

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MOZER RAMONT AREIAS PEREIRA

**ESTUDO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE PARA A RODOVIA DUCA SERRA NA  
CIDADE DE MACAPÁ-AP**

**Macapá – AP**

**Fevereiro/2017**

MOZER RAMONT AREIAS PEREIRA

**ESTUDO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE PARA A RODOVIA DUCA SERRA NA  
CIDADE DE MACAPÁ-AP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amapá como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Área de concentração:**

Sistemas Elétricos de Potência

**Linha de Pesquisa:**

Eficiência Energética

**Orientadora:**

Prof.<sup>a</sup>Ma. Michele de Nazaré Novaes Santos

**Macapá – AP**

**Fevereiro/2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

621.319

P436E Pereira, Mozer Ramont Areias.

Estudo de iluminação eficiente para a Rodovia Duca Serra na Cidade de Macapá-Ap / Mozer Ramont Areias Pereira; orientadora, Michele de Nazaré Novaes Santos. -- Macapá, 2017.

111 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

1. Sistema de iluminação pública. 2. Rede elétrica – Proposta – Rodovia Duca Serra/Amapá. I. Santos, Michele de Nazaré Novaes, orientadora. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

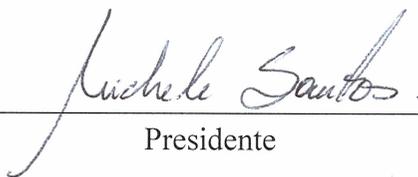


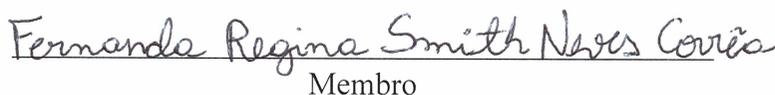
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

### ATA DE DEFESA DE TCC

Às 15h10 horas do dia 17 de fevereiro de 2017, nas dependências da Universidade Federal do Amapá, reuniu-se a Banca Examinadora para defesa de TCC intitulado ESTUDO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE PARA A RODOVIA DUCA SERRA NA CIDADE DE MACAPÁ-AP de autoria do aluno MOZER RAMONT AREIAS PEREIRA regularmente matriculado no Curso de Engenharia Elétrica desta universidade. A banca Examinadora foi assim constituída: Prof. Ma. MICHELE DE NAZARÉ NOVAES SANTOS, Presidente da Banca e Orientador, Prof. Me. ANDREY DA COSTA LOPES e Profa. Ma. FERNANDA REGINA SMITH NEVES CORRÊA, como examinadores. Concluída a defesa, foram realizadas as arguições e comentários. Em seguida procedeu-se o julgamento pelos membros da Banca Examinadora, tendo o projeto sido APROVADO, NOTA: 8,8. E, para constar, eu, MICHELE DE NAZARÉ NOVAES SANTOS, presidente da Banca Examinadora, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada por mim e demais membros da Banca Examinadora.

Macapá(AP), 17 de fevereiro de 2017.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Membro

  
\_\_\_\_\_  
Membro

Aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado apoiando-me nos momentos difíceis. Aos meus familiares e amigos, pelo incentivo e apoio constantes.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por possibilitar a minha existência e o desfruto desta experiência engrandecedora.

Aos familiares, pelo incentivo nos momentos difíceis, de cansaço e desânimo, pela educação e valores basilares transmitidos que permitiram o desfruto desta conquista pessoal.

Aos amigos, pelo companheirismo, apoio que sempre me forneceram em momentos difíceis.

À professora Ma. Michele de Nazaré Novaes Santos, por acolher-me como orientando, pela paciência, estímulo, conhecimento e dedicação, disponibilizando muito do seu tempo para a construção deste trabalho, bem como por transmitir-me conhecimento durante o curso de Engenharia Elétrica.

À Universidade Federal do Amapá, pela oportunidade de realização do curso de graduação, também aos professores e técnicos do curso de Engenharia Elétrica.

À Companhia de Eletricidade do Amapá, bem representada pelo Engenheiro José Ribamar de Souza Santos Neto e pelo amigo e colega de curso Técnico Edinaldo Quintela dos Santos de Andrade, pela contribuição neste trabalho através de fornecimento de dados e conhecimento de campo sobre o sistema de distribuição da via de estudo.

Aos que ajudaram de forma direta ou indireta no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho propõe um estudo sobre iluminação pública eficiente e inovadora para a rodovia Duca Serra, localizada na cidade de Macapá no estado do Amapá, devido à importância no fluxo viário entre Macapá e Santana, as duas maiores cidades do Estado do Amapá, considerando a necessidade de iluminação adequada para a densidade do tráfego de veículos existentes na via e para as proporções desta, que atualmente está em processo de duplicação. São apresentadas as principais tecnologias utilizadas na iluminação pública no mundo e destacadas suas principais características. A fim de apresentar um projeto inovador, propõe-se o uso da tecnologia LED (*Light Emitter Diode*), esta tecnologia é confrontada com a que é utilizada pela Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA). Após a realização do projeto de iluminação, compara-se o desempenho do projeto realizado com o existente atualmente na via, analisando a viabilidade técnica da implementação do novo sistema de iluminação com o auxílio de um software para simulação. Os resultados obtidos mostraram que o projeto realizado é tecnicamente viável e pode proporcionar ótima visibilidade para os transeuntes, tanto da via quanto do acostamento, sem que seja necessário um superdimensionamento da quantidade ou potência das fontes luminosas.

**Palavras-chave:** Sistemas de Iluminação Pública. Eficiência energética. Iluminação LED

## **ABSTRACT**

This paper proposes a study about effective and innovative public illumination in the Duca Serra highway, located in the city of Macapá in the State of Amapá, due to the importance over the traffic route between Macapá and Santana, the two biggest Amapá cities, considering the need of proper illumination to the density of the existing vehicle flow on the road and its proportions, which presently is in process of duplication. The main technologies used in the public illumination are presented and they have their principal characteristics highlighted. With the goal of showing an innovative project, the use of LED (Light Emitter Diode) technology is proposed and this technology is confronted with that used by Electricity Company of Amapá (CEA). After the illumination project execution, the performance of the project performed is compared to the currently illumination available on the highway, analysing the technical viability of the new illumination system implementation with help of a simulation software. The obtained results show the performed project is technically viable and it can offer great visibility to the passers-by, from both road and roadside, without being necessary an oversizing of the quantity or power of the light sources.

**Keywords:** Public Illumination System. Energy Efficiency. LED Illumination.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 JUSTIFICATIVA E METODOLOGIA.....	12
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.3 METODOLOGIA .....	14
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>2 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b> .....	21
2.1 DEFINIÇÕES DE TERMOS LUMINOTÉCNICOS .....	21
a) LUZ .....	21
b) INTENSIDADE LUMINOSA .....	22
c) FLUXO LUMINOSO ( $\phi$ ) .....	22
d) ILUMINÂNCIA.....	22
e) LUMINÂNCIA .....	23
f) EFICÁCIA LUMINOSA ( $\eta$ ) .....	24
g) REFLETÂNCIA .....	24
h) ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC) .....	24
i) TEMPERATURA DE COR CORRELATA(TCC) .....	25
j) OFUSCAMENTO.....	25
2.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....	25
2.2.1 <i>Classificação Das Vias Públicas</i> .....	26
2.2.2 <b>Classificação do Volume de Tráfego em Vias Públicas</b> .....	28
2.2.3 <b>Características De Projetos De Iluminação Pública</b> .....	29
2.2.4 <b>Condições De Luminosidade Das Vias</b> .....	33
a) <b>Classes de Iluminação</b> .....	33
b) <b>Requisitos de Iluminância e Uniformidade</b> .....	36
2.2.5 <b>Topologias de Postejamento de Iluminação Pública</b> .....	36
2.2.6 <b>Cálculos Fotométricos Para Vias Públicas</b> .....	39
2.3 COMPONENTES DE ILUMINAÇÃO .....	41
2.3.1 <b>Fontes Luminosas</b> .....	41
a) <b>Lâmpadas Incandescentes</b> .....	41
b) <b>Lâmpadas de Vapor de Mercúrio</b> .....	42

c) Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão .....	42
d) Lâmpadas de Multivapores Metálicos .....	43
e) Lâmpada Fluorescente de Indução Magnética .....	45
f) Diodos Emissores de Luz (LEDs) .....	45
2.3.2 Luminárias .....	48
2.3.3 Driver .....	49
2.3.4 Braços .....	49
2.3.5 Ignitor .....	50
2.3.6 Reator .....	51
2.3.7 Relé Fotoelétrico .....	52
2.3.8 Rede de Distribuição .....	52
2.3.9 Dispositivos de Proteção .....	53
2.3.10 Estruturas de Sustentação da Rede Elétrica .....	53
<b>3 – ILUMINACAO PUBLICA: ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>54</b>
3.1 PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	54
3.1.1 Programa de Eficiência Energética - PEE.....	54
3.1.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel.....	55
3.2 EFICIÊNCIA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA BRASILEIRA.....	56
3.3 SOFTWARES PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO .....	58
3.3.1 <i>Software</i> DIALux – DIAL .....	59
3.4 CONSIDERAÇÕES NECESSÁRIAS PARA A REDE ELETRICA DE ALIMENTAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA. ....	60
3.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA NA RODOVIA DUCA SERRA.....	66
3.5.1 Características da Via .....	67
3.5.2 Simulação no <i>Software</i> DiaLux.....	69
3.5.3 Seleção dos Componentes do Sistema de Iluminação Pública.....	70
3.5.4 Projeto Elétrico do Sistema de Iluminação Pública .....	72
3.5.5 Simbologia Utilizada na Planta do Projeto .....	77
3.6 RESULTADOS .....	78
<b>4 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	81

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	82
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO A – Esforço Aplicado às Estruturas de Distribuição de Energia.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO B – Estruturas de Sustentação da Rede de Distribuição.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO C – Cálculos de Queda de Tensão nos Circuitos de Distribuição.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A – Circuito Simplificado Exclusivo de Iluminação Pública do Transformador 09 para Cálculo de Queda de Tensão. ....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE B – Relatórios de Simulação no DIALux.....</b>	<b>108</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

O gozo de serviços básicos de infraestrutura urbana é fundamental para a existência de condições de vida digna para a população. Entre esses serviços, pode-se explicitar a iluminação pública, pois permite que o funcionamento do comércio, lazer e atividades que normalmente costumam ser realizadas durante o dia, sejam realizadas durante a noite, sendo também responsável por uma clara redução da sensação de risco no período noturno, quando esta iluminação pública é oferecida com qualidade (DA SILVA, 2006).

“Iluminação pública é o serviço que tem o objetivo de prover luz ou claridade artificial aos logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, incluindo locais que demandem iluminação permanente no período diurno” (ROSITO, 2009, p. 32). Então, torna-se inimaginável hodiernamente, perante o ritmo de funcionamento das metrópoles, que possuem inúmeros serviços funcionando sem interrupção, a inexistência de iluminação pública.

O desenvolvimento do primeiro sistema elétrico de potência (SEP) surgiu como uma necessidade da utilização da primeira carga elétrica criada, a lâmpada incandescente, desenvolvida por Thomas Edison em 1879, a primeira lâmpada com funcionamento prático, era composta de um filamento de carbono com contatos de platina, dentro de um bulbo de vidro mantido a vácuo, sua aplicação inicial era a iluminação pública, para isto necessitava-se de um sistema de distribuição de energia elétrica para alimentação das lâmpadas. Assim, o desenvolvimento da primeira lâmpada elétrica foi o fator de impulsão para a criação do primeiro sistema elétrico de potência (SUPER INTERESSANTE, 2013).

A lâmpada desenvolvida por Thomas Edson, chamada de lâmpada de arco voltaico, tornara-se a única tecnologia elétrica utilizada para iluminação por um tempo aproximado de 56 anos. Na primeira década do século XX seriam desenvolvidas as lâmpadas de descarga, incluindo as lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio de altas e baixas pressões. Na década de 60 iniciariam as primeiras aplicações das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e multivapores metálicos na iluminação pública, conforme CODI (1984, *apud* DA SILVA, 2006). Atualmente, as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP) são predominantes na iluminação pública em alguns países como o Brasil, contudo, a tecnologia LED (*Light Emitter Diode*) surge neste cenário como uma tecnologia emergente, ganhando espaço gradativamente.

No sistema de iluminação pública brasileiro, tradicionalmente tem-se utilizado lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID – *High Intensity Discharge*), esse sistema se encontra em momento de modernização, em que tecnologias já defasadas como as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão (VM), que eram maioria predominante até a década de 90, estão sendo substituídas por lâmpadas VSAP, devido à alta eficiência luminosa desta segunda que já é predominante nos sistemas de iluminação pública brasileiros.

Atualmente, a resolução normativa nº 479 (ANEEL, 2012, Art. 13), que altera a resolução normativa nº414 (ANEEL, 2010, Art. 21), diz que a elaboração de projeto, a implantação, a expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública são de responsabilidade dos municípios ou de quem tenha recebido deste a delegação para a prestação destes serviços. Contudo, um projeto de iniciativa nacional é o principal responsável pela modernização do sistema de iluminação pública brasileiro, este programa é o Procel Reluz.

Criado no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) em 2000, o programa Procel Reluz já proporcionou a substituição de aproximadamente 2,78 milhões de pontos de iluminação pública em todo o Brasil, melhorando significativamente a qualidade de vida da população (PROCEL, 2016).

O Programa Procel Reluz contribui para a redução do consumo de energia elétrica na iluminação pública, basicamente, substituindo lâmpadas incandescentes, mistas e de vapor de mercúrio, por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, a vapor metálico ou luminárias LED. Com o advento da tecnologia LED na iluminação pública, deve-se ter especial atenção para este tipo de iluminação, tendo em vista sua maior eficiência energética e o desenvolvimento de métodos que constantemente vêm reduzindo o custo de aquisição desta tecnologia, que se apresenta como principal entrave para a aplicação massiva da tecnologia LED na iluminação pública.

Presentemente, os sistemas de iluminação pública e privada são responsáveis pelo consumo de 20% de toda a energia consumida no território nacional, onde, segundo Brasil Econômico (2015, *apud* ABILUX, 2015), a substituição das lâmpadas de vapor de sódio por Lâmpadas LED poderia reduzir esse consumo pela metade.

Exposta a importância que a iluminação pública tem para o ser humano e os benefícios oriundos da modernização dos sistemas de iluminação pública a fim de torná-lo mais eficiente, é fundamental o aprimoramento dos equipamentos que compõem a iluminação pública, não só por questões de qualidade, mas também por questões de viabilidade econômica, com atenção especial à utilização de tecnologias LED, visto que esta vem se consolidando consideravelmente no mercado de iluminação pública mundial.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

No contexto de crise da economia nacional, cenário em que a redução de despesas em diversos setores da administração pública é evidente, a redução de investimentos no setor de geração de energia elétrica pode surgir como uma alternativa adotada pelo estado para a redução dos gastos.

Observando o explicitado acima, a desaceleração do crescimento do consumo de energia elétrica no país pode refletir consideravelmente na quantidade de investimentos realizados nos setores de geração, causando a postergação de investimentos realizados no setor, essa redução do consumo de energia elétrica pode se apresentar de diversas formas, através de programas de incentivo ao consumo consciente, programas de gestão eficiente e efficientização dos sistemas transmissores e consumidores. Ressalta-se que a redução do consumo de energia elétrica pode trazer diversos outros benefícios, como, por exemplo, a redução de emissão de gases poluentes ao meio ambiente, proveniente dos processos térmicos de geração.

Historicamente, diversas medidas vêm sendo adotadas para a redução do consumo de energia elétrica no país, muitas dessas medidas foram criadas ou efetivadas a partir do Programa Nacional de Conservação de Energia - Procel, que visa vários aspectos, tanto de ordem técnica quanto em medidas que afetaram o modo como o consumidor utiliza energia e quais critérios ele observa ao comprar seus equipamentos elétricos. No âmbito da eficiência e na contenção de gastos, um segmento que tem se destacado é o da iluminação pública, pelo seu potencial e sua relativa simplicidade na aplicação das soluções. O projeto cujo foco é a iluminação pública é o Procel Reluz, o qual objetiva melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e tornar a iluminação pública mais eficiente.

Utilizando-se deste conceito de maior eficiência em projetos de iluminação pública, observa-se uma rodovia de grande importância para o fluxo viário no Estado do Amapá, a

Rodovia Duca Serra, que concentra grande parte do fluxo de veículos entre os municípios de Macapá e Santana. No entanto, esta apresenta iluminação pública precária, o que diminui significativamente a segurança no tráfego de veículos e pedestres, devido ao fato de, em determinados trechos, ocorrer inexistência de luminárias e luminárias com lâmpadas queimadas.

Com base na importância da Rodovia no contexto estadual, torna-se interessante o desenvolvimento de um projeto luminotécnico a fim de sanar uma entre tantas deficiências da Rodovia, oriundas de seu subdimensionamento em relação ao fluxo de veículos que ela tem que suportar e a falta de iluminação noturna em diversos trechos da rodovia, com o intuito de permitir mais segurança no tráfego noturno, tanto de veículos como de pedestres.

Com o aprimoramento das tecnologias de iluminação existentes no mercado e o crescimento da aplicação da tecnologia LED na iluminação pública, este trabalho irá desenvolver um projeto de iluminação pública, verificando o desempenho dos sistemas aplicados, analisando a viabilidade de aplicação da tecnologia LED na iluminação de rodovias e ruas, visto que isso é praticamente inexistente no Brasil, enquanto que, em países da Europa, esse tipo de iluminação já se faz presente. Pretende-se mostrar ainda como este tipo de iluminação pode ajudar na economia de energia pelos mantenedores do sistema de iluminação pública e propiciar uma iluminação com características luminotécnicas bem dimensionada para seu tipo de aplicação.

## 1.2 OBJETIVOS

### **a) Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre iluminação pública eficiente para a Rodovia Duca Serra, localizada na cidade de Macapá-AP, aplicando eficiência energética, com a intenção de apresentar uma opção que proporcione valores luminotécnicos em concordância com as normas regulamentadoras e que apresente baixo nível de perdas de energia, a fim de se obter boa relação custo-benefício, levando em conta aspectos como o desempenho, economia de energia e tempo de vida dos componentes do projeto.

### **b) Objetivos Específicos**

Para realizar o objetivo geral, fazem-se necessários os seguintes objetivos específicos:

- i. Desenvolver estudo a fim de verificar quais os principais tipos de lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação pública brasileiro, e quais as tecnologias eletricamente mais eficientes disponíveis no mercado;
- ii. Realizar levantamento das informações relativas aos tipos de lâmpadas, luminárias, postes e largura da rodovia e vãos entre os postes, quando estes existirem de maneira regular, realizar ainda medição da largura da rodovia e do acostamento e também estimar, por meio de observação, o fluxo máximo de veículos e pedestres na rodovia;
- iii. Escolher quais os tipos de equipamentos de iluminação que serão utilizados, como base em uma análise sucinta de seu desempenho;
- iv. Desenvolver o projeto de iluminação pública da rodovia utilizando os dados levantados e aplicando configurações necessárias ao sistema;
- v. Dimensionar a rede elétrica de alimentação do sistema de iluminação pública;
- vi. Comparar a iluminação pública existente na rodovia com o projeto desenvolvido nesse trabalho utilizando um *software* para simulação de projetos de iluminação pública,

### 1.3 METODOLOGIA

Neste trabalho, foi feito o levantamento de dados da rodovia Duca Serra na cidade de Macapá-AP, a fim de se conhecer suas características, para uma análise simplificada do sistema existente, simulando-o de maneira mais aproximada possível no *software* de simulação, desenvolvendo, assim, posteriormente, o projeto de iluminação pública, utilizando como base a tecnologia de iluminação a LED. Mantendo o posteamento existente na rodovia estudada, esta simulação objetiva a otimização da iluminação pública, considerando a economicidade de recursos materiais, aplicando a tecnologia LED. É também projetada a rede elétrica de alimentação das cargas que compõem o sistema e, por fim, são comparados os dados obtidos na simulação do sistema proposto e do sistema de iluminação existente na via.

### 1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### **a) Eficiência Energética na Iluminação Pública**

Segundo Eletrobrás Procel (2013), a iluminação pública é um caso particular de iluminação externa, que pode ser classificada como rodoviária, urbana e monumental. A iluminação rodoviária tem aplicações para o caso de estradas, já a iluminação urbana é

aplicada no caso de ruas. A iluminação monumental trata da iluminação de fachadas de prédios ou obras civis consideradas como sendo arte.

Para Rosito (2009), a iluminação pública tem papel fundamental na melhoria da qualidade de vida da população, na ocupação de espaços públicos com atividades lícitas à noite, na imagem da cidade, no incremento do comércio e no turismo. É impossível, atualmente, imaginar uma cidade de pequeno, médio ou grande porte sem iluminação pública. Naquelas cidades que ainda possuem iluminação inadequada ou ineficiente já existe consciência dos benefícios que a melhoria do sistema de iluminação pode trazer.

Alguns autores tratam a respeito da relação entre a iluminação pública e a criminalidade, embora algumas bibliografias, como Clark (2002) e Atkins (1991) afirmem que a iluminação pública não tem efeito direto na redução dos índices de criminalidade. Da Silva (2006) mostra que a iluminação pública pode aumentar a sensação de segurança da população e em alguns casos, como em Carvalho (2006, *apud* Da Silva, 2006), evidenciou-se que a redução do índice de crimes violentos em Minas Gerais ocorreu nas localidades onde foram executados os serviços de melhoria da iluminação pública. Contudo, Da Silva (2006) conclui dizendo que não se pode afirmar que a iluminação pública seja uma das principais causas para altos índices de criminalidade devido à complexidade deste.

Em Aver (2013), é realizado um estudo onde se comprova que a iluminação externa, como é o caso da iluminação pública, contribui juntamente com um conjunto de fatores para a redução da criminalidade, favorecendo o desenvolvimento de atividades noturnas como o turismo, o comércio e o lazer noturno.

Comprovada a importância da iluminação pública para uma sociedade desenvolvida, evidencia-se como de grande importância a utilização consciente desta ferramenta de urbanismo, pois, segundo Procel Info (2015), 4% de toda a energia elétrica consumida no país é destinada à iluminação pública, aproximadamente 20 mil GWh, em que a substituição dos sistemas de iluminação pública, que ainda utilizam lâmpadas vapor de sódio e mercúrio de alta pressão, por luminárias LED resultaria em uma redução de 50% do consumo de energia elétrica, o que seria o equivalente ao consumo de energia elétrica dos estados do Amazonas, Rondônia, Acre, Roraima e Amapá.

O projeto mais significativo no âmbito brasileiro, quando se trata de eficiência energética na iluminação pública, é o projeto Procel Reluz, em Procel (2016) é mostrado que desde sua criação o programa efetuou a substituição de cerca de 2,78 milhões de pontos de iluminação pública em todo país. O financiamento por parte da Eletrobrás deve ser de 75% do

custo do projeto, os outros 25% deveriam ser aplicados por parte das concessionárias ou das prefeituras.

### **b) Iluminação pública utilizando lâmpadas de vapores metálicos**

A iluminação pública sempre foi um vetor que se desenvolve acompanhando o sentido do desenvolvimento da sociedade sempre em busca de maior eficiência energética e de mais qualidade na iluminação.

“Partindo da incandescente, passando pelas lâmpadas a vapor de mercúrio, a vapor de sódio, a multivapores metálicos, pelas lâmpadas de indução e chegando aos Leds, percebe-se uma transformação radical nos conceitos de iluminação da mesma forma que as transformações da sociedade ditaram mudanças no modo de vida e na organização social” (ROSITO, 2009).

Atualmente as principais lâmpadas utilizadas na iluminação pública no Brasil são as de vapor de mercúrio e a de vapor de sódio, sendo que no sistema brasileiro as lâmpadas de vapor de mercúrio vêm sendo substituídas massivamente pelas lâmpadas de vapor de sódio, devido à alta eficiência energética e a durabilidade desta segunda.

Mendonça e Tyriaki (2008) falam sobre métodos aplicados na iluminação pública para que se tenha eficiência no setor, a proposta é subdividida em duas questões primordiais de ordem técnica, a primeira é a substituição das lâmpadas, a segunda é a substituição das luminárias, em que é realizado um comparativo entre o tempo de vida das lâmpadas de vapor de mercúrio (VM) e das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP). Demonstra-se que as lâmpadas VSAP duram o dobro do tempo das lâmpadas VM. Em seguida, é comparado o índice de reprodução de cor (IRC), mostrando que as lâmpadas VM têm melhor índice de reprodução de cor que as lâmpadas VSAP, contudo, isto não se torna um empecilho para a aplicação das lâmpadas VSAP na iluminação pública; em seguida são verificadas as luminárias onde se atesta que luminárias bem protegidas são ideais para o projeto determinado; por fim, apesar da vantagem das lâmpadas VSAP, comprova-se que o ideal é a utilização da tecnologia LED.

Além de oferecer um maior tempo de vida em relação à lâmpada de vapor de mercúrio, as lâmpadas de vapor de sódio possibilitam economia energética considerável quando se compara as mesmas tecnologias. Em Dambiski (2007) onde é aplicada a substituição de um sistema das lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de

sódio, na cidade de Paranaguá/PR, possibilitando uma economia na grandeza de 838,61 MWh/ano, reduzindo o consumo do sistema de 4.949,22MWh/ano para 4.110,61MWh/ano.

### **c) Iluminação pública utilizando luminárias a LEDs**

Quando se fala em eficiência energética na iluminação pública, pensa-se logo em iluminação utilizando LED, pois esta tecnologia permite economia energética considerável, quando comparada às outras tecnologias de iluminação, isto abre portas para que o LED venha sendo empregado massivamente em diversos setores, como indústria e comércio, no campo da iluminação pública, principalmente de vias de tráfego motorizado, esta tecnologia encontra-se ainda em fase de inicial aceitação, devido ao seu alto custo de aquisição, que no Brasil está em torno de três vezes o valor do conjunto composto por luminária fechada, lâmpada de vapor de sódio de alta pressão e braço, comumente empregado no sistema de iluminação pública brasileiro, no entanto, este valor vem diminuindo com o decorrer do tempo. Na Europa já estão sendo desenvolvidos alguns projetos utilizando tal tecnologia, enquanto que no Brasil encontra-se ainda em fase de testes.

Ribeiro *et al.*(2012), dispõem sobre a possibilidade da utilização de luminárias LED na iluminação pública, fazendo um comparativo entre elas e os principais tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação pública, analisando as variáveis luminotécnicas das mesmas, em que é comprovada uma maior eficiência e menor poluição visual das lâmpadas LEDs. Quando analisados os benefícios energéticos, as lâmpadas LED têm eficiência energética entre 30 e 50%, quando comparadas as lâmpadas incandescentes que têm eficiência de 5% e as VM de 15%, o tempo de vida da lâmpada LED é de mais de 50.000 horas, ao passo que a de Vapor de mercúrio é de 16.000 horas. Realizada uma verificação da iluminação pública de uma via, que utiliza na sua iluminação lâmpadas VM, então se constatou uma eficiência luminosa de aproximadamente metade da especificada pelo fabricante, enquanto que para a iluminação LED, a eficiência luminosa encontrada foi de aproximadamente 3 vezes a anterior. Quando é realizada a comparação econômica, percebe-se que a tecnologia LED apresenta um investimento inicial muito alto comparado às tecnologias já utilizadas, mas esse valor pode ser compensado com o passar do tempo.

Em Stocko, Lazzaretti e Santos (2013), é realizada uma comparação prática entre a tecnologia LED (125W) e vapor de sódio de alta pressão (250W), em que, por meio da coleta de dados, são aferidos valores de iluminância da via de estudo. No primeiro momento, são

comparados os valores de iluminância e a distribuição luminosa, assim, observa-se que a distribuição luminosa da tecnologia de vapor de sódio é mais uniforme que a tecnologia LED, contudo, os valores obtidos nas duas medições se enquadram na NBR 5101, todavia, a luminária LED apresenta valores mais elevados de iluminância máxima, apesar de esta ter potência menor que a de vapor de sódio. Quando analisada a distorção harmônica e o fator de potência das luminárias LED, observa-se que, apesar de não existir uma regulamentação específica, estas se encontram dentro dos valores aceitáveis segundo a resolução nº 414 da ANEEL e também a norma IEC 61000-3-2.

No artigo de Spunei, Piroi e Piroi (2014), é realizado um estudo de caso na cidade de Resita, na Romênia; inicialmente constatou-se na rua estudada que muitos dos parâmetros de iluminação pública não estavam de acordo com o projeto original, nem mesmo de acordo com as normas vigentes. Neste artigo, são simuladas 3 situações no *software* DIALux; na primeira, é simulado o sistema original que está sendo empregado na rua e utiliza lâmpadas do tipo GELIGHTING 42629 ET 25 G HPS 150 W; na segunda situação, é realizada a troca das lâmpadas sem alterar parâmetros como o tipo de rua, os pontos de iluminação e a quantidade dos pontos, verifica-se que a lâmpada adequada é do tipo HELLA ERL\_LargeL ECO RoadLine RL Large, baseada em tecnologia LED; na terceira simulação, é feita de maneira a otimizar os resultados obtidos na segunda simulação, em que percebe-se que isto pode ser realizado através de ajustes na altura e angulação adequada da luminária. Com a aplicação dos métodos obtidos na terceira simulação, é possível observar que os parâmetros estão de acordo com as normas vigentes, e ainda, gerando uma economia no consumo de energia de 12% aos componentes anteriores.

Em Caçote (2015), é realizado um estudo de caso na cidade de Ermesinde, no conselho de Valongo, em Portugal, o sistema utiliza lâmpadas de Vapor de sódio de alta pressão. No estudo, são propostos dois métodos para se obter maior eficiência energética do sistema, o primeiro é feito através da inserção de um regulador de potência para reduzir a potência consumida pelas lâmpadas abaixo de seus valores nominais em determinados horários de funcionamento, o segundo método, como enfoque do trabalho, baseia-se na substituição das lâmpadas por luminárias LED. São feitos comparativos entre os dois métodos propostos e o sistema que não utiliza opções econômicas, chega-se à conclusão de que apesar de a tecnologia que utiliza regulação de potência permitir economia considerável de energia, o que utiliza luminárias LED propicia a maior economia anual de energia, e o investimento

realizado utilizando LED, no caso estudado, pode ser recuperado em 4,85 anos, considerando que as luminárias LED utilizada têm duração média de 15 anos.

Em Queirós (2015), toma-se como objeto de estudo 4 ruas localizadas no conselho de Esponsored no Norte de Portugal, onde, a fim de reduzir o consumo de energia na iluminação pública, a câmara de Esponsored efetuou desligamento permanente de 38% das lâmpadas do sistema, tornando a iluminação não uniforme e ineficiente, então são propostos 4 métodos para redução do consumo de energia; verifica-se que todos os métodos propostos apresentam redução de consumo considerável, no entanto, métodos energeticamente mais econômicos apresentam como principal entrave, à sua implementação massiva, o custo inicial de implementação, enquanto que métodos energeticamente menos econômicos apresentam um baixo valor de implementação, verifica-se que a escolha do método ideal a ser implementado depende da potência consumida pelos circuitos e dos valores de aquisição de da tecnologia utilizada, então o método selecionado depende de um estudo prévio do sistema de iluminação o qual será realizada a intervenção considerando tanto fatores econômicos quanto fatores técnicos.

Atualmente, apesar da inexpressiva cooperação do Procel para a utilização da tecnologia LED, em comparação com a tecnologia de vapor de sódio, já existem alguns projetos pilotos empregando esta tecnologia em vias públicas, a exemplo, tem-se o convênio entre a Universidade Federal de Juiz de Fora e o Procel/Eletrobás, que tinha como objetivo a implantação de um sistema de iluminação externa por luminárias LED (NOGUEIRA *et al.*, 2014); nesse projeto, substituiu-se 44 lâmpadas de vapor de sódio por luminárias LED. É realizada uma análise criteriosa e do sistema proposto e constata-se que ele atende a todos os requisitos das normas vigentes quanto à emissão de harmônicos na rede e as exigências previstas na norma de iluminação pública. Quanto à eficiência energética, evidenciou-se uma considerável redução no consumo de energia elétrica.

Um fator que também deve ser observado em projetos de iluminação pública em geral é a poluição visual. Segundo Santana (2010), o ponto a se observar é a má definição dos projetos de iluminação pública levando a extrapolar a área a ser iluminada, atingindo áreas adjacentes, desperdiçando energia, causando ofuscamento nos motoristas e dificuldades de observação do céu noturno.

Em Lin, Liu, Sun *et. al.* (2014), foi realizado um experimento para a mensuração do desconforto luminoso causado pela iluminação de ruas através de luminárias LED. O estudo foi realizado através da adaptação de modelos já existentes de mensuração de desconforto voltados para outros tipos de lâmpadas, como as incandescentes. Desenvolveu-se um método em laboratório por meio da análise da iluminância média da fonte, a iluminância de fundo, o ângulo sólido do ponto de vista do participante, e o ângulo entre a fonte de luz e a linha de visão do participante, para chegar-se ao modelo matemático do desconforto percebido com precisão semelhante à precisão de modelos existentes para outras aplicações.

Em Ascurra (2013), menciona-se a questão da sustentabilidade do planeta, que ocorre pela utilização de equipamentos mais eficientes como é o caso do LED se comparado com a lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (VSAP), sendo também que, estas últimas, possuem elementos altamente poluentes, como chumbo, mercúrio, cádmio e outros materiais que podem contaminar o ambiente, quando descartadas indevidamente.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 4 capítulos, sendo que o Capítulo 1 contém a introdução do trabalho, a justificativa, o objetivo do trabalho, a revisão bibliográfica e também a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, abordam-se conceitos utilizados em luminotécnica e em projetos de iluminação pública, classificando as vias, apresentado critérios de lumintécnicos para projeto de iluminação pública, também são apresentados os equipamentos que compõem a iluminação pública como um todo.

No Capítulo 3, são apresentadas as normas utilizadas em iluminação pública e seus requisitos para o sistema, é exposto o *software* de simulação e como se aplica ao trabalho; é apresentada a rodovia estudada e, com o auxílio do *software*, é desenvolvido o sistema de iluminação pública na rodovia.

No Capítulo 4, são comparados os resultados das simulações entre o sistema de iluminação pública existente e o sistema proposto, sendo discutida a viabilidade da aplicação deste projeto.

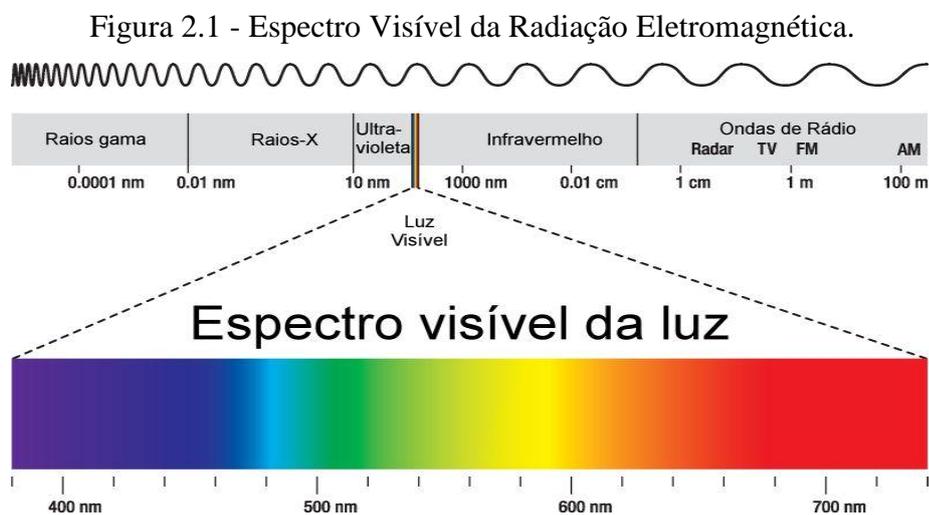
## 2 – SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar informações necessárias para o conhecimento sobre conceitos básicos de luminotécnica em geral, com estas informações, apresenta-se os requisitos necessários para o desenvolvimento de um projeto de iluminação pública, bem como os principais dispositivos que compõem o sistema de iluminação pública.

### 2.1 DEFINIÇÕES DE TERMOS LUMINOTÉCNICOS

Neste tópico, serão apresentados alguns conceitos utilizados na fotometria (campo que trata da medição da luz visível e como esta é percebida pelo olho humano), nos quais será abordado como estes fatores se relacionam com o ambiente de trabalho que se deseja iluminar. A explanação desses fatores é fundamental, visto que este trabalho faz uma abordagem qualitativa do projeto desenvolvido. Os conceitos apresentados a seguir são encontrados em Nogueira (2013):

- a) **LUZ**– É a faixa do espectro eletromagnético a qual o olho humano é sensível, nessa faixa, o comprimento de onda varia de 380nm a 780nm, com comprimentos de onda acima do espectro ultravioleta e abaixo do espectro infravermelho, conforme a Figura 2.1 a seguir:



Fonte: Furian, P. H.

A cor é o modo que o cérebro interpreta os feixes de luz captados pelo olho, dependendo do comprimento de onda captado ele gera a sensação de determinada cor.

- b) **INTENSIDADE LUMINOSA** – É a grandeza que representa a quantidade de luz projetada em uma determinada direção, a partir de um ponto central, irradiada por segundo. A medição da intensidade é realizada de maneira a pressupor que a fonte de luz seja puntiforme, embora as fontes de luz não sejam puntiformes, quando observadas de um ponto distante.

Matematicamente, a intensidade luminosa ( $I$ ) é representada pela razão entre o fluxo luminoso elementar ( $\phi$ ), que emana de uma fonte e se propaga no elemento de ângulo sólido,  $\omega$ , na direção  $\alpha$ , como se observa na equação abaixo:

$$I_{\alpha} = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\phi}{\omega} = \frac{d\phi}{d\omega}$$

A unidade de medida da intensidade luminosa é apresentada em Candela (Cd). Esta é a grandeza base do sistema internacional de unidades (SI) para iluminação.

- c) **FLUXO LUMINOSO ( $\phi$ )** – É toda a radiação que pode produzir estímulo visual, emitida por uma fonte luminosa. É uma grandeza derivada do fluxo radiante (em Watts) pela avaliação da radiação de acordo com a resposta do olho humano. Permite saber a quantidade de luz emitida num intervalo de tempo. Sua unidade de medida é o lúmen (lm).
- d) **ILUMINÂNCIA ( $E$ )** – Segundo Nogueira (2013), é o limite da razão entre fluxo luminoso incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, pela área deste elemento, quando esta área tende a zero. Alternativamente, pode-se dizer que a iluminância é a densidade luz para a realização de uma determinada tarefa visual. Pode ser expressa pela seguinte expressão matemática:

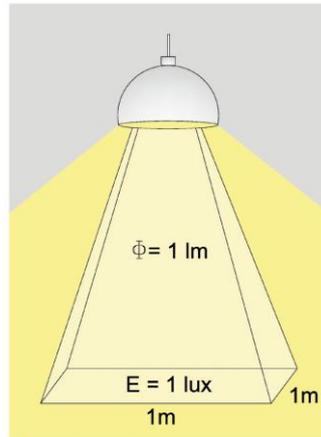
$$E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \phi}{\Delta A}$$

$\phi$  - Fluxo luminoso;

A – Área que contém o ponto em questão.

Esta grandeza é utilizada no estudo da distribuição luminosa sobre superfícies, quantificando a incidência da luz. Sua unidade é dada em  $\text{lm}/\text{m}^2$  ou lux, onde, 1 lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de 1 metro quadrado ( $\text{m}^2$ ) de área, na qual incide um fluxo luminoso de um 1 lúmen, perpendicular à superfície, conforme a Figura 2.3.

Figura 2.3 – Representação da Iluminância.



Fonte: PROCEL EPP.

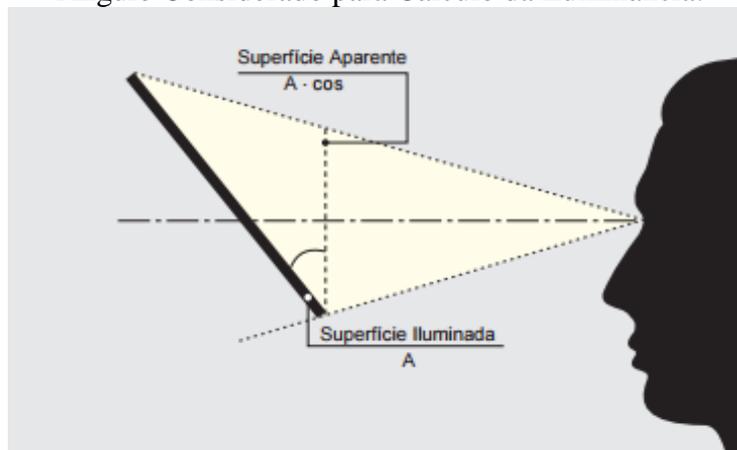
- e) LUMINÂNCIA(L) – Refere-se a uma intensidade luminosa que atinge o observador, podendo ser proveniente da reflexão de uma superfície ou de uma fonte de luz. É a relação entre a intensidade luminosa e a área aparente vista pelo observador, a qual está a irradiar, conforme a figura 2.4. Entende-se por área aparente aquela projetada num plano perpendicular à direção de observação. Pode ser expressa pela seguinte equação:

$$L = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta A \cdot \cos \alpha}$$

I – Intensidade luminosa irradiada pela superfície;

$\alpha$  – Ângulo entre o plano da superfície iluminada e o plano perpendicular projetado.

Figura 2.4–Representação da Superfície Aparente e Ângulo Considerado para Cálculo da Iluminância.



Fonte: OSRAM.

Acentuadas diferenças entre iluminâncias de diferentes planos causam fadiga visual por conta do excessivo trabalho de acomodação da vista ao passar por variações bruscas de claridade, segundo Barbosa (2007). Esta observação pode estender-se para sistemas de iluminação pública de vias de tráfego de veículos, quando a iluminação do plano da via tem baixa uniformidade, ou seja, regiões sobre a luminária altamente iluminadas, enquanto que as regiões centrais dos vãos têm valores de iluminância muito baixos.

- f) EFICÁCIA LUMINOSA ( $\eta$ ) – É a relação entre o fluxo luminoso total produzido pela fonte de luz e a potência elétrica por esta consumida. Pode ser representada pela expressão:

$$\eta = \frac{\phi}{P}$$

P - Potência elétrica consumida.

Pode ser representada e lm/W (lúmens por Watt).

Esta grandeza pode determinar a eficácia quanto à produção de luz da fonte de luminosidade.

- g) REFLETÂNCIA – É a razão entre o fluxo luminoso emitido por uma superfície iluminada e o fluxo luminoso que incide sobre ela. Define-se através da equação:

$$\rho = \frac{\phi_R}{\phi_I} \cdot 100\%$$

$\Phi_R$ – Fluxo luminoso refletido;

$\Phi_I$ – Fluxo luminoso incidente.

Onde o Fluxo luminoso  $\rho$  é expresso em porcentagem (%).

A refletância é característica intrínseca da superfície e depende das características do material.

- h) ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC) – O índice de reprodução de cor é a medida que estima a correspondência entre a cor real de um objeto e a cor aparente deste quando exposto sob determinada fonte artificial de iluminação. Seu

valor normalizado varia entre 0 a 100% sendo que a luz do sol tem IRC igual a 100%. Quanto mais próximo o IRC de determinada fonte de luz estiver de 100% melhor será a reprodução das cores do objeto iluminado. Na Figura 2.5, é apresentado o comparativo da influência na reprodução de cores de um objeto, submetido à iluminação de diversos tipos de fontes luminosas.

Figura 2.5 – Índice de Reprodução de Cor



Fonte: Site Empalux

- i) **TEMPERATURA DE COR CORRELATA (TCC)** – A temperatura de cor correlata (TCC) indica qual seria a temperatura de um corpo negro se este fosse aquecido até emitir uma luz similar a cor da fonte analisada. Sua unidade no SI é o K– (Kelvin). Embora seja medida em Kelvin a TCC não tem qualquer relação com a temperatura física desta fonte luminosa.

Fontes que apresentam temperatura de cor de 3.000K (cor amarelada) ou menos, são usualmente chamadas de luzes quentes, enquanto que fontes que apresentam temperatura de cor de 6.000K ou superior (branca-azulada), são comumente chamadas de cores frias.

- j) **OFUSCAMENTO** – Condição na qual há um desconforto ou redução da capacidade de distinguir detalhes ou objetos, devido à heterogeneidade desfavorável das intensidades luminosas ou excessivo contraste (CEMIG, 2012).

## 2.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para o desenvolvimento de sistemas de iluminação pública, é necessário compreender a via que será estudada, de acordo com a intensidade de tráfego de veículos e de pedestres e, com as características físicas da via, classificá-la em categorias, categorias estas que devem atender a determinados requisitos de luminosidade. Por isso, é de grande importância

conhecer a classificação da via, as nomenclaturas que envolvem as vias, os sistemas de iluminação pública, bem como os requisitos luminotécnicos.

### 2.2.1 Classificação Das Vias Públicas

Os desenvolvimentos de projetos de iluminação pública no Brasil utilizam como base a norma NBR 5101, que fixa critérios para uma qualidade mínima na iluminação pública, estes requisitos visam a garantir boa segurança de tráfego de pedestres e veículos..

A classificação das vias deve seguir as disposições previstas no Código de Transito Brasileiro da seguinte maneira:

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Vias urbanas</li> <li>- Via de trânsito rápido;</li> <li>- Via arterial;</li> <li>- Via coletora;</li> <li>- Via local;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>b) Vias Rurais</li> <li>- Rodovias</li> <li>- Estradas</li> </ul> |
|--|--|

#### a) **Via urbana**

Aquela via caracterizada pela existência de construções às suas margens, e a presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala. Como exemplo, temos as ruas, avenidas, vielas ou caminhos similares abertos à circulação pública, situados em área urbana.

Quadro 2.1- Vias Urbanas

<b>Via de trânsito rápido</b>	Avenidas e ruas asfaltadas, de tráfego exclusivamente motorizado, onde não há muitas construções ao entorno. Possuem baixo trânsito de pedestres e alto trânsito de veículos. Caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos espaços situados ao lado externo às limitações da via e sem travessia de pedestres em nível, com velocidade máxima de 80 km/h.
<b>Via arterial</b>	Vias exclusivas para tráfego motorizado, que se caracterizam por grande volume e pouco acesso de tráfego, várias pistas,

	<p>cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista. O sistema arterial serve mais especificamente a grandes geradores de tráfego e viagens de longas distâncias, mas, também pode servir para tráfego local, ocasionalmente.</p> <p>As vias arteriais são caracterizadas por intercessões de nível, que geralmente são controladas por semáforo, com acessibilidade aos terrenos limítrofes à via e às vias secundárias e locais, o que possibilita o trânsito entre as regiões da cidade com velocidades que podem chegar até 60 km/h.</p>
<b>Via coletora</b>	<p>Via para tráfego exclusivamente motorizado, é caracterizada por um volume de tráfego inferior e por um acesso de tráfego superior àqueles das vias arteriais.</p> <p>Têm a função de coletar e distribuir o trânsito que precise entrar ou sair das vias de trânsito rápido. Possibilita trânsito dentro das regiões de cidades, podem suportar velocidades de até 40 km/h.</p>
<b>Vias local</b>	<p>Via de acesso às edificações e as outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno volume de tráfego. Possuem interseções não semaforizadas, com velocidades de até 30 km/h.</p>

**Fonte:** ABNT-NBR 5101, 2012  
(Adaptado)

#### **b) Via rural**

Conhecida também como estrada de rodagem, nem sempre apresenta exclusivamente tráfego motorizado.

Quadro 2.2 – Vias Rurais

<b>Rodovias</b>	<p>Vias pavimentadas priorizam o tráfego motorizado, podem conter ou não acostamento, também suportam o tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos caracterizados como urbanos, com</p>
-----------------	--

	velocidades máximas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 110 km/h para automóveis e camionetas;</li> <li>b) 90 km/h para ônibus e micro-ônibus;</li> <li>c) 80 km/h para os demais veículos.</li> </ul>
<b>Estradas</b>	Vias de tráfego motorizado, que podem conter ou não acostamento, com tráfego de pedestres, pode conter trechos classificados como urbanos. É uma via rural não pavimentada, com velocidade máxima de até 60 km/h.

**Fonte:** ABNT-NBR 5101, 2012  
(Adaptado)

### 2.2.2 Classificação do Volume de Tráfego em Vias Públicas

O volume de tráfego da via que será estudada é uma variável muito importante no desenvolvimento do projeto à norma NBR 5101, a classificação dele leva em conta tanto a intensidade de tráfego motorizado (Tabela 2.1), quanto à intensidade de tráfego de pedestres (Quadro 2.3), como pode ser observado nas tabelas a seguir.

Tabela 2.1 – Classificação das Vias de Tráfego Motorizado Quanto à Intensidade do Tráfego

<b>Classificação</b>	Volume de tráfego noturno <sup>(a)</sup> de veículos por hora, em ambos os sentidos <sup>(b)</sup> , pista única.
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

<sup>a</sup> Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18h e 21h.

<sup>b</sup> Valores para velocidades regulamentadas por lei.

Para vias com tráfego menor do que 150 veículos por hora, consideram-se as exigências mínimas do grupo leve (L) e, para vias com tráfego muito intenso, superior a 2400 veículos por hora, consideram-se as exigências máximas do grupo de tráfego intenso (I).

**Fonte:** ABNT-NBR 5101, 2012

Quadro 2.3– Classificação das Vias de Tráfego de Pedestres Quanto a Intensidade do Tráfego

<b>Classificação</b>	Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado
Sem (S)	Como nas vias Arteriais
Leve (L)	Como nas vias residenciais médias
Médio (M)	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Como nas vias comerciais principais
Obs.: O projetista deve levar em conta esta tabela para fins de elaboração do projeto.	

Fonte: ABNT-NBR 5101, 2012

### 2.2.3 Características de Projetos de Iluminação Pública

Para o desenvolvimento de um projeto de iluminação pública, é fundamental que se conheçam algumas nomenclaturas normalmente utilizadas em tais projetos para, posteriormente, definirem-se os requisitos e parâmetros do projeto. Os conceitos presentes no Quadro 2.4 podem ser encontrados na NBR 5101 (2012).

Quadro 2.4 - Definições Utilizadas em Projeto de Iluminação Pública

<b>Altura de montagem (AM)</b>	Distância vertical entre a superfície da rodovia e o centro aparente da fonte de luz ou da luminária. Conforme a Figura 2.6.
<b>Avanço</b>	Distância transversal entre o meio-fio ou acostamento da rodovia e a projeção do centro de luz aparente da luminária, conforme observa-se na Figura 2.6.
<b>Ângulo de inclinação</b>	Ângulo existente entre o plano da via e uma reta que atravessa o centro da luminária partindo da fixação ao topo da mesma, exemplificado na Figura 2.6.
<b>Diagrama de distribuição de intensidades luminosas</b>	Descrição, em forma de diagrama, da distribuição espacial das intensidades luminosas de uma luminária.
<b>Distribuição vertical</b>	Linha de intensidade traçada em um determinado plano perpendicular ao plano da rodovia e que contém a luminária.
<b>Distribuição transversal</b>	Linha de intensidade traçada no plano perpendicular ao

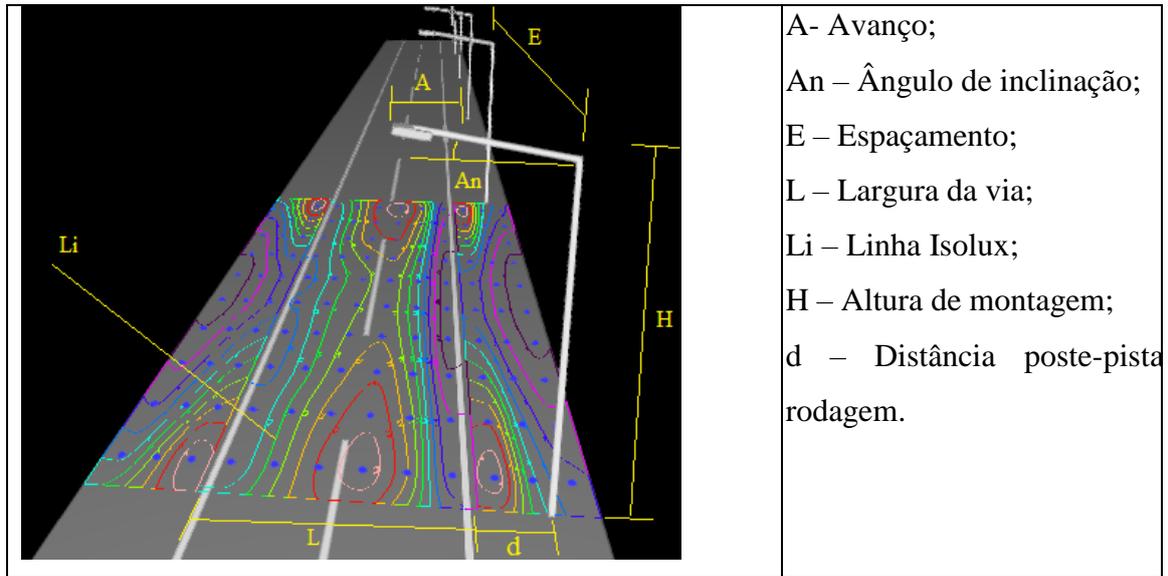
	eixo longitudinal da rodovia e que contém a luminária.
<b>Distribuição longitudinal</b>	Linha de intensidade traçada no plano paralelo ao eixo longitudinal da rodovia e que contém a luminária.
<b>Espaçamento</b>	Distância entre sucessivas unidades de iluminação, medida paralelamente ao longo da linha longitudinal da via. Conforme pode ser observado na Figura 2.6.
<b>Fator de operação</b>	Razão entre os fluxos luminosos, do conjunto lâmpada-luminária e reator, quando são usados um reator comercial e um reator de referência, ou com o qual a lâmpada teve seu fluxo calibrado e aferido
<b>Fator de uniformidade da iluminância (U) (em determinado plano)</b>	Razão entre a iluminância mínima ( $E_{min}$ ) e a iluminância média ( $E_{med}$ ) em um plano especificado: $U = E_{min} / E_{med}$
<b>Fator de uniformidade da luminância (uniformidade global ou <math>U_o</math>)</b>	Razão entre a luminância mínima e a luminância média em um plano especificado: $U_o = L_{min} / L_{med}$
<b>Fator de uniformidade da luminância (uniformidade longitudinal ou <math>U_L</math>)</b>	Razão entre a luminância mínima ( $L_{min}$ ) e a luminância máxima ( $L_{max}$ ) ao longo das linhas paralelas ao eixo longitudinal da via em um plano especificado: $U_L = L_{min} / L_{máx}$
<b>Iluminância média horizontal</b>	Iluminância em serviço, da área delimitada pela malha de pontos considerada, ao nível da via, sobre o número de pontos considerados.
<b>Incremento de limiar ou TI</b>	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 $TI\% = 65 \times \frac{L_v}{(L_{med})^{0,8}}$
<b>Índice de ofuscamento ou</b>	Caracteriza o desconforto provocado pelo ofuscamento

<b>GR</b>	das luminárias em uma escala de números que vai de 1 (insuportável) até 9 (imperceptível).
<b>Linha isocandela</b>	Linha traçada em uma esfera imaginária, com a fonte ocupando seu centro. Esta linha liga todos os pontos correspondentes àquelas direções nas quais as intensidades luminosas são iguais. Usualmente, a representação é feita num plano.
<b>Linha isolux</b>	Lugar geométrico dos pontos de uma superfície onde a iluminância tem o mesmo valor, podendo ser observada na Figura 2.6.
<b>Linha longitudinal da via (LLV)</b>	Qualquer linha ao longo da via, paralela ao eixo da pista. Podendo ser observada na Figura 2.7.
<b>Linha transversal da via (LTV)</b>	Qualquer linha transversal da via, perpendicular ao eixo da pista. Conforme a Figura 2.7.
<b>Luminância média (Lmed) [cd/m<sup>2</sup>]</b>	Valor médio da luminância na área delimitada pela malha de pontos considerada, ao nível da via.
<b>Luminância de velamento (Lv)</b>	Efeito provocado pela luz que incide sobre o olho do observador no plano perpendicular à linha de visão. Depende do ângulo.
<b>Razão das áreas adjacentes à via (SR)</b>	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 <i>SR</i> 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).
<b>Volume de tráfego</b>	Número máximo de veículos ou pedestres que passam em uma dada via durante o período de 1h.

Fonte: ABNT-NBR 5101, 2012 (Adaptado)

A Figura 2.6 exemplifica alguns conceitos demonstrados acima.

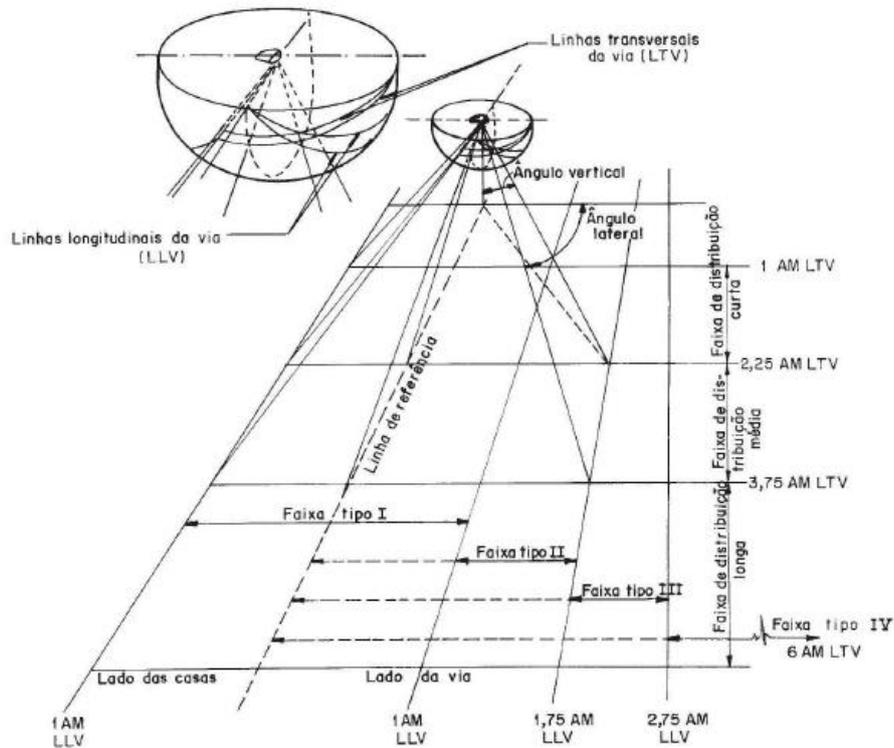
Figura 2.6 – Diagrama De Medidas de um Sistema de Iluminação Pública.



Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 2.7 mostra a LTV e a LLV em projetadas na via e em uma esfera imaginária cujo centro é ocupado pela luminária, Deve-se atentar que LTV e LLV são apresentados no diagrama como uma proporção da altura de montagem. A classificação por tipos apresentada na figura 2.7 determina a classificação das luminárias quanto às distribuições transversais de intensidades luminosas, onde dependendo do alcance da linha de meia intensidade máxima esta luminária pode ser classificada com um destes tipos.

Figura 2.7 – Diagrama que Mostra a Relação da LTV e da LLV na Via e em uma Esfera Imaginária Cujo Centro é Ocupado Pela Luminária



Fonte: ABNT-NBR 5101, 2012.

## 2.2.4 Condições de Luminosidade das Vias

Na realização de projetos luminotécnicos utilizando a norma ABNT 5101, é necessário que se atendam determinados requisitos de iluminação, isso dependerá de qual classe de iluminação é a desta via, e quais os valores luminotécnicos para o tipo da via.

### a) Classes de Iluminação

As classes de iluminação das vias dividem-se em dois subtipos: vias de tráfego motorizado (Quadro 2.5) e via de tráfego de pedestres (Quadro 2.6). A classe de iluminação das vias para tráfego motorizado pode ser definida a partir da velocidade do tráfego, do volume de tráfego e das características físicas da via.

Quadro 2.5–Classe de Iluminação para Cada Tipo de Via de Tráfego Motorizado.

<b>Descrição da Via</b>	<b>Classe de iluminação</b>
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; auto-estradas. 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 bem definidos; vias rurais 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	V2 V3 V4
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial. Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V4 V5

Fonte: ABNT-NBR 5101, 2012

Para as vias de tráfego exclusivo de pedestre tem-se a tabela 2.6.

Quadro 2.6– Classe de Iluminação para Cada Tipo de Via de Tráfego de Pedestres.

<b>Descrição da via</b>	<b>Classe de iluminação</b>
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo: calçadas, passeios de zonas comerciais)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo: passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo: passeios, acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo: passeios de bairros residenciais)	P4

Fonte: ABNT-NBR 5101, 2012

Para avaliação da iluminação em sistemas de iluminação já instalados deve-se observar os valores de iluminâncias médias mínimas ( $E_{med,min}$ ) e o menor valor de iluminância mínima ( $E_{min}$ ), pois a partir da avaliação destes valores coletados são determinados os valores de outras variáveis estabelecidas como requisitos na norma NBR 5101.

As iluminâncias médias mínimas são valores obtidos através do cálculo da média aritmética das leituras em cada ponto da malha de análise fotométrica (no plano horizontal e no nível do piso) realizada sob condições pré-estabelecidas. Deve-se levar em conta os valores ao longo do tempo de utilização de acordo com o fator de manutenção do local. Enquanto que o valor da iluminância mínima pode ser obtido através de leituras realizadas em pontos situados sobre a pista de rolamento da via de tráfego motorizado, este deve atender, simultaneamente, a duas exigências:

- I. Fator de uniformidade indicado conforme o tipo de via;
- II. Ser necessariamente superior a 1 lux.

Após definida qual a classe de iluminação da via, utiliza-se a Tabela 2.2 para definir a iluminância média mínima e o fator de uniformidade para cada classe de iluminação, para vias de tráfego motorizado:

Tabela 2.2 - Iluminância Média e Fator de Uniformidade Mínimo para as Classes de Iluminação de Via de Tráfego Motorizado.

<b>Classe de iluminação</b>	<b>Iluminância média mínima (<math>E_{med,min}</math> lux)</b>	<b>Fator de uniformidade mínimo (<math>U = E_{min}/E_{med}</math>)</b>
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 classificadas como sendo para tráfego de pedestres, tem-se a Tabela 2.3 abaixo.

Tabela 2.3- Iluminância Média e Fator de Uniformidade Mínimo para Cada Classe de Iluminação de Tráfego de Pedestres.

Classe de iluminação	Iluminância horizontal média $E_{med} lux$	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

### b) Requisitos de Iluminância e Uniformidade

As recomendações de iluminação das vias variam em classes (vide Quadros 2.5 e 2.6) podendo ser determinadas a partir do tipo de tráfego – tráfego motorizado ou tráfego de pedestres – densidade de tráfego, complexidade do tráfego, separação do tráfego e da existência de facilidades para o controle do tráfego, como os semáforos. Selecionada a via, esta deve atender a requisitos mínimos de luminância e uniformidade da iluminação, para vias de tráfego motorizado, estes requisitos estão descritos na Tabela 2.2 e na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Requisito para Cada Classe de Iluminação de Vias de Tráfego Motorizado

Classe de iluminação	$L_{med}$	$U_o$ $\geq$	$U_L$ $\geq$	TI %	SR
V1	2,00	0,40	0,70	10	0,5
V2	1,50	0,40	0,70	10	0,5
V3	1,00	0,40	0,70	10	0,5
V4	0,75	0,40	0,60	15	-
V5	0,50	0,40	0,60	15	-

Lmed: luminância média; UO: uniformidade global; UL: uniformidade longitudinal; TI: incremento limiar.

NOTA 1 Os critérios de TI e SR são orientativos, assim como as classe V4 e V5.

NOTA 2 As classes V1, V2 e V3 são obrigatórias para a luminância.

Fonte: ABNT-NBR 5101, 2012

### 2.2.5 Topologias de Posteamto de Iluminação Pública

Após a definição dos parâmetros de iluminação da via e dependendo do material a ser utilizado no desenvolvimento do projeto, deve-se definir a distribuição dos pontos de

iluminação sobre a via, a fim de atingir os valores de iluminância a serem adequados à classe de iluminação da via.

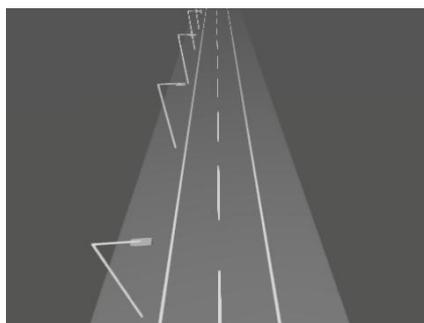
A seleção da disposição dos pontos de iluminação depende de alguns fatores básicos. Além dos valores luminotécnicos requeridos para a via, a distribuição dos pontos deve observar os custos envolvidos no projeto e a diversidade construtiva do local, como exemplo: as estruturas das redes elétricas existentes, postes, prédios, marquises, arborização ou quaisquer componentes que possam interferir na montagem do sistema de iluminação (COPEL, 2012).

A seguir, serão mostradas as principais distribuições de pontos de iluminação pública, seguindo critérios estabelecidos em COPEL (2012). Deve-se ressaltar que existem outros métodos para definição do posicionamento dos pontos luminosos, baseados na análise das variáveis luminotécnicas, contudo, em vários casos, as estruturas das redes elétricas já existem, sendo assim aproveitadas para a montagem dos componentes de iluminação.

### **Arranjo Unilateral**

O arranjo unilateral, na Figura 2.8, é a distribuição mais comum em iluminação pública, os postes de sustentação da iluminação pública são colocados todos em uma das laterais da via com espaçamento aproximadamente igual, normalmente são aplicados em vias coletoras e locais com largura máxima da pista de rodagem de 9 metros com tráfego motorizado leve ou médio.

Figura 2.8 - Arranjo Unilateral das Luminárias



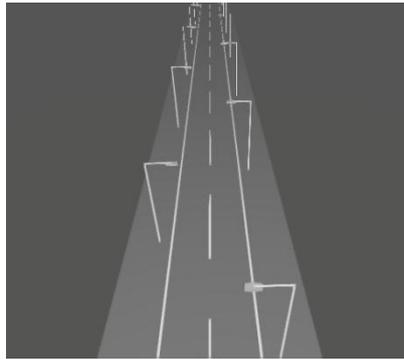
Fonte: Elaborada pelo autor

### **Arranjo Bilateral Com Centros Alternados**

Conforme se observa na Figura 2.9, o Arranjo bilateral é formado pela distribuição das luminárias pelas duas laterais da via, objetivando que estejam dispostas de maneira que as

luminárias do lado oposto da via estejam posicionadas exatamente na direção do centro do vão entre estas luminárias, mantendo uma distância padrão aproximada entre uma luminária de um lado da via e as outras duas luminárias mais próximas do lado oposto. Geralmente esse tipo de configuração é utilizado em vias com tráfego motorizado intenso e com largura de pista de rodagem de até 16 metros.

Figura 2.9–Arranjo Bilateral com Centros Alternados.

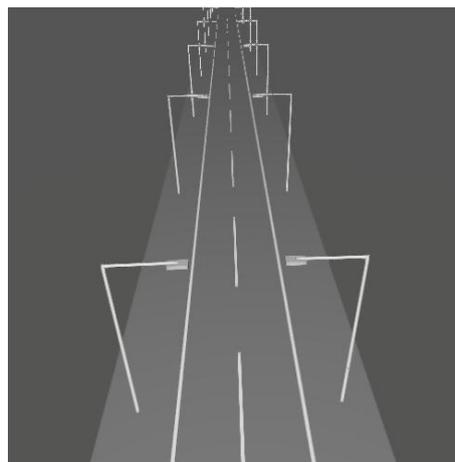


Fonte: Elaborada pelo autor

### **Arranjo Bilateral Com Centros Oposto**

Neste arranjo, as luminárias estão distribuídas pelos dois lados da via, sendo que cada uma das luminárias de um lado deve estar confrontando uma luminária correspondente, no outro lado da via, conforme Figura 2.10. Normalmente, essa distribuição é utilizada em vias de tráfego intenso em com pista de rolamento de largura de até 18 metros.

Figura 2.10 – Arranjo Bilateral com Centros Opostos

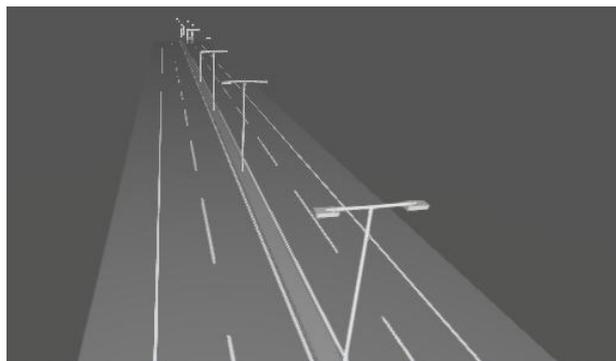


Fonte:Elaborada pelo autor

## Arranjo Central Duplo

Este arranjo, mostrado na Figura 2.11, utiliza duas luminárias instaladas em um único apoio, normalmente utilizado em vias que possuem canteiro central. Pode ser usado quando a largura das pistas for maior ou igual à altura de montagem e quando a largura do canteiro central não ultrapassar 3 metros.

Figura 2.11 – Arranjo Central Duplo



Fonte:Elaborada pelo autor

### 2.2.6 Cálculos Fotométricos Para Vias Públicas

Cálculos fotométricos para projetos de iluminação pública atualmente podem ser realizados através de softwares criados para tais funções, desde que, os fabricantes das luminárias disponibilizem as informações de forma que elas possam interagir com o *software* utilizado. Contudo, métodos menos sofisticados, os quais não utilizam *softwares*, conforme apresentado em Martinez (2013), podem ser usuais, mas tornam os projetos mais onerosos e menos precisos comparados aos que são realizados através de simulação computacional.

Para calcular a iluminância para uma luminária qualquer, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$E = \frac{v \cdot \Phi \cdot Fc \cdot n}{1000}$$

Em que:

$E$  = Nível de iluminância inicial da pista em lux;

$v$  = Iluminância para 1000 lúmens da lâmpada (valor do fabricante da luminária);

$\Phi$  = Fluxo luminoso total das lâmpadas por luminária;

$n$  = Fator de depreciação;

$F_c$  = Fator de correção, definido por:

$$F_c = \frac{h_1^2}{h_2^2}$$

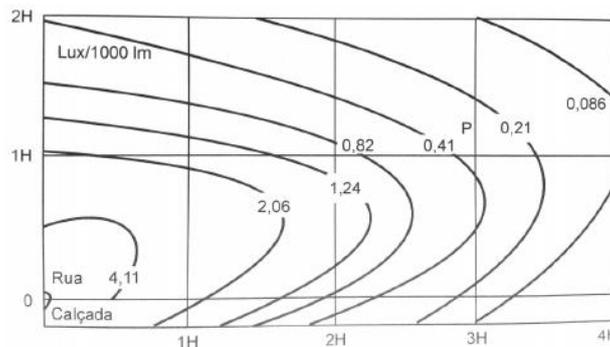
Sendo que:

$h_1$  = altura de montagem apresentada na tabela de distribuição fotométrica utilizada;

$h_2$  = Altura de montagem real do projeto.

Os fabricantes de luminárias costumam disponibilizar as curvas de distribuição fotométrica das luminárias, através das quais é possível calcular os níveis de iluminância para um via pública. Normalmente essas curvas de distribuição fotométricas são referenciadas tendo como base 1000 lumens. Conforme a Figura 2.12.

Figura 2.12 – Curva Isolux de uma Luminária Posicionada a 7 Metros de Altura.



Fonte: Guerrini, 2012

Através da curva fornecida, é possível realizar os procedimentos a seguir:

- Determina-se a altura de montagem da luminária;
- Convertem-se as curvas isolux com base nessa altura;
- Nesta escala, desenha-se a via e o afastamento entre o meio fio e as luminárias;
- Como as curvas são normalizadas ao valor de 1000 lúmens, todos os valores devem ser referidos ao fluxo nominal da luminária, da seguinte forma:

$$F_{real} = \frac{F_{total}}{1000}$$

Onde

$F_{total}$  = Fluxo total;

$F_{real}$  = Fluxo real normalizado.

- Após a determinação do afastamento dos postes, é possível compor as curvas isolux resultantes do conjunto de iluminação, oferecendo uma visão geral de iluminância da via.

## 2.3 COMPONENTES DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação pública é caracterizado por diversos componentes, além do elemento emissor de luz, estima-se que, ao longo da vida de uma instalação de iluminação pública, o valor dos materiais representa 15% do valor total dos gastos, o restante vem da soma do consumo de energia elétrica e manutenção do sistema (ROSITO, 2009). Nesta seção, serão apresentados os principais componentes de um sistema de iluminação pública.

### 2.3.1 Fontes Luminosas

Como elemento principal do sistema de iluminação, basicamente, tem a função de transformar energia elétrica em radiação eletromagnética com comprimento de onda que estejam dentro do espectro visível ao olho humano, isto pode se apresentar através de diversos métodos, dependendo do tipo de lâmpada, que podem ser usadas em diversas aplicabilidades, contudo, neste trabalho serão mostrados apenas os principais tipos de lâmpadas e fontes luminosas que são ou foram utilizados em iluminação pública.

#### a) Lâmpadas Incandescentes

São lâmpadas que funcionam através da passagem da corrente elétrica sobre um filamento de tungstênio que, com o aquecimento, libera energia em forma de luz, ela pode ser vista na Figura 2.13. O tungstênio se adapta com facilidade às temperaturas em que é submetido, o filamento fica imerso dentro de um bulbo com gases como argônio e nitrogênio.

Figura 2.13 - Lâmpada Incandescente



Fonte: Site Philips

Essas lâmpadas têm eficiência aproximada de 12lm/W e uma vida mediana de 1000 horas, o que pode ser resumido em uma baixa eficiência luminosa e baixa vida mediana; por esse motivo, foi extinta do mercado, devido a medidas que visam maior eficiência energética na iluminação e em iluminação pública vêm sendo substituídas por lâmpadas de vapor de sódio ou LEDs. No entanto, até pouco tempo ainda eram utilizadas, por conta do baixo custo de aquisição destas.

Estas lâmpadas apresentam máximo índice de reprodução de cor (IRC) na ordem de 100% e temperatura de 2400K, o que proporciona uma sensação de conforto ambiental.

### **b) Lâmpadas de Vapor de Mercúrio**

Nas lâmpadas de vapor de mercúrio (VM), conforme a Figura 2.14, a luz é gerada a partir de uma descarga elétrica provocada pelo gás de seu interior, esse gás é composto de mercúrio, argônio e outros gases. Seu funcionamento depende do acionamento de um reator e tem um índice de reprodução de cor na faixa de 55%.

Figura 2.14 – Lâmpada de Vapor de Mercúrio



**Fonte:** Site Philips

Este tipo de lâmpada está sendo substituída pelas lâmpadas de VSAP, por conta de sua eficiência relativamente menor que as lâmpadas de VSAP e seu curto tempo de vida. Possui uma eficiência aproximada de 55lm/W com tempo de vida mediano de aproximadamente 15.000 horas e uma alta depreciação ao longo da vida, emitindo um fluxo luminoso muito abaixo do que seria emitido no início do ciclo de vida.

### **c) Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão**

Esta tecnologia de lâmpada é considerada uma das mais eficientes nos dias atuais. Seu funcionamento, semelhante às de vapor de mercúrio, é através da excitação do gás no interior

da lâmpada pela corrente elétrica. A lâmpada de vapor de sódio está representada na Figura 2.15.

Figura 2.15 – Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão



Fonte: Site Labluz

Sendo a mais empregada em iluminação pública no Brasil, principalmente no âmbito do programa Procel-Reluz, programa de eficiência energética em iluminação pública brasileiro, a lâmpada de vapor de sódio possui eficiência de até 140 lm/W, sua tonalidade de luz é amarelada e tem um índice de reprodução de cor na ordem de 20%, com vida mediana que varia entre 16.000 a 32.000 horas, o que depende da tecnologia e da potência da lâmpada, estas características a tornam a mais adequada para uso em iluminação pública, túneis, fachadas e estacionamentos.

Para seu funcionamento é necessária a utilização de um reator e de um ignitor, em que, devido aos gases no interior da lâmpada, é necessário também que haja uma elevada tensão de partida, e esta é a função executada por estes dois equipamentos adicionais.

#### **d) Lâmpadas de Multivapores Metálicos**

A lâmpada de multivapores metálicos é uma lâmpada de vapor de mercúrio aperfeiçoada e, além do mercúrio, são adicionados iodetos metálicos, isso ocasiona diretamente uma melhora da eficiência luminosa e do IRC. A luz é produzida a partir de uma descarga elétrica através de um compartimento contendo iodetos metálicos produzindo luz de cor branca, com uma eficiência em torno de 100 lm/W.

Devido a sua eficiência mediana e seu bom índice de reprodução de cor, a uma boa opção para a iluminação de praças e lojas, ambientes que costumam utilizar lâmpadas que empregam maior fidelidade na reprodução das cores, sua aplicabilidade vem sendo ainda difundida através da iluminação pública.

Nesta lâmpada, assim como na lâmpada de VSAP, é necessário que haja uma tensão elevada na partida, esta função é realizada pelo ignitor que gera esses pulsos de tensão na partida. Nesse grupo de lâmpadas, existem alguns modelos que não necessitam de ignitor, pois existe um dispositivo que gera esses pulsos dentro da própria lâmpada.

Esse tipo de lâmpada pode ser subdividido basicamente em dois grupos:

### **i. Lâmpadas de Vapor Metálico de Alta Potência**

São utilizados em grandes áreas em que se preza por uma alta qualidade de iluminação, é encontrada em potências que variam de 250W a 2000W, com temperatura de cor que pode variar entre 4.000K e 6.000K e índice de reprodução de cor de até 90%. Na Figura 2.16-a, temos uma lâmpada de 400W.

### **ii. Lâmpadas de Vapor Metálico de Baixa Potência**

Com seu tamanho reduzido em relação à anterior, podem ser encontradas nas potências de 35W, 70W e 150W, possuem excelente reprodução de cores, são utilizadas na iluminação de fachadas e iluminação decorativa, são uma boa alternativa para a utilização em luminárias públicas e refletores. Na figura 2.16-b, é apresentado um exemplo dessa lâmpada, que, dependendo da aplicação, pode ser visualmente muito semelhante às de multivapor metálico de alta potência.

Figura 2.16 - Lâmpadas de Multivapores Metálicos



### e) Lâmpada Fluorescente de Indução Magnética

O princípio de funcionamento da lâmpada fluorescente de indução magnética, da Figura 2.17, é semelhante ao da lâmpada fluorescente comum, em que o mercúrio e outros gases no interior da lâmpada são excitados por um campo magnético externo que oscila em frequências na ordem de 250kHz, é uma tecnologia relativamente nova.

Figura 2.17 – Lâmpada Fluorescente de Indução Magnética



Fonte: Site Pumaluz

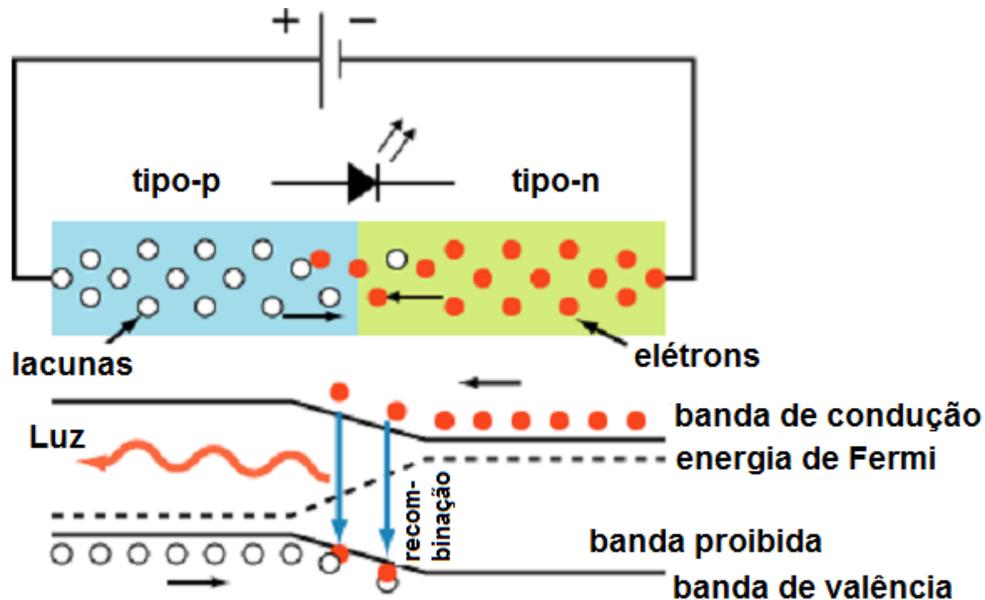
É uma lâmpada de alta durabilidade, podendo variar de 60.000 a 100.000 horas. Essa lâmpada tem um alto fluxo luminoso, boa eficiência luminosa, está disponível em diversas tonalidades de cor e seu tempo de vida não depende do número de acendimentos, é utilizada normalmente em locais de difícil acesso e alto custo de manutenção.

### f) Diodos Emissores de Luz (LEDs)

O Diodo Emissor de Luz, conhecido pela sua abreviatura da língua inglesa LED (*Light Emission Diode*), é um dispositivo eletrônico constituído por dois materiais semicondutores diferentes formando uma junção PN que permite fluxo de corrente em apenas uma direção. Se a junção PN é polarizada diretamente, através da aplicação de uma diferença de tensão positiva no terminal constituído por material tipo P em relação ao terminal de material do tipo N, as lacunas (cargas positivas) da camada tipo P e os elétrons (cargas negativas) da camada de material N movem-se em direção e camada de depleção, que é a região de transição entre os materiais P e N. Segundo Bullough (2003, *apud* NOGUEIRA, 2013) Esse movimento de recombinação de cargas positivas e negativas libera energia através de fótons de luz. A Figura

2.18 mostra de maneira simplificada a estrutura Física e o processo de emissão de luz de um LED.

Figura 2.18 – Representação do Comportamento físico de um LED



Fonte: Almeida, 2012b

Os diodos comuns emitem radiação eletromagnética na faixa de radiação infravermelha (luz invisível) em baixas intensidades. Esse efeito pode ser conseguido com maior intensidade e em diferentes faixas do espectro eletromagnético, podendo obter-se tanto radiação infravermelha, quanto radiação no espectro visível e até na faixa ultravioleta. A partir desse princípio o diodo emissor de luz é criado, trata-se de um componente cuja estrutura básica é a mesma do diodo comum, mas que são feitos de materiais como o Arseneto de Gálio (GaAs) e outras variações como o Arseneto de Gálio com Índio (GaAsIn) (BRAGA, 2012), diferentemente dos diodos comuns fabricados em Silício ou Germânio.

O processo de emissão eletromagnética ocorre quando um elétron libera energia ao decair de uma órbita mais alta para a mais baixa, esta energia é liberada em forma de um fóton. Assim, os LEDs são componentes que podem produzir uma luz incrivelmente pura quanto ao espectro eletromagnético desejado, isto deve-se ao fato de que a emissão ocorre através de um processo de transferência de energia entre elétrons, que estão em órbitas definidas nos átomos. Uma quantidade de energia bem definida e única é liberada para cada tipo elemento, emitindo assim uma determinada coloração.

O LED é um dispositivo capaz de produzir muito mais luz visível do que calor quando comparado com outras tecnologias de lâmpada, e pode ser até 50% mais eficiente do que as tecnologias comumente usadas, com eficiência aproximada, variando de 80 lm/W a 100 lm/W e IRC de até 90. O tempo de vida da lâmpada LED pode chegar a mais de 50.000 horas, o que pode variar muito, dependendo do fabricante e condições a que o LED é submetido, segundo Sales (2011).

É a principal tecnologia que emerge como principal opção futura quando se fala de economia na iluminação pública, pois disponibiliza alto fluxo luminoso, utilizando uma quantidade de energia elétrica reduzida, quando em comparação com as lâmpadas de vapores metálicos, comumente empregadas na iluminação pública brasileira. O encapsulado de LED (Figura 2.20), que agrupa as pastilhas semicondutoras de LED (figura 2.19), pode ser encontrado em formatos variados, dependendo da sua finalidade e fabricante.

Figura 2.19–Pastilha Semicondutora de LED



Fonte: Abilux, 2015

Figura 2.20–Encapsulado de LED



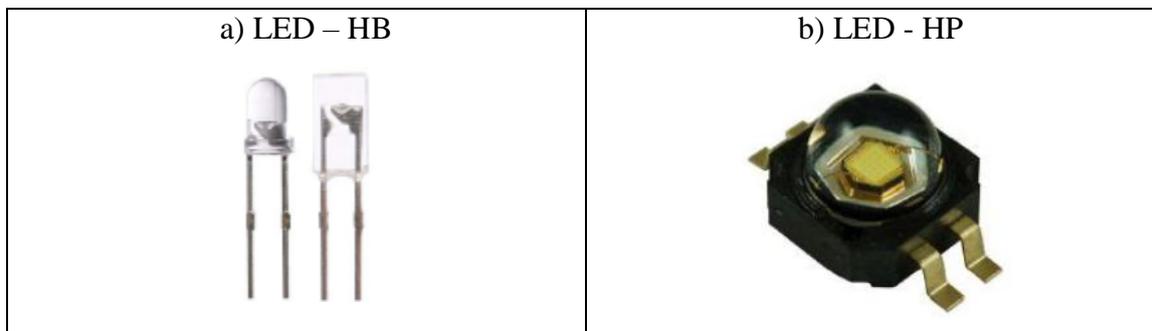
Fonte: Abilux, 2015

Os LEDs aplicados na iluminação pública pode ser subdivididos em dois grupos: Os LEDs de alto brilho e LEDs de alta potência.

Os LEDs de alto brilho (HB-LEDs), são aqueles que trabalham em baixas potências, com correntes nominais típicas de 20mA. Enquanto que, os LEDs de potência (HP-LEDs),

são aqueles que trabalham em elevados níveis de potência, de 300mA a 1,5A (NOGUEIRA, 2013). Segundo Nogueira (2013, *apud* RODRIGUES, 2011), os LEDs-HP possuem maior fluxo luminoso e eficácia luminosa do que os LEDs-HB, o que os torna mais indicados para iluminação pública. A figura 2.21 demonstra estes dois tipos de LEDs

Figura 2.21 – Dois tipos de LEDs para iluminação pública



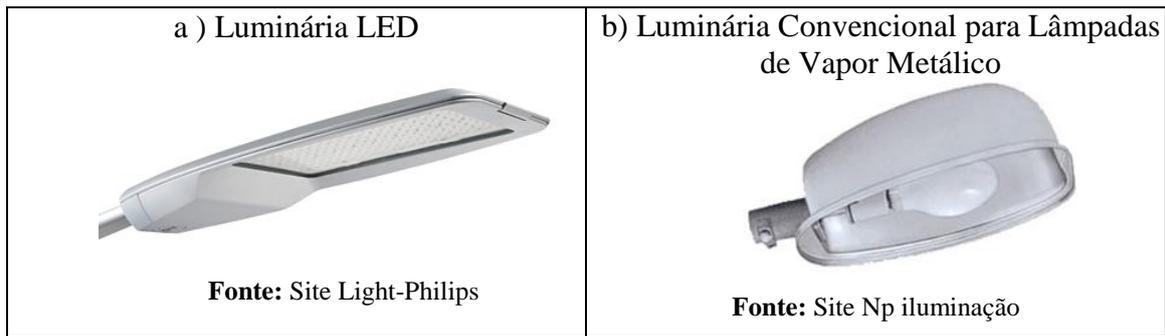
Fonte: Nogueira, 2013

### 2.3.2 Luminárias

As luminárias são equipamentos que têm a função de abrigar as lâmpadas contra as intempéries externas e a ação humana ou de animais com facilidade. Também têm a função de direcionar o fluxo luminoso para o plano de trabalho, por isso se tornam componentes de fundamental importância no sistema, pois garante que os equipamentos diretamente responsáveis por transformar energia elétrica em fluxo luminoso tenham uma durabilidade desejada e que a iluminação seja utilizada com maior eficiência em seu plano de trabalho. Por isso, a escolha correta da luminária utilizada no projeto é de fundamental importância.

Tratando-se de tecnologia LED, na Figura 2.22-a, a fonte luminosa é acoplada à luminária, de maneira que a substituição de apenas um ou outro componente não é possível, pois a luminária e a fonte luminosa são fabricadas em conjunto a formar um único produto comercializável, diferente das luminárias que comportam as lâmpadas convencionais, na Figura 2.22-b, onde a luminária é comercializada separadamente à lâmpada.

Figura 2.22 - Luminárias



As luminárias, assim como a maioria dos equipamentos da iluminação pública, vêm passando por processos de evolução no decorrer do tempo, nesse contexto, a norma NBR 15129 da ABNT tem a função de padronizar e estabelecer valores mínimos de qualidade para luminárias de iluminação pública.

### 2.3.3 Driver

*Driver* (Figura 2.23) é o circuito eletrônico responsável pelo funcionamento e controle do LED. Os *Drivers* propiciam o controle das grandezas envolvidas no acionamento das lâmpadas LED, disponibilizando tensões e correntes dentro dos limites especificados pelo fabricante, segundo Monteiro *et al.* (2014), dessa forma permite a manutenção da vida útil do LED a partir de seu funcionamento adequado.

Figura 2.23–*Driver* para Luminária Led



Fonte: Site Lunex

### 2.3.4 Braço

O braço (Figura 2.24-b) é o componente que tem por função básica fornecer sustentação, servir de eletroduto para a fiação de rede elétrica que alimenta a luminária (Figura 2.24-a) e também permitir o posicionamento da luminária no local desejado e com a angulação desejada para que se tenha o máximo aproveitamento do fluxo luminoso emitido pela fonte de luz.

Figura 2.24 – Estrutura de Iluminação Pública e Braço

a) Estrutura de Iluminação Pública em Um Poste de Sustentação da Rede Elétrica



Fonte: Oliveira D.

b) Braço de Iluminação Pública



Fonte: Site Iluminacao e Eletricidade

Os braços devem possuir resistência mecânica suficiente para suportar os esforços provocados pelo peso da luminária e as diversas intempéries provocadas pela ação do vento e mudanças climáticas e atos de vandalismo.

### 2.3.5 Ignitor

É o componente responsável por produzir a descarga de acionamento das lâmpadas de vapor de sódio e multi-vapor metálico, aplicando pulsos de alta tensão que podem variar de 0,7 a 40 kV acima da tensão de funcionamento da lâmpada para seu acendimento, esses pulsos elétricos têm a função de ionizar os gases no interior das lâmpadas; antes da partida, estes gases funcionam como um circuito de alta impedância ou circuito aberto. Após o acionamento, esta impedância diminui, tornando a lâmpada como um circuito de baixa impedância, em que, após o acendimento da lâmpada o ignitor, mostrado na Figura 2.25, deixa de produzir pulsos.

Figura 2.25 – Ignitor de uma Lâmpada de Vapor Metálico



Fonte: Site Serwal

### 2.3.6 Reator

Predominantemente utilizado nas lâmpadas de descarga, o reator é um componente que tem a função de fazer a manutenção do fluxo luminoso da lâmpada, limitando a corrente e a tensão incidente sobre ela, visto que nos períodos iniciais, o circuito da lâmpada funciona em alta impedância, enquanto que, após a aplicação de uma elevada tensão pelo ignitor, esse valor de impedância interna da lâmpada declina consideravelmente, tornando a lâmpada um circuito de baixa impedância. Por permitir o controle dessas correntes de tensão no período inicial, evita assim a rápida autodestruição da lâmpada de maneira instantânea.

Assim, como os outros componentes elétricos do sistema de iluminação, o reator é responsável pelo consumo de uma parcela de energia do sistema, portanto, é de fundamental importância o seu correto dimensionamento, a fim de se evitar perdas elétricas e permitir maior durabilidade dos componentes do sistema. As características do reator devem ser adequadas às lâmpadas às quais está conectado.

Os reatores mais utilizados atualmente são os eletromagnéticos (Figura 2.26-a). Estes possuem baixo custo de aquisição, são recicláveis, robustos, têm uma ampla vida útil, elevado fator de potência e alguns modelos possuem eficiência acima de 90%. No entanto, possuem peso e volume elevados, emitem ruído audível, possuem efeito estroboscópico, alta sensibilidade, não são dimerizáveis e são sensíveis a variações de tensão na rede elétrica.

Como fruto de um processo contínuo de aprimoramento, a fim de reduzir as perdas e o aumento da durabilidade dos reatores, os reatores eletromagnéticos vêm sendo substituídos pelos reatores eletrônicos (Figura 2.26-b); estes, utilizados em lâmpadas de descarga de alta pressão, possuem um fator de potência superior a 0,99 e perdas inferiores a 8% (ALMEIDA 2012a), além de dispensarem o uso de ignitor, necessário em algumas lâmpadas quando se utiliza o reator eletromagnético. Apesar disto, existem poucos reatores eletrônicos disponíveis para lâmpadas de alta pressão e estes podem apresentar ressonância acústica quando operando a frequências acima de alguns kilohertz.

Figura 2.26 - Reator

a) Reator Eletromagnético para Lâmpadas de Vapor de Mercúrio      b) – Reator Eletrônico para Lâmpadas de Vapor Metálico



Fonte: Site Intral



Fonte: Site Philips

### 2.3.7 Relé Fotoelétrico

O relé fotoelétrico (Figura 2.27) é composto de células fotossensíveis utilizadas para controlar o acendimento e o desligamento das lâmpadas de forma automática, ele depende da luminosidade incidente sobre si, o que o faz funcionar como uma chave fechada que passa a ter seu contato aberto a partir do momento em que um determinado valor de luminosidade incide sobre as células. Pode ser utilizado para controlar o acendimento de uma lâmpada individual ou de um conjunto de lâmpadas.

Figura 2.27 – Relé Fotoelétrico



Fonte: Site Usiluz

### 2.3.8 Rede de Distribuição

As redes de distribuição de energia elétrica são de responsabilidade das concessionárias e, além de prover energia elétrica para os habitantes das cidades, têm de fornecer capacidade suficiente para alimentar o sistema de iluminação pública.

É importante mencionar que, apesar de as concessionárias fornecerem a energia para a iluminação pública, isso não necessariamente as faz responsáveis pela manutenção da citada iluminação. De acordo com a resolução normativa nº 414 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), os ativos da iluminação pública devem pertencer aos municípios, fato este que passou a ser efetivado a pouco tempo no estado do Amapá.

### 2.3.9 Dispositivos de Proteção

Têm a função de proteger os circuitos elétricos contra sobrecorrentes e descargas atmosféricas.

Como exemplo, tem-se o disjuntor (Figura 2.28-a), que tem a função de proteger o circuito contra sobrecargas e curto-circuito, enquanto que os para-raios (Figura 2.28-b) têm função de proteger o sistema contra picos de tensão, que normalmente são oriundos de descargas atmosféricas.

Figura 2.27 – Dispositivos de Proteção da Rede Elétrica  
a) Disjuntor                      b) Para-Raio Tipo Franklin



Fonte: Site Schneider Electric



Fonte: Site Brasil Escola

### 2.3.10 Estruturas de Sustentação da Rede Elétrica

As estruturas de sustentação da rede elétrica são os componentes responsáveis por sustentar os cabos da rede elétrica de distribuição possibilitando que eles tenham um espaçamento mínimo recomendado entre si, entre os demais componentes da rede elétrica e em relação a objetos externos a rede, principalmente em redes com condutores nus. As principais estruturas de sustentação para rede de distribuição são demonstradas no Anexo B.

### **3 – ILUMINACAO PÚBLICA: ESTUDO DE CASO**

Varias ações de eficiência energética voltados para a iluminação pública foram desenvolvidos no Brasil, desde as primeiras luminárias até o presente momento; incentivando a constante evolução e aprimoramento das tecnologias de iluminação e uso de métodos mais eficientes, como o programa Procel Reluz. Neste cenário, surge a proposta de utilização da tecnologia LED, amplamente utilizada na Europa, apresenta-se como uma tecnologia em estado de avaliação para a sua implementação massiva no mercado brasileiro de iluminação pública.

#### **3.1 PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Os programas de eficiência energética são os principais incentivadores ao uso consciente das formas de energia e indiretamente são responsáveis pelo fomento de tecnologias inovadoras e econômicas.

##### **3.1.1 Programa de Eficiência Energética – PEE**

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL tem como uma de suas funções gerir programas de pesquisa e desenvolvimento e de eficiência energética, sendo responsável pela regulação dos investimentos compulsórios pelos agentes do setor de energia em tais programas. Atualmente, isto é realizado no âmbito do Programa de Eficiência Energética – PEE, conforme diretrizes estabelecidas na Lei 9.991, de 24 de junho de 2000.

O programa tem como objetivos demonstrar a importância e a viabilidade econômica de ações com enfoque na eficiência de procedimentos e equipamentos elétricos e o combate ao desperdício de energia elétrica. Monitorando para que os investimentos realizados sejam aplicados de forma coerente, estimulando, assim, que ocorram mudanças de hábitos por parte do mercado na execução de projetos mais eficientes e rentáveis.

Conforme dispõe a lei nº 9.991, as empresas concessionárias ou permissionárias dos serviços públicos de distribuição de energia deverão aplicar no mínimo 0,75% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e 0,25% em programas de eficiência energética no uso final, sendo que até 31 de dezembro de 2015, 50% dos recursos destinados ao PEE são aplicados tanto em programas de pesquisa e desenvolvimento quanto em programas de eficiência energética na oferta e no uso final de energia. Elas

deverão aplicar ainda 60% dos recursos de seus programas de eficiências nas unidades beneficiadas pela tarifa social.

As concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica são obrigadas a aplicar anualmente 1% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, isentando-se as empresas que geram a partir de fontes renováveis.

Além de obedecer aos requisitos acima, os projetos de eficiência energética desenvolvidos devem ter no mínimo uma relação custo/benefício de 0,8, a taxa de desconto anual a ser utilizada deve ser de 12%, entre outros requisitos básicos para o desenvolvimento dos mesmos.

### 3.1.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel, foi desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia – MME, sendo instituído a partir de 1985, com a intenção de combater o desperdício de energia elétrica e promover seu uso eficiente (Procel, 2016), promovendo ações em diversos segmentos da economia, ajudando tanto o país na economia de energia assim quanto a sociedade que se beneficia disso.

Desde a criação, a Eletrobrás já investiu cerca de R\$ 2,397 bilhões em ações de eficiência energética do Procel, a origem destes recursos é a própria Eletrobrás juntamente com investimentos da Reserva Global de Reversão e de outros investidores de fundos internacionais.

No ano de 2015, a economia energética resultante dos programas desenvolvidos pelo Procel correspondeu a aproximadamente 2,5 % de todo o consumo nacional de energia elétrica no período de análise. As Tabelas 3.1 e 3.2 mostram os principais resultados obtidos pelo Procel no ano base de 2015.

Tabela 3.1 – Principais Resultados Energéticos das Ações do Procel Em 2015.

<b>Resultado</b>	<b>Total</b>
Energia economizada (bilhões de kWh)	11,680
Usina equivalente (MW) <sup>3</sup>	2,801
Emissão de CO <sub>2</sub> equivalente evitada (milhão tCO <sub>2</sub> e)	1,453

Fonte: Procel, 2016

Tabela 3.2 – Indicadores dos Resultados das Ações do Procel Em 2015.

<b>Indicador</b>	<b>Total</b>
Economia em relação ao consumo de energia elétrica no Brasil (%)	2,5
Economia em relação ao consumo residencial de energia elétrica no Brasil (%)	8,9
Número de residências que poderia ser atendidas durante um ano com energia economizada (milhões)	6,02

Fonte: Procel, 2016

Os fundos disponibilizados para investimento no programa Procel são investidos em diversos subprogramas sob a supervisão da Eletrobrás, sendo eles:

- Procel Educação
- Procel Info
- Selo Procel
- Procel Edifica: Edificações
- Procel EPP: Prédios Públicos
- Procel GEM: Gestão de Energia Municipal
- Procel Indústria
- Procel Reluz: Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes
- Procel Sanear: Saneamento Ambiental

Este trabalho aborda questões relacionadas à iluminação pública, então, dentre os projetos criados no âmbito do Procel será dado destaque ao Programa reluz, explanando assim sobre questões relevantes do programa, a fim de oferecer informações que venham consolidar o conhecimento sobre iluminação pública no Brasil.

### 3.2 EFICIÊNCIA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA BRASILEIRA

No Brasil, desde as primeiras luminárias, projetos de modernização vêm sendo implementados, desde os primórdios da iluminação pública no Brasil, no século XVIII, quando a iluminação era realizada a partir de lampiões supridos com óleo de azeite, e posteriormente por sistemas supridos por energia elétrica. A evolução das tecnologias disponíveis tem sido o principal fator responsável pela modernização dos sistemas.

Contudo, contemporaneamente, o desenvolvimento tecnológico esbarra na questão ambiental, que vem coibir a evolução tecnológica descomedida, sendo fundamental para o convívio humano de maneira digna no planeta.

A crise no setor elétrico brasileiro ainda é latente, contudo acaba sendo encoberta pela mídia devido aos atuais escândalos da Petrobrás que se tornam o foco dos veículos de comunicação. Questões como rombos financeiros, preços altos de contas de luz, riscos hidrológicos, racionalização do uso da eletricidade, entre outros são questões que ainda permeiam as discussões sobre eficiência energética no Brasil.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em seu Plano Decenal de Energia (PDE) 2023, estima-se que o montante que tem que ser conservado é de 54 tWh, o que equivale a aproximadamente um mês e meio do consumo mensal médio de energia no Brasil.

No contexto brasileiro, os projetos de maior abrangência na área de eficiência energética a se destacar são o Programa de Eficiência Energética (PEE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

### **Procel Reluz**

O Procel Reluz tem como objetivo promover o desenvolvimento de tecnologias eficientes de iluminação pública e sinalização semafórica, valorizando o período noturno de espaços urbanos externos e, através disso, promover a economia a partir da redução do consumo de eletricidade na iluminação pública e sinalização, fomentados através da disponibilização de uma linha de crédito para financiamento de projetos de iluminação pública.

Na iluminação pública, o projeto é realizado, até o momento, por meio da substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio e incandescentes por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP), que são mais eficientes que os outros dois modelos.

O ano de 2014 foi de significativa importância para a entrada da tecnologia LED no cenário de iluminação pública brasileiro, quando houve a incorporação das lâmpadas LED ao portfólio do Selo Procel, estabelecendo regulamentação técnica para estas (PROCEL, 2015).

Uma das primeiras experiências do projeto Programa Procel Reluz na aplicação das lâmpadas LED ocorreu através de um convênio com a Universidade Federal de Juiz de Fora para a utilização de luminárias LED no entorno no anel viário da universidade, conforme apresentado em Rodrigues *et al.* (2012).

Na sinalização semafórica, os sistemas de iluminação que utilizam lâmpadas incandescentes são substituídos por sistemas que se utilizam de diodos emissores de luz, conhecidos como LED, que são bem mais eficientes, além de ter vida útil muito superior ao anterior ao preço de que se tem um custo de investimento inicial mais elevado, mas que ainda sim é compensatório.

Assim, com as substituições de equipamentos obtêm-se menor consumo de energia elétrica, e maior durabilidade dos equipamentos, mantendo-se os níveis de luminotécnicos dentro dos padrões estabelecidos nas normas técnicas que regulam o setor.

Segundo o levantamento do Procel (2016), o total de economia de energia elétrica e redução de demanda nos horários de pico em 2014 foram, respectivamente, de 120,67 milhões de kWh e de 27,51 mil kW, em função das aplicações dos procedimentos citados acima.

### 3.3 SOFTWARES PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO

A utilização de softwares para a projeção de um sistema de iluminação pode tanto contribuir para a agilidade e precisão do processo, quanto para ajustes que permitam um melhor desempenho e economia no desenvolvimento.

Atualmente, existe uma vasta gama de *softwares* voltados para projetos de iluminação, como o Aladan desenvolvido pela GE nos EUA, DIALux desenvolvido pela Dial GmbH, o Calculux desenvolvido pela Philips Electronics na Europa e o *software* privado AGI32 desenvolvido pela Lighting Analysis Inc, entre outros (LANCELLE, 2013).

O *Software* DIALux é um *software* que, além de apresentar um vasta gama de aplicações relacionadas à iluminação, incluindo iluminação pública, é gratuito e está disponível para qualquer público no *Website* do fabricante em diversos idiomas.

Ao contrário da maioria dos *softwares* de simulação de projetos de iluminação pública, o DIALux, permite que produtos de diversos fabricantes sejam utilizados no desenvolvimento do projeto através de *plugins* disponibilizados pelas próprias fabricantes em seus *Websites* ou na própria *interface* do *Software*. Este *software* será utilizado para desenvolver o presente trabalho e com isso, será melhor descrito a seguir.

### 3.3.1 *Software* DIALux – DIAL

O DIALux é um *software* para planejamento de sistemas de iluminação em geral, sendo um dos principais *softwares* de simulação luminotécnica no mundo. Segundo dados fornecidos pela empresa, são mais de 600.000 usuários do *software* em todo o mundo, contando com produtos de mais de 190 empresas (DIAL, 2017), esses produtos são disponibilizados através de *plugins* para serem baixados e acrescentados ao *software*, normalmente estes *plugins* estão disponíveis no site das fabricantes.

Um conjunto de razões fez com que o *software* DIALux fosse utilizado no desenvolvimento deste projeto, a principal é que ele permite que se utilize uma grande diversidade de produtos de diversos fabricantes, permitindo que alguns fatores fossem possíveis, são eles:

- O projetista do sistema de iluminação não tem sua criatividade limitada à utilização produtos da empresa fornecedora do *software*.
- A relação benefício/custo pode se tornar maior, pois não se espera que a mesma empresa tenha todos os componentes de melhor qualidade, com um custo mais acessível, e ainda obedeça aos critérios estabelecidos no projeto, então o projetista tem a liberdade de selecionar produtos similares de outros fabricantes e mais adequados ao projeto.
- Considerando as dificuldades logísticas, o *software* embarcado de múltiplos fabricantes também se sobressai, pois, em caso de indisponibilidade local do produto fornecido por determinado fabricante, o projetista pode optar por produto similar para tal função, sem prejuízo à fidelidade do sistema projetado ao desenvolvido.

Deve-se mencionar que o *software* segue o padrão da norma EN 13201 de 2015 utilizada na Europa, no entanto, a norma brasileira NBR 5101, que regulamenta critérios para iluminação pública, é baseada também naquela norma, ou seja, muitos critérios estabelecidos na norma na norma EN 13201 são os mesmos da NBR 5101.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES NECESSÁRIAS PARA A REDE ELÉTRICA DE ALIMENTAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.

Os conceitos apresentados nesse item são baseados nas normas regulamentadoras da concessionária CEA (Companhia de Eletricidade do Amapá), a qual é responsável pela rede elétrica do estado do Amapá, que é ainda encarregada das atividades de iluminação pública no Estado, na NBR 5101 da ABNT, entre outras normas as quais as normas da CEA tenham como referência.

Ao início do projeto, devem ser obtidas todas as informações necessárias do ambiente no qual o projeto será desenvolvido, como as metragens, a existência de rede elétrica no local, se existe sistema de iluminação pré-existente e, caso exista, qual o tipo de lâmpada e as potências utilizadas, incluindo também as características do sistema elétrico de alimentação do sistema de iluminação pública.

Na maioria das vezes, as luminárias de iluminação pública são posicionadas em postes destinados à transmissão ou distribuição de energia elétrica, sendo que a altura desses postes e a resistência mecânica podem ser determinados através do esforço mecânico que ele terá que suportar, do engastamento do mesmo e da distância entre o ponto mais baixo de curvatura do condutor e o solo, obedecendo aos valores mínimos de distâncias dos condutores ao solo, conforme estabelecidos nas normas.

Para o dimensionamento dos cabos da transmissão e distribuição, considera-se a queda de tensão e o limite térmico dos cabos para a realização do dimensionamento desses. Na norma NTD-04 da concessionária CEA, é estabelecido como critério apenas que haja uma queda máxima de 4% da tensão nominal no projeto inicial do sistema primário e uma queda de 3% da tensão nominal do projeto inicial do sistema secundário, para redes aéreas de condutores nus.

Considerando um sistema no qual os tipos de cabos de distribuição já foram definidos através do levantamento de carga estimada para a localidade e da corrente suportada pelo cabo, deve-se definir a distância mínima entre os condutores e o solo, no caso das rodovias federais – o caso estudado neste trabalho – a distância é de 7 metros, conforme a norma ABNT 15688.

Na determinação da distância entre o condutor e o solo, deve-se considerar o arqueamento que este condutor sofre quando interligado a dois pontos distantes; o ponto mais próximo do solo que este arqueamento alcança é chamado de flecha ( $f$ ), essa flecha é determinada a partir dos seguintes procedimentos:

Para início aos cálculos define-se o vão regulador ( $aR$ ), ele representa o valor equivalente para uma sequência de vãos contínuos, em ELEKTRO (2014) o vão regulador para projetos de rede de distribuição usualmente pode ser calculado pela equação (1).

$$aR = am + \left(\frac{2}{3}\right) * (aM - am) \quad (1)$$

Onde:

$am$  – Vão médio entre o conjunto de postes;

$aM$  – Vão máximo entre o conjunto de postes.

Após, define-se a flecha do condutor, sendo esta a distância entre o ponto mais baixo da curvatura do condutor entre dois postes e uma linha imaginária que sai do ponto de fixação do condutor ao poste e segue paralela a via, conforme observa-se na Figura 3.1. A equação (2) apresenta o cálculo para a determinação da flecha, segundo Almeida e Santos (1985).

$$f = \frac{p * (aR^2)}{8 * Tm} \cdot \left[1 - h * \frac{2 * Tm}{p * (aR^2)}\right]^2 + Zc \quad (2)$$

Onde:

$Zc$  = decaimento vertical do isolador;

$p$  – Peso específico do condutor;

$Tm$  – Tração de montagem.

A tração de montagem não deve ultrapassar 0,2 x a tração de ruptura do cabo. A tração de montagem pode ser disponibilizada através de tabelas com valores específicos para cada tipo de cabo e o vão entre os postes. A norma NTD-04 da concessionária CEA disponibiliza estes valores tanto para redes de baixa tensão, quanto para redes de alta tensão.

A altura do poste é determinada a partir da soma do comprimento do engastamento ( $e$ ) do poste, da altura mínima entre o condutor mais baixo e o solo, da flecha, das distâncias

verticais existentes entre os condutores da rede, quando houver, e do ponto de esforço máximo do poste, localizado a 20 cm abaixo do topo.

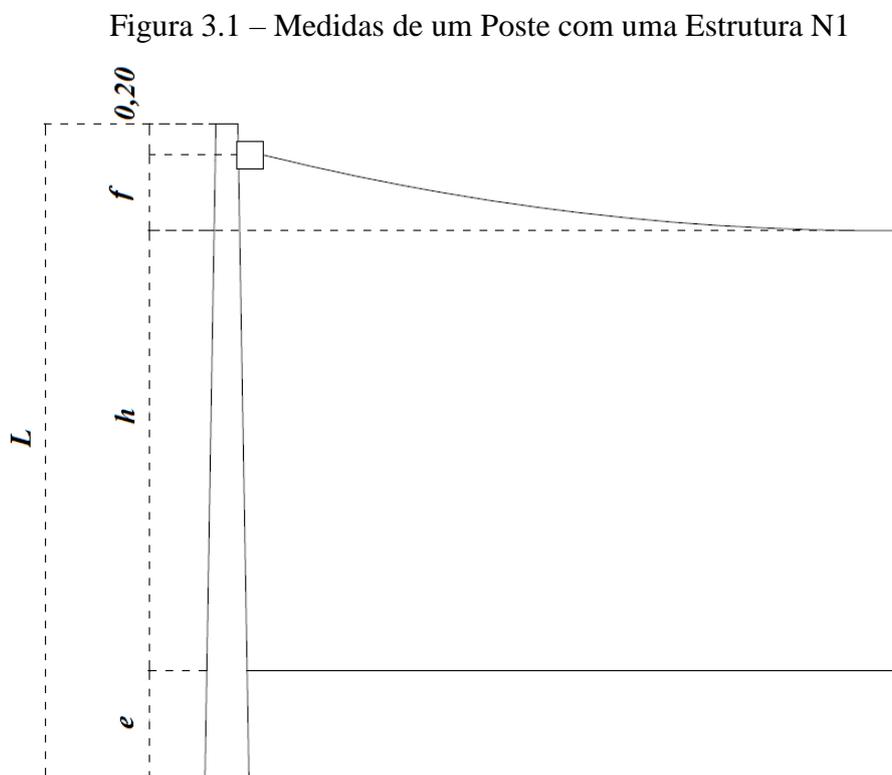
O comprimento do engastamento é determinado pela fórmula  $e = \frac{L}{10} + 0,6$  em metros, para qualquer tipo de poste, sendo que  $e$  mínimo igual a 1,50m, onde,  $L$  = Comprimento do poste (m)

Sendo assim, a altura total do poste para o caso de uma estrutura N1, é determinada pela Equação (3), conforme observa-se na Figura 3.1. Na Figura B2 do Anexo B, é demonstrada de maneira mais detalhada a composição da estrutura N1. Esta equação para determinação da altura mínima do poste pode variar para cada tipo de estrutura de sustentação escolhida.

$$L = 0,2 + f + e + h$$

Ou

$$L = 0,2 + f + \frac{L}{10} + 0,6 + h \quad (3)$$



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Deve-se lembrar que, a fim de simplificar o processo de cálculo da altura dos postes a norma NTD-04 da CEA recomenda-se que sejam usados postes com os comprimentos indicados na tabela 3.3.

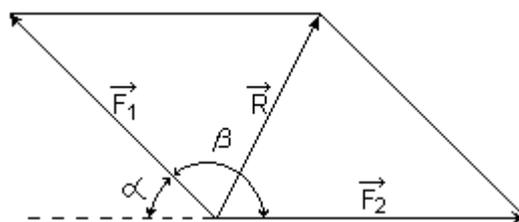
Tabela 3.3 – Comprimentos Padrões para Postes de Distribuição De Energia Elétrica pela Concessionária CEA.

Comprimento (m)	Utilização
9	Serão de uso exclusivo para redes secundárias
11	De uso geral para redes primárias e/ou de redes secundárias.
12/13	Serão utilizados em casos especiais de cruzamentos, mais de 2 níveis de cruzetas, etc.

Fonte: CEA - NTD-04

Quanto à resistência mecânica dos postes, deve-se considerar o esforço mecânico sofrido por eles, quando no suporte de linhas de transmissão ou distribuição e a força do vento que age sobre a estrutura. Nesses casos, o cálculo das forças resultantes deve ser incluído no projeto e detalhado no memorial de cálculo. Em redes de distribuição a Figura 3.2 pode representar as trações dos condutores, devido ao seu peso, aplicadas ao poste.

Figura 3.2 – Forças atuantes sobre um ponto



Fonte: CEA – NTD-04

Onde:

$F_1$  e  $F_2$  = Trações dos cabos de energia elétrica;

$R$  = Tração resultante;

A tração resultante sobre o poste é obtida pela equação:

$$R = \sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos(\beta))} \quad (4)$$

A Equação (4) pode ser usada tanto para o cálculo da tração resultante nos cabos do circuito de distribuição primário, quanto para o cálculo da tração resultante no circuito secundário.

Comumente, os esforços dos postes de distribuição são determinados a partir da força ortogonal suportada pelos mesmos a uma distância de 20 cm do topo, assim os cálculos das trações ortogonais atuantes sobre o postes devem ser refletidos a este ponto, para que se determine o esforço que deve ser suportado pelo poste escolhido no projeto. Caso os condutores da estrutura escolhida não estejam posicionados a uma distância de 20 cm abaixo do topo do poste será necessário realizar a transferência dos valores de tração encontrados para este nível. Isso será feito através seguinte equação:

$$R_{20} = R \cdot \frac{h}{h_{20}} \quad (5)$$

Onde,

$R_{20}$  = Esforço aplicado a 20 cm do topo do poste

$h$  = Distância do condutor ao solo

$h_{20}$  = Altura livre do poste até 20 cm do topo.

Além da tração aplicada pelos condutores sobre o poste, existe outra força a ser considerada, esta força ocorre devido à incidência do vento sobre o poste e os cabos da rede de distribuição.

Para a determinação da força do vento sobre postes, deve-se considerar que, segundo a norma da CEA, a pressão do vento ( $Dan/m^2$ ) seja:

$$P_v = 0,00471 \cdot V^2 \quad (6)$$

Enquanto para postes planos temos:

$$P_v = 0,00754 \cdot V^2 \quad (7)$$

Onde,

$V$  = Velocidade do vento.

Então, a força resultante ( $R_v$ ) do vento sobre o poste é determinada por:

$$Rv = Pv \cdot S \cdot hcg / hp \quad (8)$$

Onde,

$Pv$  = Pressão do vento (considerada 20daN/m<sup>2</sup>);

$hp$  = Área do poste acima do solo ;

$hcg$  = Altura do centro da gravidade;

$Pv \cdot S$  = Esforço aplicado no centro de gravidade do poste.

Para determinação da força resultante do vento atuante sobre os condutores, tem-se os cálculos para os condutores da rede secundária e para os condutores da rede primária, da seguinte maneira:

a) Rede Secundária

$$R_s = P_v \cdot \Phi \cdot C \quad (9)$$

Onde,

$R_s$  = força resultante no secundário

$P_v$  = pressão do vento(considerada 20daN/m<sup>2</sup>)

$\Phi$  = Diâmetro do condutor em metro

$C$  = Comprimento do vão

Deve-se realizar o cálculo da formula acima para cada condutor, caso os condutores tenham a mesma bitola o valor será o mesmo.

Após o cálculo, caso os condutores não esteja 20 cm abaixo do topo do poste, deve-se realizar a transferência dos valores de cada condutor para este nível aplicando o valor de  $R_s$  na Equação (5), depois de ser realizada a somatória dos valores encontrados, resultando em  $R_{1S}$ .

b) Rede primária

No caso do cálculo da força resultante do vento nos condutores da rede primária, utilizam-se alguns conceitos apresentados para rede secundária, onde a resultante  $R_{1p}$  é determinada da seguinte maneira:

$$R_{1P} = 3 \cdot (P_v \cdot \Phi \cdot C) \quad (10)$$

Normalmente os condutores da rede primária são posicionados horizontalmente em um plano localizado a 20 cm do topo do poste.

Finalmente, o poste projetado para o ponto deve suportar uma força maior ou igual à soma da força resultante mais a força do vento sobre poste e condutores, conforme a fórmula a seguir:

$$e_p \geq R + Rv + R_{1S} + R_{1P} \quad (11)$$

Onde

$R$  = Soma dos esforços resultantes dos cabos dos circuitos da rede primária e secundária a 20 cm abaixo do topo do poste, devido à tração aplicada.

Apesar de apresentar todos os cálculos para a determinação das forças resultantes aplicadas sobre o poste, a norma NTD-04 da companhia CEA disponibiliza de forma tabelada as forças resultantes sobre os postes circulares e condutores, conforme na Tabela A.2 do Anexo A.

### 3.5 SISTEMADE ILUMINAÇÃO PÚBLICA NA RODOVIA DUCA SERRA

As cidades de Macapá e Santana formam um eixo de complementaridade, representando o centro dos serviços e comércios na região, onde se concentram a maior parte das atividades econômicas existentes no estado, um exemplo disso é a área de livre comércio de Macapá e Santana (PORTO, 2008). A cidade de Macapá é um dos casos em que o crescimento populacional ocorre de maneira esparsa pelas periferias, fator esse que pode ser um grande responsável pelo entrelaçamento entre o município de Santana e Macapá. Essa expansão e a futura junção das duas maiores cidades do Estado podem ser observadas de maneira mais evidente no entorno das rodovias de ligação entre as duas cidades; tanto a Rodovia Duca Serra, na Zona Oeste de Macapá, quanto a Rodovia Juscelino Kubitschek, localizada na Zona Sul de Macapá, apresentando alto crescimento populacional devido à expansão dos bairros ao entorno, com a existência de faculdades e a criação de conjuntos habitacionais que abrigam pessoas de todas as classes sociais, o que acaba ocasionando na super utilização destas Rodovias.

Então, além de ter que comportar o tráfego de veículos existentes entre as cidades de Macapá e Santana, a Rodovia Duca Serra tem de oferecer estrutura suficientemente adequada aos residentes dos bairros e comunidades que crescem ao entorno da mesma. Devido a isto,

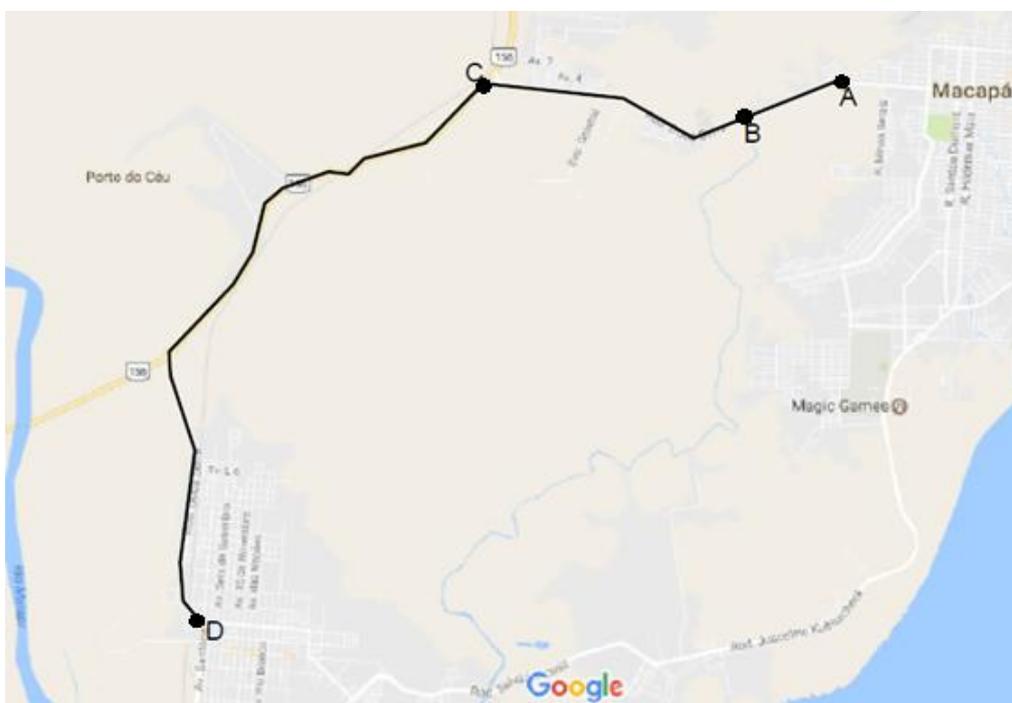
um olhar criterioso deve ser aplicado à via, com relação à capacidade desta de atender às necessidades requeridas por conta do alto fluxo de veículos que tem que comportar. Assim, a iluminação pública da via torna-se um critérios a ser observado.

Na cidade de Macapá no estado do Amapá, a posse dos ativos de iluminação pública encontra-se em processo de transferência, no qual a concessionária Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA), ex-detentora dos ativos, está transferindo esta função para a Prefeitura do Município de Macapá, a qual assumiu assim, a responsabilidade sobre todos os procedimentos relacionados à iluminação pública no município. A Rodovia Duca Serra, objeto de estudo deste trabalho, tem sua iluminação sob responsabilidade do Município de Macapá.

### 3.5.1 Características da Via

Possuindo 17 km de extensão, a Rodovia Duca Serra interliga a cidade de Macapá ao município de Santana, no estado do Amapá, fazendo ligação também com a BR 156, possui largura aproximada de 6 metros no trecho não duplicado, e aproximadamente 13,5 metros no trecho duplicado.

Figura 3.3 – Representação da Rodovia Duca Serra Dividida em Trechos



Fonte: Google Maps (Adaptado pelo autor)

A rodovia, categoricamente, pode ser dividida em três trechos principais, o trecho AB, que parte do início da rodovia em Macapá e se estende por até 1,6 Km, esse trecho é o único já duplicado da rodovia, sendo também o menor em comprimento. O trecho BC inicia a partir do fim do primeiro trecho até o encontro da BR 156, possui aproximadamente 4,20 km e o trecho CD que possui aproximadamente 11,15 km.

Os trechos AB e BC, da via, possuem tráfego de veículos e pedestres mais intensos, com postes distribuídos a um espaçamento médio de 36 metros, isso ocorre por toda a extensão de AB e BC, exceto em pontos excepcionais, sendo que o trecho AB possui a via duplicada com duas vias de 6 metros de largura divididas por um canteiro central de 1,5 metros, com acostamento que possui apenas 1,5 metros de largura.

No trecho BC, a rodovia possui largura de 6 metros, somando os dois sentidos, contudo com acostamento que varia de 2,5 metros a 4 metros de largura, o que deixa clara a intenção de duplicação da via de forma gradual.

Os postes da rodovia Duca Serra são predominantemente do tipo 300/11, ou seja, suportam 300 kgf e tem 11 metros de altura posicionados a um espaçamento mediano de 36 metros, com iluminação posicionada a uma altura aproximada de 8 metros em relação à via, sustentadas por braços com comprimento médio de 2 metros, podendo variar dependendo do espaçamento entre o poste e a via, e com lâmpadas que em sua grande maioria VSAP com potências de 125W e 150W, sendo predominantes as lâmpadas de 150W.

Quanto maior o deslocamento de Macapá, partindo do trecho AB, passando pelo trecho BC e em direção ao trecho CD, maior é a quantidade de luminárias defeituosas, enquanto que o trecho CD apresenta volume de tráfego motorizado mediano, em alta velocidade, pouco tráfego de pedestres, poucas construções no entorno e iluminação pública quase inexistente.

Devido à considerável diferença entre os AB e BC em relação ao trecho CD e elevada complexidade do tráfego dos trechos AB e BC em relação ao CD, este trabalho terá como foco os trechos AB e BC da via, somando-se uma distância total de 5,8 km. Deve-se ressaltar que projeto do BC será realizado considerando uma futura duplicação do trecho, ou seja, mantendo um espaçamento suficiente para que se duplique a via, sem prejuízo ao projeto de iluminação realizado neste trabalho.

Com relação à classificação das vias, os trechos AB e CD da rodovia enquadram-se na categoria V1, descrita pelo Quadro 2.5, visto que apresentam intenso volume de tráfego, na maior parte do tempo, e trânsito automotivo de alta velocidade. Enquanto que o trecho CD enquadra-se na categoria V4, pois trata-se de uma via que, apesar da alta velocidade de tráfego, apresenta um tráfego mediano, é desprovida de habitações no seu entorno, onde, apesar de ter uma menor necessidade iluminação pública, esta interliga os dois grandes centros do estado do Amapá, assim como áreas residenciais que são acessadas através dessa rodovia.

Portanto, a Tabela 3.4 apresenta os requisitos de iluminância necessários para os trechos AB e BC. Essas informações foram extraídas da Tabela 2.4.

Tabela 3.4 – Requisitos para Via com Classe de Iluminação V1

$L_{med}$	$U_o$	$U_L$	$TI$	$SR$
	$\geq$	$\geq$	%	
2,00	0,40	0,70	10	0,5

Fonte: ABNT - NBR 5101, 2012

### 3.5.2 Simulação no *Software DiaLux*

Conforme já dito neste trabalho, o *software* DiaLux tem a função de simular sistemas de iluminação pública a partir das fontes luminosas disponibilizadas pelos fabricantes associados ao *software*, analisando as variáveis luminotécnicas do sistema. No caso deste trabalho, é analisado, especificamente  $L_{med}$  (luminância média),  $U_o$  (uniformidade global),  $U_L$  (uniformidade longitudinal) e TI (incremento limiar) para a luminária e as configurações utilizadas na via.

O DIALux é capaz de realizar uma simulação otimizada de um sistema de iluminação pública, desde que sejam inseridos como informações iniciais as medidas da via, o tipo de lâmpada e a classe de iluminação da via. No entanto, este trabalho não utilizou desta funcionalidade, tendo em vista que se tinha como parâmetro fixo a distância padrão de 36 m entre os postes.

A princípio, deve-se inserir as informações relativas às características das pistas, como classe de iluminação e medidas geométricas, conforme apresentado no Tópico 3.5.1.

Posteriormente, as informações utilizadas como dados de entrada nesta simulação são apresentadas na Tabela 3.5, para os trechos AB e BC.

Tabela 3.5 - Dados de Entrada no *software* DIALux

Variável	Trecho AB	Trecho BC
Luminária <sup>a</sup>	BGP323 T35 1xGRN185-3S/740 DC	BGP323 T35 1xGRN185-3S/740 DC
Distribuição das luminárias	Distribuição bilateral com centros alternados	Distribuição bilateral com centros alternados
Distância entre os postes (m)	36	36
Altura do ponto de luz (m)	9	9
Inclinação do braço extensor (graus)	8	8
Pendor do ponto de luz (m)	1	-2,750
Distância poste-pista de rodagem (m)	1,500	5,250

<sup>a</sup> A luminária selecionada será abordada com detalhes no Tópico 3.5.3.

**Fonte:** Elaborada pelo Autor

As informações obtidas dos relatórios das simulações geradas pelo *software* para os trechos AB e BC utilizando as luminárias LED serão apresentados a seguir, assim como a simulação apresentando o sistema atual da via.

### 3.5.3 Seleção dos Componentes do Sistema de Iluminação Pública

Com o auxílio do software, observando os requisitos para a classe de iluminação da via do tipo V1, pôde-se escolher a luminária adequada que preenche a grande maioria dos requisitos luminotécnicos da via, sem acrescentar um consumo de energia exacerbado ao sistema.

Detalhes dos componentes e os critérios para a seleção deles são demonstrados a seguir.

#### Escolha da Luminária LED

A luminária LED ideal para a iluminação da via foi a BGP323 T35 1xGRN185-3S/740 DC da marca Philips, pois preenche todos os requisitos de uma via do tipo V1 para o trecho não duplicado e também satisfaz quase todos os requisitos para o trecho duplicado da rodovia. Deve-se destacar que pela variedade de luminária LED disponíveis no mercado, outras luminárias para iluminação pública podem ser utilizadas. A luminária selecionada possui as características mostradas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Características da Luminária Selecionada

Potência (W)	140
Fluxo Luminoso (lm)	19.206
Tempo de vida (h)	100.000
Tensão de operação (V)	210-240/50-60Hz

Fonte: Light Philips

### **Escolha dos Postes de Sustentação**

Conforme mencionado anteriormente, os trechos AB e BC da via apresentam distribuição de postes unilateral com espaçamento aproximado de 36 metros, isso implica que o projeto deve ser realizado considerando esse parâmetro fixo por questões de economia de projeto, pois utilizando o posteamento existente, tem-se, obviamente, um custo abaixo do que se teria ao renovar todo o posteamento, assim como pode permitir maior celeridade na execução do projeto.

Utilizando o software DiaLux, chegou-se à conclusão de que a topologia de distribuição das luminárias deveria ser bilateral com centros alternados, pois o sistema de posteamento unilateral existente só poderia preencher os requisitos luminotécnicos necessários utilizando lâmpadas de altíssima potência, o que poderia resultar em custos elevados, além de baixa economia de energia.

Considerando que este conjunto de postes inserido, do lado oposto ao lado o qual está posicionada a rede distribuição, será específico para a iluminação pública, o tipo selecionado foi o poste curvo simples engastado, de 9 metros, de aço galvanizado a fogo, conforme representação na figura B.1 do Anexo B.

### **Braços**

Os braços para a sustentação das luminárias, nos postes exclusivos de iluminação pública, devem ser de aço galvanizado ou material semelhante ao do poste com comprimento de 0,75 metros, enquanto que os braços a serem inseridos nos postes existentes na via devem ter aproximadamente 3,2 metros, sendo instalados a um ângulo de 38,6° em relação ao plano do solo com a base fixada no poste a uma altura de 7 metros do solo, tanto os braços dos postes exclusivos de iluminação, quanto os braços dos postes já existentes na via devem conter curvatura no ponto de apoio da luminária permitindo a inclinação desta a 8° em relação ao plano do solo.

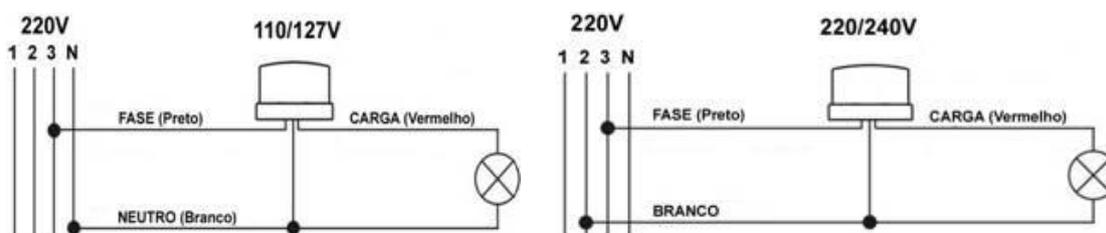
Deve-se atentar que na simulação as características do braço do sistema de iluminação pública se diferem das características apresentadas neste item, isto ocorre devido a limitações do software de simulação.

### Relés Fotoelétricos

O relé fotoelétrico selecionado foi o RLP-8037-NA da marca Usilux. É um acionador simples, realizando a função liga/desliga, de baixo custo e simples instalação, semelhante aos modelos usados em sistemas de iluminação pública compostos por lâmpadas de vapores metálicos. Os esquemas de ligação deste relé fotoelétrico para cargas monofásicas e bifásicas são mostrados na Figuras 3.4-a e na Figura 3.4-b, respectivamente.

Figura 3.4 – Esquemas de Ligação do Relé Fotoelétrico

- a) Instalação do Relé Fotoelétrico para Cargas Monofásicas      b) Instalação do Relé Fotoelétrico para Cargas Bifásicas



Fonte: Site Minulight

### 3.5.4 Projeto Elétrico do Sistema de Iluminação Pública

Primeiramente, deve-se considerar o sistema de iluminação existente e a rede de alimentação deste. Através de observações, nota-se que a iluminação pública da rodovia, devido à sua extensão e à distribuição de habitações no seu entorno, em alguns trechos, apresenta transformadores exclusivos para iluminação pública da via, enquanto que, em outros trechos, o transformador utilizado para alimentação da iluminação pública é compartilhado com as habitações consumidoras. Nesse segundo caso, o circuito de iluminação da via é o mesmo circuito de iluminação das vias adjacentes, onde deve-se presumir que os requisitos de queda de tensão nesses circuitos estejam dentro dos limites determinados com certa folga a permitir a introdução do sistema de iluminação projetado, visto que a carga deste sistema não é elevada.

Um fato importante a ser mencionado é que a rodovia possui redes secundárias sobre quase toda a extensão dos trechos AB e BC da rodovia, redes estas que alimentam a iluminação existente, portanto, para se adotar uma topologia com postes nos dois lados da rodovia, é necessário que haja a expansão da rede secundária do lado já existente para o outro lado, criando-se um circuito exclusivo para a iluminação pública em um dos lados da rodovia. A simbologia utilizada obedece à norma NTD-04 da companhia CEA, conforme será apresentado a seguir

### a) Dimensionamento dos Condutores

A expansão da rede do secundário será realizada com cabos multiplexados, para fins estéticos, por meio aéreo. A norma NTD-04 da companhia CEA estabelece que, para circuitos exclusivos de iluminação pública, adotem-se condutores com as seguintes características:

$3 \times 1 \times 25\text{mm}^2 + 25\text{mm}^2$  - fases CA, Isolação XLPE e neutro nu CAL.

Essas características podem ser descritas como: 3 fases e 1 mensageiro (neutro), as fases têm condutor com área da seção de  $25 \text{ mm}^2$  e a área do mensageiro também é de  $25\text{mm}^2$ . Onde:

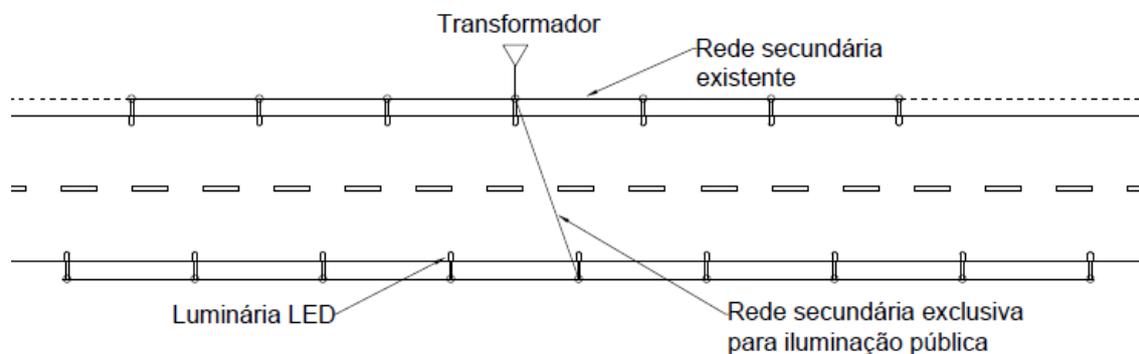
XLPE – Tipo de isolação dos condutores fase

CA – Alumínio

CAL – Liga de Alumínio

A distribuição destes condutores sobre a pista irá seguir uma disposição em formato de T, conforme a Figura 3.5.

Figura 3.5 – Distribuição dos Condutores Secundários Sobre a Pista



Fonte: Elaborada pelo Autor

Onde, a determinação da extensão do circuito com cabos multiplexados será determinada considerando-se o espaçamento entre os transformadores adjacentes, observando os critérios de queda de tensão, considerando que a norma NBR 5410 estabelece que em nenhum caso a queda de tensão em circuitos terminais deve exceder 4% da tensão nominal.

A NTD-04 da CEA estabelece que a extensão máxima recomendada dos circuitos das redes secundária deva ser de 250 metros, no entanto, os espaçamentos entre os transformadores dos circuitos secundários, do caso estudado, excedem consideravelmente esta medida, podendo chegar a quase 1 km entre si, o que se deve à distribuição das cargas no entorno da via e à existência de transformadores privados no entorno também dela, os quais não são considerados neste trabalho.

Então, para o projeto de rede de iluminação adicional deve-se analisar se no final do circuito projetado a queda de tensão ultrapassa o limite recomendado, isso é realizado através do cálculo de queda de tensão, na ocorrência de uma elevada queda de tensão, o recomendado é a substituição do condutor ou, em último caso, a adição de novos transformadores ao sistema.

Para o cálculo da queda de tensão ao longo do circuito, deve-se determinar o coeficiente de queda de tensão unitário (CQTU), este coeficiente é equivalente à queda de tensão percentual para cada unidade de comprimento do cabo e ele pode ser demonstrado pela equação de queda de tensão de um circuito. No caso de circuitos trifásicos em redes de até 1kV, temos:

$$CQTU = \frac{R_{CA} \cdot \cos\phi + X_L \cdot \sin\phi}{V^2} \cdot 10.000 \quad (12)$$

Onde

$R_{CA}$  = Resistência do cabo em corrente alternada ( $\Omega/\text{km}$ )

$X_L$  = Reatância indutiva do cabo ( $\Omega/\text{km}$ )

$V$  = É a tensão de operação do circuito

O coeficiente de queda de tensão em circuitos secundários 380/220 trifásicos, bifásicos e monofásico, bem como o cálculo destes coeficientes para circuitos bifásicos e monofásicos, são apresentados na Tabela C.1 do Anexo C, enquanto que o cálculo do coeficiente de queda de tensão em circuitos primários é apresentado na Tabela C.2 do Anexo C.

Para o cálculo do CQTU em um cabo quadriplex de alumínio com fases de 25mm<sup>2</sup>, com cabo mensageiro (neutro) na mesma espessura, substituindo os valores disponíveis na tabela C.3 do Anexo C na fórmula (12), tem-se que o coeficiente de queda de tensão é 0,2832.

Conforme foi dito anteriormente, alguns transformadores da via podem estar espaçados entre si à distâncias de quase 1 km, o que significa que a carga mais distante existente no circuito de iluminação projetado estará localizada a aproximadamente 500 metros do transformador, então, foi necessário realizar o cálculo de queda de tensão para constatar que a queda de tensão no fim do trecho é menor que 3%, conforme determinado pela concessionária CEA, e 4% conforme determinado pela ABNT NBR 5410. Para a realização do cálculo, tomou-se como referência o circuito de iluminação do Transformador 09, identificado na Tabela 3.8, este circuito pode ser representado de maneira simplificada no Apêndice A.

Assim, as quedas de tensão no circuito do Transformador 09 podem ser obtidas através da seguinte Tabela 3.7 a seguir:

Tabela 3.7 – Cálculo das Quedas de Tensão no Circuito

TRECHO		CARGA			CONDUTORES	QUEDA DE TENSÃO		
DESIGNAÇÃO	COMPR.	DISTR. NO TRECHO	ACUM. NO FIM DO TRECHO	TOTAL		CQTU.	TRECHO	TOTAL
A	B	C	D	$E=(C/2+D)B$	F	G	$H=ExG$	I
PRIM.	km	MVA	MVA	MVAxkm	Nº AWG	%	%	%
SECUND.	100m	KVA	KVA	KVA x 100m				
t - a	0,25	0,14	3,92	0,9975	3x1x25+25	0,2832	0,2825	0,2825
a - b	1	0,28	1,54	1,68	3x1x25+25	0,2832	0,4758	0,7583
b - c	1	0,42	1,12	1,33	3x1x25+25	0,2832	0,3767	1,1349
c - d	1	0,42	0,7	0,91	3x1x25+25	0,2832	0,2577	1,3926
d - e	1	0,42	0,28	0,49	3x1x25+25	0,2832	0,1388	1,5314
a - f	1	0,28	1,54	1,68	3x1x25+25	0,2832	0,4758	0,7583
f - g	1	0,42	1,12	1,33	3x1x25+25	0,2832	0,3767	1,1349
g - h	1	0,42	0,7	0,91	3x1x25+25	0,2832	0,2577	1,3926
h - i	1	0,42	0,28	0,49	3x1x25+25	0,2832	0,1388	1,5314

Fonte: Elaborada pelo Autor

Sendo assim, chega-se à conclusão de que a configuração adotada apresenta uma queda de tensão máxima no fim do trecho de 1,5314%, ou seja, bem abaixo do limite máximo

estabelecido, tornando viável o desenvolvimento do circuito de iluminação sem a necessidade de substituição do condutor de distribuição ou adição de novos transformadores.

A norma da NTD-04 estabelece que a tração de montagem seja de até 20% da tração de ruptura do cabo, ou seja, 84 daN, considerando a tração de ruptura apresentada na Figura B.1 do Anexo B.

O condutor que faz a conexão entre o cabo multiplexado e a luminária é de 1,5 mm<sup>2</sup>. Para a conexão de ramificação dos cabos multiplexados deve-se usar conector cunha para ramal de ligação-AMP do tipo G ou similar, e, para a conexão entre o condutor do conjunto de iluminação e o cabo multiplexado, utiliza-se conector perfurante, todos esses critérios estão determinados na norma NTD-07 da Companhia CEA.

#### **b) Detalhes do projeto elétrico.**

Conforme observado por visitas *in-loco* e informações obtidas junto a companhia CEA, o sistema elétrico existente na via é composto, em maior parte, por dois alimentadores primários do tipo AWG 4/0, transmitindo a 13,8 kV, tensão essa rebaixada para 220 V, a energia proveniente destes alimentadores é usada tanto para a iluminação pública quando para consumo nas residências.

Os transformadores da rede pública existente foram enumerados de 01 a 09, partindo do trecho AB ao trecho BC, apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Identificação dos Transformadores na Rodovia.

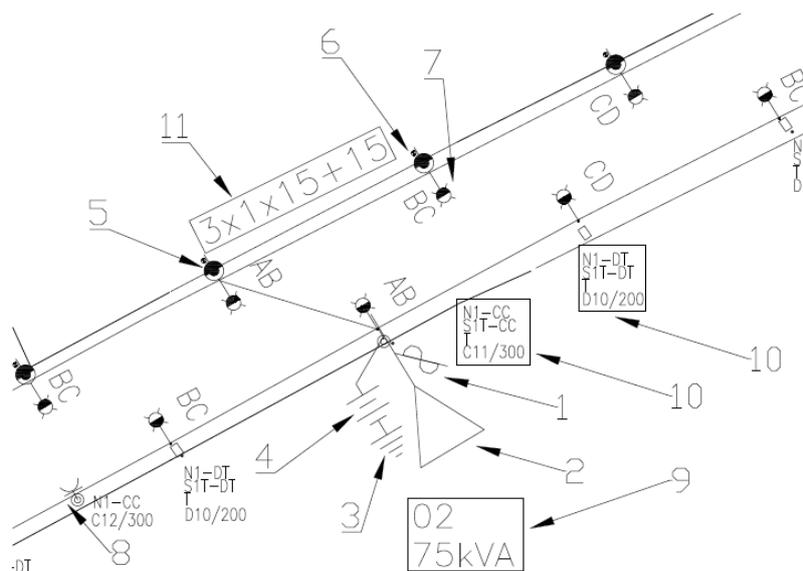
<b>Potência (kW)</b>	<b>Identificação</b>
30	01
75	02
150	03
75	04
75	05
75	06
45	07
75	08
25	09

**Fonte:** Elaborada pelo Autor

### 3.5.5 Simbologia Utilizada na Planta do Projeto

A simbologia utilizada no projeto respeita ao estabelecido na norma NTD-04 da Companhia CEA, conforme pode ser demonstrado na Figura 3.6. Para um entendimento mais amplo, os principais tipos de estruturas utilizadas na sustentação da rede elétrica de distribuição são apresentadas no Anexo B.

Figura 3.6 – Detalhes da Planta do Projeto Luminotécnico da Via.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Na figura 3.6, os componentes indicados são seguintes:

- 1- Chave seccionadora;
- 2 – Transformador da concessionária;
- 3 – Aterramento;
- 4 – Pára-raios;
- 5 – Poste circular de aço de iluminação pública;
- 6 – Relé fotoelétrico;
- 7 – Luminária LED do projeto;
- 8 – Banco de Capacitores;
- 9 – Identificação e potência do transformador.

A indicação de numero 10 destaca as estruturas de sustentação de distribuição de baixa e média tensão, da seguinte forma:

- N1: Cruzeta de sustentação da rede primária;
- S1T – DT: Estrutura de sustentação S1 da rede secundária trifásica em poste duplo-T;
- D10/200: Poste duplo-T de 10 m de altura com esforço máximo de 200 daN;
- C11/300: Poste circular de 11 m de altura com esforço máximo de 300 daN.

Além da estrutura secundária de passagem S1, ainda existe a estrutura S2 para angulações, a S3 que representa a estrutura de ancoragem de fim de trecho e a S4 que representa estrutura de dupla ancoragem passante, elas podem ser visualizadas no Anexo B.

A indicação de numero 11 representa o cabeamento da rede multiplexada desenvolvida exclusivamente para iluminação pública com três condutores de alumínio 25mm<sup>2</sup> com neutro (mensageiro) de 25mm<sup>2</sup> em baixa tensão.

Segundo a NTD-04, a planta do projeto deve ser apresentada em escala 1:1000, contendo todas as informações suficientes para a realização do projeto, tais como identificação e características dos seguintes itens: posteamento, condutores, estruturas de sustentação dos condutores, equipamentos de proteção e manobra do sistema, reguladores de tensão, equipamentos de iluminação pública e seus dispositivo de acionamento.

Pelo fato deste trabalho dar ênfase à melhoria do sistema de iluminação pública e não ao sistema de distribuição completo, alguns elementos podem ser ignorados.

### 3.6 RESULTADOS

Na simulação, os critérios de iluminância seguem os valores estabelecidos pela norma europeia EN 13201, valores estes semelhante aos estabelecidos na norma NBR 5101 da ABNT. Os valores obtidos na simulação servem como parâmetro de qualidade do projeto.

È realizado um comparativo entre o sistema existente utilizando lâmpadas de vapor de sódio de 150W e o sistema de iluminação projetado neste trabalho, o qual utiliza luminárias LED de 140W, para os trechos AB e BC, respectivamente. Estas simulações foram realizadas com auxílio do software DIALux. Os dados apresentados nas Tabelas 3.9 e 3.10 apresentam os valores obtidos na simulação e, logo abaixo desses valores, a faixa de valores mínimos requeridos para a via analisada. As informações sinalizadas em vermelho representam os valores não obedecem aos critérios mínimos estabelecidos pela norma.

Tabela 3.9 – Comparativo de Desempenho Entre o Sistema Existente e o Sistema Projetado no Trecho AB.

Sistema de Iluminação Existente no Trecho AB									
Via Norte					Via Sul				
Lm[cd/m <sup>2</sup> ]	U0	Ui	TI[%]	EIR	Lm[cd/m <sup>2</sup> ]	U0	Ui	TI[%]	EIR
0,25	0,57	0,6	14,58	0,7	0,73	0,48	0,76	16,26	0,77
≥2,00	≥0,40	≥0,70	≤10,00	≥0,35	≥2,00	≥0,40	≥0,70	≤10,00	≥0,35
Acostamento Norte		Acostamento Sul							
Em	U0	Em	U0						
3,16	0,74	8,7	0,43						
≥7,50	≥0,40	≥7,50	≥0,40						
Sistema de Iluminação Projetado no Trecho AB									
Via Norte					Via Sul				
Lm[cd/m <sup>2</sup> ]	U0	Ui	TI[%]	EIR	Lm[cd/m <sup>2</sup> ]	U0	Ui	TI[%]	EIR
2,32	0,61	0,77	9,4	0,43	2,32	0,59	0,77	9,41	0,42
≥2,00	≥0,40	≥0,70	≤10,00	≥0,35	≥2,00	≥0,40	≥0,70	≤10,00	≥0,35
Acostamento Norte		Acostamento Sul							
Em	U0	Em	U0						
15,5	0,42	15,5	0,42						
≥7,50	≥0,40	≥7,50	≥0,40						

Fonte: Elaborada pelo Autor

Tabela 3.10– Comparativo de Desempenho Entre o Sistema Existente e o Sistema Projetado No Trecho BC.

Sistema de Iluminação Existente no trecho BC				
Via				
Lm[cd/m <sup>2</sup> ]	U0	Ui	TI[%]	EIR
0,73	0,48	0,76	16,26	0,77
≥2,00	≥0,40	≥0,70	≤10,00	≥0,35
Acostamento Norte		Acostamento Sul		
Em	U0	Em	U0	
7,52	0,41	6,49	0,48	
≥7,50	≥0,40	≥7,50	≥0,40	
Sistema de Iluminação Projetado no trecho BC				
Via				
Lm[cd/m <sup>2</sup> ]	U0	Ui	TI[%]	EIR
2,50	0,89	0,87	8,81	0,87
≥2,00	≥0,40	≥0,70	≤10,00	≥0,35
Acostamento Norte		Acostamento Sul		
Em	U0	Em	U0	
30,51	0,31	30,51	0,31	
≥7,50	≥0,40	≥7,50	≥0,40	

Fonte: Elaborada pelo Autor

Obs.: EIR é o valor mínimo determinado para SR, conforme a norma EN 13201.

Como se pode observar, o sistema de iluminação desenvolvido apresenta características muito melhores que o sistema existente, principalmente na área da via de tráfego, preenchendo todos os requisitos estabelecidos para o tipo de via e acostamento no trecho AB, enquanto que, no trecho BC, o projeto realizado preenche perfeitamente os requisitos necessários da via de tráfego, no entanto, falha quanto aos critérios estabelecidos para os acostamentos, isso se deve ao fato de o acostamento ter uma grande largura, dificultando a satisfação dos critérios estabelecidos; porém, com a iminência do projeto de duplicação da via, o trecho BC terá configurações físicas semelhantes ao trecho AB, o que aproxima os resultados simulados do trecho BC com os do trecho AB.

A realização da análise de desempenho deu-se em conjunto com a seleção das luminárias, postes, braços e sua disposição sobre a via. Através de tentativas e erros, foi possível selecionar equipamentos que tivessem bom desempenho sendo instalados de forma adequada a satisfazer os critérios de iluminância estabelecidos para a via.

O projeto de iluminação sobre o trecho AB e BC objetivou configurações com disposições semelhantes das luminárias, braços e postes, mesmo diante das diferentes configurações da via, isso se deve ao fato da iminência do processo de duplicação do trecho BC, pois, quando este ocorrer, a iluminação projetada ainda irá satisfazer os critérios desse trecho da via, caso ele tenha medidas semelhantes ao trecho BC, dispensando um projeto de iluminação posterior.

Os detalhes físicos do projeto realizado no *software* DIALux para os trechos AB e BC da via são apresentados no Apêndice B, podendo variar, em alguns quesitos, do sistema projetado neste trabalho; como exemplo, temos os braços das luminárias que não apresentam curvaturas no *software*, diferentemente do projetado neste trabalho.

## 4 – CONCLUSÃO

### 4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi realizado um estudo propondo uma opção de iluminação energeticamente eficiente em projetos de iluminação pública em vias de tráfego motorizado.

O Capítulo 1 mostra que diversas tecnologias utilizadas para iluminação de vias públicas tiveram sua predominância em determinado período, isso se deve a modernização constante das fontes luminosas permitindo maior relação custo/benefício. Atualmente, as lâmpadas de vapor de sódio ocupam essa posição de predominância, sendo acompanhadas pela tecnologia LED, que apresenta desempenho excelente para um custo inicial ainda elevado, mas que está decaindo com o passar do tempo, contudo, isso não impede sua aplicação em iluminação pública de vias de tráfego motorizado de maneira experimental, o que já é uma realidade em alguns países da Europa.

Para introdução aos conceitos utilizados tanto em luminotécnica, quanto em sistemas de iluminação pública, o Capítulo 2 apresentou de forma abrangente esses conceitos em que é mostrado que, dependendo das especificações da via, esta pode ser classificada em diferentes categorias, necessitando cumprir determinações mínimas de iluminância para cada uma dessas classificações; portanto, o dimensionamento dos componentes do sistema de iluminação da via, bem como o adequado posicionamento deles, é fundamental para que se obtenha o desempenho desejado do sistema.

No Capítulo 3, é observada a precariedade do sistema de iluminação pública existente na via, através fatores como a inexistência de luminárias em determinados pontos e a alta quantidade de luminárias defeituosas inutilizadas, foi perceptível também a dificuldade de obtenção de informações classificatórias da via, tendo em vista a indisponibilidade de informações relativas a esta pelos órgãos responsáveis pelas estatísticas e levantamentos de dados no setor viário, fazendo necessário que estas classificações fossem estimadas através de observação pelo próprio autor.

Através da seleção dos componentes da iluminação e da determinação das características físicas do projeto, atestou-se que o sistema desenvolvido com as luminárias LED é tecnicamente viável, pois não necessitou de qualquer transformador adicional ou cabeamento com secção além do recomendado pela norma da concessionária, pois, conforme

o cálculo de queda de tensão do circuito do transformador 09, os circuitos desenvolvidos exclusivamente para iluminação pública apresentam valores de queda de tensão dentro dos limites estabelecidos pelas normas regulamentadoras e a execução do projeto é tão simples quanto a das lâmpadas de vapor de sódio, amplamente utilizadas para esta finalidade.

Esse sistema desenvolvido apresenta claramente um consumo de energia elétrica maior que o existente, isso se deve à adição de cargas ao sistema com a expansão de um circuito de iluminação, ao inserir luminárias LED ao lado da via no qual não possui luminárias no circuito existente, mesmo considerando que as luminárias LED possuem potência de apenas 10W menor que as lâmpadas VSAP do sistema existente.

Quanto ao desempenho do sistema de iluminação projetado, comprovou-se, com o auxílio do *software* DIALux, que este atende de maneira ótima os requisitos de iluminância para a via estudada, conforme foi demonstrado no Capítulo 3, diferentemente do sistema existente, que não apresenta nem valores luminotécnicos aproximados aos aceitáveis.

Deve-se considerar que a tecnologia LED está em constante modernização e, apesar do elevado custo inicial, tem desempenho excelente. Por esse motivo, este trabalho teve como foco a questão do desempenho do sistema projetado em comparação com o sistema existente e não se ateve às questões monetárias, mas preocupou-se sempre com a economia material.

#### 4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido à novidade que é a tecnologia LED para a iluminação de vias de tráfego motorizado, com os conhecimentos adquiridos neste trabalho, propõe-se:

- A análise dos distúrbios lançados à rede elétrica pelos *drivers* do circuito de iluminação pública LED;
- O comparativo de desempenho entre um projeto de iluminação pública a LED e um projeto de iluminação pública com lâmpadas de VSAP, onde ambos possuem apresentam o mesmo consumo de energia elétrica.
- Análise da viabilidade econômica da iluminação pública a LED em comparação com um sistema corretamente projetado que utiliza lâmpadas de VSAP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABILUX. **Guia Led**, 2016. Disponível em: <[http://www.abilux.com.br/portal/pdf/gua\\_led.pdf](http://www.abilux.com.br/portal/pdf/gua_led.pdf)> Acesso em: jul. 2016.
- ALMEIDA, A. G.B. **Sistema de Identificação de Lâmpada de Iluminação Pública**, 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia Elétrica. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2015.
- ALMEIDA, D. O. **Gestão Eficiente de Sistemas de Iluminação Pública**, 2012a, 89 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Projetos Luminotécnicos) – Universidade Cruzeiro do Sul, Belo Horizonte.
- ALMEIDA, M. T; SANTOS, A.H.M. **Cálculos de Vãos Curtos de Linhas de Transmissão por Microcomputadores**.1985. Disponível em: < <http://www.ixconsult.com.br/publicacoes/>>. Acesso em: fev. 2017.
- ALMEIDA, P. S. **Conversor Integrado Sepic Buck-Boost Aplicado ao Acionamento de Leds de Potência Em Iluminação Pública**, 2012-b. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012b.
- ANEEL. **Resolução Normativa n.º 414** - Condições Gerais de Fornecimento de Energia elétrica, 2010, Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ren-414>>. Acesso em: ago. 2016.
- ANEEL. **Resolução Normativa n.º 479** - Altera a Resolução Normativa n.º 414, 2012, Disponível em:<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: set. 2016.
- ANEEL. **Resolução Normativa n.º 242** - Altera os artigos 3º, 4º, 5º e 7º da Resolução Normativa n.º 158, 2006, Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006242.pdf>> . Acesso em: nov. 2015.
- ASCURRA, R. E. **Eficiência Elétrica em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED: Um Estudo de Caso**. Cuiabá-MT, 2013. 157 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. Universidade Federal de Mato Grosso.
- ASCURRA, R. E.; CARVALHO, B. C., **Eficiência elétrica em iluminação pública utilizando tecnologia led: um estudo de caso**, 2013, 157 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5101: Iluminação Pública – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5461: Iluminação**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15688: Redes de Distribuição aérea de Energia Elétrica Com Condutores Nus**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15129: Luminárias para iluminação pública — Requisitos particulares**. Rio de Janeiro, 2012.

ATKINS, S.; HUSAIN, S.; STOREY, A. **The Influence of Street Lighting on Crime and Fear of Crime - Home Office Crime Prevention Unit**, Londres: Laycock. 1991, 59p.

AVER, Ana. **A relação Iluminação Pública e Criminalidade**. Revista Especialize, 2013. Disponível em <<http://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n4-2012/?setarParametros=true&pagingPage=1&>>. Acesso em: abril 2015.

BARBOSA, L. A. G. **História e Conceitos de Iluminação**. Material didático de apoio à disciplina. Universidade Estácio de Sá, Pós-graduação em Projetos de Iluminação. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/manuais/projetodeiluminacao.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

BARBOSA, R. G.; **Planejamento Urbano e Segregação Socioespacial na Cidade de Macapá**; Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP, Macapá, n. 6, p. 135-148, dez. 2013.

BRAGA, N. C. **Curso de Eletrônica Analógica**. São Paulo: Instituto NCB, 2012.

BRASIL, **Lei nº 9.991**, de 24 de julho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm)>. Acesso em: set. 2016.

BRASIL ECONÔMICO. **O Uso de LED Pode Reduzir em 50% o Consumo de Energia**, 2015 *in*: ABILUX. O uso de LED pode reduzir em 50% o consumo de energia, 2015. Disponível em <<http://www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/4/uso-de-led-pode-reduzir-em-50-o-consumo-de-energia>>. Acesso em: mar. 2015.

BRASIL ESCOLA. **Para-raio Tipo Franklin**. Disponível em: <<http://brasilescola.uol.com.br/fisica/o-pararaios.htm>>. Acesso em: out. 2016.

BULLOUGH, J. D. Light Emitting Diode Lighting Systems. **NLPIP - Lighting Answers**. v. 7. Issue 3. May, 2003.

CAÇOTE, P. M. S. **Impacto da Utilização de Dispositivos de Iluminação Pública Dd Baixo Consumo Energético**, 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica). Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

CEMIG, **Manual de Distribuição**: Projetos de Iluminação Pública, Diretoria de Distribuição e Comercialização, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd-3-4p.pdf>>. Acesso em: jun. 2016.

CLARK, B. A. J., 2002 – **Outdoor Lighting and Crime, Part 1: Little or no Benefit** – Astronomical Society of Victoria, Australia. Disponível em <<http://www.asv.org.au>>. Acesso em mar. 2015.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL, **Manual de Iluminação Pública**, 2012. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br>>, Acesso em: 12 set. 2016.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ – CEA, **NTD-04: Critérios para Projeto de Redes Aéreas Urbanas Convencionais (Redes Aéreas Nuas)**, 2007.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ – CEA, **NTD-06: Montagem de Redes de Distribuição Aérea Rural 13,8 kV e 34,5 kV**, 2007.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO AMAPÁ – CEA, **NTD-07: Norma Técnica Padrão de Estruturas de Rede Aérea Secundária com Cabos Multiplex**, 2007.

DAMBISKI, L. P. **Aplicação Do Programa Nacional De Iluminação Pública Eficiente (Procel-Reluz)**, Universidade Federal do Paraná. Departamento de Engenharia Elétrica, Curitiba, 2007.

DA SILVA, L. L. F. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos energéticos e institucionais**. 161 p. monografia (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DIAL, **Lighting Design Software DIALux** - Professional Lighting Design with DIALux. 2017. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux/for-manufacturers/>>. Acesso em: 20 de fev. 2017.

ELEKTRO. **Norma ND. 44 – Critérios Para Projeto, Construção e Manutenção de Sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT)**, Campinas, 2014

ELETROBRAS PROCEL. **Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel e Parceiros/Organizadores: Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos e Marcos Alexandre Couto Limberger**. - Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2013.

ELETROBRÁS PROCEL. **Resultados Procel 2015: ano base 2014**. Disponível em [www.procelinfo.com.br](http://www.procelinfo.com.br) . Acesso em: ago. 2015.

EMPALUX. **Índice de Reprodução de Cor**. Disponível em: <<http://www.empalux.com.br/?a1=1>>. Acesso em: out. 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, **Road lighting – Part 2: Performance requirements** (2003).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, **Road lighting – Part 3: Calculation of performance** (2003).

FECOERGS. **Orientação Técnica – Distribuição**. Rede Convencional – Estruturas Básicas, 2014. Disponível em: <[http://www.fecoergs.com.br/anexos/035.02.01\\_rede\\_convencional\\_estruturas\\_basicas.pdf](http://www.fecoergs.com.br/anexos/035.02.01_rede_convencional_estruturas_basicas.pdf)>. Acesso em: jan. 2017.

FURIAN, P. H. **Espectro Eletromagnético**. Infoescola.com. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: out. 2016.

GOOGLE MAPS, **Representação da Rodovia Duca Serra dividida em três trechos**, 2017, Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@0.0048984,-51.1306089,13.72z>>. Acesso em: jan. 2016.

GUERRINI, D. P. **Iluminação – Teoria e Projeto**, São Paulo, 2012..

IEC, IEC 61000-3-2, 2014 - **Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase)**.

Disponível em: < <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=314364>>. Acesso em: nov. 2016.

ILUMINAÇÃO E ELETRICIDADE. **Braço de Iluminação Pública**. Disponível em: <<http://www.iluminacaoeletricidade.com.br/index.php/component/content/article/14-cat-iluminacao-e-eletricidade/1246-fabricante-de-postes-e-bracos-para-postes-orion>>. Acesso em: dez. 2016.

INDUSPAR. **Lâmpada de Vapor Metálico de Baixa Potência**. Disponível em: <<http://www.induspar.com/lampadas/vapor-metalico/lampada-vapor-metalico-150w-cmh-t-branca-g12>> Acesso em: dez. 2016.

INTRAL. **Reator Eletromagnético para Lâmpadas de Vapor De Mercúrio**. Disponível em: <<http://intral.com.br/produtos/31/0/0/160>>. Acesso em: out. 2016.

LABLUZ. **Lâmpada de Vapor de Mercúrio**. Disponível em: <<http://www.lojalabluz.com.br/lampadas-vapor-de-sodio-de-alta-press-o-150w-e40-son-e-osram.html>>. Acesso em: ago. 2016.

LANCELLE, L.. **Softwares para projetos de iluminação**, 2013. Disponível em: <<http://www.lumearquitetura.com.br/lume/default.aspx?mn=947&c=2034&s=0&friendly=softwares-para-projetos-de-iluminacao>>. Acesso em: fev. 2017.

LIGHT PHILIPS. **Características da Luminária Selecionada**. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/road-and-urban-luminaires/speedstar>>. Acesso em: set. 2016.

LIGHT PHILIPS. **Lâmpada de Vapor de Mercúrio**. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.co.uk/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/hpl-high-pressure-mercury/hpl-n>>. Acesso em: ago. 2016.

LIGHT PHILIPS. **Lâmpada Incandescente**. Disponível em: <<http://www.philips.com.br/>>. Acesso em: jul. 2016.

LIGHT PHILIPS. **Luminária Led**. Disponível em: <[http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/road-and-urban-luminaires/speedstar/910505016378\\_EU/product](http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/road-and-urban-luminaires/speedstar/910505016378_EU/product)>. Acesso em: ago. 2016.

LIGHT PHILIPS. **Reator eletrônico Para Lâmpadas de Vapor Metálico**. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com.br/prof/reatores/hid/hid-eletronico-interno/hid-certavision-for-cdm>>. Acesso em: ago. 2016.

LIN, Y.; *et al.* **Model predicting discomfort glare caused by LED road lights**, Institute For Electric Light Sources, Fundan University, Engineering Research Center of Advanced Lighting Technology, Ministry of Education, Shanghai, 2014.

LUNEX. **Diver Para Luminária LED**. Disponível em: <<http://www.lunex.com.br/index.php/produtos/fonte-de-tensao-2/drive-para-led-20-50-watts>> Acesso em: jul. 2016.

LUZETC. **Lâmpada de Vapor metálico de Alta Potência.** Disponível em: <[http://www.luzetc.com.br/loja/lampada-vapor-metalico-tubular-osram\\_158.html](http://www.luzetc.com.br/loja/lampada-vapor-metalico-tubular-osram_158.html)>. Acesso em: dez. 2016.

MARTINEZ, C. R. **Projeto De Expansão De Rede De Baixa Tensão E Luminotécnico Para Iluminação Pública De Canoas**, 2013, 78 f., Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MENDOÇA, Á. R.; TYRIAKI, G. F. **Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Pública**, 2008. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica da Universidade de Salvador, v. 11. n. 1. 2007, Salvador. Disponível em: <<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/303>>, acesso em: jun 2015.

MINULIGHT. **Instalação do relé fotelétrico para cargas monofásicas e Instalação do relé fotelétrico para cargas bifásicas.** Disponível em: <<http://www.minulight.com.br/energia-eletrica/rele-fotoeletrico/rele-fotoeletrico/>>. Acesso em: dez. 2016.

NASCIMENTO, R. L. **Política de Eficiência Energética no Brasil.** Câmara dos Deputados, Brasília, Distrito federal, 2015.

NOGUEIRA, F. J.. **Avaliação Experimental De Luminárias Empregando Leds Orientadas À Iluminação Pública**, 2013, 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

NPILUMINAÇÃO. **Luminária Convencional Para Lâmpadas de Vapor Metálico.** Disponível em: <<http://www.npiluminacao.com.br/luminaria-publica-np351.html>> Acesso em: jun. 2016.

OLIVEIRA D. **Estrutura de Iluminação Pública Em Um Poste de Sustentação da Rede Elétrica**, 2015. Disponível em: <<http://www.itabira.mg.gov.br/portal/?p=30021>>, Acesso em: dez. 2016.

OSRAM, **Manual Luminotécnico Prático.** Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. Acesso em: jul. 2016.

PORTO, J.L.R., Et. Al. **Macapá e Santana (Ap): Interações espaciais de duas cidades médias na fronteira setentrional amazônica**, 2008.

PORTO, J. L. R. **Amapá: Principais Transformações Econômicas e Institucionais – 1943-2000**, Macapá: SETEC, 2006.

PROCEL EPP. **Manual de iluminação pública.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: jan. 2016.

PROCEL INFO, **Potencial de economia da iluminação pública nacional corresponde a todo consumo da região Norte**, 2016. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&Team=&params=itemID=%7B14E1C3E0-4C04-444C-A19F-EF79A6B75105%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>> . Acesso em: jun. 2016.

PROCEL. **Resultados Procel 2016:** ano base 2015, 2016. Disponível em <[www.procelinfo.com.br](http://www.procelinfo.com.br)>, acesso em: out. 2016.

PRYSMIAN. **Características dos Cabos Multiplexados.** Disponível em: <<http://br.prysmiangroup.com/br/files/multiplex.pdf>>. Acesso em: dez. 2016.

PUMALUZ. **Lâmpada de Indução com Reator Externo.** Disponível em <[http://pumaluz.com.br/lampada\\_circular.html](http://pumaluz.com.br/lampada_circular.html)>. Acesso em: out. 2016

QUEIRÓS, M. J. P. **Eficiência Energética na Iluminação Pública.** 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado em Energias Sustentáveis). Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

RIBEIRO, A. C. *et al.* **O Emprego da Tecnologia LED na Iluminação Pública.** Revista Exacta, Belo Horizonte, v.5, n.1, P. 111-132, dez. 2012. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/725>>. Acesso em: jul. 2016.

RODRIGUES, C. R. B. S. *et. al.*, **Emprego de LEDs como alternativa de iluminação pública,** Juiz de Fora, 2012, Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nimo/>>. Acesso em: fev. 2016.

ROSITO, L. H. **Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil,** Revista O Setor Elétrico, 2009, Disponível em: [www.osestoreletrico.com.br](http://www.osestoreletrico.com.br). Acesso em: mar. 2016.

SALES, R. P. LED, **O Novo Paradigma Da Iluminação Pública,** Curitiba, 2011, 117 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), Curitiba, 2011.

SANTANA, R. M. B.. **Iluminação Pública:** uma abordagem gerencial, 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia). Universidade Salvador, Salvador.

SCHNEIDER. **Disjuntor.** Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com/products/br/bz/1600-dispositivos-modular-em-trilho-din/1605-acti-9-mini-disjuntores-mcbs/61088-disjuntores-c120/>>. Acesso em: ago. 2016.

SERWAL. **Ignitor de Uma Lâmpada de Vapor Metálico.** Disponível em: <[http://www.serwal.com.br/produtos\\_ignitor.asp](http://www.serwal.com.br/produtos_ignitor.asp)>. Acesso em: nov. 2016.

SPPOSTES. **Poste Curvo Exclusivo para Iluminação Pública.** Disponível em: <<http://www.sppostes.com.br/postes-curvo-simples-engastado/>>. Acesso em: nov. 2016.

SPUNEI, E.; PIROI, I.; PIROI F. **Optimizing Street Lighting System Design.** Annals of “Eftimie Murgu” University Reșița. Reșița, v. 21, n. 3, p. 257-268, 2014. Disponível em: [http://uem.ro/cnae2014/fileadmin/Volume/Vol\\_2/ID\\_10.pdf](http://uem.ro/cnae2014/fileadmin/Volume/Vol_2/ID_10.pdf), acesso em: jun. 2016.

STOCKO, J. L., LAZZARETTI J., SANTOS, M. W. C. **Estudo de Caso Comparativo Entre Uma Luminária Led e Uma Luminária Convencional à Vapor de Sódio.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento Academinco de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

SUPER INTERESSANTE, **Thomas Edison** - Ele deu a luz à humanidade, mais de 100 anos atrás. E, com ela, a rede elétrica, que permitiu uma revolução tecnológica ainda bem longe de

terminar, 2013. Disponível em: < <http://super.abril.com.br/historia/thomas-edison/>>. Acesso em: fev. 2017

USILUZ. **Relé Fotoelétrico**. Disponível em: <http://www.usiluz.com.br/produtos/20-rele-eletromagnetico-ca>. Acesso em: set. 2016.

## ANEXO A – Esforço Aplicado às Estruturas de Distribuição de Energia.

Tabela A.1 – Esforço Devido à Ação do Vento Sobre o Poste Circular – r2

POSTES	ÁREA "S" DO POSTE ACIMA DO SOLO (m <sup>2</sup> )	ALTURA "hcg" DO CENTRO DE GRAVIDADE (m)	ESFORÇO "Pv x S" NO CENTRO DE GRAVIDADE (daN)	ESFORÇO "R2" A 20 Cm DO TOPO (daN)
9/150	1,687	3,280	34	16
9/300	1,838	3,311	37	17
9/600	2,063	3,349	42	20
11/200	2,260	4,017	46	21
11/300	2,446	4,059	49	22
11/600	2,725	4,111	55	25
11/1000	3,004	4,154	60	28
11/1500	3,562	4,218	72	34
12/300	2,774	4,426	56	25
12/600	3,080	4,486	62	28
12/1000	3,386	4,534	68	31
12/1500	3,912	4,622	79	37
13/600	3,499	4,835	70	32
13/1000	3,974	4,843	80	36
13/1500	4,545	5,968	91	42

Fonte: D.GENO/CEB

Tabela A.2 – Esforço Resultante da Pressão do Vento Sobre Postes, Condutores e da Tração dos Condutores – REDE MISTA (AL CA).

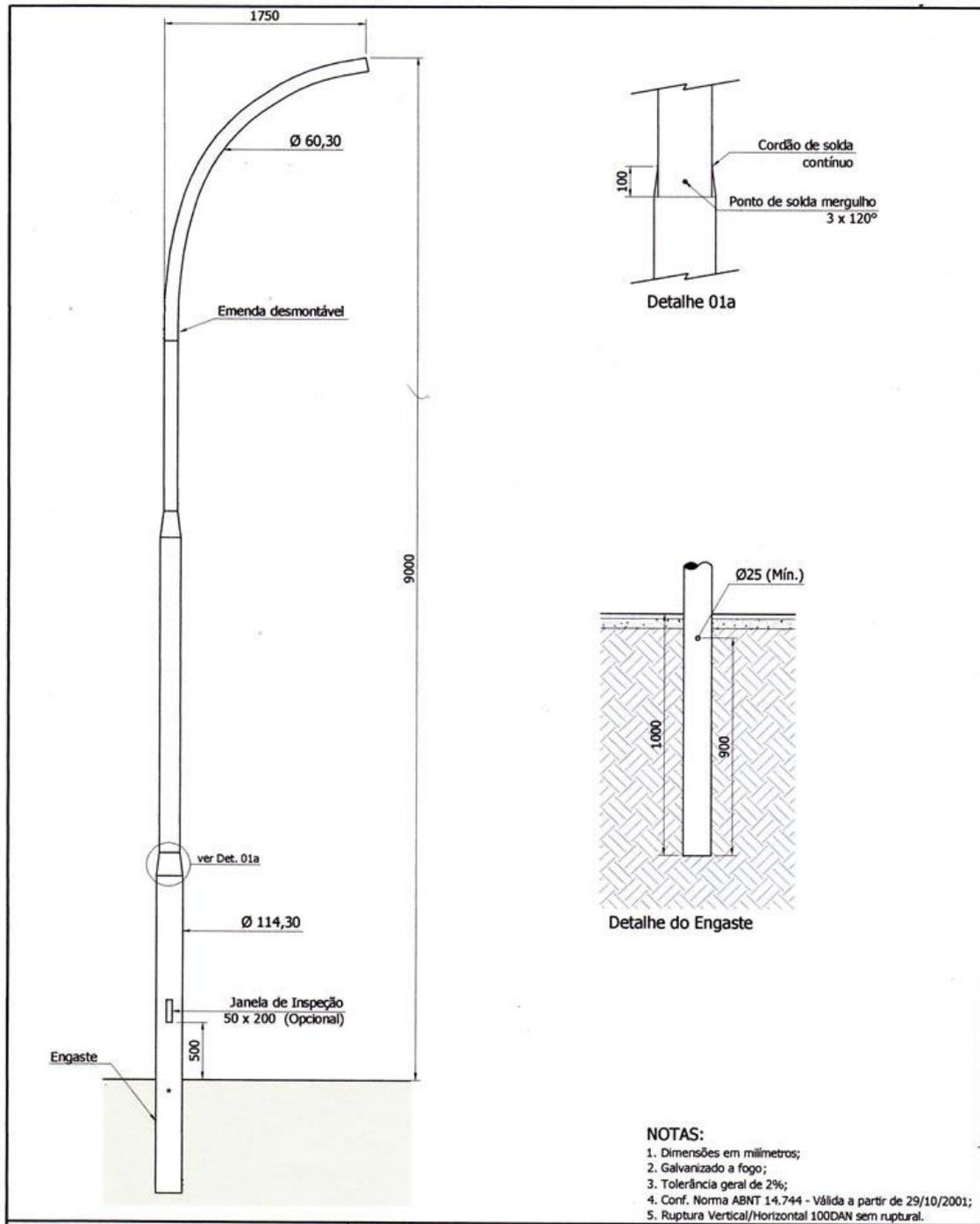
**POSTE CIRCULAR - 11 m**

CONDUTORES		ÂNGULOS							FIM DE LINHA
		10°	20°	30°	40°	50°	60°	90°	
AT	BT	em daN a 20 cm do topo							
3 # 4	3 # 4 (4)	111	169	225	280	336	386	518	381
	3 # 2 (4)	126	196	265	335	400	461	627	458
	3 # 1/0 (2)	159	255	348	439	527	613	835	608
	3 # 4/0 (1/0)	230	387	542	695	840	979	1354	979
3 # 2	3 # 4 (4)	131	206	279	354	422	487	663	484
	3 # 2 (4)	146	234	323	406	486	563	768	560
	3 # 1/0 (2)	176	289	402	509	616	714	976	710
	3 # 4/0 (1/0)	250	425	596	766	927	1083	1492	1080
3 # 1/0	3 # 4 (4)	164	266	369	467	560	653	890	648
	3 # 2 (4)	179	294	409	519	628	728	996	724
	3 # 1/0 (2)	209	352	489	626	754	877	1209	877
	3 # 4/0 (1/0)	280	487	686	879	1071	1245	1723	1245
3 # 4/0	3 # 4 (4)	247	426	598	769	931	1092	1503	1086
	3 # 2 (4)	262	453	638	818	992	1167	1609	1162
	3 # 1/0 (2)	292	509	721	925	1128	1316	1816	1312
	3 # 4/0 (1/0)	366	644	915	1184	1438	1682	2329	1680
3 # 336,4	3 # 4 (4)	347	609	870	1128	1370	1602	2220	1599
	# 2 (4)	362	640	911	1180	1434	1678	2326	1675
	3 # 1/0 (2)	392	695	990	1284	1561	1827	2534	1825
	3 # 4/0 (1/0)	463	828	1190	1537	1872	2193	3047	2193

Fonte: D.GENO/CEB

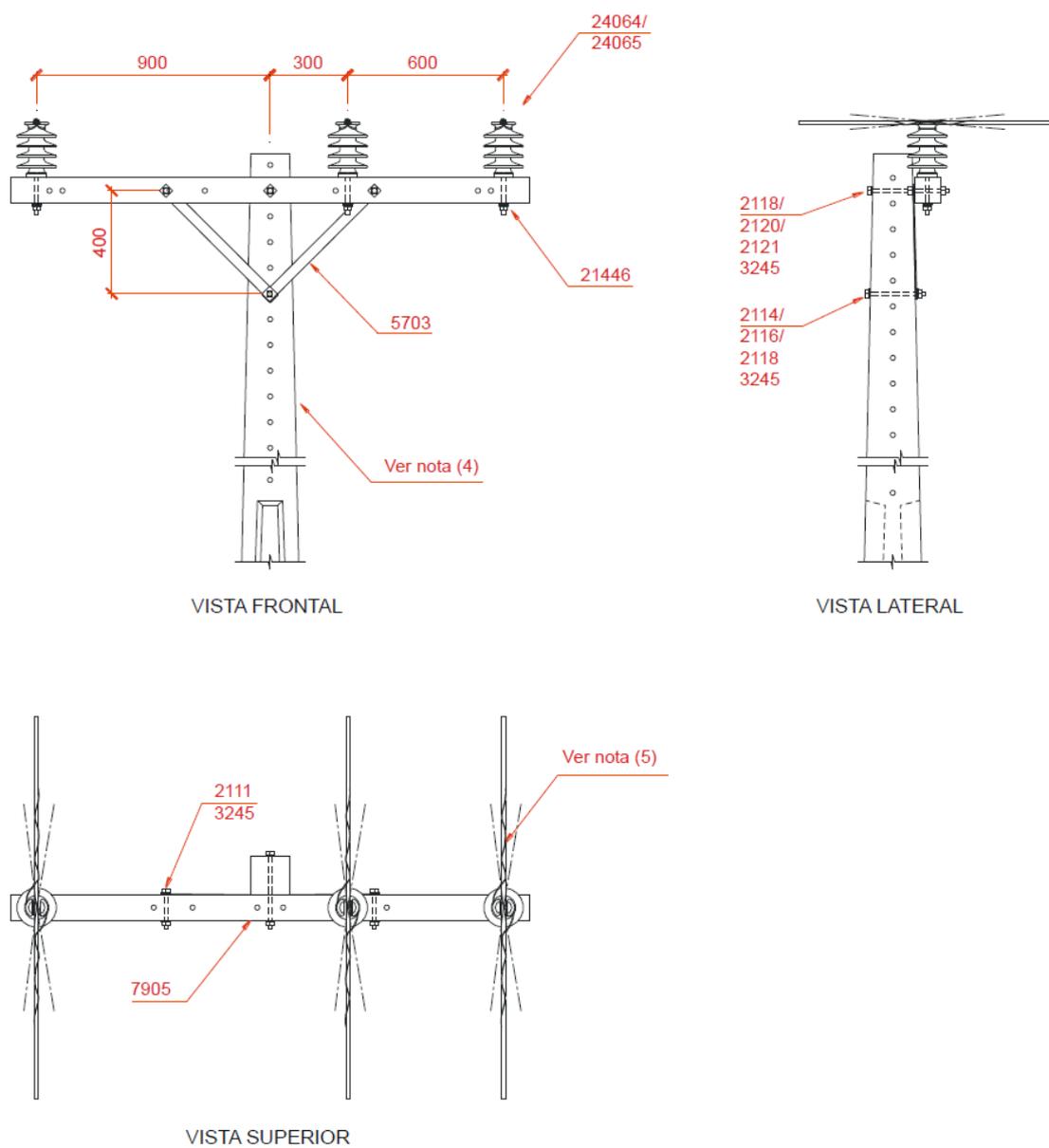
## ANEXO B – Estruturas de Sustentação da Rede de Distribuição.

Figura B1 – Poste Curvo Exclusivo para Iluminação Pública.



Fonte: Site SP Postes

Figura B.2 – Estrutura Tipo N1



NOTAS:

- (1) Sem escala.
- (2) Medidas em milímetros.
- (3) A representação e indicação dos códigos de materiais é ilustrativa, dependem do tipo de montagem dos materiais aplicados: postes, cabos, etc.

Fonte: CEA

Tabela B.1 – Montagem da Estrutura N1

CÓDIGO CEA	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE PARA TENSÃO	
		13,8 kV	34,5 kV
Nota (4)	Poste de Concreto Armado Seção Duplo T	1	
7905	Cruzeta de Concreto 250 daN Retangular	1	
5703	Mão Francesa Plana – 619 mm	2	
24064	Isolador Pilar NBI 110 kV	3	-
24065	Isolador Pilar NBI 170 kV	-	3
21446	Pino auto-travante 140 mm, para Isolador Pilar	3	
2111	Parafuso de Cabeça Quadrada – 125 mm	2	
3245	Arruela Quadrada	5	
Nota (5)	Laço pré-formado Simples Lateral	3 ou 0	
	Laço pré-formado de Topo	0 ou 3	

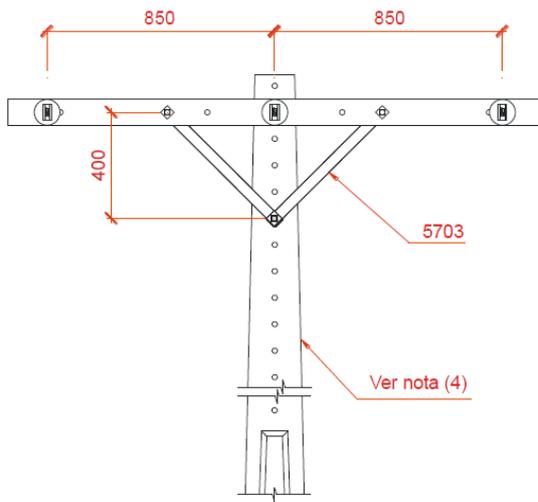
FIXAÇÃO DA ESTRUTURA N1 NO POSTE DE CONCRETO TIPO DT														
CÓDIGO CEA	POSTE	COMPRIMENTO (m)			10			11			12			
		RESISTÊNCIA NOMINAL (daN)			150	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
DESCRIÇÃO		QUANTIDADE												
2114	Parafuso de cabeça quadrada de 200 mm	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2116	Parafuso de cabeça quadrada de 250 mm	-	1	1	-	1	1	-	1	1	-	1	1	-
2118	Parafuso de cabeça quadrada de 300 mm	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1
2120	Parafuso de cabeça quadrada de 350 mm	-	1	1	-	1	1	-	1	1	-	1	1	-
2121	Parafuso de cabeça quadrada de 400 mm	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1

NOTAS:

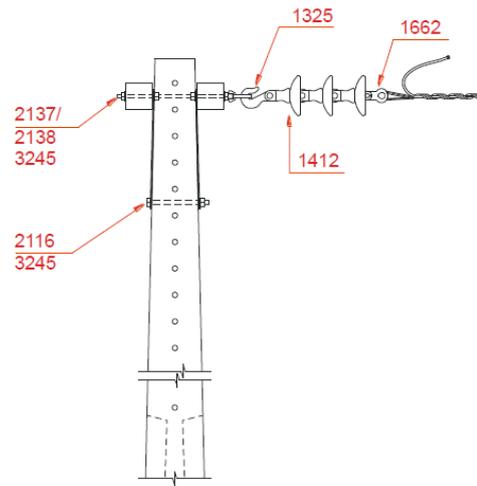
- (4) Material depende da aplicação, consultar ETD-02-Postes de Concreto Armado  
 (5) Materiais dependem da aplicação, consultar página 132 e 133  
 (6) Os ângulos máximos são limitados pelo esforço longitudinal aplicado nos isoladores, fixados tanto na cruzeta quanto no suporte que não deve ser superior a 150 daN a 0° C.

Fonte: CEA

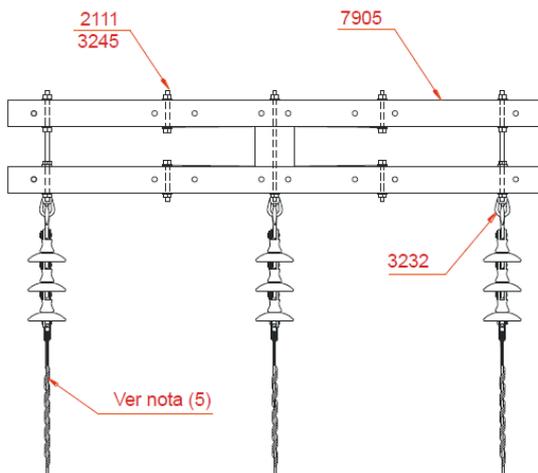
Figura B.3 – Estrutura do Tipo N3



VISTA FRONTAL

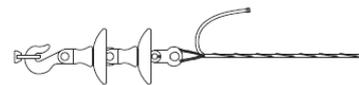


VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR

PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE 13,8KV



**NOTAS:**

- (1) Sem escala.
- (2) Medidas em milímetros.
- (3) A representação e indicação dos códigos de materiais é ilustrativa, dependem do tipo de montagem dos materiais aplicados: postes, cabos, etc.

**Fonte:** CEA

Tabela B.2 – Montagem da Estrutura N3

CÓDIGO CEA	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE PARA TENSÃO	
		13,8 kV	34,5 kV
Nota (4)	Poste de Concreto Armado Seção Duplo T	1	
<b>7905</b>	Cruzeta de Concreto 250 daN Retangular	2	
<b>5703</b>	Mão Francesa Plana – 619 mm	4	
<b>1412</b>	Isolador de Disco - Porcelana 150 mm	6 ou 0	9 ou 0
<b>2111</b>	Parafuso de Cabeça Quadrada – 125 mm	4	
<b>3245</b>	Arruela Quadrada	14	
<b>3232</b>	Olhal Parafuso	3	
<b>1325</b>	Gancho-Olhal	3	
<b>1662</b>	Manilha-Sapatilha	3	
Nota (5)	Alça pré-formada	3	

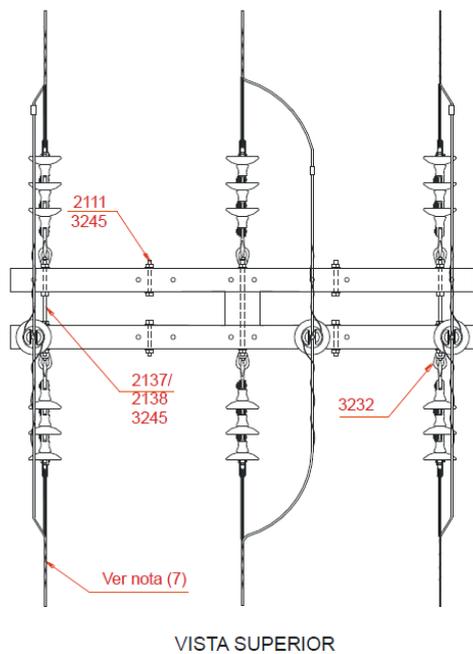
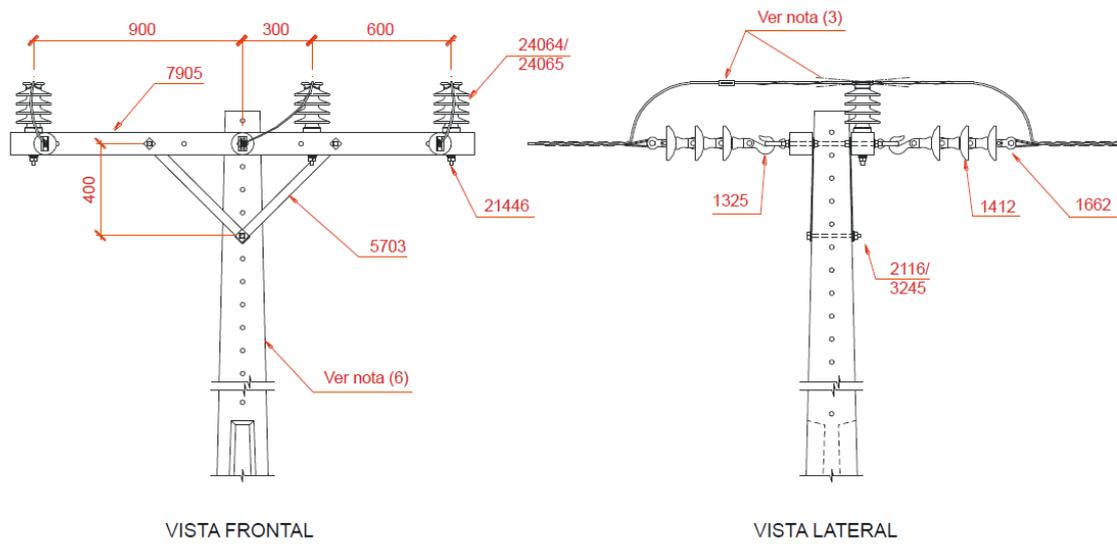
FIXAÇÃO DA ESTRUTURA N3 NO POSTE DE CONCRETO TIPO DT													
CÓDIGO CEA	POSTE	COMPRIMENTO (m)			10			11			12		
		RESISTÊNCIA NOMINAL (daN)			300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
		DESCRIÇÃO			QUANTIDADE								
<b>2116</b>	Parafuso de cabeça quadrada de 250 mm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<b>2137</b>	Parafuso de rosca dupla de 400 mm	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	-	
<b>2138</b>	Parafuso de rosca dupla de 450 mm	-	-	3	-	-	3	-	-	3	-	3	

NOTAS:

- (4) Material depende da aplicação, consultar ETD-02-Postes de Concreto Armado  
 (5) Materiais dependem da aplicação, consultar página 132 e 133.

Fonte: CEA

Figura B.4 – Estrutura do Tipo N4



PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE 13,8KV



**NOTAS:**

- (1) Sem escala.
- (2) Medidas em milímetros.
- (3) Material depende da aplicação
- (4) Para condutor da rede urbana 2AWG CA, utilizar estrutura N4A
- (5) A representação e indicação dos códigos de materiais é ilustrativa, dependem do tipo de montagem dos materiais aplicados: postes, cabos, etc.

**Fonte:** CEA

Tabela B.3 – Montagem da estrutura N4

CÓDIGO CEA	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE PARA TENSÃO	
		13,8 kV	34,5 kV
Nota (6)	Poste de Concreto Armado Seção Duplo T	1	
<b>7905</b>	Cruzeta de Concreto 250 daN Retangular	2	
<b>5703</b>	Mão Francesa Plana – 619 mm	4	
<b>24064</b>	Isolador Pilar NBI 110 kV	3	-
<b>24065</b>	Isolador Pilar NBI 170 kV	-	3
<b>21446</b>	Pino auto-travante 140 mm, para Isolador Pilar	3	
<b>1412</b>	Isolador de Disco - Porcelana 150 mm	12	18
<b>2111</b>	Parafuso de Cabeça Quadrada – 125 mm	4	
<b>3245</b>	Arruela Quadrada	14	
<b>3232</b>	Olhal Parafuso	6	
<b>1325</b>	Gancho-Olhal	6	
<b>1662</b>	Manilha-Sapatilha	6	
Nota (7)	Alça pré-formada	6	
	Laço pré-formado de Topo	3	
	Conector Derivação de Cunha	3	
	Cartucho para Conector Derivação de Cunha	3	

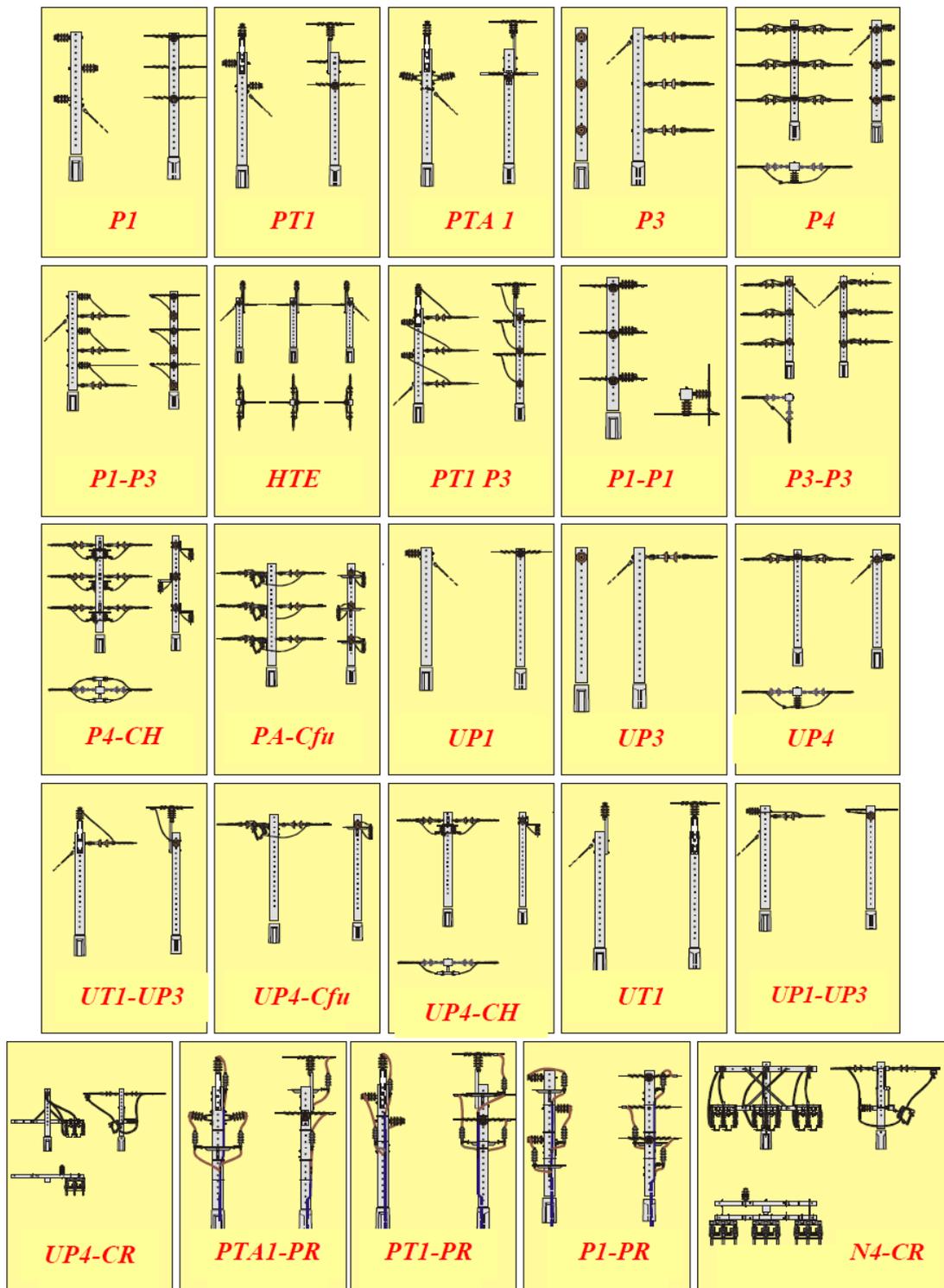
FIXAÇÃO DA ESTRUTURA N4 NO POSTE DE CONCRETO TIPO DT														
CÓDIGO CEA	POSTE	COMPRIMENTO (m)			10			11			12			
		RESISTÊNCIA NOMINAL (daN)			300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000	
		DESCRIÇÃO			QUANTIDADE									
<b>2116</b>		Parafuso de cabeça quadrada de 250 mm			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>2137</b>		Parafuso de rosca dupla de 400 mm			3	3	-	3	3	-	3	3	-	
<b>2138</b>		Parafuso de rosca dupla de 450 mm			-	-	3	-	-	3	-	-	3	

NOTAS:

- (6) Material depende da aplicação, consultar ETD-02 – Poste de Concreto Armado.  
 (7) Materiais dependem da aplicação, consultar página 132 e 133.

Fonte: CEA

Figura B.5 – Estruturas Primárias Padronizadas para Redes de Distribuição Rural



Fonte: CEA

Figura B.6 – Estrutura Trifásica Básica de Baixa Tensão Tangente S1

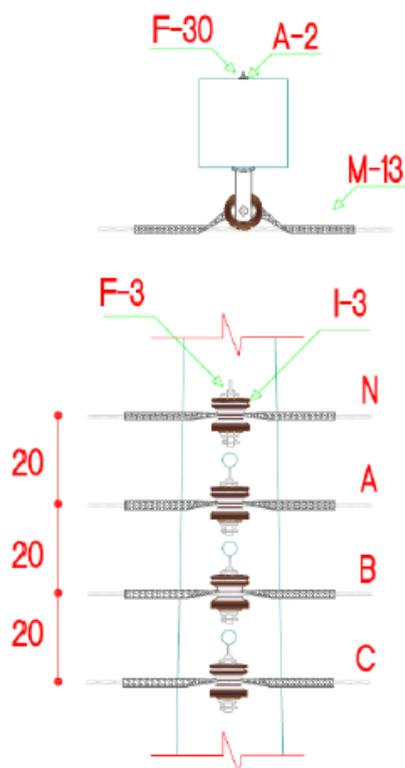


Figura 62 – Estrutura S1  
Dimensões em cm

NOTA 1 O espaçamento mínimo entre estribos é de 20cm para vãos até 40m. Para outros comprimentos, consultar a OTD 035.01.01 – Critérios de Elaboração de Projetos.

NOTA 2 Mesmo em circuitos incompletos devem ser respeitados o posicionamento e a posição dos condutores neutro, fases e controle.

NOTA 3 As armações secundárias são instaladas no lado da rua.

NOTA 4 A redução do número de fases é feita pela supressão dos componentes de baixo para cima.

NOTA 5 Estrutura monofásica é denominada S1-1, bifásica S1-2 e trifásica S1-3.

NOTA 6 Para a fixação do ramal de ligação no lado oposto do poste, incluir mais uma armação secundária AS 11 e um isolador roldana.

Relação de Materiais – S1			
Item	Quantidade		Descrição
	DT	C	
A-2	4	4	Arruela Quadrada
F-31	-	4	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45
F-30	4	-	Parafuso Cabeça Quadrada M16 x Comprimento Adequado
F-10	-	4	Cinta para Poste Circular
F-3	4	4	Armação Secundária AS 11
I-3	4	4	Isolador Roldana
M-13	4	4	Laço Preformado de Roldana

Fonte: FECOERGS

Figura B.7 – Estrutura Trifásica Básica de Baixa Tensão em Ângulo S2

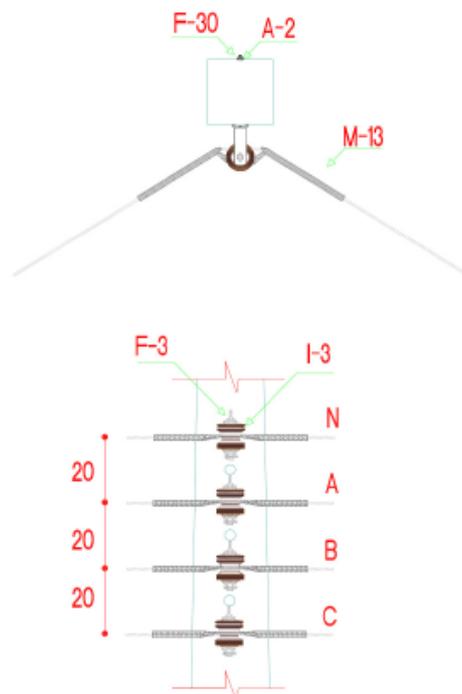


Figura 63 – Estrutura S2  
Dimensões em cm

NOTA 1 O espaçamento mínimo entre estribos é de 20cm para vãos até 40m. Para outros comprimentos, consultar a OTD 035.01.01 – Critérios de Elaboração de Projetos.

NOTA 2 Mesmo em circuitos incompletos devem ser respeitados o posicionamento e a posição dos condutores neutro, fases e controle.

NOTA 3 As armações secundárias são instaladas no lado da rua.

NOTA 4 A redução do número de fases é feita pela supressão dos componentes de baixo para cima.

NOTA 5 A estrutura S2 é utilizada até ângulos de 45°.

NOTA 6 Estrutura monofásica é denominada S2-1, bifásica S2-2 e trifásica S2-3.

NOTA 7 O cabo da rede secundária passa por trás da roldana, utilizando-se laço preformado de roldana para a amarração.

NOTA 8 Para a fixação do ramal de ligação no lado oposto do poste, incluir mais uma armação secundária AS 11 e um isolador roldana.

Relação de Materiais – S2			
Item	Quantidade		Descrição
	DT	C	
A-2	4	4	Arruela Quadrada
F-31	-	4	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45
F-30	4	-	Parafuso Cabeça Quadrada M16 x Comprimento Adequado
F-10	-	4	Cinta para Poste Circular
F-3	4	4	Armação Secundária AS 11
I-3	4	4	Isolador Roldana
M-13	4	4	Laço Preformado de Roldana

Fonte: FECOERGS

Figura B.8 – Estrutura Trifásica Básica de Baixa Tensão em Fim de Linha S3

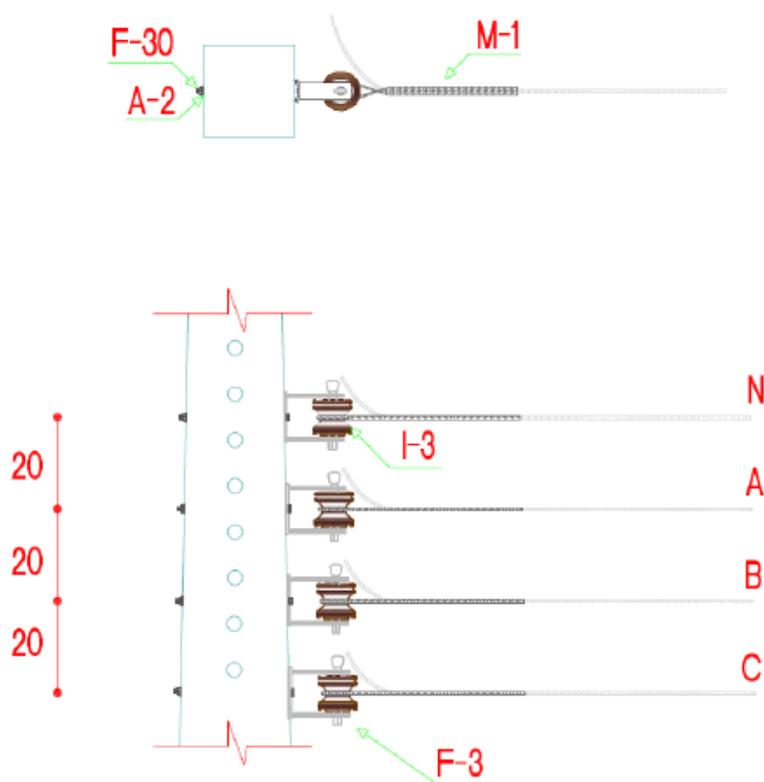


Figura 64 – Estrutura S3  
Dimensões em cm

NOTA 1 O espaçamento mínimo entre estribos é de 20cm para vãos até 40m. Para outros comprimentos, consultar a OTD 035.01.01 – Critérios de Elaboração de Projetos.

NOTA 2 Mesmo em circuitos incompletos devem ser respeitados o posicionamento e a posição dos condutores neutro, fases e controle.

NOTA 3 A redução do número de fases é feita pela supressão dos componentes de baixo para cima.

NOTA 4 Estrutura monofásica é denominada S3-1, bifásica S3-2 e trifásica S3-3.

NOTA 5 Para a fixação do ramal de ligação no lado oposto do poste, incluir mais uma armação secundária AS 11 e um isolador roldana.

Relação de Materiais – S3				
Item	Quantidade		Descrição	
	DT	C		
A-2	4	4	Arruela Quadrada	
F-31	-	4	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45	
F-30	4	-	Parafuso Cabeça Quadrada M16 x Comprimento Adequado	
F-10	-	4	Cinta para Poste Circular	
F-3	4	4	Armação Secundária AS 11	
I-3	4	4	Isolador Roldana	
M-1	4	4	Alça Prefabricada para Condutor de Alumínio	

Fonte: FECOERGS

Figura B.9 – Estrutura Trifásica Básica de Baixa Tensão de Ancoragem Dupla S4

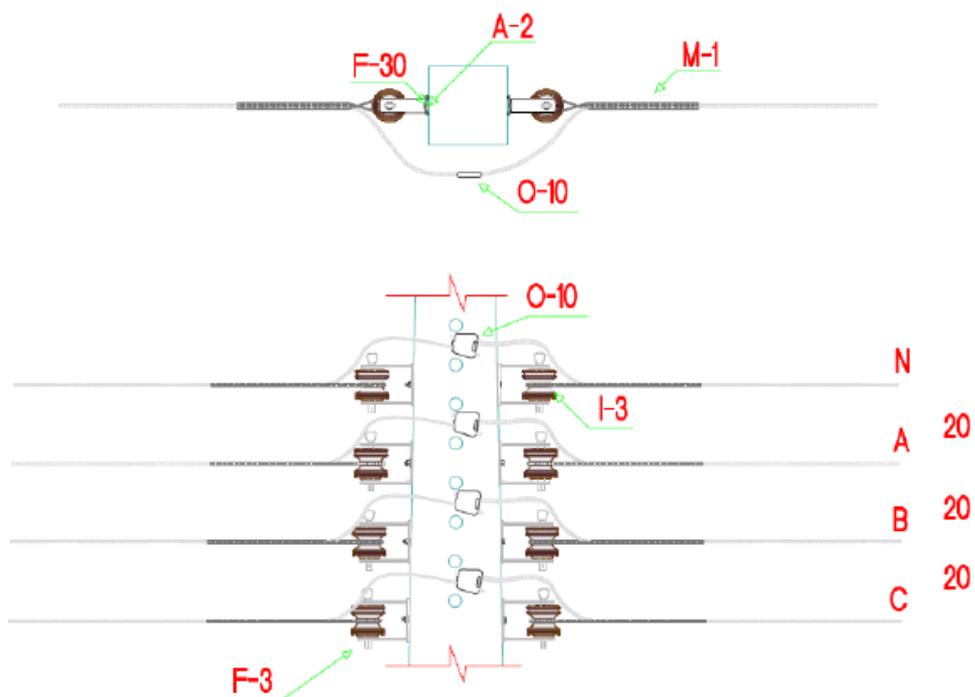


Figura 65 – Estrutura S4  
Dimensões em cm

NOTA 1 O espaçamento mínimo entre estribos é de 20cm para vãos até 40m. Para outros comprimentos, consultar a OTD 035.01.01 – Critérios de Elaboração de Projetos.

NOTA 2 Mesmo em circuitos incompletos devem ser respeitados o posicionamento e a posição dos condutores neutro, fases e controle.

NOTA 3 A redução do número de fases é feita pela supressão dos componentes de baixo para cima.

NOTA 4 A estrutura S4 é utilizada em troca de seção de condutores, em ângulos e fins de linha de circuitos diferentes (sem jumper nas fases).

NOTA 5 Estrutura monofásica é denominada S4-1, bifásica S4-2 e trifásica S4-3.

NOTA 6 Para a fixação do ramal de ligação no lado oposto do poste, incluir mais uma armação secundária AS 11 e um isolador roldana.

Relação de Materiais – S4			
Item	Quantidade		Descrição
	DT	C	
A-2	4	8	Arruela Quadrada
F-31	-	8	Parafuso Cabeça Abaulada M16 x 45
F-30	4	-	Parafuso Cabeça Quadrada M16 x Comprimento Adequado
F-10	-	4	Cinta para Poste Circular
F-3	8	8	Armação Secundária AS 11
I-3	8	8	Isolador Roldana
M-1	8	8	Alça Preformada para Condutor de Alumínio
O-10	4	4	Conector Cunha Derivação

Fonte: FECOERGS

## ANEXO C – Cálculos de Queda de Tensão nos Circuitos de Distribuição

Tabela C.1 – Coeficiente de Queda de Tensão

Rede Secundária 380/220 V - %/ kVA x 100 m

ALUMÍNIO SIMPLES CA		
CONDUTORES AWG/MCM	FP = 1,0	FP = 0,8
	3 FASES - 50°C - ee = 0,252 m	
4	0,1053	0,0997
2	0,0662	0,0672
1/0	0,0416	0,0468
4/0	0,0208	0,0290
336,4	0,0132	0,0220

2 FASES - 50°C - ee = 252 m		
2 x 4 (4)	0,2370	0,2233
2 x 2 (4)	0,1783	0,1752
2 x 1/0 (2)	0,1121	0,1206

1 FASE - 50°C - ee = 0,200 m		
1 x 4 (4)	0,6320	0,5909
1 x 2 (4)	0,5146	0,4948
1 x 1/0 (2)	0,3235	0,3376

CÁLCULOS:

$$2 \text{ FASES+NEUTRO: } \Delta V\% = \left[ \left( RF + \frac{RN}{2} \right) \cdot \cos \Phi + \left( XF + \frac{XN}{2} \right) \cdot \text{sen } \Phi \right] \cdot \frac{15 \cdot 000}{V^2}$$

$$1 \text{ FASE+NEUTRO: } \Delta V\% = \left[ (RF + RN) \cdot \cos \Phi + (XF + XN) \cdot \text{sen } \Phi \right] \cdot \frac{30 \cdot 000}{V^2}$$

RF = Resistência do condutor fase  
RN = Resistência do condutor neutro

XF = Reatância indutiva do condutor fase  
XN = Reatância indutiva do condutor neutro

Fonte: ASPE/CEA

Tabela C.2 – Coeficientes de Queda de Tensão – Rede Primária(13.8 kV e 34.5 kV)

COEFICIENTES DE QUEDA DE TENSÃO - VALORES EM % PARA MVA x KM - SISTEMA TRIFÁSICO								
CONDUTOR AWG/MCM	TEMPERATURA 50°C - ee = 1,35 m				TEMPERATURA 50% - ee = 1,09 m			
	13,8 KV		34,5 KV		13,8 KV		34,5 KV	
	FP=1,0	FP=0,8	FP=1,0	FP=0,8	FP=1,0	FP=0,8	FP=1,0	FP=0,8
4	0,7951	0,7891	0,1272	0,1262	0,7951	0,7841	0,1272	0,1254
2	0,5003	0,5477	0,0800	0,0876	0,5003	0,5419	0,0800	0,0867
1/0	0,3143	0,3934	0,0501	0,0629	0,3143	0,3884	0,0501	0,0621
4/0	0,1572	0,2595	0,0251	0,0415	0,1572	0,2544	0,0251	0,0407
336,4	0,0989	0,2060	0,0158	0,0329	0,0989	0,2009	0,0158	0,0321

CÁLCULO: 
$$\Delta V\% = \frac{R \cos \Phi + X \operatorname{sen} \Phi}{kV^2} \times 100 \quad (\text{MVA x km})$$

Fonte: ASPE/CEA

Tabela C.3 – Características dos Cabos Multiplexados

<b>Identificação:</b>	<p>&gt; <b>Veias coloridas:</b> Duplex - PT, triplex - PT e CZ, quadruplex - PT, CZ e VM. Neutro, quando isolado, identificado por cor (AZ).</p>
<b>Temperaturas máximas do condutor:</b>	<p>&gt; PE - 70°C em serviço contínuo, 90°C em sobrecarga e 130°C em curto-circuito. XLPE - 90°C em serviço contínuo, 130°C em sobrecarga e 250°C em curto-circuito.</p>
<b>Norma aplicável:</b>	<p>&gt; <b>NBR 8182</b> Cabos de potência multiplexados auto sustentados com isolamento sólida extrudada de polietileno termoplástico (PE) ou termofixo (XLPE) para tensões até 1kv — especificação.</p>

**DADOS CONSTRUTIVOS**

**CABO MULTIPLEXADO COLORIDO**

formação do cabo (mm <sup>2</sup> )	número mín. de fios	φ nominal (mm)	fase			número de fios	neutro		peso total (daN/m)	carga de ruptura (daN)
			material isolamento*	classe de temperatura (°C)	espessura de isolamento** (mm)		φ nominal (mm)	tipo		
1x1x10+10	1	3,6	PE	70	1,2	7	4,1	CA	0,07	168
2x1x10+10	1	3,6	PE	70	1,2	7	4,1	CA	0,11	168
3x1x10+10	1	3,6	PE	70	1,2	7	4,1	CA	0,16	168
1x1x16+16	6	4,8	PE	70	1,2	7	5,1	CA	0,11	269
2x1x16+16	6	4,8	PE	70	1,2	7	5,1	CA	0,16	269
3x1x16+16	6	4,8	PE	70	1,2	7	5,1	CA	0,23	269
1x1x25+25	6	6,0	PE	70	1,4	7	6,2	CA	0,16	420
2x1x25+25	6	6,0	PE	70	1,4	7	6,2	CA	0,26	420
3x1x25+25	6	6,0	PE	70	1,4	7	6,2	CA	0,38	420
3x1x35+70	6	7,1	XLPE	90	1,6	7	10,4	CAL	0,58	1.995
3x1x50+70	6	8,2	XLPE	90	1,6	7	10,4	CAL	0,70	1.995
3x1x70+70	12	9,8	XLPE	90	1,8	7	10,4	CAL	0,90	1.995
3x1x95+70	12	11,5	XLPE	90	2,0	7	10,4	CAL	1,18	1.995
3x1x120+70	15	13,0	XLPE	90	2,0	7	10,4	CAL	1,40	1.995

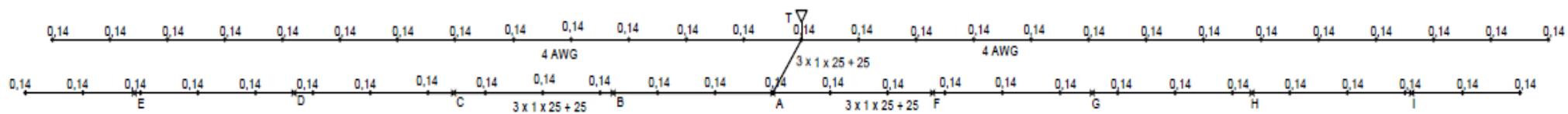
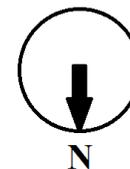
(\*) materiais recomendados, todas as seções podem ser fabricadas em XLPE. (\*\*) camada com negro de fumo + camada colorida.

formação do cabo (mm <sup>2</sup> )	capacidade de corrente (A)	R <sub>cc</sub> a 20 °C (Ω/km)	R <sub>ca</sub> na temperatura de classe (Ω/km)	reatância indutiva (Ω/km)
1x1x10+10	46	3,080	3,701	0,097
2x1x10+10	38	3,080	3,701	0,110
3x1x10+10	29	3,080	3,701	0,123
1x1x16+16	61	1,910	2,295	0,090
2x1x16+16	50	1,910	2,295	0,101
3x1x16+16	38	1,910	2,295	0,115
1x1x25+25	81	1,200	1,442	0,088
2x1x25+25	66	1,200	1,442	0,100
3x1x25+25	51	1,200	1,442	0,113
3x1x35+70	100	0,868	1,113	0,117
3x1x50+70	122	0,641	0,822	0,112
3x1x70+70	157	0,443	0,568	0,109
3x1x95+70	196	0,320	0,410	0,106
3x1x120+70	229	0,253	0,324	0,103

Temperatura ambiente de 40 °C, radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, sem vento.

Fonte: Site Prysmian

**APÊNDICE A – Circuito Simplificado Exclusivo de Iluminação Pública do Transformador 09 para Cálculo de Queda de Tensão.**

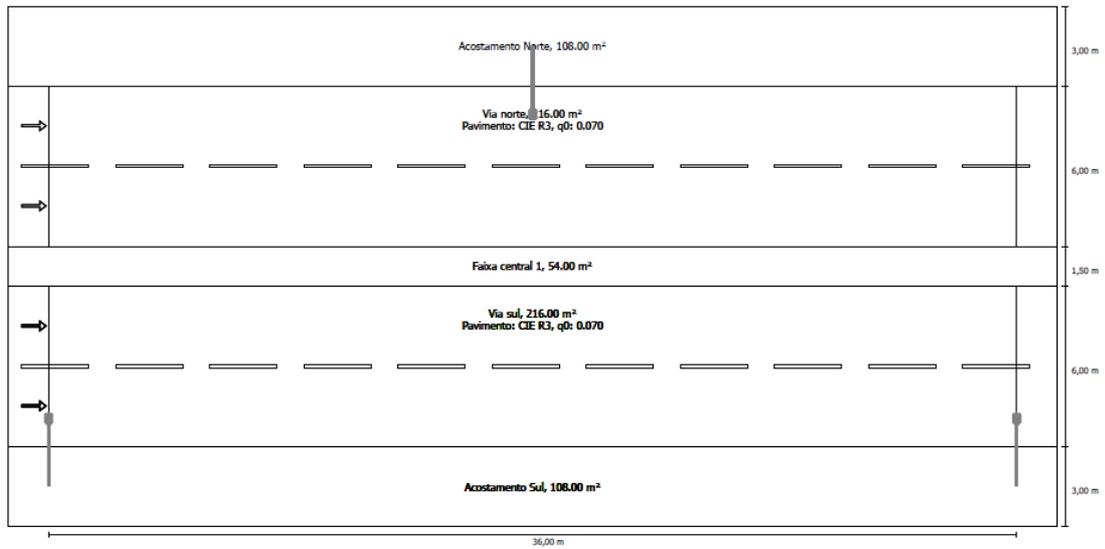


**Fonte:** Elaborada pelo autor

## APÊNDICE B – Relatórios de Simulação no DIALux

Figura B.1 – Perfil do Trecho AB da Rodovia

Perfil da rua



Factor de manutenção: 0.67

Indicadores da densidade de potência

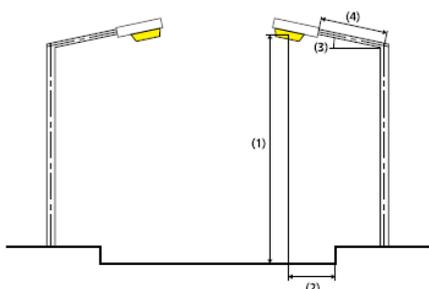
Horas de operação 4000 h, 100%, 140.0 W

Campo de avaliação	Superfície	EAVg
Via norte	216.00 m <sup>2</sup>	41.0 lx
Via sul	216.00 m <sup>2</sup>	41.0 lx
Acostamento Norte	108.00 m <sup>2</sup>	15.5 lx
Acostamento Sul	108.00 m <sup>2</sup>	15.5 lx
Resultado para indicador de densidade de potência	0.013 W/lxm <sup>2</sup>	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

## Figura B.2 – Perfil das Luminárias Sobre a Via

Distribuições de luminárias



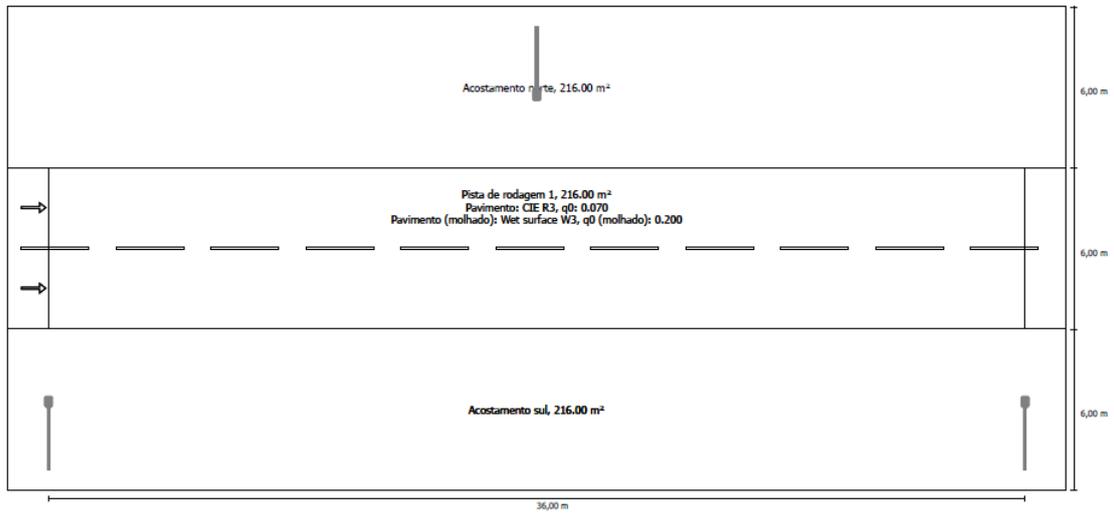
Luminária:	Philips Lighting BGP323 T35 1xGRN185-3S/740 DC 1xGRN185-3S/740
Fluxo luminoso (luminária):	19204.12 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	19400.00 lm
Distribuição:	bilateral alternadamente
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 140.0 W
Distância entre postes:	36.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	8.0°
Comprimento braço extensor (4):	2.506 m
Altura do ponto de luz (1):	9.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	1.000 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Consumo de energia:	1120.0 kWh p.a.
Densidade de consumo de energia:	1.7 kWh/m <sup>2</sup> p.a.
W/km:	7840.00
Valor máximo da potência luminosa	
com 70°:	565 cd/klm
com 80°:	59.2 cd/klm
com 90°:	3.87 cd/klm
Classe de potência luminosa:	G*3
Em todas as direcções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.	
A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.3	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Figura B.3 – Perfil do Trecho BC da Rodovia

Perfil da rua



Factor de manutenção: 0.67

Indicadores da densidade de potência

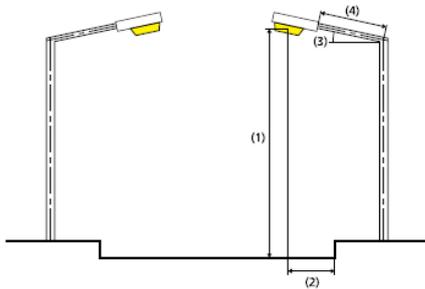
Horas de operação 4000 h, 100%, 140.0 W

Campo de avaliação	Superfície	E <sub>Avg</sub>
Acostamento norte	216.00 m <sup>2</sup>	30.5 lx
Pista de rodagem 1	216.00 m <sup>2</sup>	45.9 lx
Acostamento sul	216.00 m <sup>2</sup>	30.5 lx
Resultado para indicador de densidade de potência	0.012 W/lxm <sup>2</sup>	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Figura B.4 – Perfil das Luminárias Sobre a Via.

Distribuições de luminárias



Luminária:	Philips Lighting BGP323 T35 1xGRN185-3S/740 DC 1xGRN185-3S/740
Fluxo luminoso (luminária):	19204.12 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	19400.00 lm
Distribuição:	bilateral alternadamente
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 140.0 W
Distância entre postes:	36.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	8.0°
Comprimento braço extensor (4):	2.506 m
Altura do ponto de luz (1):	9.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	-2.750 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Consumo de energia:	1120.0 kWh p.a.
Densidade de consumo de energia:	1.7 kWh/m <sup>2</sup> p.a.
W/km:	7840.00
Valor máximo da potência luminosa	
com 70°:	565 cd/klm
com 80°:	59.2 cd/klm
com 90°:	3.87 cd/klm
Classe de potência luminosa:	G*3

Em todas as direcções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.

A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.3

**Fonte:** Elaborada pelo autor