga-lumes [19].

Tipos de Lâmpadas		
Incandescentes	Filamento num gás Halogêneo	
	Ciclo de Halogêneo	
Descarga	Alta Pressão	Luz Mista
		Vapor de mercúrio
		Vapor de Mercúrio de Iodetos
	Baixa Pressão	Vapor de Sódio
		Fluorescentes (T5, T8)
		Fluorescentes Compactas
Vapor de Sódio		
Indução		
LED's		

QUADRO 2. Tipos de lâmpadas existentes:

Fonte: Adaptado REMOALDO OLIVEIRA, 2015.

2.4.1 Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente começou a ser usada em larga escala desde 1879 quando passou a ser comercializada e viabilizada por Thomas Alva Edison. A luz é emitida devido a uma corrente elétrica passando por uma resistência, sendo que o filamento aquece até ficar em brasa, ou seja, em estado de incandescência. Ela não possui oxidação pois esta é evitada pela presença de gás inerte ou vácuo dentro do bulbo que contém o filamento. Mais de 90% da energia consumida para acender uma lâmpada incandescente é transfor-

mada em calor e menos de 10% em luz [11,19].

A FIGURA 13 mostra os dois modelos de lâmpadas incandescentes que foram inventadas, os seus componentes, sendo possível verificar como ela é composta.



FIGURA 13. Lâmpadas incandescentes e sua estrutura.

Fonte: SILVA, 2014.

Em 1881, foram fabricadas as primeiras lâmpadas incandescentes industriais, com filamento constituído de papel carbonizado. Ao longo dos anos o filamento foi sendo modificado, passando a ser utilizada a celulose carbonizada, o ósmio, o tântalo e o tungstênio. Já em 1911, os filamentos começaram a ser mais robustos devido ao desenvolvimento da técnica da trefilação do tungstênio, podendo agora ser trabalhados em temperaturas mais elevadas [11].

É possível aumentar a eficiência luminosa da lâmpada incandescente aumentando temperatura de seu filamento, porém, isso reduzirá sua vida. Geralmente elas possuem uma vida média de 1000 horas e eficiência energética 15 lúmens por Watt (lm/W) [11].

2.4.2 Lâmpadas Halógenas

Também conhecidas como lâmpadas de quartzo, de iodo ou iodina [2]. São muito parecidas com as incandescentes comuns, tem o mesmo princípio de funcionamento das lâmpadas incandescentes, ou seja, uma corrente elétrica passando por um filamento produzindo calor. Porém, algumas diferenças as tornam mais eficientes, como os aditivos de iodo ou bromo que são adicionados internamente no bulbo e o tubo que envolve o filamento, que é feito de quartzo, devido a temperatura de funcionamento nessa lâmpada ser mais elevada [11,19].

A grande diferença está no chamado Ciclo do Halogênio, que é originado através da adição no sistema de gases halógenos, que se combinam com as partículas desprendidas do filamento pelo aquecimento, assim como nas incandescentes comuns. Porém, essa combinação faz com que as partículas retornem para o filamento fazendo-o permanecer sempre com a mesma espessura (FIGURA 14). Dessa forma, a lâmpada produz uma iluminação branca e brilhante, de grande intensidade e com uma durabilidade até quatro vezes maior que as tradicionais [19].

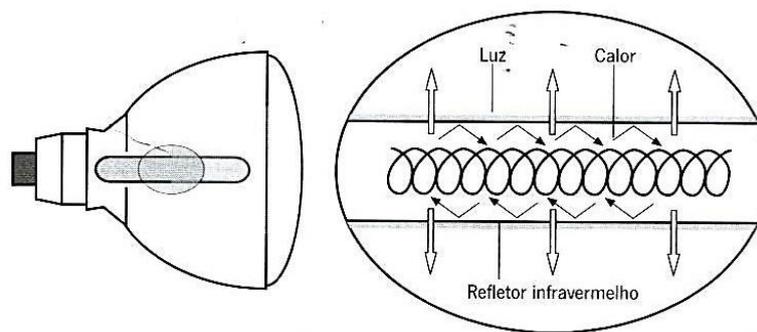


FIGURA 14. Estrutura da lâmpada Halógena.

Fonte: SILVA, 2014.

2.4.3 Lâmpadas Fluorescentes

Antes chamadas de fosforescente, devido ao bulbo ser pintado com uma tinta que contém fósforo ou uma tinta fosforescente. Esse é um tipo de lâmpada que funciona com descarga de baixa pressão [11,19].

Seu princípio de funcionamento começa quando a eletricidade passa pelo reator e envia para dentro da lâmpada uma tensão acima do normal, permitindo que o sistema dê a partida. O reator, além de dar a partida na lâmpada, também serve como um limitador de corrente, protegendo de certa forma o circuito como um todo [11,19].

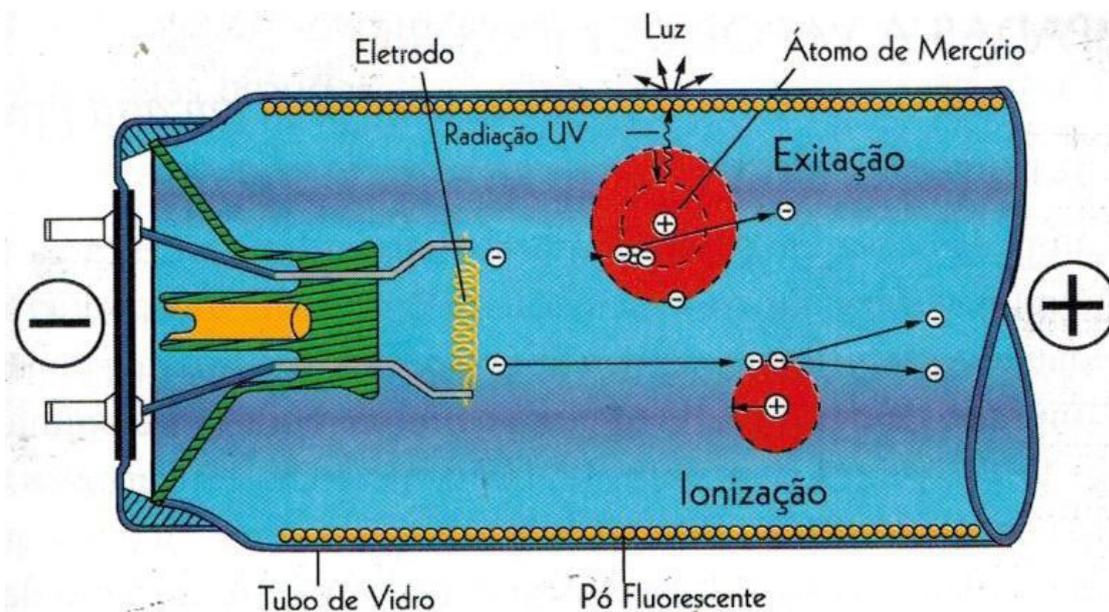


FIGURA 15. Estrutura da lâmpada fluorescente.

Fonte: SILVA, 2014.

As lâmpadas fluorescentes possuem eletrodos em suas extremidades recobertos por uma pasta emissiva. No instante da partida do sistema os eletrodos começam a ser lançados pelos filamentos de um lado para o outro, que ao se chocarem com uma gota de mercúrio contida no bulbo da lâmpada, combinam-se e vaporizam o mercúrio dando origem à radiação ultravioleta (FIGURA 15). Os raios ultravioletas só geram luz visível quando atravessam o bulbo pintado, caso contrário não haverá luz gerada no sistema [11,19].

2.4.4 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

São lâmpadas de descarga à alta pressão muito utilizadas em iluminação pública e que têm princípio de funcionamento semelhante ao das fluorescentes. No interior da lâmpada há um tubo de descarga de quartzo com eletrodos nas extremidades, que nas fluorescentes são chamados de filamentos. Após a partida da lâmpada por meio de um reator, saem eletrodos que se chocam com átomos de mercúrio que ficam dentro do tubo de descarga, provocando assim a vaporização destes átomos e emitindo raios ultravioletas, provocando a sensação de luz visível [11,19], na FIGURA 16 vemos como a lâmpada a vapor de mercúrio é constituída.

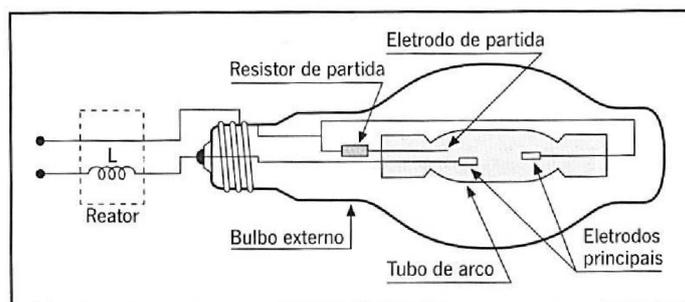


FIGURA 16. Estrutura da lâmpada a vapor de mercúrio.

Fonte: SILVA, 2014.

2.4.5 Lâmpadas de Luz Mista

É uma combinação da lâmpada incandescente com a lâmpada a vapor de mercúrio puro. Para sua partida é usado um filamento incandescente colocado dentro do bulbo (FIGURA 17) que, pelo aquecimento, faz o sistema do tubo de descarga funcionar com os elétrons movimentando-se de um lado para o outro, vaporizando o mercúrio. O ascendimento se dá pelo filamento incandescente, não utilizando reator. Essa lâmpada só funciona na tensão 220V [19].

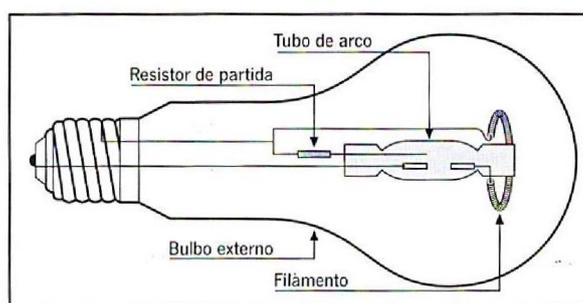


FIGURA 17. Estrutura da lâmpada de luz mista.

Fonte: SILVA, 2014.

2.4.6 Lâmpadas de Multivapores Metálicos

Seu princípio de funcionamento é exatamente o mesmo das lâmpadas a vapor de sódio. A grande diferença é que o interior do tubo de descarga é de quartzo e é preenchido com uma variedade de metais nobres, que vaporizados resultam numa emissão de luz bran-

ca e brilhante com excelente IRC [11]. A FIGURA 18 a seguir apresenta a estrutura da lâmpada de multivapores metálicos, com os gases encontrados dentro dela e seus componentes:

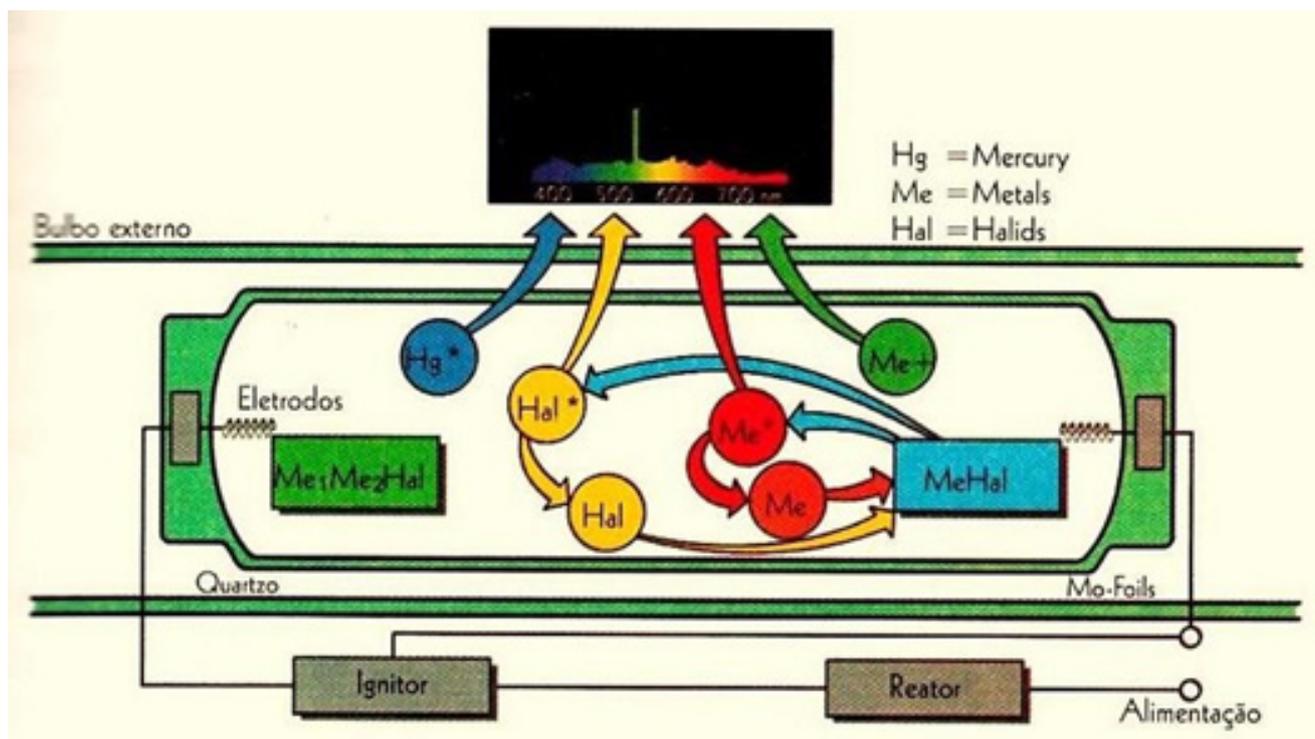


FIGURA 18. Estrutura da lâmpada de multivapores metálicos.

Fonte: SILVA, 2014.

2.4.7 Lâmpadas a Vapor de Sódio

São lâmpadas de descarga e funcionam em alta e baixa pressão, utilizando um reator e um ignitor. A partida da lâmpada é proporcionada pelo ignitor que faz a tensão elevar-se. Para produzir luz, a corrente é lançada em um tubo de descarga, feito de cerâmica devido em seu interior conter sódio. A luz emitida por esse tipo de lâmpada é praticamente monocromática (amarela) [19]. Atualmente é a tecnologia mais aplicada em sistemas de iluminação pública.

2.4.7.1 Baixa Pressão (VSBP)

A lâmpada à vapor de sódio de baixa pressão é composta basicamente por um tubo de descarga interno, uma ampola exterior (camisa externa) e por eletrodos (FIGURA 19) [3]. O tubo de descarga tem forma de U contendo gás neônio e 0,5% de argônio em baixa pressão que facilitam a partida da lâmpada e também sódio metálico que durante o funcionamento é vaporizado por átomos conforme a descarga. Os eletrodos encontram-se nas extremidades e são recobertos com óxidos emissores de elétrons. Já a camisa externa serve para evitar a variação do fluxo luminoso com a temperatura ambiente, isso acontece devido ao vácuo existente [3].

Essas lâmpadas são comparáveis às lâmpadas fluorescentes na forma como são construídas e como funcionam, porém, para elas é usado o vapor de sódio ao invés de vapor de mercúrio [20].

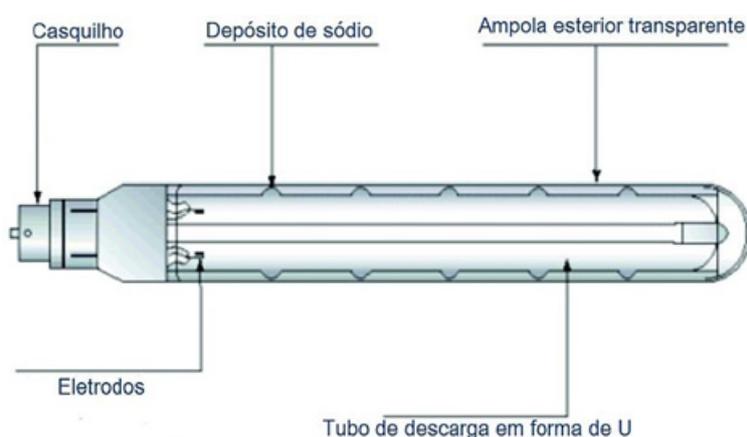


FIGURA 19. Estrutura da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão.

Fonte: Coletivo Urbane. Disponível em: <http://coletivourbane.blogspot.com.br/2012/01/tipos-e-caracteristicas-de-lampadas.html>. Acesso em: 28 Mar. 16

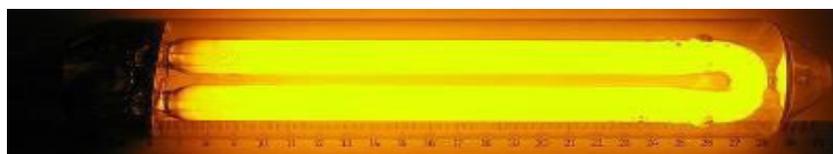


FIGURA 20. Lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão acesa.

Fonte: Coletivo Urbane. Disponível em: <http://coletivourbane.blogspot.com.br/2012/01/tipos-e-caracteristicas-de-lampadas.html>. Acesso em: 28 Mar. 16

As lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão possuem grande eficiência luminosa, devido à energia radiante emitida concentrar-se em duas linhas de comprimentos de 589,0 e 589,6 nanômetros (nm) e normalmente são usadas na iluminação pública por ter uma aparência monocromática (luz amarela) como mostrada na FIGURA 20 [3].

No QUADRO 3 são apresentadas algumas características da VSBP, observando seus pontos fortes e fracos:

Características		Observações
Casquilho	Edison / Tipo G	
Eficiência luminosa	100 a 200 lm/W	Ponto forte
Temperatura de cor	1800°K	Limitada
Reprodução de cor (Ra)	Quase nula	Ponto fraco
Vida útil	12000 a 16000 h	Ponto forte
Classe energética	A++ a A+	Ponto forte

QUADRO 3 - Características da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão.

Fonte: REMOALDO OLIVEIRA, 2015.

2.4.7.2 Alta Pressão (VSAP)

A lâmpada a vapor de sódio em alta pressão, é comercializada desde 1955 e tem o princípio de funcionamento parecido com a de vapor de mercúrio, porém tem a adição de sódio e devido as suas características físicas exige que a partida precise de uma tensão mais elevada [6]. A FIGURA 21 mostra como é a lâmpada VSAP.

A diferença entre as lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e as de baixa pressão é, como o próprio nome já diz, a pressão. As VSAP trabalham com pressão mais elevada e no tubo de descarga dessa lâmpada contém um excesso de sódio, mercúrio e xenônio sob baixa pressão para facilitar a partida da mesma [11].



FIGURA 21. Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.

Fonte: Coletivo Urbane. Disponível em: <http://coletivourbane.blogspot.com.br/2012/01/tipos-e-caracteristicas-de-lampadas.html> Acesso em: 28 Mar. 16.

O tubo de descarga é inserido dentro de uma ampola de vidro em vácuo, que forma o invólucro exterior da lâmpada. Durante o processo de aquecimento da lâmpada, a luz começa a ser emitida por meio da vaporização do sódio e do mercúrio, à medida com que a pressão vai aumentando a intensidade da luz vai aumentando também até estabilizar [15]. Na FIGURA 22 a seguir mostra como é formada a lâmpada VSAP.

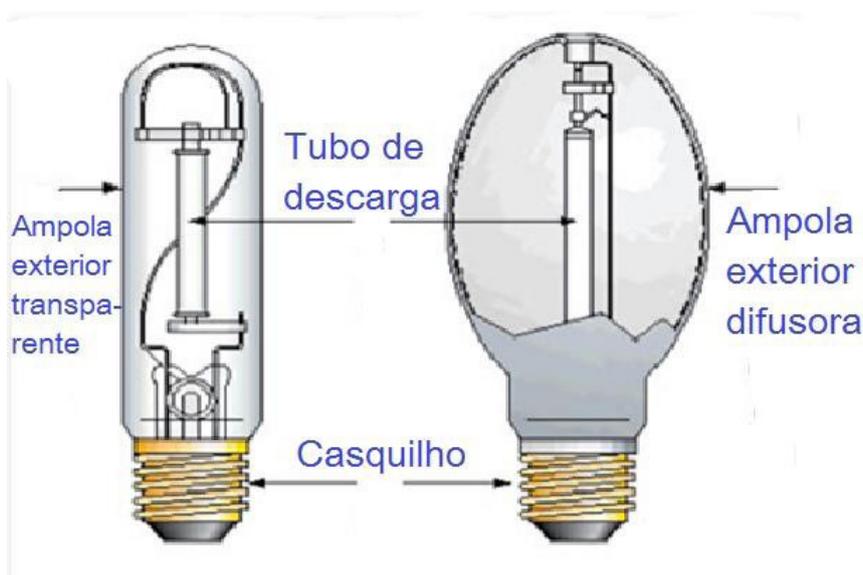


FIGURA 22. Estrutura da lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.

Fonte: Adaptado, SANTOS, 2011.

A seguir são apresentadas algumas características da VSAP, observando seus pontos fortes e fracos:

Características		Observações
Casquilho	Edison	
Eficiência luminosa	66 130 lm/W	Ponto forte
Temperatura de cor	1900 a 2500°K	Variável
Reprodução de cor (Ra)	30 85 %	Variável
Vida útil	12000 a 24000 h	Ponto forte
Classe energética	A	Ponto forte

QUADRO 4. Características da lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.

Fonte: REMOALDO OLIVEIRA, 2015.

2.4.8 Lâmpadas de Indução

Também conhecida como lâmpada interminável, é uma tecnologia desenvolvida recentemente, sendo uma lâmpada fluorescente sem eletrodos. Por não conter eletrodos, essa tecnologia utiliza os princípios fundamentais da indução eletromagnética e da descarga em gás para criar luz. A vida útil das lâmpadas de indução devido a não conterem eletrodos e filamentos pode variar de 50.000 a

100.000 horas [9]. A FIGURA 23 apresenta os componentes da lâmpada de indução e como eles geram a luz.

Onde a luz é gerada através de uma descarga em gás por meio de magnetismo. As bobinas metálicas eletromagnéticas são constituídas de anéis de metal que criam um campo eletromagnético em torno do tubo de vidro que contém o gás. Para isso necessitam de um reator eletrônico para gerar altas frequências. Logo que a descarga elétrica é induzida pelas bobinas, ela forma um ciclo fechado que causa a aceleração de elétrons livres, que excitam os elétrons quando colidem com os átomos de mercúrio. Depois disso, quando os elétrons descem do estado energeticamente elevado para um estado inferior mais estável eles emitem radiação ultravioleta, que é convertida em luz visível quando atravessa a camada de fósforo depositada na superfície interna do tubo. A FIGURA 24 apresenta a lâmpada de indução acesa [9].

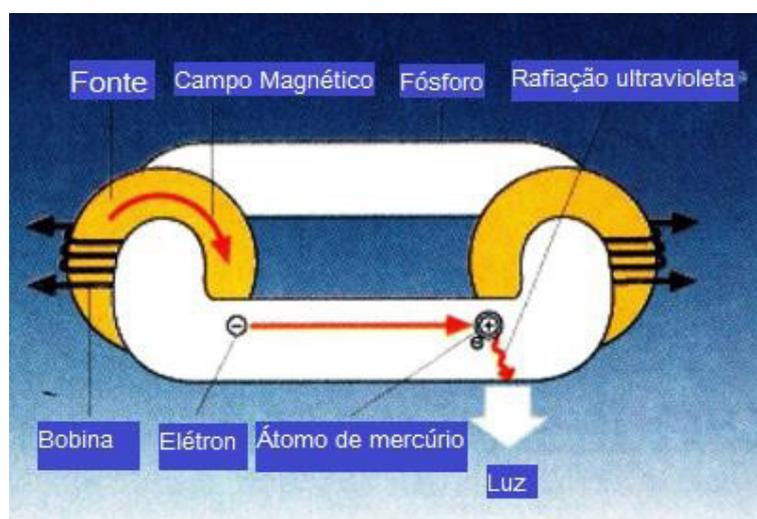


FIGURA 23. Estrutura da lâmpada de indução.

Fonte: SILVA, 2014.

Existem patentes da tecnologia da lâmpada de indução desde 1967, mas apenas em 1990 ganhou força quando grandes fabricantes com Philips, GE e Osram começaram a investir nessa tecnologia. Porém, alguns contratemplos fizeram com que ela não emplacasse tecnicamente [17].

Esses contratemplos conseguiram ser melhorados, porém, atualmente as lâmpadas de indução eletromagnética são quase 100% produzidas na China [20].



FIGURA 24. lâmpada de indução.

Fonte: Braiso. Disponível em: <http://www.braiso.com.br/2010/05/11/lampadas-de-inducao-eletromagnetica-mais-brilho-maior-duracao-e-garantia-e-nao-agride-o-meio-ambiente/>. Acesso em: 05 Mar. 16.

Segundo [17] entre as vantagens da lâmpada de indução estão:

- Longa vida sem manutenção (acima de 50.000 horas);
- Alta eficácia luminosa (75-85 lm/W); alta reprodução de cor (Ra>80); opções de temperatura de cor (2.700 K – 6.500 K);
- Partida rápida e reacendimento instantâneo; alto fator de potência, sem flicker; pode operar em temperaturas de até -40°C;
- Baixas distorções harmônicas.

A seguir são apresentadas algumas características da VSAP, observando seus pontos fortes e fracos:

Características		Observações
Eficiência luminosa	75 a 85 lm/W	Ponto forte
Temperatura de cor	2700 a 6500°K	Variável
Reprodução de cor (Ra)	>80%	Ponto forte
Vida útil	50000 a 100000 h	Ponto forte
Aparelhos auxiliares	Gerador de alta frequência	

QUADRO 5. Características da lâmpada Indução.

Fonte: REMOALDO OLIVEIRA, 2015.

2.4.9 Lâmpadas LED

Os LEDs produzem luz por eletroluminescência, imitando os vagalumes. Essa fonte de luz, embora ter sido descoberta muitas décadas antes, teve sua utilização comercial iniciada neste século XXI, com maior intensidade depois de 2010. LEDs (Lighting Emitting Diodes) ou diodos emissores de luz são uma das tecnologias de reprodução de luz mais sofisticadas atualmente disponíveis comercialmente [7,8].

Eles são semicondutores que convertem eletricidade em luz por meio das interações dos elétrons. Trabalham em tensão reduzida, não possuem filamentos e nem descarga elétrica [16].

Seu funcionamento ocorre da seguinte forma:

Em uma junção p-n, o lado p contém em sua maioria lacunas (falta de elétrons) e o n essencialmente cargas negativas (excesso de elétrons), os lados movimentam-se em sentido contrário. Uma parte dessa energia é emitida na forma de calor e a outra em forma de fótons [8]. Os componentes básicos do LED são: lente plástica protetora (eletrodo) fio de ouro e conexão (dissipador de calor), silicone para proteção contra descarga eletrostática e o chip LED, representados na FIGURA 25 [4].

Durante muitas décadas s LEDs eram usados apenas como indicadores do estado de funcionamento de produtos eletro-eletrônicos. Depois, começaram a ser usados como sinalizadores em lâmpadas de emergência e semáforos. Recentemente tem sidos emprego na iluminação de ambientes internos ou externos [14].

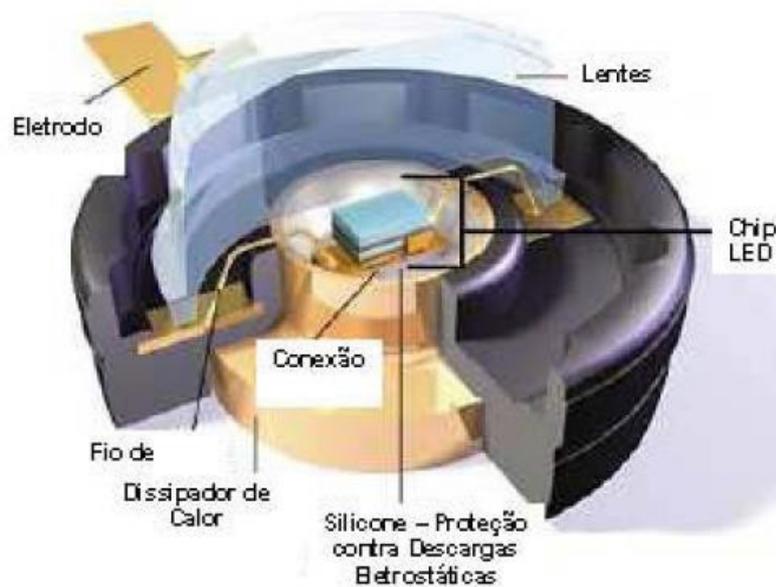


FIGURA 25. Componentes do LED.

Fonte: CASTRO; LUCIANO, 2013.

A tecnologia LED na IP se iniciou em 1961 com um diodo infravermelho, em 1962 foi empregada com emissão de luz. Nos anos 70 essa tecnologia passou a ser comercialmente viável e nos anos 80 foram desenvolvidos os primeiros LED's de alta luminosidade (HB LED). Por volta de 1990, foram desenvolvidos os LED's de luz azul e o Power LED entrou no mercado no século XXI [4]. Esse desenvolvimento pode ser visto na FIGURA 26.



FIGURA 26. Evolução do LED.

Fonte: CASTRO; LUCIANO, 2013.

O LED não atrai insetos como a tecnologia convencional de hoje em uso que acabam tendo sua luminosidade prejudicada por nuvens de insetos, isso porque propaga pouco calor [18].

A vida útil do LED é duas vezes maior que as lâmpadas convencionais, alcançando 50 mil horas de funcionamento. Além de maior eficiência e desempenho em termos energéticos, reduz direta e indiretamente o consumo, reduzindo assim as emissões de CO₂ que causam a poluição da atmosfera. Permitem uma melhor reprodução de cores e não emitem raios ultravioletas e infravermelhos pois, não utiliza componentes tóxicos, que são prejudiciais ao meio ambiente [18].

A FIGURA 27 exemplifica um modelo de lâmpada LED para IP.



FIGURA 27. Luminária Pública de LED.

Fonte: SCHULZ, 2009/2011.

Segundo [18] as vantagens dos LEDs são:

- São ambientalmente mais corretos se comparados às lâmpadas tradicionais de sódio e mercúrio, pois não utiliza componentes tóxicos na sua fabricação, o que simplifica consideravelmente o processo de descarte.
- Sua vida útil teórica é de pelo menos 50 mil horas, mais que o dobro das lâmpadas em uso atualmente. Isso permitirá reduzir o número de manutenções, eliminando custos e aumentando a disponibilidade de equipes.
- Permitem uma reprodução de cores muito superior a das lâmpadas de sódio, melhorando a percepção de elementos na paisagem urbana.
- Sua luminária pode ser fabricada em diversas formas, ampliando as opções de design e adequação ao mobiliário urbano.

A seguir são apresentadas algumas características da lâmpada de LED, observando seus pontos fortes e fracos:

Características		Observações
Casquilho	Edison/Tipo G/GU	
Eficiência luminosa	60 a 130 lm/W	Ponto forte
Temperatura de cor	2700 a 4000°K	Variável
Reprodução de cor (Ra)	80 a 85	Ponto forte
Vida útil	35000 a 100000 h	Ponto forte
Classe energética	A++ a A	Ponto forte

QUADRO 6. Características da lâmpada de LED.

Fonte: REMOALDO OLIVEIRA, 2015.

2.5 DISPOSITIVOS DE ACIONAMENTO OU PARTIDA

As lâmpadas de descarga precisam de dispositivos auxiliares que servem para produzir pulsos de tensão necessários à sua partida, estabilizar o valor da intensidade de corrente na descarga ou adaptar as características elétricas da lâmpada aos valores nominais da fonte de alimentação. Dentre estes dispositivos estão o reator, o ignitor, o condensador e o starter [6,11].

2.5.1 Reator

É um dispositivo de limitação de corrente e de adequação de tensão, também chamado de balastro pode ser magnético ou eletrônico. Ele pode ser projeto para equipamentos externos e internos, como pode ser observado na FIGURA 28 [6].

Os reatores eletrônicos controlam a corrente de alimentação da lâmpada por meio de fontes chaveadas em alta frequência (kHz). Dispensam o uso de ignitores e de grandes capacitores externo além de possibilitar maior vida útil da lâmpada e maior rendimento em todo conjunto. Porém, devido ao alto custo não é muito empregado [6].

Os reatores magnéticos operam na frequência da rede elétrica e nada mais são do que indutores dimensionados e são divididos em Internos e externos. Sendo que, os externos geralmente são fixados na estrutura de sustentação e se necessário possibilitam a conexão com os relés fotoelétricos. Junto com o indutor, no interior do reator são instalados o ignitor e um capacitor para correção do fator de potência [6].

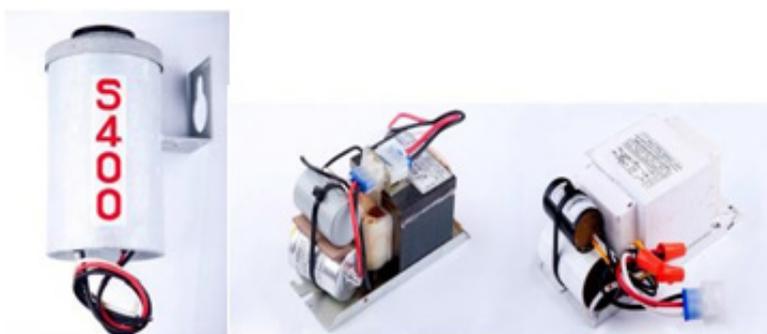


FIGURA 28 - Modelo de reator externo à esquerda e interno à direita.

Fonte: COPEL, 2012.

2.5.2 Ignitor

É um dispositivo que inicia o processo de funcionamento da lâmpada, isso acontece por meio de uma série de pulsações de tensão elevada, que ionizam o caminho da descarga. Cada ignitor possui esquema próprio de ligação dos seus terminais que deve ser obrigatoriamente obedecido, bem como a frequência da rede em que ele deve operar (50 ou 60 Hz) [12].

A FIGURA 29 a seguir, apresenta um modelo de ignitor:



FIGURA 29. Modelo de Ignitor.

Fonte: COPEL, 2012.

2.5.3 Starter

É um dispositivo que proporciona a tensão necessária para haver a descarga inicial do gás e assim a lâmpada passe a operar. Isso ocorre através de pulsações de corrente que ionizam o caminho da descarga. Os starters são constituídos de um pequeno tubo de vidro contendo um gás inerte (neon ou argônio) dentro do qual são colocados dois eletrodos (FIGURA 30). Um eletrodo é constituído de uma lâmina bi metálico que retorna a posição inicial após alguns instantes [12].



FIGURA 30. Modelo de Starter.

Fonte: Forlux. Disponível em: https://www.google.com.br/search?q=ignitor&espv=2&biw=1366&bih=599&source=Inms&tbm=isch&s a=X&ved=0ahUKEwi4pdionq3NAhVGBR4KHQozAS0Q_AUIBigB#tbm=isch&q=starter+l%C3%A2mpada&imgsrc=5y7yF8ACKxj_IM%3A. Acesso em: 29 Mar. 16.

2.6 LUMINÁRIAS

As luminárias antigas serviam apenas de sustentação e interface de conexão entre as lâmpadas e a rede elétrica. Normalmente elas ficavam expostas a choques térmicos, vandalismo, insetos e não proviam o direcionamento adequado do fluxo luminoso (FIGURA 31). Dessa forma, reduziam a vida útil das lâmpadas [6].



FIGURA 31. Luminária Inadequada para utilização em iluminação pública.

Fonte: COPEL, 2012.

Para melhorar a eficácia das luminárias foram desenvolvidos equipamentos fechados em materiais poliméricos ou vidro com o objetivo de aumentara eficiência luminosa, reduzir a poluição luminosa e direcionar a maior parte do fluxo luminoso apenas as áreas que se deseja iluminar [6]. Como pode ser visto nos itens b, c e d da FIGURA 32:

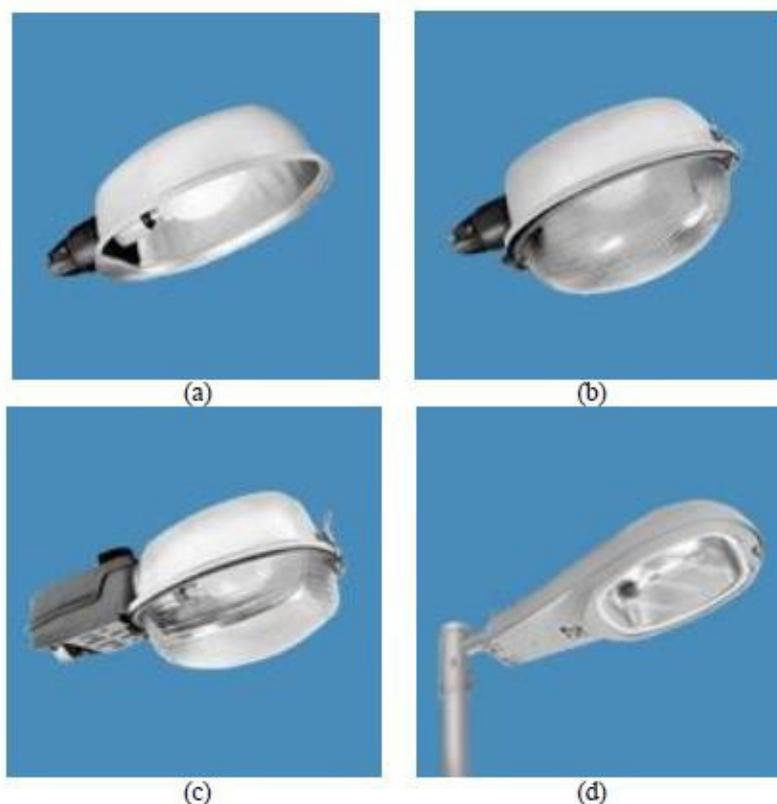


FIGURA 32. Tipos de luminárias. (a) aberta, (b) fechada), (c) fechada com alojamento para equipamentos auxiliares, (d) tipo pétala.

Fonte: CASTRO; LUCIANO, 2013.

A poluição luminosa ocorre devido a instalações e projetos mal elaborados, identificada pelo brilho noturno no céu acima dos centros urbanos que. Esse brilho é provocado pela luz artificial mal direcionada ao se refletir na poeira, vapor de água e outras partículas dispersas na atmosfera [1].

A FIGURA 33 a seguir, mostra o aumento da eficiência luminosa das luminárias, assim como, a poluição luminosa produzida por elas:

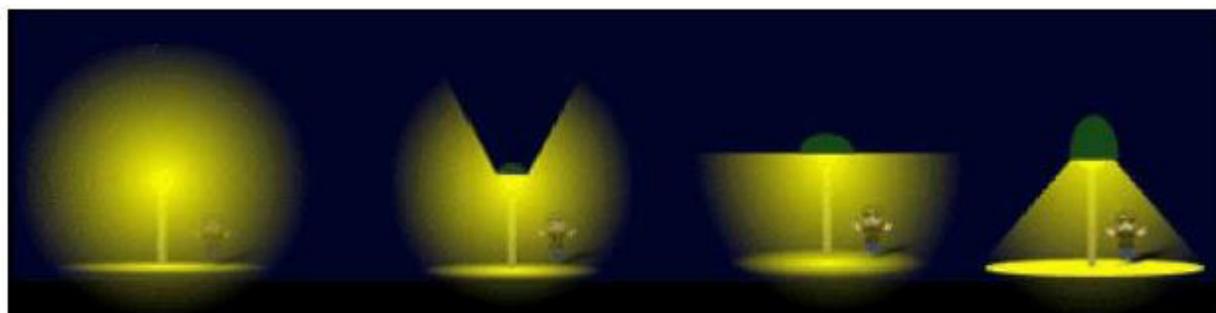


FIGURA 33. Eficiência luminosa das luminárias.

Fonte: COPEL, 2012.

2.7 DEFINIÇÃO DAS NORMAS PARA O ESTUDO DAS LUMINÁRIAS PÚBLICAS

Tendo em vista que as lâmpadas estudadas neste trabalho fazem parte da Iluminação Pública é necessário analisar particularidades como: tráfego motorizado, trânsito de pedestres, comércio e atividades noturnas, níveis de iluminância, vegetação e arborização do local, escolha e localização das luminárias, facilidade de manutenção e ocorrência de vandalismo [1].

2.7.1 Classificação das Vias Públicas

Segundo [1], via é uma superfície onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo pista, calçada, acostamento, ilha e canteiro central. As vias são classificadas de acordo com sua utilização em:

I. Vias urbanas:

- a) Via de trânsito rápido;
- b) Via arterial;
- c) Via coletora;
- d) Via local.

II. Vias rurais:

- a) Rodovias;
- b) Estradas.

A representação das vias pode ser vista no ANEXO 1 - Classificação das vias públicas de [1].

2.7.2 Classificação do Volume do Tráfego de Vias Públicas

É feita de acordo com o trânsito de veículos e com o trânsito de pedestres, conforme o QUADRO 7 a seguir [1]:

Classificação	Leve (L)	Médio (M)	Intenso (I)	Sem tráfego (S)
Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado	vias residenciais médias	Vias comerciais secundárias	Vias comerciais principais	Vias arteriais
Volume de tráfego noturno de veículos por hora, em ambos os sentidos, em pista única.	150 a 500	501 a 1200	Acima de 1200	

QUADRO 7. Classificação do Volume do Tráfego de Vias Públicas

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101: 2012.

2.7.3 Fixação dos Níveis de Iluminância

Os requisitos básicos para iluminação pública sendo que, os principais são os níveis de iluminância média e fator de uniformidade de iluminância [3].

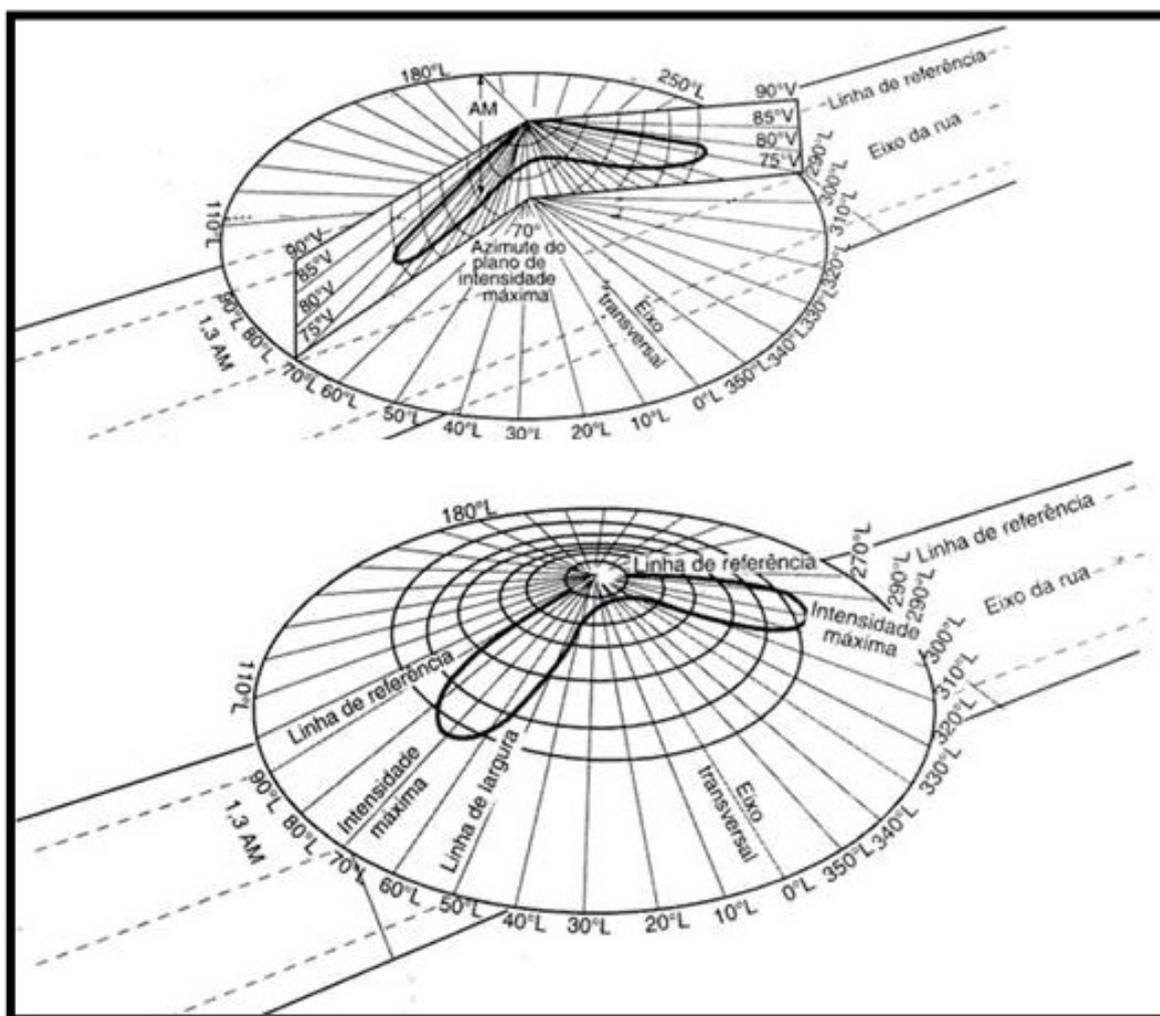


FIGURA 34. Perspectiva de distribuição luminosa.

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101: 2012.

Segundo [1], a distribuição apropriada das intensidades luminosas das luminárias é um dos fatores essenciais de iluminação eficiente em vias. As intensidades emitidas pelas

luminárias são controladas direccionalmente e distribuídas de acordo com a necessidade para visibilidade adequada (rápida, precisa e confortável).

Conforme [1], existem três critérios que classificam a distribuição das intensidades luminosas da luminária em relação à via que são:

- Distribuição longitudinal (LLV) pela altura de montagem (AM);
- Distribuição transversal (LTV) pela AM.

Representadas no ANEXO 2.

Diagrama de distribuição de intensidades luminosas - Descrição em forma de diagrama, da distribuição espacial das intensidades luminosas de uma luminária. Esse diagrama faz o controle de distribuição de intensidade luminosa no espaço acima dos cones de 80° e 90°, onde o vértice coincide com o centro óptico da luminária [1]. Como mostra a FIGURA 34.

2.7.4 Requisitos de Iluminância e Uniformidade

Os requisitos recomendados para iluminação pública são feitos de acordo com classe, de V1 a V5 para veículos e de P1 a P4 para pedestres como mostra o QUADRO 8 [1].

Definições conforme [1], são apresentadas a seguir:

- Luminância média - $L_{méd}$ [cd/m²]: É o valor médio da luminância na área delimitada pela malha de pontos considerada, ao nível da via [1].
- Fator de uniformidade da iluminância (U): Razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em um plano especificado, dado pela equação 8 [1]:

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

- Fator de uniformidade da luminância U_o (uniformidade global): Razão entre a luminância mínima e a luminância média em um plano especificado, representado na equação 9 [1]:

$$(9) \quad U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}}$$

- Fator de uniformidade da luminância U_L (Uniformidade longitudinal): Razão entre a luminância mínima e a luminância máxima ao longo das linhas paralelas ao eixo longitudinal da via em um plano especificado, como na equação 10 [1]:

$$(10) \quad U_L = \frac{L_{min}}{L_{máx}}$$

- Iluminância média horizontal (E_{med}): É a iluminância média em serviço, da área delimitada pela malha de pontos considerada, ao nível da via, sobre o número de pontos correspondente [1].
- Incremento de limiar (TI): Limitação do ofuscamento perturbador ou inabilitador nas vias públicas, que afeta a visibilidade dos objetos. O valor de TI% é baseado no incremento necessário da luminância de uma via para tornar visível um objeto que se tornou invisível devido ao ofuscamento inabilitador provocado pelas luminárias [1], calculado pela equação 11:

$$(11) \quad TI\% = 65 \times \frac{L_7}{(L_{med})^{0,8}}$$

- Razão das áreas adjacentes à via – SR: É a relação entre a iluminância média das áreas adjacentes à via (faixa com largura de até 5 m) e a iluminância média da via

(faixa com largura de até 5 m ou metade da largura da via) em ambos os lados de suas bordas. O parâmetro SR pressupõe a existência de uma iluminação própria para a travessia de pedestres, levando em consideração o posicionamento da luminária, de forma a permitir a percepção da silhueta do pedestre pelo motorista (contraste negativo) [1].

DESCRIÇÃO DA VIA	CLASSE DE ILUMINAÇÃO
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; Autoestradas. Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos definidos; vias de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo. Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V2 V3 V4 V4 V5
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)	P4

QUADRO 8. Classes de iluminação para cada tipo de via

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101: 2012.

Os requisitos de iluminância e uniformidade que atendem os níveis de iluminância esperados, segundo [1], estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

TABELA 1. Requisitos de luminância e uniformidade

Classe de Iluminação	L_{med}	U_0 ≥	U_L ≤	TI %	SR
V1	2	0,4	0,7	10	0,5
V2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
V3	1	0,4	0,7	10	0,5
V4	0,75	0,4	0,6	15	-
V5	0,5	0,4	0,6	15	-

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101: 2012.

TABELA 2. Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação

Classe de iluminação	Iluminância mínima	Fator de uniformidade mínimo
	$E_{med,min}$ Lux	
V1	30	$U = E_{min}/E_{med}$ 0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

TABELA 3. Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação

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

Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

2.7.5 Compatibilidade com a Arborização

Para melhorar a convivência da iluminação pública com a arborização, é apresentada uma equação para o cálculo de variáveis que contribuem para a desobstrução da iluminação pública. A equação considera os ângulos de máxima incidência de luz nos sentidos longitudinal e transversal à via, a sua altura de montagem e a distância da árvore [1,5] como na FIGURA 35.

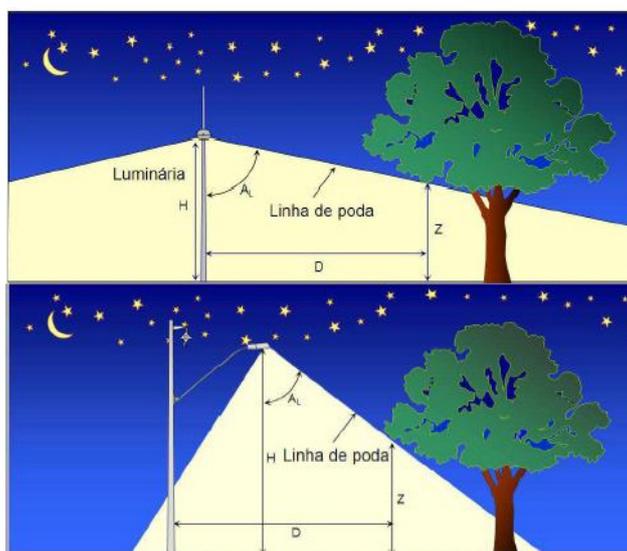


FIGURA 35. Projeção da desobstrução longitudinal (acima) e lateral (abaixo).

Fonte: CEMIG, 2012.

A equação 12 deve ser utilizada no caso de adequação dos sistemas existentes onde a posteação e as árvores já existem; de implantação de novos sistemas de iluminação em praças, vias e calçadões e de implantação de novas árvores em praças, vias e calçadões [1].

$$(12) \quad Z = H - (A \times D)$$

Sendo:

Z = Altura mínima de um galho;

H = Altura de montagem da luminária;

$AL = \cot 750 = 0,26$ (ângulo de máxima incidência de luz para o sentido longitudinal);

$AT = \cot 600 = 0,57$ (ângulo de máxima incidência de luz para o sentido transversal);

D = Distância mínima do galho de menor altura.

2.7.6 Malha para Verificação Detalhada

Para as medições ou cálculos de iluminância em procedimentos que exigem detalhamento é usada a malha de verificação, sendo que os pontos da malha devem ser definidos pelas intersecções das linhas transversais e longitudinais à pista de rolamento e às calçadas, como pode ser visto na FIGURA 36 [1].

Definição entre os espaçamentos da malha, segundo [1]:

- Espaçamento longitudinal: $s_{gl} = s/16$, onde s é o espaçamento entre postes.
- Espaçamento transversal: $s_{gt} = 0,2 \cdot fr$, onde fr é a largura da faixa de rolamento.

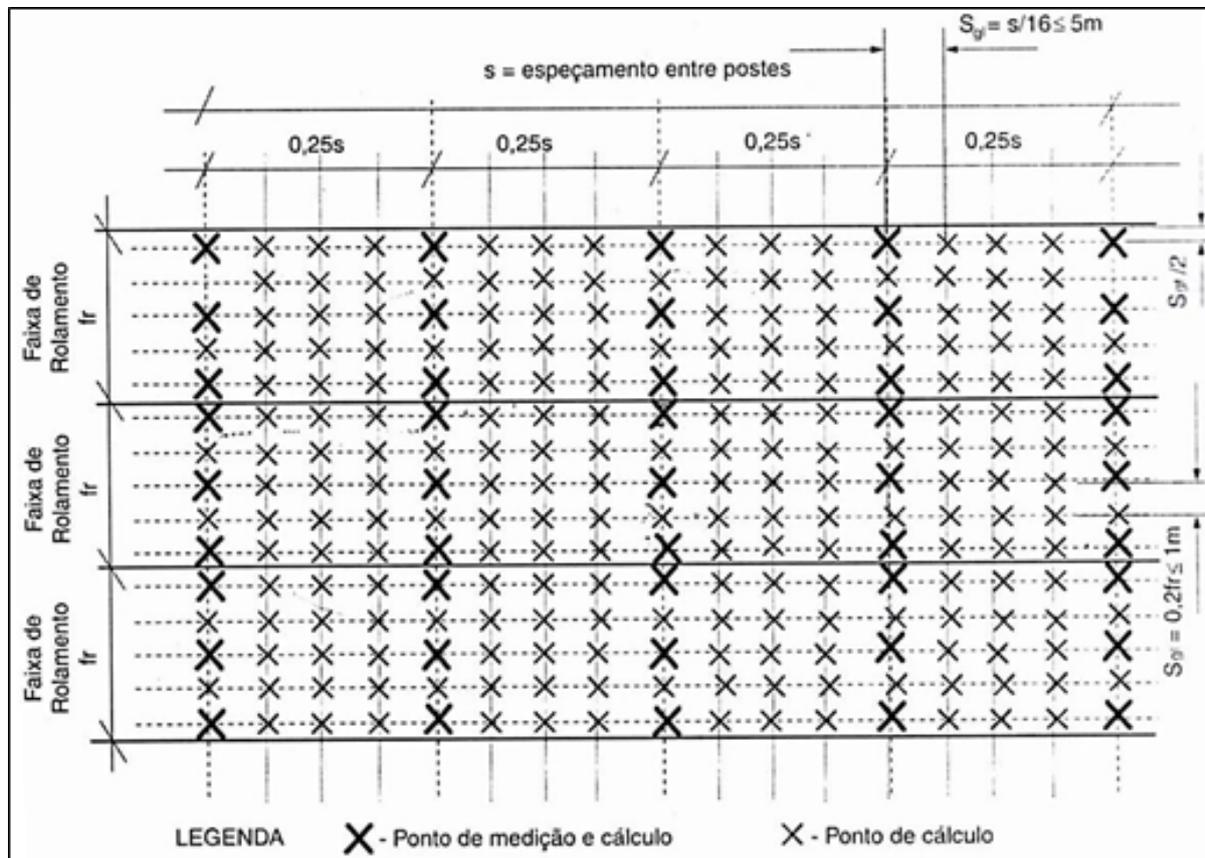


FIGURA 36. Malha para verificação detalhada.

Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

2.7.7 Malha de Medição

Deve ser constituída por um subconjunto dos pontos da malha de cálculo, como descrito no item 2.7.6 acima. As intersecções das linhas longitudinais e transversais definem os pontos da malha de medição. Na TABELA 4 a seguir, os pontos das malhas de cálculo e de medição são definidos em função do número de faixas de rolamento da via [1]:

TABELA 4. Pontos das malhas

Número de faixas de rolamentos	Quantidade de pontos da grade de cálculo	Quantidade de pontos da grade de medição
1	17*5 = 85	15
2	17*10 = 170	30
3	17*15 = 255	45
4	17*20 = 340	60
5	17*25 = 425	75

Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

A malha de medição é usada para verificações periódicas onde a iluminância média $E_{\text{méd}}$ é dada pela expressão:

$$(13) \quad E_{\text{med}} = \frac{\text{Somatório das iluminâncias dos pontos de malha}}{\text{Quantidade de pontos}}$$

2.7.8 Malha de Referência

A TABELA 5, mostra os valores base para malha de referência em cada tipo de via.

TABELA 5. Configuração da grade de referência de acordo com a classe de iluminação da via.

Classe de iluminação da via	Vão médio	Altura de montagem	Número de faixas de trânsito da via	Largura por faixa davia	Largura total da via/calha	Avanço	Número de pontos de projeto	Número de pontos de medição
	m	m		m	m	m		
V5	35	7	3	2,7	8	1,5	72	24
V4	35	8	3	3	9	1,5	72	24
V3	35	8	3	3	9	1,5	72	24
V2	35	9	4	2,7	10,8	2,5	96	32
V1	40	12	4	3	12	3	96	32

Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

Ela é usada para comparação de padrões específicos utilizados pelos diversos órgãos prestadores de serviço de iluminação pública. A malha de referência é obtida de acordo com a malha de medição para cada tipo e potência de lâmpada e para configuração de instalação [1].

2.7.9 Disposição das Luminárias

Para projetos especiais, segundo [5], é aplicado a seguinte configuração:

$H \geq L$ e $e \geq 3,5 H$ (mínimo)

Onde:

L = largura da pista de rolamento (mais acostamento quando houver);

H = altura de montagem da luminária;

e = espaçamento entre postes. Exemplificada na FIGURA 37.

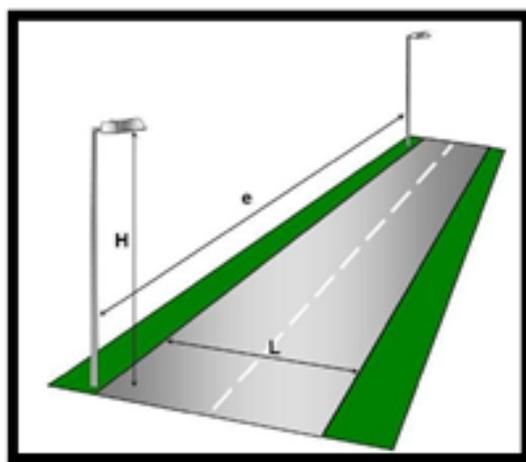


FIGURA 37. Configuração básica para projetos especiais de IP.

Fonte: CEMIG, 2012.

Nos centros urbanos onde existe grande circulação de pedestres, o espaçamento entre postos é reduzido dando prioridade a distribuição luminosa. A disposição das luminárias é de acordo com a largura da via (L), altura de montagem da luminária (H) e quando for o caso a largura do canteiro central (D). Também, deve ser observado qual a melhor opção para o avanço da luminária, se deve ser utilizado suporte de topo de poste ou chicote. As luminárias podem ser dispostas da seguinte forma [1]:

- Posteação Unilateral (FIGURA 38);

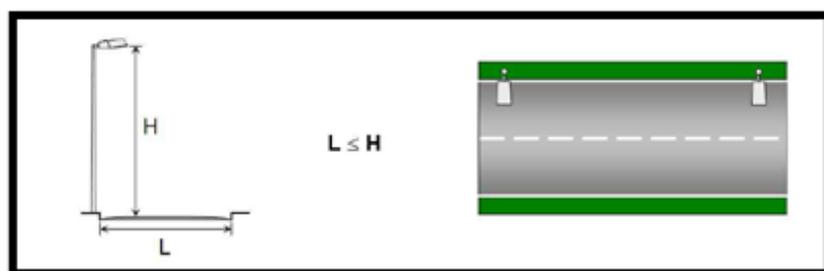


FIGURA 38. Posteação Unilateral.

Fonte: CEMIG, 2012.

- Posteação Bilateral Alternada (FIGURA 39);

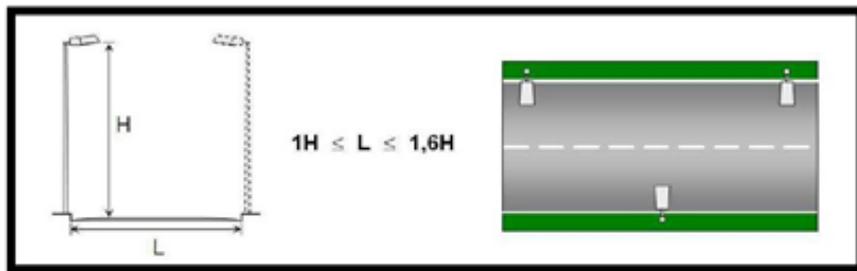


FIGURA 39. Posteação Bilateral Alternada.

Fonte: CEMIG, 2012.

- Posteação Bilateral Frente a Frente (FIGURA 40);

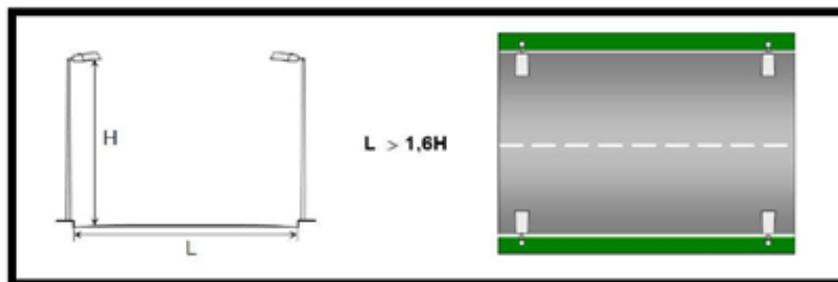


FIGURA 40. Posteação Bilateral Frente a Frente.

Fonte: CEMIG, 2012.

- Posteação no Canteiro Central (FIGURA 41).

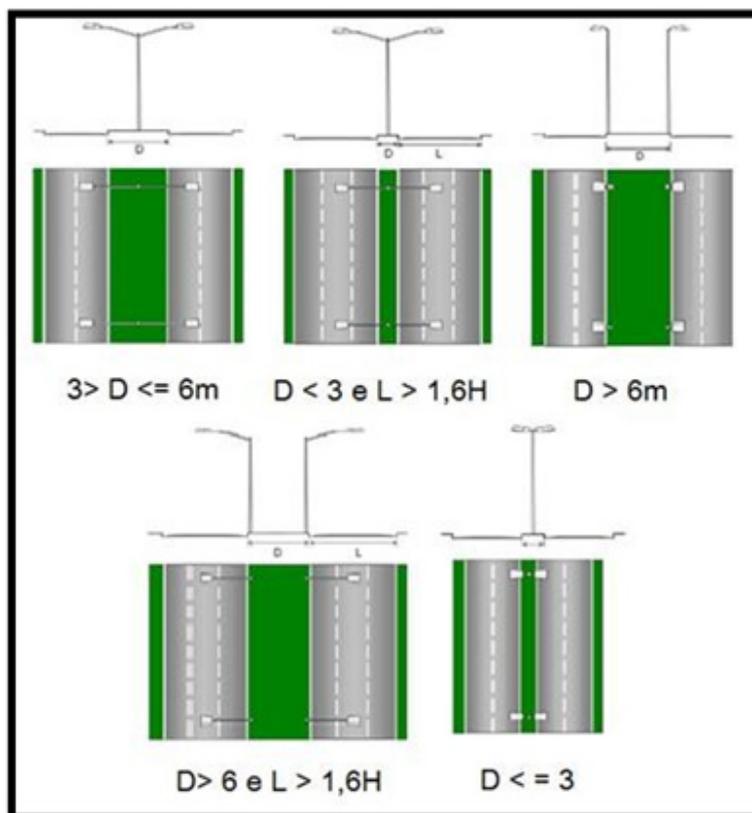


FIGURA 41. Posteação no Canteiro Central.

Fonte: Adaptado CEMIG, 2012.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento do trabalho foi utilizado dois modelos de cada lâmpada para a realização do estudo. Os dados das lâmpadas que estudadas, foram obtidos em seus respectivos catálogos e estão disponibilizados no QUADRO 9, sendo que, as lâmpadas usadas para teste foram:

- Lâmpadas a Vapor de Sódio da OSRAM;
- Lâmpadas LED da LEDSTAR e da ZAGONEL;
- Lâmpadas de Indução da SOKO e da PUMA LUZ.

		Indução	LED	Vapor de Sódio
Potência	(W)	150	150	150
Vida útil	(H)	> 80.000	50.000	24.000
Voltagem	(V)	127/220	127/220	220
IRC		> 80	80	25
Fluxo Luminoso	(Lumens)	10.500	14.619	15.000
Intensidade Luminosa	lm/W	70	97	100
Fator de Potência		0,996	0,98	0,65
Temperatura de cor	(K)	2.700 - 6.500	6.500	2.000
Dimensões C x L x A	(mm)	350x140x99	486,75x248,7x97,69	380x203x300

QUADRO 9. Especificação das lâmpadas.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

Para medir a Iluminância das lâmpadas foi utilizado o luxímetro (FIGURA 42). Sendo que este tinha escalas relativamente baixas, devido ao menor nível de iluminância das ruas (0,2 a 200 lux). O luxímetro ficou em posições específicas para coleta de iluminância [11].

Os dados de manutenção das lâmpadas foram disponibilizados pela Companhia de Serviços de Urbanização de Guarapuava (SURG), porém o valor não é fixo, ele depende do valor da mão de obra mais o deslocamento por ponto executado e mais serviço de manutenção corretiva na rede de IP que custa em torno de 17,32 reais.

Os estudos foram realizados nos sistemas de IP de Guarapuava, Paraná, na Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, na Rua Saldanha Marinho e na Avenida Castelo Branco. Para o levantamento de dados de iluminância foi projetada uma malha de medição para cada via, seguindo passos da NBR5101: 2012. As malhas de medições são apresentadas nas FIGURAS 44, 46 e 48. As vias foram divididas em:

- FP= faixa de postes;
- FP e VP2= faixa de postes e via para pedestres 2;
- FR= faixa de rolamento;
- VP1= via para pedestres 1;
- VP2 = via para pedestres 2.



FIGURA 42. Luxímetro.

Fonte: Mercado livre. Disponível em: <<http://www.pce-medidores.com.pt/medicoes/luxímetros.htm>>.

A Avenida Professora Laura Pacheco Bastos (FIGURA 43) é uma via local urbana iluminada por lâmpadas públicas de Indução eletromagnéticas, essa avenida dá acesso a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) sendo considerada uma via de tráfego leve. É constituída de pavimentação em asfalto, com duas pistas para circulação de veículos e 2 pistas para pedestres, os postes estão posicionados no canteiro central. Cada poste possui duas lâmpadas de indução eletromagnética de 150 W, mas somente em uma via foram coletados os dados.



FIGURA 43. Lâmpadas de indução na Avenida Professora L. P. Bastos.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

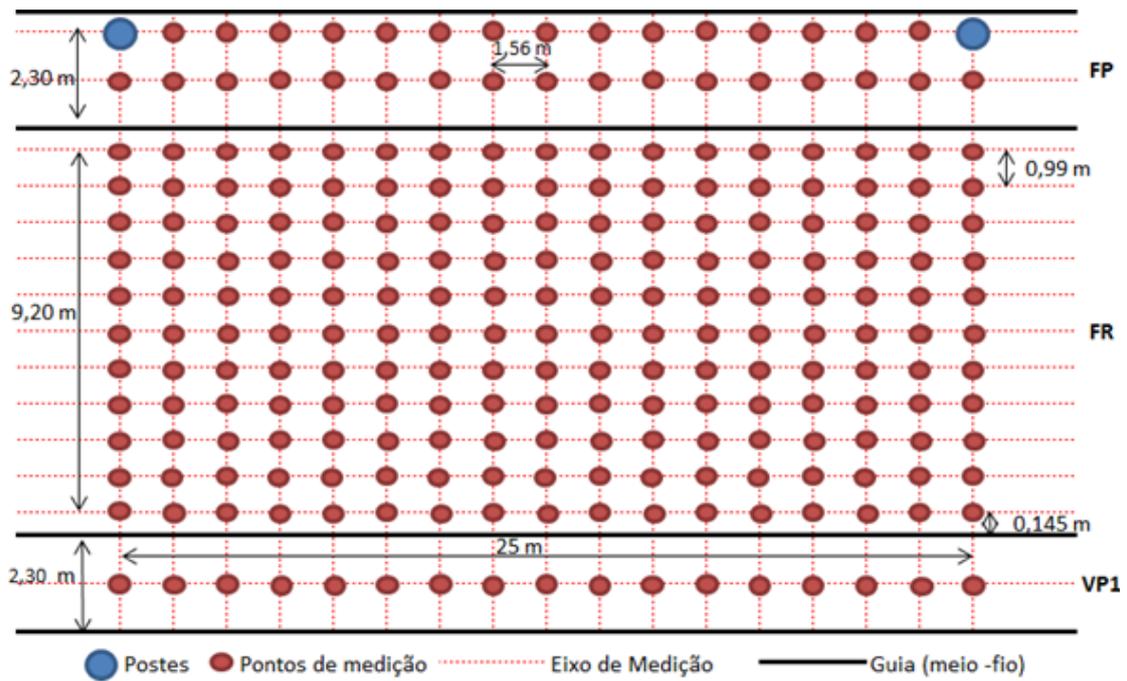


FIGURA 44. Pontos da malha de medição da via com lâmpadas de indução.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

A Rua Saldanha Marinho (FIGURA 45) é uma via coletora urbana iluminada por lâmpadas de LED, sendo uma lâmpada para cada poste, essa via se encontra no centro de Guarapuava e é uma das ruas mais movimentadas da cidade durante o dia, mas a noite seu tráfego leve. Sua pavimentação é em asfalto com uma pista para veículos e duas pistas para pedestres, com posteação unilateral.



FIGURA 45. Lâmpadas LED na rua Saldanha Marinho.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

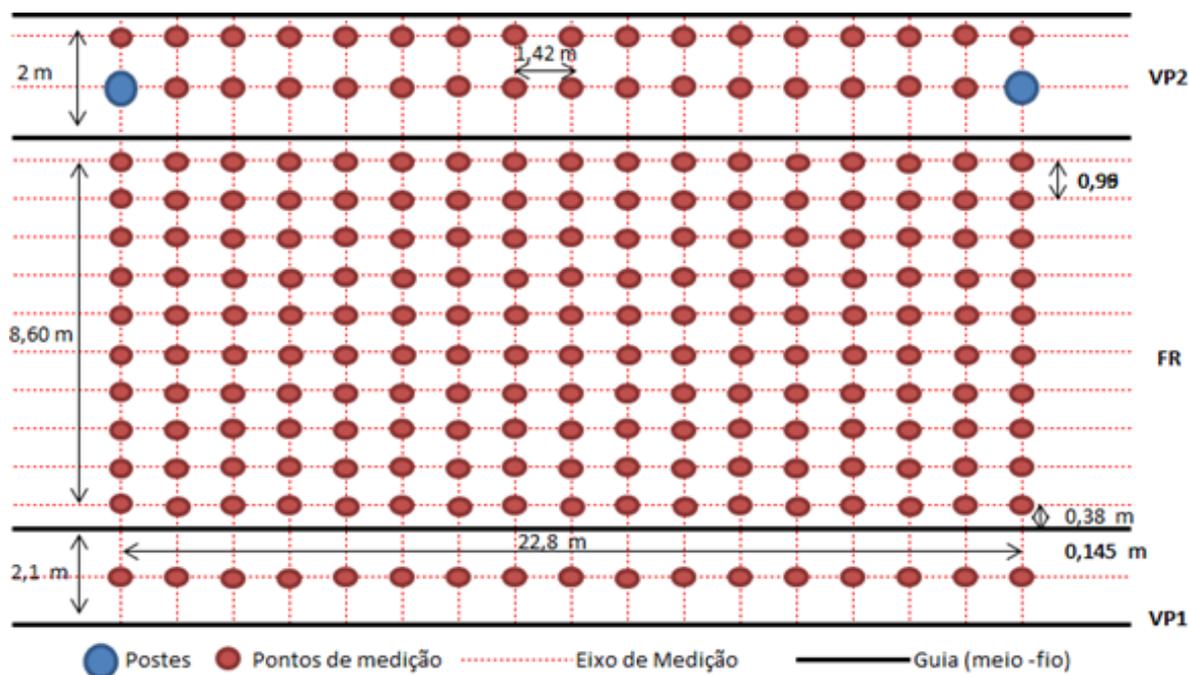


FIGURA 46. Pontos da malha de medição da via com lâmpadas de LED.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

A Avenida Castelo Branco (FIGURA 47) também é uma rua coletora urbana, sendo que, para sua iluminação, são usadas as lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão. Essa via possui um grande volume de veículos durante o dia, mas durante a noite seu tráfego é leve. Sua posteação é unilateral e a pavimentação em asfalto, com uma pista para veículos e duas pistas para pedestres.



FIGURA 47. Lâmpadas a Vapor de Sódio na Avenida Castelo Branco.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

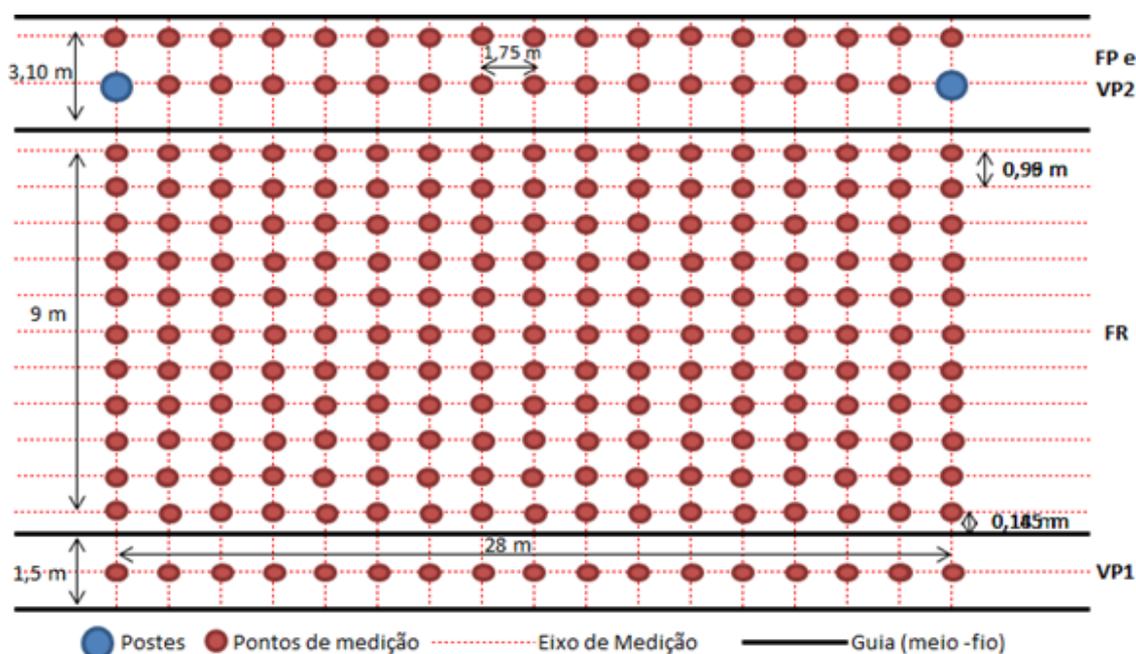


FIGURA 48. Pontos da malha de medição da via com lâmpadas de Vapor de Sódio.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

Também foi feito um estudo detalhado para cada lâmpada (vapor de sódio, LED e indução) na Faculdade Guarapuava, como mostra a figura 50, onde os pontos medidos foram de acordo com o espaço livre para medição de iluminância. A seguir é apresentada malha usada para obtenção dos dados, sendo que, foi usada a mesma malha de medição para os 3 modelos de lâmpadas com 150 W de potência cada.

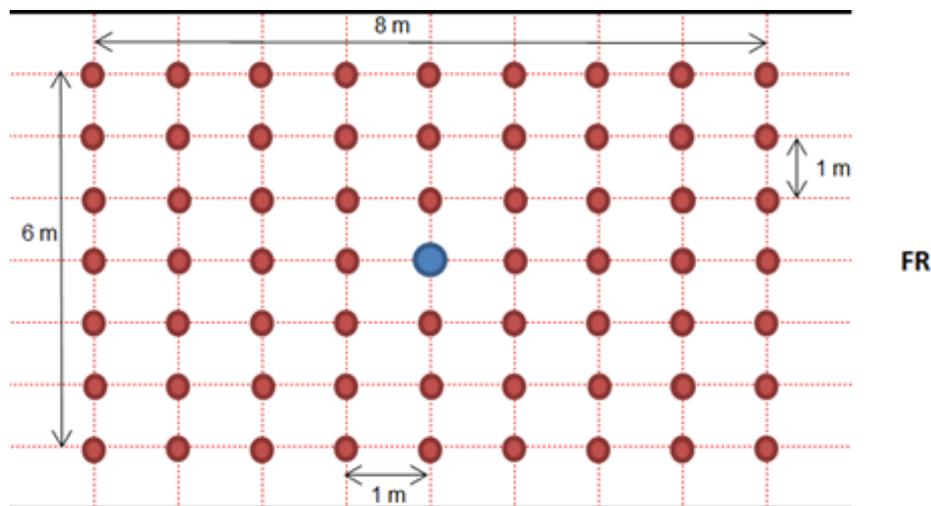


FIGURA 49. Pontos das malhas de medições na Faculdade Guarapuava.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.



FIGURA 50. Lâmpadas estudadas no laboratório da Faculdade Guarapuava.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

4. RESULTADOS

Este trabalho utilizou pesquisa documental e experimental como base do projeto, pois os dados obtidos foram na forma de informações técnicas fornecidas pelos fabricantes e dados técnicos obtidos com ensaios feitos em campo. Foram feitas medições para aquisição de dados de consumo de cada lâmpada.

4.1 COLETA DOS DADOS DE ILUMINÂNCIA

Com os pontos das malhas de medições das vias públicas, foram coletados os dados de iluminância apresentados nas FIGURAS 51, 52 e 53 sendo que os pontos mais avermelhados são os de maior iluminância, a seguir são apresentados os dados medidos:

- **Indução:**

FP	81	72	77	70	63	50	47	36	41	41	59	68	79	97	113	110	128
	92	90	88	88	65	52	50	50	38	50	56	70	83	101	115	131	131
	97	88	81	81	61	50	52	47	41	50	52	65	79	92	108	124	128
	99	95	90	90	70	56	52	50	47	52	59	68	83	97	108	117	124
	95	92	90	90	70	59	54	36	47	52	59	65	81	99	99	110	108
	86	90	88	88	68	59	54	36	47	50	56	63	77	86	95	90	99
FR	81	86	83	83	65	59	52	47	47	50	56	56	70	77	86	81	92
	72	81	77	77	63	54	50	45	47	47	54	54	65	70	77	68	86
	63	70	70	70	59	52	47	43	45	45	52	50	59	63	68	63	83
	56	63	63	63	54	50	47	43	43	43	47	47	52	59	61	54	72
	52	56	56	56	50	47	43	41	41	43	45	45	50	54	56	52	65
	52	52	52	52	47	45	43	41	41	36	43	43	45	50	52	50	59
VP1	52	47	47	47	45	41	41	38	38	34	41	43	45	45	50	47	52
	43	43	43	43	41	38	38	38	38	38	38	38	43	45	45	45	47

FIGURA 51. Valores das medições feitas na malha da lâmpada de indução.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

• **LED:**

VP2	21	27	20	21	19	20	20	20	23	24	25	26	26	27	29	31	31
	29	28	27	22	20	23	22	23	26	26	26	28	32	35	37	42	42
FR	35	32	33	27	32	25	27	29	29	29	27	30	36	34	41	47	48
	46	43	40	39	42	38	34	33	32	32	31	33	36	38	45	56	57
	56	52	49	48	47	43	40	37	35	34	34	35	40	45	47	57	58
	61	59	55	51	49	43	42	38	36	37	36	35	43	46	47	56	57
	60	62	55	50	51	45	43	40	39	38	38	37	44	46	49	55	55
	58	57	50	47	50	46	42	40	37	39	39	37	45	46	48	50	52
	50	55	46	44	47	44	40	41	39	37	38	37	43	41	47	47	47
	43	47	41	40	43	42	39	38	38	36	37	35	41	40	41	40	42
	40	43	39	39	40	40	39	37	38	35	38	36	40	35	38	37	38
	39	41	36	37	37	37	37	35	32	31	35	33	35	30	33	36	35
VP1	35	40	35	36	35	36	35	33	29	30	29	31	29	25	28	30	30

FIGURA 52. Valores das medições feitas na malha da lâmpada de LED.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

• **Vapor de Sódio de Alta Pressão:**

FP e	21	18	17	17	18	15	14	13	13	13	14	14	15	14	16	17	18	
VP2	23	20	18	17	17	15	14	13	14	14	16	16	16	16	17	20	19	
FR	25	22	20	18	18	18	15	15	15	15	16	16	16	17	18	20	20	
	25	24	22	18	18	18	17	16	16	17	17	16	17	18	19	20	20	
	27	26	24	20	18	18	18	16	17	18	18	17	18	19	20	22	21	
	28	28	25	21	19	18	19	17	17	18	18	18	18	18	20	21	22	22
	28	28	25	22	19	19	20	18	17	18	18	18	18	18	20	21	22	22
	27	27	25	21	18	19	18	18	18	18	18	17	17	17	20	20	20	21
	25	26	22	20	17	18	18	18	18	18	17	16	17	17	19	19	20	20
	23	22	20	19	16	17	18	18	17	17	16	16	16	17	19	18	18	18
	20	20	18	17	15	17	17	18	16	16	15	15	16	17	17	17	17	17
	18	18	17	16	14	16	16	16	16	16	15	15	15	15	16	16	16	16
16	17	15	16	14	15	15	16	16	14	15	14	15	15	15	15	16	15	
VP1	16	15	15	14	14	14	15	15	15	14	14	14	14	14	15	15	14	

FIGURA 53. Valores das medições feitas na malha da lâmpada de VSAP.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

A partir dos dados exibidos acima, foram calculadas iluminâncias média, mínima e máxima de cada malha e seu fator de uniformidade, que podem ser vistos nas TABELAS 6, 7 e 8 para as lâmpadas de:

• **Indução:**

TABELA 6. Especificação da malha da via com lâmpadas de indução.

Especificação Via	VP1	FR	FP
Pontos da Malha	17x1	17x11	17x2
E máx (lux)	47	128	131
E mín (lux)	38	34	36
E méd (lux)	41	63	76
Uniformidade	0,92	0,53	0,47

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

- **LED:**

TABELA 7. Especificação da malha da via com lâmpadas de LED.

Especificação Via	VP1	FR	VP2
Pontos da Malha	17x1	17x10	17x2
E máx (lux)	40	62	42
E min (lux)	25	25	19
E méd (lux)	32	41	26
Uniformidade	0,77	0,60	0,71

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

- **Vapor de Sódio de Alta Pressão:**

TABELA 8. Especificação da malha da via com lâmpadas de VSAP.

Especificação Via	VP1	FR	FP e VP2
Pontos da Malha	17x1	17x11	17x2
E máx (lux)	16	28	23
E min (lux)	14	14	13
E méd (lux)	15	18	16
Uniformidade	0,96	0,75	0,80

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

O mesmo procedimento foi realizado para as lâmpadas, mas utilizando um laboratório da Faculdade Guarapuava, sendo exibidos os dados nas FIGURAS 54, 55 e 56 e nas TABELAS 9, 10 e 11. Apresentados a seguir para as lâmpadas de:

- **Indução**

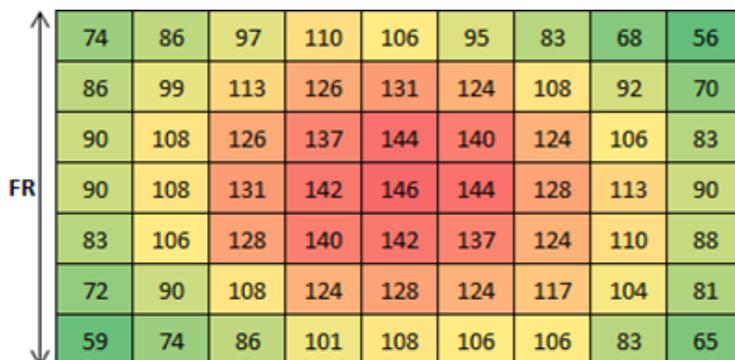


FIGURA 54. Resultado das medições feitas para a lâmpada de indução.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

TABELA 9. Especificação da lâmpada de indução.

Especificação	FR
Pontos da Malha	9x7
E máx (lux)	146
E min (lux)	56
E méd (lux)	106
Uniformidade	0,531915

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

• **LED:**

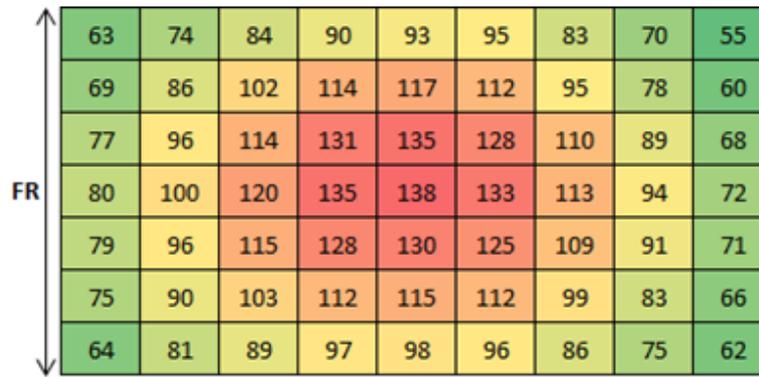


FIGURA 55. Resultado das medições feitas para a lâmpada de LED.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

TABELA 10. Especificação da lâmpada de LED.

Especificação	FR
Pontos da Malha	9x7
E máx (lux)	138
E min (lux)	55
E méd (lux)	96
Uniformidade	0,58

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

• **Vapor de Sódio de Alta Pressão:**

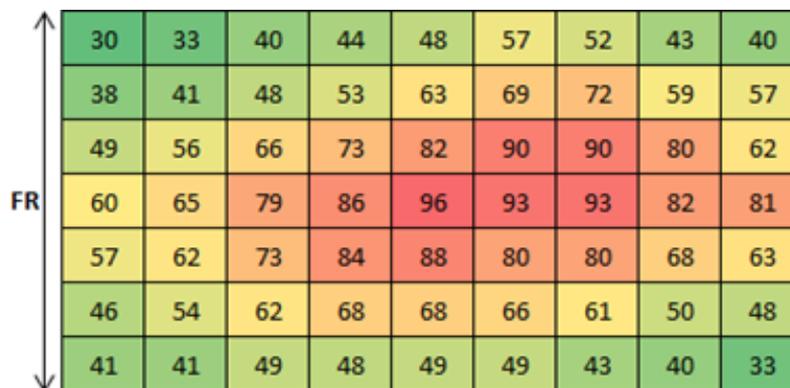


FIGURA 56. Resultado das medições feitas para a lâmpada de VSAP.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

TABELA 11. Especificação da lâmpada de VSAP.

Especificação	FR
Pontos da Malha	9x7
E máx (lux)	96
E min (lux)	30
E méd (lux)	61
Uniformidade	0,49

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

4.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Ao acompanhar o funcionamento das lâmpadas de indução, LED e VSAP foi visto algumas vantagens e desvantagens que são apresentadas na tabela abaixo:

TABELA 12. Vantagens e desvantagens das lâmpadas.

	Vantagens	Desvantagens
Indução	Restart instantâneo Maior vida útil (80.000 horas) Menor depreciação luminosa 98% reciclável	Auto custo de aquisição Utiliza reator para partida
LED	Multivoltagem (85 a 277 Volts) Ótimo IRC Alta vida útil (50.000 horas) Não utiliza equipamentos auxiliares Não possui filamentos ou descarga de gases Restart instantâneo	Ofuscamento de visão Maior custo de aquisição Vida útil pequena/média Baixo IRC
VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO	Menor custo de aquisição Melhor intensidade luminosa	Distorção de cores Ofuscamento de visão

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

4.3 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Os custos das lâmpadas de LED e de Vapor de Sódio de Alta Pressão foram disponibilizados pela empresa PATOESTE e os custos da lâmpada de indução pela empresa PUMA LUZ Iluminação. Sendo disponibilizados na TABELA 13.

TABELA 13. Custos de cada lâmpada em um período de 21 anos.

	INDUÇÃO	LED	VSAP
Potência	150	150	150
Fator de Potência	0,996	0,98	0,65
Preço da lâmpada (R\$)	476,00	975,47	29,64
Preço dos equipamentos auxiliares (R\$)	455,00	0	80,00
Consumo de energia das lâmpadas (kWh)	49,5	49,5	49,5
Período (anos)	21	21	21
Lâmpadas trocadas	1	2	6
Gasto com lâmpadas (R\$)	931,00	1950,94	657,84

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

5. CONCLUSÃO

As malhas de medições feitas para as vias públicas estudadas mostraram que elas atendem o nível mínimo de iluminância e uniformidade adotados pela NBR 5101:2012. Os dados mostraram que a Avenida Castelo Branco apresenta um melhor índice de uniformidade e a Avenida Professora Laura Pacheco Bastos um melhor nível de iluminância média.

Os cálculos feitos no laboratório da Faculdade Guarapuava serviram para uma verificação mais detalhada dos níveis de iluminância das lâmpadas, sendo que, a lâmpada de LED obteve melhor índice de uniformidade e a lâmpada de indução o valor mais alto de iluminância média.

Segundo os dados obtidos nos catálogos das lâmpadas, a lâmpada de indução apresenta maior vida útil e melhor índice de reprodução de cor, a lâmpada de LED possui vida útil alta e um índice de reprodução bom, sendo quase os mesmo que os da lâmpada de indução e, a lâmpada a vapor de sódio apresentou melhor fluxo luminoso e maior intensidade luminosa, porém, menor fator de potência.

Analisando os custos das lâmpadas em um período de 21 anos, é possível verificar que a lâmpada a vapor de sódio necessita de várias manutenções no decorrer dos anos, a lâmpada de LED apenas de uma manutenção e a lâmpada de indução nenhuma. Porém, a lâmpada a vapor de sódio obteve menor custo. As lâmpadas estudadas continham a mesma potência nominal, para que a iluminância fosse do mesmo nível para todas as lâmpadas de LED e de indução poderiam ser substituídas por lâmpadas com potência menor, gerando assim, economia no consumo de energia.

O tratamento e análise dos dados poderão contribuir para que os órgãos públicos possam decidir de forma satisfatória sobre a escolha de um tipo de lâmpada ideal para a iluminação pública, pois, este trabalho avalia as tecnologias utilizadas neste setor através dos seguintes impactos:

Impacto Tecnológico

O progresso tecnológico futuro está intrinsecamente ligado à evolução das tecnologias. Nesse sentido, este estudo destacou o impacto tecnológico incorporado aos sistemas de iluminação. Ou seja, até hoje a busca é pelo desenvolvimento onde os novos modelos de lâmpadas tenham eficiência luminosa igual ou superior as lâmpadas atuais.

Impacto Econômico

Este estudo abrange uma análise econômica que considera tanto o custo de aquisição das lâmpadas quanto dos dispositivos de acionamento

Impacto Científico

Este estudo pode suscitar a demanda por investigações adicionais relacionadas à utilização e desenvolvimento de novos modelos de sistemas de iluminação, estimulando indústrias e empresas a aprimorar suas pesquisas nesse campo

REFERÊNCIAS

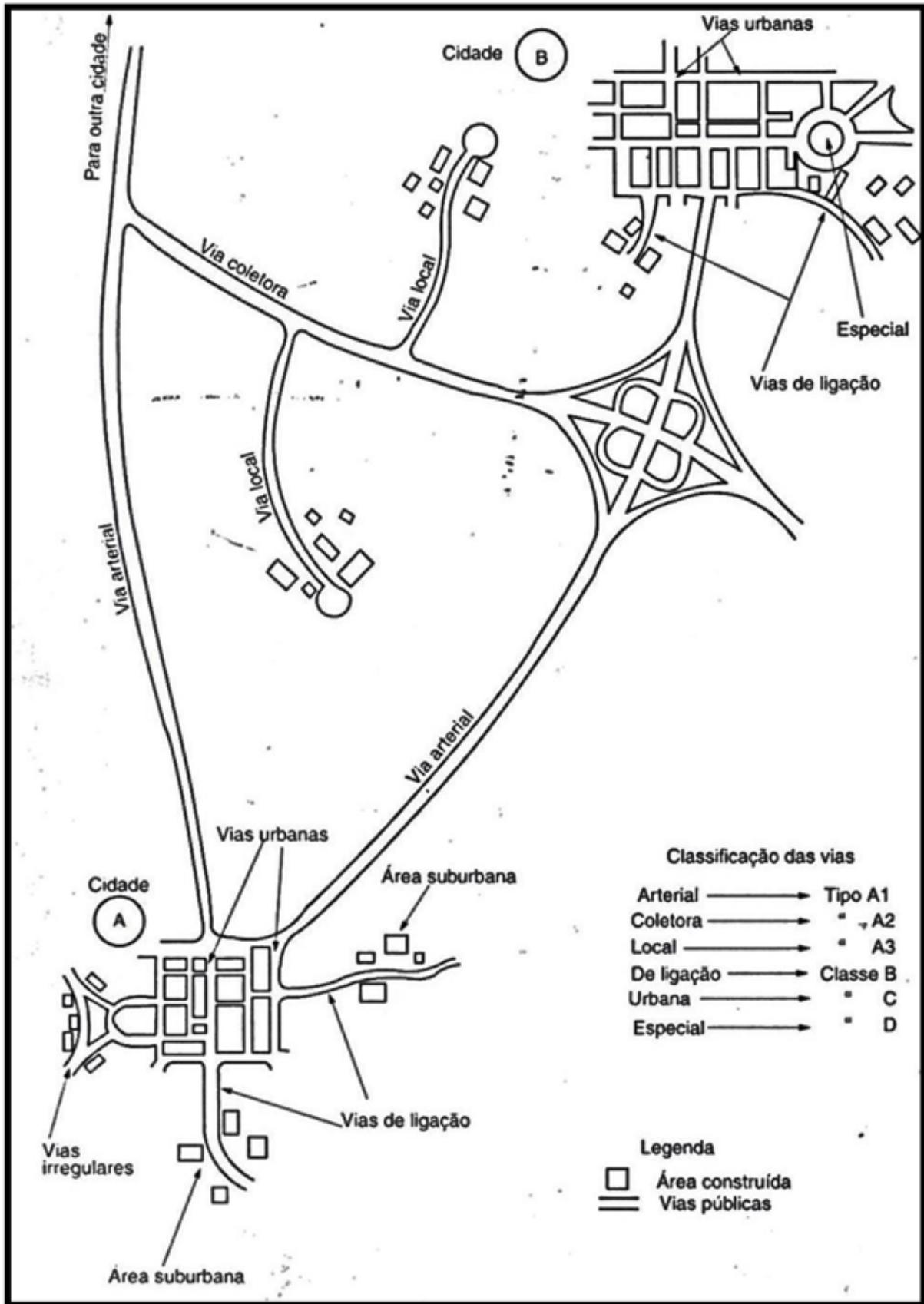
- [1] ABNT NBR 5101, Iluminação pública – Procedimento. 2012.
- [2] ASCURRA, Rodrigo. Eficiência em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED: Um estudo de caso. 2013. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso. Mato Grosso. 2013.
- [3] BARBOSA, Robson. A gestão e o uso eficiente da energia elétrica nos sistemas de iluminação pública. 2000. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000
- [4] CASTRO; LUCIANO, 2013. Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Pública. Paraíba. 2012.
- [5] CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. Manual de Distribuição: Projetos de Iluminação Pública. Minas Gerais. 2012. 64 p.
- [6] COPEL. Companhia Paranaense de Energia. Manual de Iluminação Pública. Paraná. 2012. 44 p.
- [7] FRÓES DA SILVA, Lourenço Lustosa. Iluminação Pública no Brasil. 2006. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.
- [8] KALACHE et al, 2013. Análise comparativa de sistemas de iluminação: viabilidade econômica da aplicação de LED. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2013.
- [9] LVD. Lâmpadas de Indução. Disponível em:<http://www.lvd.cc/pro_1.html>. Acesso em: 07 out. 2016.
- [10] MARTINS, Juliana. O papel social da luz urbana. Disponível em:<<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-empresa/745-o-papel-social-da-luz-urbana.html>>. Acesso em: 06 mai. 2016.
- [11] MOREIRA, Vinícius de Araújo. Iluminação Elétrica. São Paulo: Blucher, 1999. 189 p. ISBN 978-85-212-0175-5.
- [12] PEREIRA; SOUZA, 2005. Iluminação. Dissertação (Pós-Graduação em arquitetura e urbanismo e Pós-Graduação em Construção Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina. 2005. 120 p.
- [13] REMOALDO OLIVEIRA, Ana Filipa. Melhoria da eficiência energética na escola de hotelaria e turismo do porto. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia e Universidade do Porto. 2015. 114 p.
- [14] RODRIGUES et al, 2010. Um estudo comparativo de sistemas de iluminação pública: estado sólido e lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão. Universidade federal. 2010.
- [15] ROSITO, Luciano Haas. Desenvolvimento da Iluminação pública no Brasil. O Setor Elétrico, jan./jul. 2009. Disponível em: <http://www.fne.org.br/upload/documentos/projetos/iluminacao_publica/desenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf> Acesso em: 20 mar. 2016.
- [16] SANTOS, Cristiana Raquel Aragão. Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética. 2011. Dissertação (Mestrado Interligado em Engenharia Eletrotécnica e de Com-

putadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2011.

- [17] SCHNEIDER, Jadiel Luis. Estudo de viabilidade econômica para substituição do sistema de iluminação por vapor metálico para lâmpadas de indução ou fluorescentes. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Horizontina. 2014.
- [18] SCHULZ, Willy. Iluminação Pública. Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná. Paraná: Série de Cadernos Técnicos, 2009/2011.
- [19] SILVA, Mauri Luiz da. Luz, Lâmpadas & Iluminação. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2014. 159 p. ISBN 978-85-399-0595-9.
- [20] TEIXEIRA, Armínio (2004). Fontes Luminosas. TECI. Porto: FEUP.

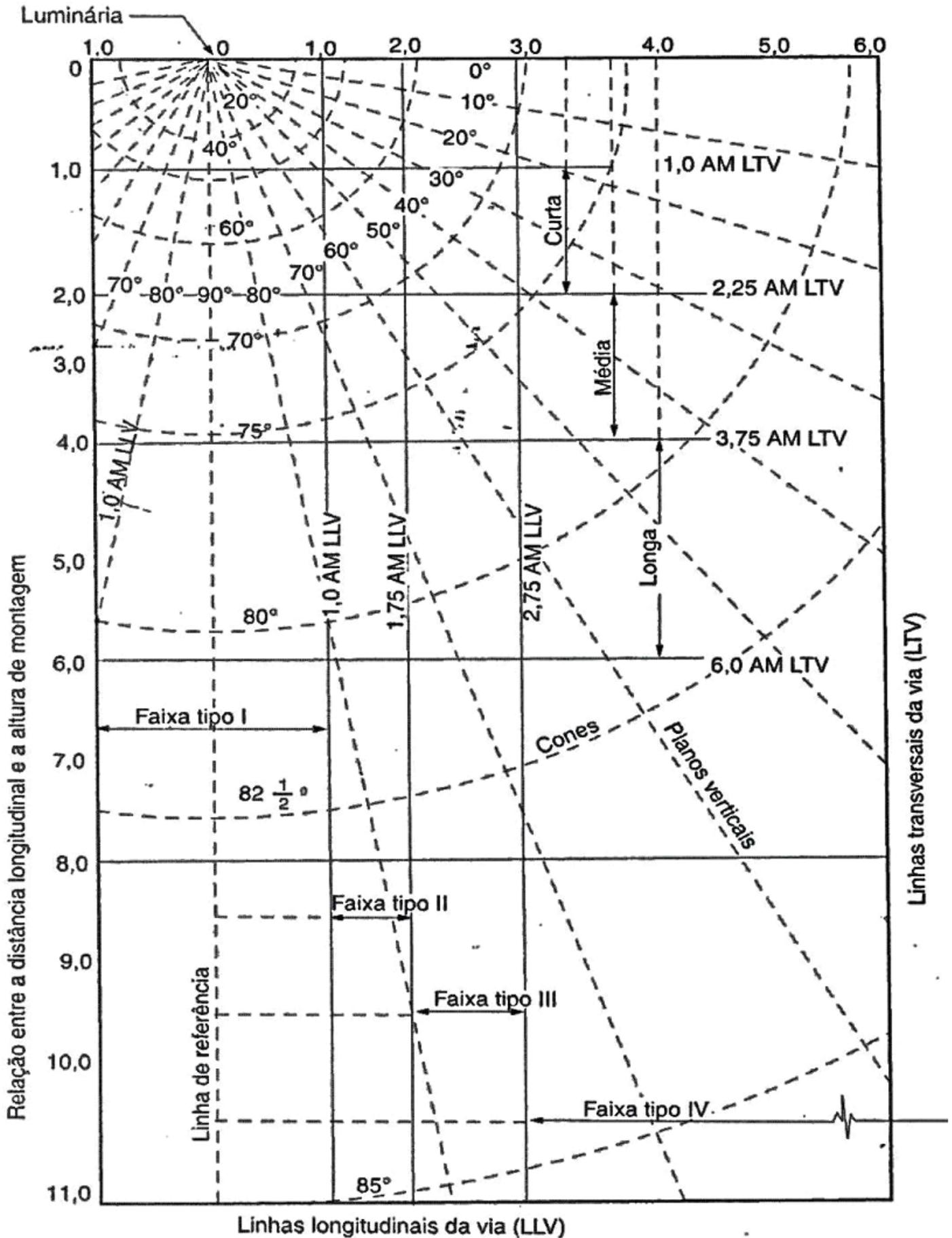
ANEXOS

ANEXO 1. Classificação das vias públicas.



Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

ANEXO 2. Relação entre a distância transversal e altura de montagem.



Fonte: ABNT NBR 5101: 2012.

ISBN: 978-65-80751-99-0

ORL



9 786580 751990