



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS CURITIBA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA

**CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE EM
ELETROTÉCNICA**



JOILSON LUIZ STOCKO

JULIO LAZZARETTI

MAYCON WILLIAN CLAUS DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE UMA LUMINÁRIA LED E
UMA LUMINÁRIA CONVENCIONAL À VAPOR DE SÓDIO.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA - PR

2013

**JOILSON LUIZ STOCKO
JULIO LAZZARETTI
MAYCON WILLIAN CLAUS DOS SANTOS**

**ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE UMA LUMINÁRIA LED E
UMA LUMINÁRIA CONVENCIONAL À VAPOR DE SÓDIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Industrial Elétrica - Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Clider Adriane de Souza
Silva, Me.

**CURITIBA - PR
2013**

Joilson Luiz Stocko
Julio Lazzaretti
Maycon Willian Claus dos Santos

ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE UMA LUMINÁRIA LED E UMA LUMINÁRIA CONVENCIONAL À VAPOR DE SÓDIO.

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 12 de setembro de 2013.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Ma.
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica

ORIENTAÇÃO

Prof. Clider Adriane de Souza Silva, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Julio Cezar Nitsch, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Clider Adriane de Souza Silva, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. José da Silva Maia, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DEDICATÓRIA

Aos nossos familiares cujo apoio foi de fundamental importância ao longo desses anos de estudo.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer, de maneira geral, a todos aqueles que estiveram ao nosso lado durante nossa vida acadêmica: familiares, amigos e colegas de trabalho. Nem sempre tivemos o tempo que queríamos para estar ao lado de quem gostamos, mas todos vocês estiveram presentes nos nossos pensamentos esse tempo todo.

Agradecemos ao pessoal do setor de normatização técnica da Companhia Paranaense de Energia, nas pessoas do Engenheiro José Maria Joly e do Engenheiro Flavio Aparecido dos Reis, pelo fornecimento dos dados relativos às medições utilizadas nesse trabalho.

Agradecemos em especial ao engenheiro Flavio Aparecido dos Reis, pelo apoio técnico fornecido ao longo do trabalho.

RESUMO

STOCKO, Joilson L.; LAZZARETTI, Julio; SANTOS, Maycon W. C. Estudo de caso comparativo entre uma luminária LED e uma luminária convencional de Vapor de Sódio. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

No presente trabalho será apresentado um estudo de caso comparativo entre uma luminária LED e uma luminária de Vapor de Sódio. Serão três estudos apresentados onde são duas comparações e um histórico de iluminação. Nos comparativos tem-se um comparativo luminotécnico entre uma luminária LED importada e uma luminária de Vapor de Sódio tomando como base a norma NBR 5101:2012. Outro comparativo se faz para critérios elétricos, porém sem medições na luminária de Vapor de Sódio, foram tomadas medidas elétricas de duas luminárias LED, uma nacional e uma importada, tendo como base a resolução 414 da ANEEL e a norma IEC 61000-3-2. O histórico foi realizado para a luminária nacional, onde foram tomadas medidas luminotécnicas ao longo de 2 anos com 6510 horas operando, para verificação de depreciação e ou evolução da luminária.

Palavras-chave: Vapor de Sódio. Normas. Luminária LED. Iluminância. Uniformidade.

ABSTRACT

STOCKO, Joilson L.; LAZZARETTI, Julio; SANTOS, Maycon W. C. Comparative case study between the LED lamp and a luminaire to conventional sodium Vapor. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

In this work will be presented a case study comparing a luminaire LED and a sodium Vapor lamp. Three studies will be presented which are two comparisons and a history of illuminance. In comparison it has a comparative luminotécnico between a lamp and a luminaire LED imported sodium Vapor drawing on NBR 5101:2012. Another comparison is made for electrical criteria, but no measurements in sodium Vapor lamp, electrical measurements were taken from two LED lights, one domestic and one imported, based on the ANEEL Resolution 414 and IEC 61000-3-2. The record was held for national fixture, light engineering measures which were taken over two years with 6510 hours operating, check for depreciation and luminaire or evolution.

Keywords: Sodium Vapor. Standards. Luminaire LED. Illuminance. Uniformity.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABILUX	Associação Brasileira das Indústrias de Iluminação
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
FP	Fator de Potência
IP	Iluminação Pública
NBR	Norma Brasileira
NTC	Norma Técnica Copel
VM	Vapor de Mercúrio
VSAP	Vapor de Sódio de Alta Pressão

LISTA DE ACRÔNIMOS

HB-LED	<i>High Brightness Light-Emitting Diode</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
THDi	<i>Total Harmonic Distortion of Current</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arranjo unilateral das luminárias	28
Figura 2 – Arranjo bilateral das luminárias	28
Figura 3 – Arranjo bilateral oposto	28
Figura 4 – Arranjo para vias com canteiro central	29
Figura 5 – A luminotécnica é uma ciência multidisciplinar	30
Figura 6 – Curva de sensibilidade do olho à radiações monocromáticas.....	31
Figura 7 – Fluxo Luminoso	32
Figura 8 – Representação do Lúmen	32
Figura 9 – Eficiência Luminosa	33
Figura 10 – Intensidade Luminosa	33
Figura 11 – Iluminância e Luminância.....	35
Figura 12 – Luminância, Luz Refletida é Visível.....	36
Figura 13 – Efeito da luz num plano vertical.....	36
Figura 14 – Estrutura do LED.....	37
Figura 15 – Estrutura de um HB-LED.....	39
Figura 16 – Espalhamento da luminária LED e Vapor de Sódio	40
Figura 17 – Estrutura da Luminária LED	41
Figura 18 – Luminária típica para IP baseada em LED's de potência.....	42
Figura 19 – Esquema de ligação, lumináride Vapor de Sódio.....	42
Figura 20 – Luminária tipo globo padrão LM-3.....	44
Figura 21 – Tipos de vias	47
Figura 22 – Braço BR-2.....	48
Figura 23 – Padrões de instalação de IP	48
Figura 24 – Arranjo e dimensões da luminária e pista	49
Figura 25 – Dimensões do poste e rua	49
Figura 26 – Malha de medição utilizada.....	50
Figura 27 – Rua com pontos de medição.....	50
Figura 28 – Luximêtro utilizado nas medições	51
Figura 29 – Disposição dos pontos de medição.....	52
Figura 30 – Valores da lumináride Vapor de Sódio dispostos nos pontos	52
Figura 31 – Valores da lumináride Vapor de Sódio dispostos nos pontos	53
Figura 32 – Projeção lumináride Vapor de Sódio	54

Figura 33 - Visão superior da distribuição das iluminâncias, Vapor de Sódio	55
Figura 34 – Projeção luminária LED.....	56
Figura 35 – Iluminação junto ao poste de ambas as luminárias.....	57
Figura 36 - Visão superior da distribuição das iluminâncias, Vapor de Sódio	58
Figura 37 – Iluminância entre pontos adjacentes, luminária LED.....	60
Figura 38 – Iluminância entre pontos adjacentes, luminária de Vapor de Sódio	60
Figura 39 – Classes de iluminação	62
Figura 40 – Valores elétricos luminária nacional, em 127 V.....	65
Figura 41 – Valores elétricos luminária nacional, em 220 V.....	65
Figura 42 – Valores elétricos luminária importada, em 220 V	66
Figura 43 – Distribuição dos pontos de medição por luminária	68
Figura 44 – Dimensões da pista.....	68
Figura 45 – Detalhe da instalação.....	69
Figura 46 – Distribuição dos pontos com as três luminárias	70
Figura 47 – Disposição dos valores medidos	71
Figura 48 – Valores medição 1 e 2.....	72
Figura 49 – Valores medição 3 e 4.....	72
Figura 50 – Valores medição 5 e 6.....	73
Figura 51 – Projeções das medições 1 e 2	73
Figura 52 – Projeções das medições 3 e 4	74
Figura 53 – Projeções das medições 5 e 6	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Frequência (medição 2 – medição 1).....	77
Gráfico 2 – Frequência (medição 3 – medição 2).....	78
Gráfico 3 – Frequência (medição 4 – medição 3).....	78
Gráfico 4 – Frequência (medição 5 – medição 4).....	79
Gráfico 5 – Frequência (medição 6 – medição 5).....	79
Gráfico 6 – Frequência (medição 1 – medição 5).....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de lâmpadas e suas características técnicas.....	32
Tabela 2 – Exemplos de iluminância de diversas fontes.....	34
Tabela 3 – Distribuição de lâmpadas de IP instaladas no Brasil.....	38
Tabela 4 – Tabela comparativa entre luminária LED e Vapor de Sódio.....	61
Tabela 5 – Limites de THDi nas componentes.....	64
Tabela 6 – Dados de fábrica da luminária LED nacional.....	69
Tabela 7 – Valores médios do histórico	75
Tabela 8 – Valores medidos no ponto 6.....	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 TEMA	15
1.1.1 Delimitação do Tema	15
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	20
2.1 LEGISLAÇÃO.....	21
2.2 MUDANÇAS NOS REGULAMENTOS ATUAIS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	21
2.3 NORMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	22
2.4 OBJETIVOS DA NBR 5101:2012.	23
2.4.1 Algumas Terminologias da Norma NBR 5101: 2012.....	24
2.4.1.1 Altura de montagem (AM)	24
2.4.1.2 Avanço	24
2.4.1.3 Diagrama de distribuição.....	24
2.4.1.4 Distribuição lateral	24
2.4.1.5 Distribuição vertical	24
2.4.1.6 Espaçamento	24
2.4.1.7 Fator de uniformidade da iluminância (U).....	25
2.4.1.8 Iluminância média horizontal	25
2.4.1.9 Iluminância média mínima.....	25
2.5 TIPOS DE VIAS	26
2.5.1 Via Urbana	26
2.5.2 Via de Trânsito Rápido.....	26
2.5.3 Via Arterial.....	26
2.5.4 Via Coletora.....	27
2.6 TOPOLOGIA DE ILUMINAÇÃO VIÁRIA	27
3 LUMINOTÉCNICA	30

3.1	DEFINIÇÕES DE TERMOS LUMINOTÉCNICOS E UNIDADES	30
3.1.1	Luz.....	30
3.1.2	Fluxo Luminoso	31
3.1.3	Eficiência luminosa.....	33
3.1.4	Intensidade Luminosa	33
3.1.5	Iluminância (Iluminamento)	34
3.1.6	Luminância	35
3.1.7	Curva de Distribuição Luminosa ou Curva Fotométrica	36
4	O LED APLICADO EM ILUMINAÇÃO	37
4.1	ASPECTOS TECNOLÓGICOS DAS LUMINÁRIAS LED	37
4.2	LUMINÁRIAS	40
4.2.1	Tipos de Dispositivos de Iluminação	40
4.2.2	Estrutura de Funcionamento de Luminárias LED's	40
4.2.3	Estrutura e Funcionamento de uma Luminária de Vapor de Sódio	42
5	COMPARATIVO ENTRE AS LUMINÁRIAS	44
5.1	COMPARATIVO LUMINOTÉCNICO	45
5.1.1	Mudança da norma	45
5.1.2	Características da Instalação	46
5.1.3	Medições	51
5.1.4	Avaliações das medições	53
5.1.5	Validade na norma.	58
5.1.6	Resultados	61
5.2	COMPARATIVO ELÉTRICO	63
5.2.1	Normatização.	63
5.2.2	Medições	65
5.3	HISTÓRICO DE ILUMINAMENTO	67
5.3.1	Instalação	67
5.3.2	Dados medidos e médias	71
5.3.2.1	Avaliação	75
5.3.3	Histograma	76
5.3.4	Ponto 6	80
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
7	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	84
	REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

A civilização atual está cada vez mais exigente, e com isso, não basta que um sistema de iluminação urbana apenas forneça o primordial: Iluminar de maneira suficiente que garanta a segurança e visibilidade. É importante assim, estar aberto a novas tendências tecnológicas que visem reduzir gastos, que garantam uma eficiência energética satisfatória e que apresentem maiores graus de satisfação visual, pois a iluminação pública convencional deixa um pouco a desejar em alguns aspectos, como a baixa reprodução de cor. (PHILIPS, 2012). Uma opção frente às diversas tecnologias aplicadas em iluminação pública é a utilização de diodo emissor de luz, o LED. Embora no contexto atual uma luminária LED possua um custo de implantação inicial maior, ela oferece uma economia de energia significativa trazendo assim economia em cabeamento, além disso, possuem um ciclo de vida maior. (TECHNOSOL, 2012).

No decorrer do trabalho se analisará as características de uma luminária LED frente às características de uma luminária convencional de Vapor de Sódio, tomando como base de dados medições reais feitas em um estacionamento externo de uma concessionária de energia e relacionando com normas específicas.

1.1 TEMA

Estudo de caso comparativo entre uma luminária LED e uma luminária convencional de Vapor de Sódio, aplicadas em iluminação pública.

1.1.1 Delimitação do Tema

Com a constante necessidade de melhorar o sistema de iluminação pública, considerando-se custos e desempenho, avaliar-se-á a utilização das luminárias LED, que segundo Mendonça (2012), estas mesmas além de possuírem um consumo de na ordem de 40 a 60% inferior as tradicionais luminárias, pode ter uma duração de até 50 mil horas. Esses valores de consumo e de durabilidade representam para órgãos responsáveis pela iluminação pública uma economia de energia elétrica e redução de custos na troca e manutenção de luminárias, tornando-se assim atrativo o uso de luminárias LED na iluminação pública.

O estudo se dará partir de um caso comparativo real, comparando uma luminária LED a uma luminária de Vapor de Sódio nos quesitos iluminação, fatores elétricos como fator de potencia e taxa de distorção harmônica, além de apresentar um histórico de iluminação de outra luminária LED. Ambas as luminárias são de uso em iluminação pública.

Portanto o trabalho se limita a comparar tecnicamente, através dos conceitos citados anteriormente, as luminárias sem entrar no contexto de aplicabilidade em grande escala tanto energética quanto economicamente e sem entrar no mérito de desqualificar qualquer uma das tecnologias usadas.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

Devido, ainda, ao escasso número de cidades que utilizam em seus sistemas de iluminação pública luminárias LED, e por ser uma tecnologia em processo de desenvolvimento tecnológico em ascensão, é difícil de encontrar algo palpável no que diz respeito à comparação técnica direta entre a iluminação LED e a convencional referentes às normas. Além disso, no meio acadêmico o que prevalece é a cultura: o LED é mais econômico, é mais caro sua implantação, possuem uma vida útil, muito superior. Sendo assim, o que se podem formular são as seguintes questões:

- O LED responde bem a uma instalação pública?
- Os critérios luminotécnicos podem, facilmente, ser aplicados em luminárias LED?
- Uma luminária LED, tecnicamente, pode fazer frente à luminária convencional?
- Luminárias LED se enquadram em critérios da norma de iluminação pública?
- Existem normas específicas para as luminárias LED?

O presente trabalho busca responder estas questões trazendo a tona uma pesquisa idônea e fidedigna.

A hipótese deste trabalho seria a comprovação de que a nova tecnologia em iluminação pública futura será a utilização de luminárias LED.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo técnico de caso comparando medições realizadas em uma luminária LED e uma luminária convencional de Vapor de Sódio, instaladas em um estacionamento de uma concessionária de energia elétrica. A finalidade deste aprofundamento técnico será a verificação dos valores medidos com valores especificados pelas normas específicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar a respeito das normas relativas à iluminação pública.
- Pesquisar conceitos luminotécnicos, que serão utilizados no presente trabalho.
- Pesquisar sobre o LED: conceitos, aplicações, LED's de potência.
- Pesquisar sobre luminárias LED e Vapor de Sódio.
- Aplicar conceitos luminotécnicos aos dados obtidos nas medições.
- Comparar os dados relativos às luminárias entre si e analisar a validade de normas específicas aos dados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Popularmente o LED está ligado a circuitos eletrônicos, não é por menos, pois temos as mais diversas aplicações em aparelhos eletrônicos que vai desde a sinalização de *stand-by* de um televisor até indicações em um painel de carro. Mas quando se trata de iluminação há ainda um vazio em conhecimento popular e até no meio acadêmico. Sabemos que: o LED é mais econômico, sua implantação é mais cara, possuem uma vida útil, muito superior as tradicionais formas de iluminação. Por esses motivos o presente trabalho vem se somar a outros estudos já realizados em relação à iluminação com o LED, trazendo um estudo comparativo com base em dados reais obtidos de forma direta através de medições. Essas comparações serão

feitas em relação a uma luminária de Vapor de Sódio cuja utilização em iluminação pública é maior que a tecnologia LED.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho pode ser dividido em duas etapas principais.

- 1ª etapa: pesquisa e fundamentação teórica para embasar o estudo comparativo.
- 2ª etapa: aplicação dos conceitos teóricos e verificação dos dados obtidos na prática.

Na 1ª etapa, a pesquisa se dá em torno de conceitos de iluminação e termos luminotécnicos aprofundados, mostrando não apenas significado de termos, mas também formulações e conceituação. Esses termos serão bem explanados a fim de facilitar sua futura utilização. Além disso, será apresentada uma conceituação LED, tendo ênfase nos LED's de potencia utilizados em luminárias LED.

Na 2ª etapa serão aplicados os conceitos pesquisados na 1ª etapa, principalmente os luminotécnicos. Utilizaremos as medições fornecidas pela concessionária ao longo do tempo. Serão montados gráficos e tabelas com as medições onde se tornarão possíveis compará-las entre si e verificar a validade nas normas específicas. Em outro caso analisará dados obtidos ao longo de dois anos em outras luminárias LED, instaladas no mesmo estacionamento, a fim de verificar a evolução do iluminamento das mesmas no tempo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho segue a seguinte estrutura:

1º capítulo: Capítulo destinado para estruturação e constituição dos elementos pré-textuais do trabalho em questão.

2º capítulo: Capítulo destinado a expor um breve histórico sobre iluminação pública e expor as normas e legislação sobre iluminação pública.

3º capítulo: Conceituação técnica sobre termos luminotécnicos em geral para fim de uso na pesquisa.

4º capítulo: Características do LED, e luminária que o utiliza, e características de luminárias de Vapor de Sódio.

5º capítulo: Destinado a expor medições seus resultados e as considerações sobre as mesmas, como, comparação entre as luminárias verificando validade de normas.

6º capítulo: Destinado às considerações e conclusões finais.

2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Inicialmente a iluminação pública (IP) era realizada por meio de lampiões a combustível. Na cidade de Nova Iorque, no ano de 1762, a administração da cidade instituiu um tributo para subsidiar a instalação de lampiões, visando melhorar e baratear o sistema de IP, a manutenção necessária e o consumo de óleo combustível. Em 1879, também nos Estados Unidos, foram instaladas as primeiras lâmpadas elétricas para iluminar as vias públicas. Doze lâmpadas a arco voltaico na Rua *Public Square*, em Cleveland. Os sistemas elétricos ainda eram utilizados de forma alternada e redundante com os lampiões a combustível, já que somente no século XX os sistemas elétricos viriam a se tornar suficientemente confiáveis para operarem sem necessidade de retaguarda. (CLDC, 2005).

Segundo resolução da ANEEL do ano de 2000, A Iluminação Pública pode ser definida como o serviço que tem por objetivo prover de luz, no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, os logradouros públicos, inclusive aqueles que necessitem de iluminação permanente no período diurno. (RESOLUÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL N.º 456/2000, 2000).

Estima-se que no Brasil, o consumo de energia elétrica destinado à iluminação é relativamente expressivo. Cerca de 20% do consumo total de energia elétrica está associado à produção de luz através da energia elétrica, incluindo a iluminação pública. (RIBEIRO, 2012).

Os sistemas de iluminação, ao longo do tempo veem passando por profundos avanços, em especial aqueles relacionados ao emprego da eletrônica nos processos de ignição, geração luminosa, acionamento e promoção da eficiência energética. Ao longo dos últimos dez anos, um novo conceito em iluminação tem se estabelecido de forma progressivamente inequívoca. Trata-se do emprego dos diodos emissores de luz, ou LED's (light emitting diodes), para constituir sistemas de iluminação destinados ao ambiente doméstico, comercial, industrial ou público. (RIBEIRO, 2012).

De acordo com Tsao (2012), aproximadamente 50% da energia consumida com iluminação poderia ser poupada com a utilização de iluminação de estado sólido em todo o mundo, o que significaria um decréscimo de cerca de 10% no consumo total de energia. Além disso, provocaria uma redução do consumo de

energia e melhoraria a questão socioambiental, uma vez que grande parte da energia elétrica produzida no mundo é proveniente da queima de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo que por sua vez são grandes fontes poluidoras. (NOVICKI; JACKSON, 2008).

Assim, a redução no consumo de energia elétrica pode estar diretamente ligada à redução da emissão de poluentes na atmosfera. Outro ponto importante relacionado ao meio ambiente é o emprego de elementos químicos pesados, como por exemplo, o mercúrio, na construção de lâmpadas de descarga. Estes elementos não são usados em lâmpadas com LED's, o que gera mais um benefício na utilização dessa tecnologia remetendo a benefícios relacionados ao meio ambiental. (RIBEIRO, 2012).

2.1 LEGISLAÇÃO

Para Costa (2006, p.22), os estudos para a resolução de problemas relacionados à iluminação são compartilhados entre os países que se interessam em contribuir e tem capacidade de investimentos em pesquisas. Estes países reunidos formam uma Comissão internacional chamada CIE – *Comission International de l'Éclairage*. Cada um destes países definem sociedades e representantes para atuar na preparação dos relatórios técnicos e recomendações, sendo que no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Associação Brasileira das Indústrias de Iluminação (ABILUX) são os representantes mais difundidos.

2.2 MUDANÇAS NOS REGULAMENTOS ATUAIS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Segundo as Resoluções Normativas da ANEEL nº. 414, de 09 de setembro de 2010 e nº. 479, de 03 de abril de 2012, no dia 1 de janeiro de 2014, os municípios devem, obrigatoriamente, assumir total responsabilidade pela iluminação pública das concessionárias de energia elétrica. Esta alteração na norma da Agência de Energia Elétrica (ANEEL) foi publicada no Diário Oficial da União, dia 15 de setembro de 2010 e trouxe como principal modificação, a relação entre consumidor e distribuidora de energia elétrica. (ANEEL, 2010)

2.3 NORMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Segundo CANDURA (2005), Norma nada mais é do que o aquilo que se estabelece como base ou medida para realização ou avaliação de algo e serve como modelo ou padrão a ser seguido, conjunto de preceitos ou princípios, resultado da experiência acumulada de diversos profissionais, destinados à utilização pela sociedade em geral impondo um grau ou padrão mínimo de qualidade e segurança em um determinado contexto. Candura cita ainda que entre as normas aplicadas a IP estão (CANDURA, 2005):

- NBR 5461: Iluminação -Terminologia;
- NBR IEC 60598-1: Luminárias – Parte 1: Requisitos gerais e ensaios (07/1999);
- NBR 15129: Luminárias para iluminação pública – Requisitos particulares (08/2004);
- NBR 10304: Luminária aberta para IP – lâmpada VM 80/125W e VS 50/70W (05/1988);
- NBR 10672: Luminária para IP, fechada para lâmpada VM 250/400W (05/1989);
- NBR 5101: Iluminação Pública procedimentos, atualizada para versão 2012;
- NBR 5181 - Iluminação de Túneis.

A norma brasileira de número 15129 tem como objetivo fixar requisitos para luminárias com equipamentos auxiliares integrados ou não integrados para IP, luminárias integradas com coluna de altura mínima em relação ao solo de 2,5 metros e com uso de outras fontes elétricas de iluminação com tensões de alimentação não superiores a 1000 V. Esta norma baseia-se na IEC 60598-2-3: 2002 (CANDURA, 2005).

A NBR 5101 fixa requisitos, considerados como mínimos necessários, à iluminação de vias públicas, os quais são destinados a propiciar algum nível de segurança aos tráfegos de pedestres e veículos (CANDURA, 2005).

2.4 OBJETIVOS DA NBR 5101:2012.

A nova norma brasileira 5101 prega que seu principal objetivo é servir de base para o projeto luminotécnico de logradouros públicos, incluindo vias para tráfego de veículos e pedestres de forma a proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres de forma rápida, precisa e confortável (CANDURA, 2005).

Candura ressalva ainda que os projetos de iluminação pública devam atender aos requisitos específicos do usuário, provendo benefícios econômicos e sociais para os cidadãos, incluindo:

- Redução de acidentes noturnos e perdas econômicas;
- Melhoria das condições de vida das comunidades carentes;
- Auxílio à proteção policial, com ênfase na segurança pessoal;
- Facilidade do fluxo do tráfego;
- Destaque a edifícios e obras públicas durante a noite;
- Fixa níveis mínimos médios de iluminância para os vários tipos de vias em função da densidade de tráfego motorizado e de pedestres;
- Malha de verificação projeto/periódica definida em apenas uma parte da área relevante;
- Classifica as luminárias quanto às distribuições longitudinais (curta, média, longa) e lateral (tipo I, II, III e IV) de intensidade luminosa e controle da luz (*cutoff*, *semi cutoff*, *noncutoff*);
- Definições das vias de acordo com o código de trânsito;
- Contempla o leito carroçável e a calçada;
- Malha para projeto, recebimento da instalação e verificação periódica coincidente com as trajetórias definidas pelo tráfego motorizado, e definida para toda a área relevante;
- Critérios de projeto: Iluminância e Luminância;
- Impõe rendimento mínimo 70% (*hemisfério inferior*);
- Obriga a limpeza do sistema (luminária) quando $E_{méd}$ for 70% do valor inicial;
- Padronização da planilha fotométrica com a definição dos ângulos de levantamento.

2.4.1 Algumas Terminologias da Norma NBR 5101: 2012.

2.4.1.1 Altura de montagem (AM)

Distância vertical entre a superfície da rodovia e o centro aparente da fonte de luz ou da luminária.

2.4.1.2 Avanço

Distância transversal entre o meio-fio ou acostamento da rodovia e a projeção do centro de luz aparente da luminária.

2.4.1.3 Diagrama de distribuição

Descrição, em forma de diagrama, da distribuição da luz de uma luminária.

2.4.1.4 Distribuição lateral

Linha de intensidade traçada na superfície de determinado cone que contém a luminária no seu vértice.

2.4.1.5 Distribuição vertical

Linha de intensidade traçada num determinado plano perpendicular à rodovia e que contém a luminária.

2.4.1.6 Espaçamento

Distância entre sucessivas unidades de iluminação medida paralelamente ao longo da linha longitudinal da via.

2.4.1.7 Fator de uniformidade da iluminância (U)

É razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em um plano especificado:

$$U = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} \quad (1)$$

Onde:

$E_{mín}$. = iluminância mínima

$E_{méd}$. = iluminância média

2.4.1.8 Iluminância média horizontal

Iluminância em serviço, da área delimitada pela malha ao nível da via, sobre o número de pontos considerados.

2.4.1.9 Iluminância média mínima

As iluminâncias médias mínimas ($E_{méd. mín.}$), citadas, são valores obtidos pelo cálculo da média aritmética das leituras realizadas, em plano horizontal, sobre o nível do piso e sobre condições estabelecidas, para as fontes luminosas já sazoadas e luminárias novas.

O menor valor de iluminância ($E_{mín.}$) obtido das leituras realizadas, quando referente aos pontos situados sobre a pista de rolamento da via de tráfego motorizado, deve atender, simultaneamente, às seguintes exigências:

- Fator de uniformidade indicado conforme o tipo de via;
- Iluminâncias entre pontos adjacentes (para a versão de 1992 da norma);
- Ser necessariamente superior ou igual a 1,0 lux.

2.5 TIPOS DE VIAS

O ponto de partida do projeto de um sistema de iluminação pública é a classificação da via que se pretende iluminar. Conforme o código de trânsito brasileiro, publicado em 1997, as vias podem ser classificadas da seguinte forma:

2.5.1 Via Urbana

É caracterizada pela existência de construções às suas margens, com presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala. Ruas, avenidas, vielas ou caminhos e similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão.

2.5.2 Via de Trânsito Rápido

Avenidas e ruas asfaltadas, exclusivas para tráfego motorizado, onde não há predominância de construções. Baixo trânsito de pedestres e altos transitos de veículos. É caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e em travessia de pedestres em nível, com velocidade máxima de 80 km/h.

2.5.3 Via Arterial

Via exclusiva para tráfego motorizado, caracterizada por grande volume e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista. Geralmente, não existe o ofuscamento pelo tráfego oposto nem construções ao longo da via. O sistema arterial serve mais especificamente a grandes geradores de tráfego e viagens de longas distâncias, mas, ocasionalmente, pode servir de tráfego local.

Aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais,

possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade, com velocidade máxima de 60 km/h.

2.5.4 Via Coletora

Via exclusivamente para tráfego motorizado, que se caracteriza por um volume de tráfego inferior e por um acesso de tráfego superior àqueles das vias arteriais.

Aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade, com velocidade máxima de 40 km/h.

2.6 TOPOLOGIA DE ILUMINAÇÃO VIÁRIA

Definidos os níveis luminotécnicos, devem-se especificar os materiais a serem utilizados e a topologia de distribuição dos pontos de iluminação, de maneira a atingir os valores mínimos exigidos para cada situação sem perder de vista os custos envolvidos e principalmente diversidade construtiva do local, como por exemplo, as estruturas das redes elétricas existentes, postes, prédios, marquises, arborização ou quaisquer componentes que possam interferir na montagem do sistema de iluminação. Na sequência são apresentados os arranjos comumente encontrados na montagem de pontos de iluminação em vias. Outras configurações podem ser obtidas com o auxílio de programas específicos para cálculos luminotécnicos, ou a aplicação direta de métodos disponíveis nas literaturas, como por exemplo: método das curvas isolux, método ponto por ponto, método do fator de utilização ou do fluxo luminoso, método das iluminâncias (COPEL,2012).

Entretanto, como em vários casos as estruturas das redes elétricas já existem, estas são aproveitadas para montagem dos componentes.

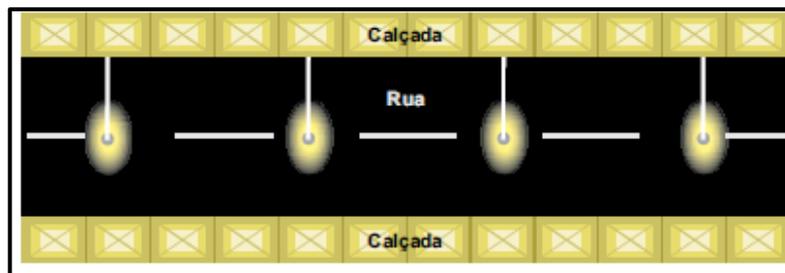


Figura 1 – Arranjo unilateral das luminárias
Fonte: Copel (2012)

O arranjo unilateral das luminárias, apresentado na figura 1, é o mais comumente utilizado, atendendo geralmente a vias coletoras e locais, com largura máxima da pista de rolamento igual ou menor que 9 metros, com tráfego motorizado leve ou médio (COPEL, 2012).

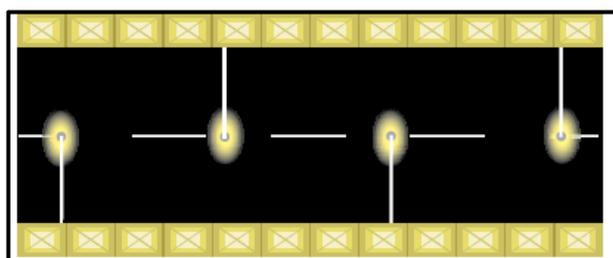


Figura 2 – Arranjo bilateral das luminárias
Fonte: Copel (2012).

Na figura 2 é apresentado o arranjo bilateral alternado das luminárias. Este sistema é utilizado geralmente em vias com tráfego motorizado intenso e largura de pista de rolamento de até 16 metros. Para vias com tráfego motorizado intenso e largura de pista de rolamento de até 18 metros, pode-se empregar o arranjo bilateral oposto, alternativa apresentada na figura 3. E por fim na figura 4 é apresentada uma opção para vias em que há um canteiro central (COPEL, 2012).

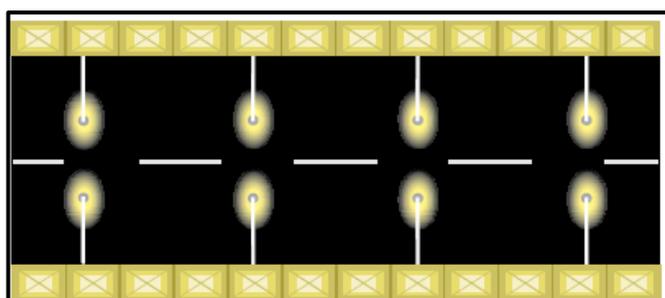


Figura 3 – Arranjo bilateral oposto
Fonte: Copel (2012).

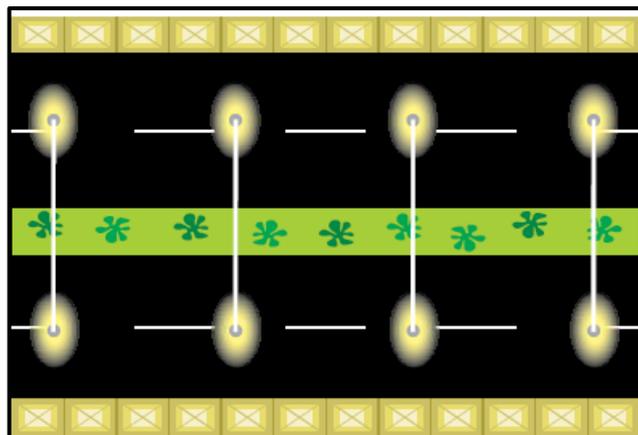


Figura 4 – Arranjo para vias com canteiro central
Fonte: Copel (2012).

Além da topologia empregada na configuração do sistema de iluminação, o fluxo luminoso da fonte luminosa e a distribuição fotométrica da luminária são as variáveis restantes e necessárias para concluir o projeto luminotécnico com o intuito de verificar se os níveis de iluminância e fator de uniformidade definidos pelo critério estabelecido na NBR 5101 foram atendidos. Estas variáveis serão tratadas na seção em que serão discutidas as tecnologias disponíveis para os sistemas de iluminação pública. Para o projeto de iluminação de espaços públicos com predominância de pedestres, tais como praças, parques, calçadas, não é possível indicar um critério genérico que atenda a todas as situações. Para tanto, cada caso deve ser analisado individualmente. O sistema de iluminação deverá ser projetado com base nas características específicas do espaço público, como por exemplo, a arquitetura local, diferenças de níveis, necessidade de iluminação decorativa para itens como monumentos, jardins, quadras e tipo de uso do local, seja lazer ou comercial (COPEL, 2012).

3 LUMINOTÉCNICA

De acordo com Costa (2006), a luminotécnica é um termo utilizado para denominar os estudos de aplicação de iluminação artificial em espaços interiores e exteriores. Avalia diversos fatores, que são definidos no processo visual, para conquistar sistemas econômicos, utilizando um trabalho multidisciplinar entre o cliente, projetista e fabricante.

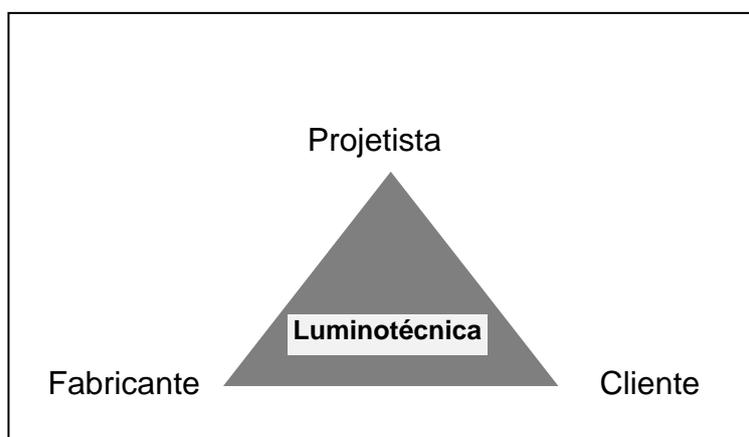


Figura 5 – A luminotécnica é uma ciência multidisciplinar
Fonte: Costa (2006, p.32).

3.1 DEFINIÇÕES DE TERMOS LUMINOTÉCNICOS E UNIDADES

Para podermos compreender um gráfico de curva de distribuição luminosa, assunto tratado em fotometria, deve-se conhecer alguns conceitos e grandezas fundamentais, que estão contidas na luminotécnica. Moreira (1999), salienta que é imprescindível ter conhecimento em diagramas de isocandelas, curvas de isolux e curvas para determinação do coeficiente de utilização para realizar cálculos de iluminância de uma via pública.

3.1.1 Luz

De acordo com Niskier (2008), a luz “é uma modalidade da energia radiante que um observador verifica pela sensação visual de claridade determinada no estímulo da retina, sobe ação da radiação, no processo de percepção sensorial visual”.

Assim, Osram (2000), diz que luz é definida como uma emissão de energia eletromagnética capaz de produzir uma sensação de visão. A luz concentra-se dentro da faixa de radiação eletromagnética que o humano consegue perceber e se situa entre 380 e 780nm (do ultravioleta ao infravermelho). Outro fator importante a destacar é que as radiações de menor comprimento de onda geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (crepúsculo, noite, etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda se comportam de maneira inversa.

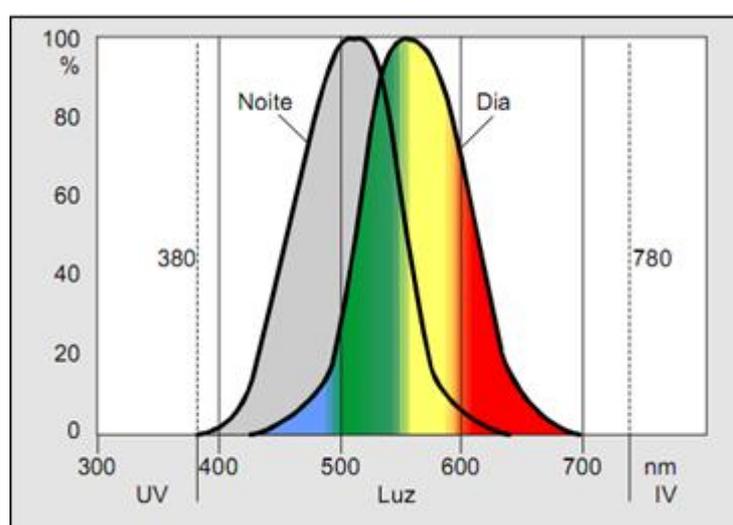


Figura 6 – Curva de sensibilidade do olho às radiações monocromáticas
Fonte: Osram (2000).

3.1.2 Fluxo Luminoso

Fluxo luminoso é a radiação total da fonte luminosa, definido como a quantidade de luz emitida por unidade de tempo, seu símbolo usual é o ϕ e sua unidade de medida é o Lúmen (lm). O Lúmen é um fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa puntiforme de intensidade não variável e igual a uma candela, de mesmo valor em todas as direções dentro de um ângulo sólido igual a um esferorradiano (OSRAM; MOREIRA; 2000,1999). A imagem da figura 8 ilustra o exposto anterior.

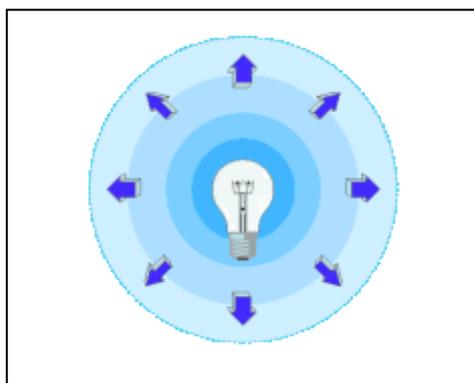


Figura 7 – Fluxo luminoso
Fonte: Osram (2000).

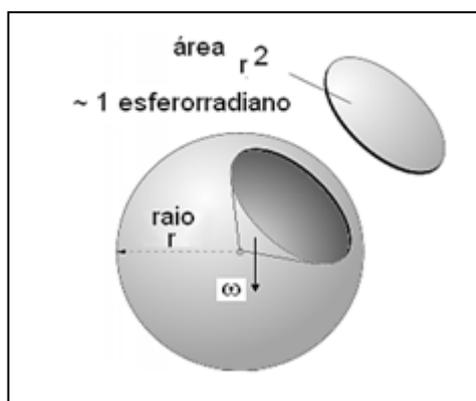


Figura 8 – Representação do lúmen
Fonte: Costa (2000).

No catálogo da Lumicenter (2012), as lâmpadas, conforme seu tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos e suas eficiências variam por causa disto. A tabela 1 mostra de maneira exemplificada o significado da eficiência gerada pelos variantes valores de fluxos luminosos das principais lâmpadas comerciais.

Tabela 1 – Tipos de lâmpadas e suas características técnicas

Lâmpada	Potência (W)	Fluxo (lm)	Eficiência (lm/W)
Incandescente	100	1380	13,8
Fluorescente	40	3000	75
MultiVapores metálicos	2000	190000	95

Fonte: Lumicenter (2012).

3.1.3 Eficiência luminosa

A eficiência luminosa (ϵ) de uma fonte de luz (lm) é definida pela equação 2 que representa a relação entre o fluxo luminoso (ϕ) total emitido pela fonte e a potência absorvida (W) por ela (MOREIRA, 1999).

$$\epsilon = \phi/P = lm/W \quad (2)$$

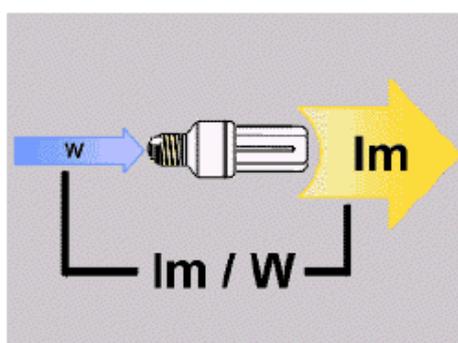


Figura 9 – Eficiência luminosa
Fonte: Osram (2000).

3.1.4 Intensidade Luminosa

É definida por Osram (2000), como a potência da radiação luminosa emitida numa dada direção. Seu Símbolo é o (I) e a sua unidade de medida é o candela (cd). A intensidade luminosa é determinada pela razão do fluxo luminoso que sai da fonte luminosa e se propaga num elemento de ângulo sólido.

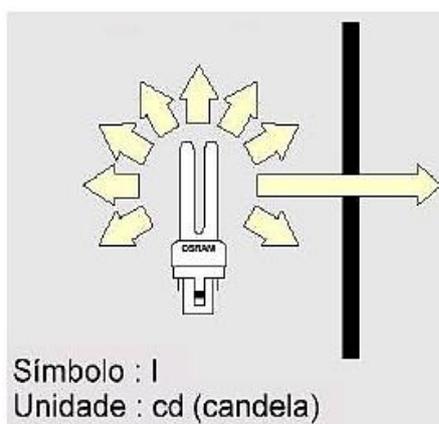


Figura 10 – Intensidade luminosa
Fonte: Osram (2000).

Osram (2000) destaca que as fontes luminosas em geral não emitem a mesma intensidade luminosa em todas as direções, além da influência da luminária utilizada. Para representar essa distribuição, utilizam-se diagramas polares, formando as curvas de distribuição de intensidade luminosa. Geralmente essas curvas são construídas para uma referência de 1000 lm.

3.1.5 Iluminância (Iluminamento)

Segundo Osram (2000), é definida como a densidade de fluxo luminoso, ou seja, a relação entre o fluxo luminoso e a superfície sobre a qual incide. Também se pode definir como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada. O símbolo usual é o (E) e a unidade brasileira de medida é o Lux (lx). Pode ser expressa através da equação 3.

$$E = d\Phi/dS \quad (3)$$

Tabela 2 – Exemplos de iluminância de diversas fontes

Ambiente	Iluminância
Dia Ensolarado	~100.000
Dia escuro de inverno	~3000
Boa Iluminação de rua	~20-40
Noite de lua cheia	~0,25
Luz das estrelas	~0,01

Fonte: Lumicenter (2012).

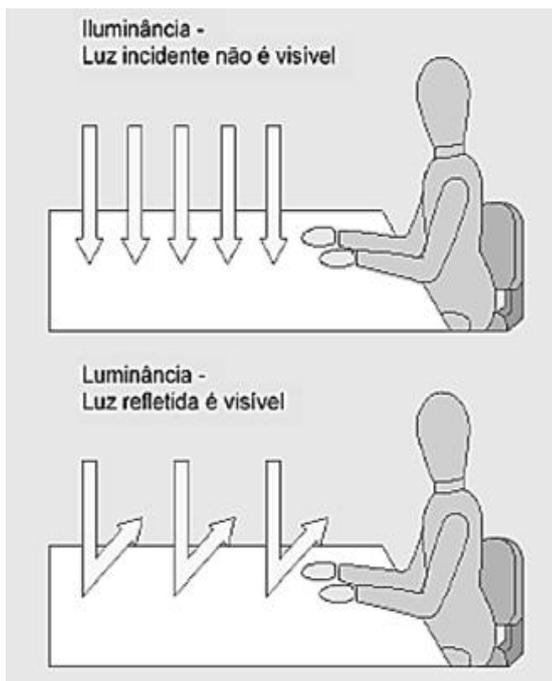
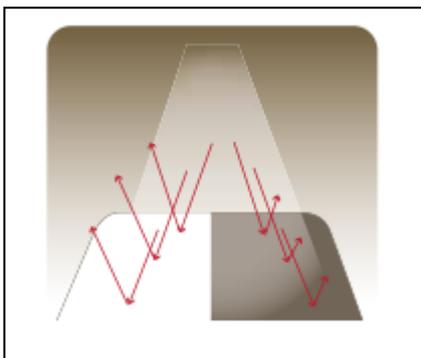


Figura 11 – Iluminância e luminância
Fonte: Osram (2000).

3.1.6 Luminância

É a intensidade luminosa de uma superfície (luminosa ou iluminada) emitida (ou refletida) numa dada direção. É a medida da sensação de claridade percebida pelo olho humano. Sua unidade de medida é o (cd/m^2) e o símbolo é o (L). Quando o homem está visualizando objetos, ele está comparando luminâncias e isso reflete diretamente no seu estado comportamental, podendo ficar abatido, estimulado, triste ou eufórico (LUMICENTER, 2012).

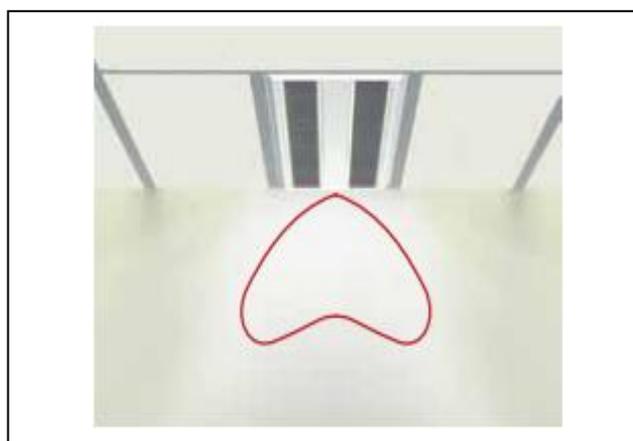
A luminância é a diferença de zonas claras e escuras e liga-se com contrastes, como se pode ver uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) melhor do que em um fundo escuro. Quando as luminâncias se aproximam, como é o caso das letras pretas e fundo escuro, a visualização torna-se mais difícil (contraste reduzido) e há a necessidade de mais luz (LUMICENTER, 2012).



**Figura 12 – Luminância,
luz refletida é visível
Fonte: Lumicenter (2012).**

3.1.7 Curva de Distribuição Luminosa ou Curva Fotométrica

Pode-se visualizar o diagrama de intensidade luminosa no plano transversal quando existe a atuação de uma fonte luminosa num plano vertical.



**Figura 13 – Efeito da luz num plano vertical
Fonte: Lumicenter (2012).**

A Lumicenter (2012), define que as curvas fotométricas representam a distribuição em 3 dimensões da intensidade luminosa de uma lâmpada refletora ou de uma luminária numa determinada superfície. Normalmente são apresentadas em um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama e representa a intensidade luminosa nas várias direções por vetores, cujos módulos são proporcionais a velocidades, partindo do centro do diagrama. A curva obtida ligando-se as extremidades desses vetores é a curva de distribuição luminosa.

Costuma-se na representação polar, referir os valores de intensidade luminosa constantes a um fluxo de 1000 lumens, salienta Osram (2000). Isto é feito,

normalizando para uma referência de 1000 lm, para evitar ter que fazer um gráfico para cada lâmpada quando a alimentação varia pouco para os valores de tensão, define Concha (2013).

4 O LED APLICADO EM ILUMINAÇÃO

4.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS DAS LUMINÁRIAS LED

O LED (do inglês Light Emitting Diode, que em português significa diodo emissor de luz) é um dispositivo eletrônico semicondutor, que quando polarizado diretamente dentro do mesmo, ocorre à recombinação de lacunas e elétrons livres. Com isso é possível gerar iluminação através desse dispositivo com baixo consumo de energia, o que propicia uma enorme eficiência energética nas lâmpadas onde forem utilizados (NOVICKI; JACKSON, 2008).

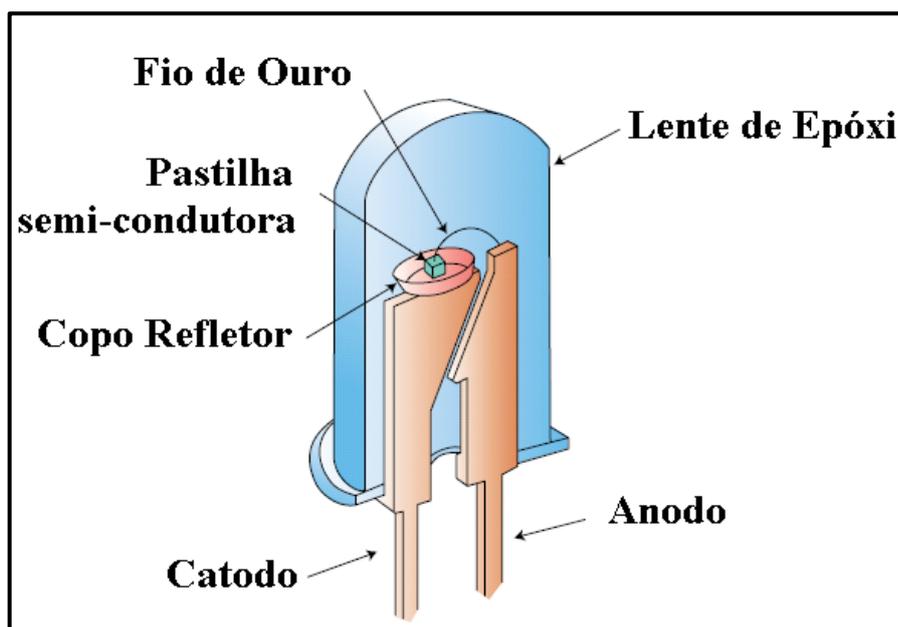


Figura 14 – Estrutura do LED
Fonte: Novicki; Martinez (2008)

No tocante ao aspecto tecnológico, as luminárias tradicionais estão no apogeu do seu desenvolvimento e pouco tem sido acrescentado nos últimos anos à sua eficiência energética ou tecnológica. Quanto às luminárias LED, estas estão apenas no início de seu desenvolvimento tecnológico. Com o desenvolvimento dos LED's azuis, no ano de 1990, e o aumento da emissão de luz para a ordem de dezenas de

lumens por watt, os LED's passaram a ser utilizados na arquitetura, para iluminação e decoração de interior e exterior, e atualmente estão ganhando espaço na iluminação pública (O SETOR ELÉTRICO, 2011).

Tabela 3 – Distribuição de lâmpadas de IP instaladas no Brasil

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Porcentagem
Vapor de Sódio	9.294.611	62,93%
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,84%
Mista	328.427	2,22%
Incandescente	210.417	1,42%
Fluorescente	119.535	0,81%
Multi-Vapor Metálico	108.173	0,73%
Outras	5.134	0,03%
Total	14.769.309	100,00%

Fonte: GIANELLI et al. (2009).

As lâmpadas a vapor de mercúrio (VM) se destacam por seu bom rendimento cromático e alto índice de vida útil (cerca de 18 mil horas), mostram-se ainda atrativas pelo seu custo inicial relativamente baixo, porém deixam a desejar quanto ao rendimento luminoso, pois sua eficiência luminosa é de 50 lm/watt. Já as lâmpadas de Vapor de Sódio de alta pressão (VSAP), iluminam duas vezes mais do que as de vapor mercúrio para uma mesma potência, embora sua vida útil seja aproximadamente igual à VM com 18 mil horas, sua eficiência luminosa é de 120 lm/watt (GIANELLI, 2009).

Ao transcorrer da década de 80, acompanhando a evolução da tecnologia, a prefeitura da cidade de São Paulo começa a substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio (VM) pelas de Vapor de Sódio de alta pressão (VSAP). Hoje São Paulo é uma das cinco maiores cidades do mundo e sua iluminação é igualmente grandiosa, com cerca de 560 mil lâmpadas, distribuídas através de uma rede exclusiva que cobre uma extensão de aproximadamente 17 mil km, equivalente à distância do Brasil ao Japão e com um consumo mensal igual a 10% da produção de uma turbina de Itaipu, em torno de 49 GWh (GIANELLI, 2009).

A qualidade e a eficiência energética são alguns dos pontos centrais de pesquisa e melhoramento de muitas concessionárias de energia elétrica, sendo que o emprego da tecnologia LED, principalmente no que diz respeito à iluminação pública, pode vir a contribuir significativamente com expressivas melhorias desses resultados (GIANELLI, 2009).

A evolução da tecnologia LED, teve início em 1961 com um diodo emissor de infravermelho, sendo que em 1962 a tecnologia LED foi empregada pela primeira vez para emissão de luz visível; na década de 70 a referida passou a ser comercialmente viável, sendo que os primeiros LED's de alta luminosidade (HB LED) foram desenvolvidos nos anos 80; os LED's de luz azul, ou "cool LED" foram desenvolvidos em 1993 e os "Power LED's entram no mercado já no século XXI, sendo que em alguns estudos sua potência já alcançou patamares de 50 W." (GIANELLI, 2009).

HB-LED (do inglês *High Brightness*, LED de alto brilho) é capaz de gerar grande quantidade de luz, sendo apropriado no campo da iluminação pública. Podendo gerar potências que variam de 1W a 5W e vida útil média de 50.000 horas. Atualmente a eficiência luminosa de um HB-LED, conforme a figura 27, varia entre 40 a 140lm/W através do uso de diferentes elementos em seu semicondutor (NOVICKI; JACKSON, 2008).



Figura 15 – Estrutura de um HB-LED
Fonte: Novicki; Martinez (2008).

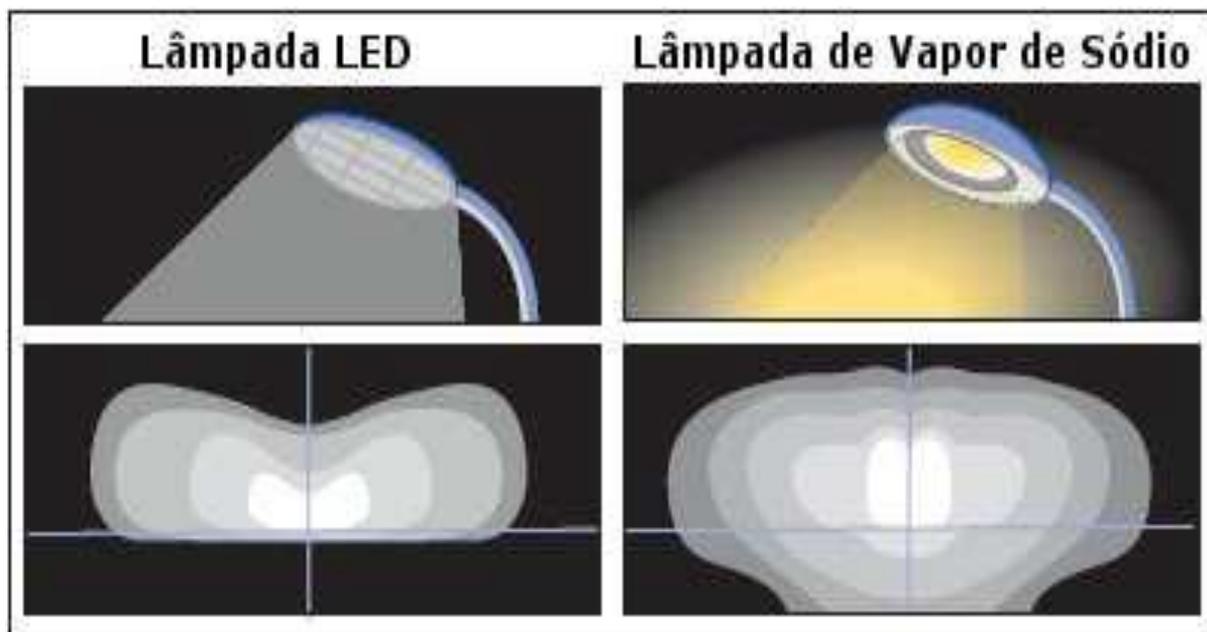


Figura 16 – Espalhamento da luminária LED e vapor de sódio
Fonte: Gianelli et al. (2009).

4.2 LUMINÁRIAS

4.2.1 Tipos de Dispositivos de Iluminação

Existem três grupos de dispositivos, sendo eles: incandescência, descarga de gases e iluminação (fluorescente) e os de estado sólido (SSL) recorrendo à semicondutores, sendo que esta última é bastante recente (RIBEIRO, 2012).

No presente trabalho foram utilizadas luminárias de Vapor de Sódio e luminárias LED ou de estado sólido como citado anteriormente.

4.2.2 Estrutura de Funcionamento de Luminárias LED's

De acordo com Jackson Merise e Rodrigo Martinez, uma luminária LED é composta por quatro equipamentos, conforme a figura 17, que são eles:

- 1- LED;
- 2- Fonte de alimentação (*drivers*);
- 3- Lentes;
- 4- Dissipadores de calor;

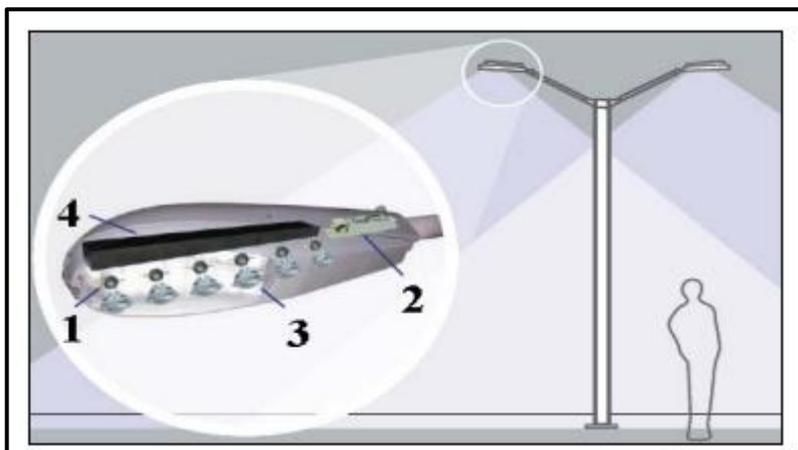


Figura 17 – Estrutura da luminária LED
Fonte: Gianelli et al. (2009).

A função de cada item na luminária é:

- 1) LED's – Responsável por emitir fluxo luminoso, pode ser equiparado à lâmpada em uma luminária convencional de Vapor de Sódio ou de vapor de mercúrio (COPEL, 2012).
- 2) Fonte de alimentação ou *driver* – Sistema de alimentação dos LED's e é, na maioria, um circuito eletrônico de chaveamento em alta frequência, cuja função é controlar a corrente de alimentação dos LED's e por consequência controlar a potência dos mesmos, dimerização, em tempo integral e de maneira eficiente (ALMEIDA, 2013).
- 3) Lente – É utilizada para obter um ganho de rendimento em níveis de iluminação. Tem por objetivo direcionar, concentrar e distribuir o feixe luminoso (NOVICKI; Martinez, JACKSON; Rodrigo, 2008).
- 4) Dissipador de calor – Para melhorar a dissipação do calor produzida pelos componentes eletrônicos por efeito joule, é necessário usar dissipadores adequados à instalação que serão submetidos de maneira que se tenha um bom aproveitamento dos LED's, mantendo por maior tempo duas características luminosas (NOVICKI; Martinez, JACKSON; Rodrigo, 2008).

Na figura 18 tem-se uma luminária LED um pouco mais detalhada com a divisão das partes constituintes, na mesma figura têm-se duas fotos de luminárias reais uma fechada e outra aberta onde o *driver*, circuito eletrônico, está aparente.

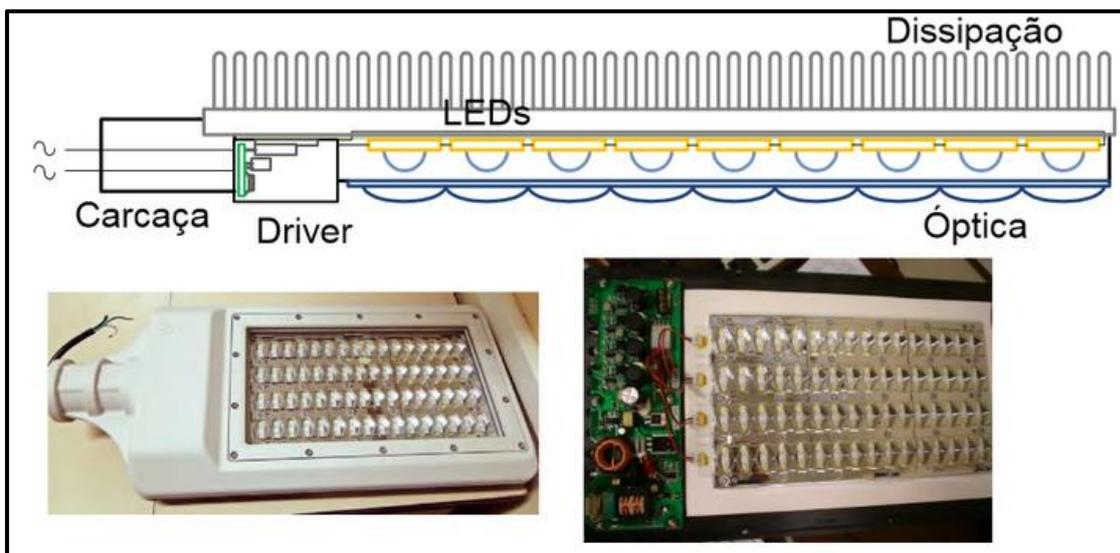


Figura 18 – Luminária típica para IP baseada em LED's de potência
Fonte: Almeida (2013).

No funcionamento da luminária, tem-se que o *driver* na totalidade do tempo controla a corrente nos LED's, podendo até fazer dimerização dependendo do projeto da mesma (ALMEIDA, 2013).

4.2.3 Estrutura e Funcionamento de uma Luminária de Vapor de Sódio

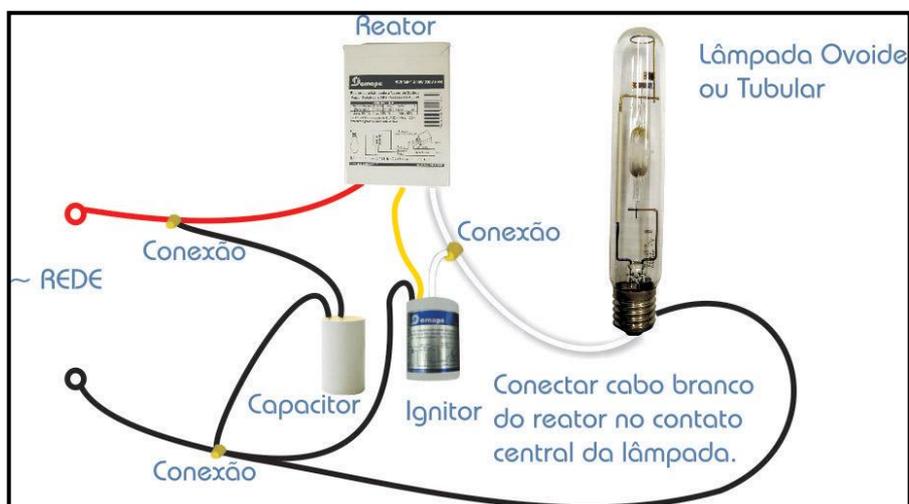


Figura 19 – Esquema de ligação, luminária vapor de sódio
Fonte: www.induspar.com.

Na figura 19 vê-se um sistema de uma luminária de Vapor de Sódio, nela encontra-se 4 equipamentos: lâmpada, reator, ignitor e capacitor. A lâmpada de Vapor de Sódio é pressurizada com alta pressão, suas características elétricas

fazem com que na sua partida seja necessário um pico de tensão na ordem de quilo Volts por alguns microssegundos (COPEL, 2012).

O reator pode ser de dois tipos: magnéticos ou eletrônicos. Os mais utilizados são os reatores magnéticos, cuja estrutura é de indutores, construídos para operarem na frequência da rede elétrica (COPEL, 2012).

O ignitor é uma chave responsável pela aplicação de alguns quilo Volts por alguns micro segundos, para partida da lâmpada (COPEL, 2012).

O capacitor é o componente responsável pela correção do fator de potencia na luminária. Devido ao fator do reator magnético ser um componente unicamente indutivo, ele possui uma característica de baixo fator de potência, característica essa corrigida pelo capacitor ligado em paralelo ao mesmo (COPEL, 2012).

O funcionamento da luminária se dá na seguinte forma: na partida é aplicada por um curto período de tempo, uma tensão na ordem de alguns quilo Volts, com uso de um injetor; após acendimento da lâmpada o reator entra com a finalidade de limitar a corrente de alimentação da lâmpada, tudo de maneira passiva (COPEL, 2012).

5 COMPARATIVO ENTRE AS LUMINÁRIAS

Serão demonstradas duas comparações entre uma luminária LED e uma luminária de Vapor de Sódio, os comparativos se baseiam em medições obtidas em duas luminárias LED e Vapor de Sódio instaladas em um estacionamento da Companhia Paranaense de Energia Elétrica, COPEL, endereçando no Km-3 da BR-277, bairro Mossungue município de Curitiba. As luminárias LED são de 125W, compostas por um conjunto LED's de potência, ambas são da mesma marca. Já as luminárias de Vapor de Sódio são de 250W, essas luminárias seguem padrão LM-3 com acionamento e reator externo conforme especificado na NTC 810037. Na figura 20 tem-se uma imagem exemplo da luminária citada.



Figura 20 – Luminária tipo globo padrão LM-3
Fonte: Copel (2012).

Além das comparações será mostrado um histórico de medições de três luminárias LED de 85W compostas de dois LED's de 50W. As comparações e o histórico serão realizados com finalidade de auxiliar futuros projetos e conscientizar projetistas e ou engenheiros a respeito das luminárias LED. Os comparativos se baseiam nos seguintes princípios:

- Comparações Luminotécnicas: onde serão apresentadas as medições e verificações realizadas em duas luminárias LED e duas luminárias de Vapor de Sódio, levando em conta a montagem e realizando um paralelo com normas de iluminação pública;

- Comparações elétricas: serão apresentadas características de fator de potência e distorção harmônica;
- Histórico funcional de três luminárias LED instaladas em outro ponto do estacionamento da COPEL;

5.1 COMPARATIVO LUMINOTÉCNICO

O primeiro dos comparativos realizados se baseiam em princípios luminotécnicos, nele será apresentado características luminotécnicas de duas luminárias LED da marca x de 125W. A identidade da marca será preservada afim de não expor características do fabricante e também a pedido da COPEL que é a proprietária das medições. A princípio fica exposto que o fabricante x pertence a um grupo internacionalmente conhecido cuja marca é centenária. A outra parte do comparativo são duas luminárias de Vapor de Sódio, instaladas anteriormente nos mesmos pontos onde hoje estão instaladas as luminárias LED. Paralelo à comparação serão expostos pontos da norma NBR 5101:2012 e também pontos de normas técnicas da COPEL, as NTC's. Pontos esses, cujas luminárias e instalações, não podem distanciar, pois é pertinente a instalação de iluminação pública.

Por mais que as medições foram realizadas em um estacionamento, serão baseados nos princípios de tráfego da NBR 5101:2012, devido às características dimensionais das ruas do estacionamento. As medições das luminárias de Vapor de Sódio foram realizadas em 2011 e as medições nas luminárias LED foram realizadas quatro meses após, ambas as medições foram executadas com características ambientais mais fiéis uma da outra, além de manter características nas redondezas iguais, segundo fonte dos dados.

5.1.1 Mudança da norma

Na NBR 5101:1992, para verificar a eficiência de uma instalação de IP é necessário a avaliação de níveis de iluminância e de níveis de uniformidade de uma determinada via. Porém essa norma está revogada e em substituição está em vigor a NBR 5101:2012. A versão 2012 da norma traz novos critérios de avaliação de uma instalação de IP, como a avaliação de níveis de luminância, onde são avaliados os

efeitos da luz incidida sobre uma superfície e depois refletida aos olhos de um observador. Porém, segundo a NBR 5101:2012, esses novos critérios devem ser considerados em vias de tráfego intenso e, mesmo assim, junto às medições de iluminância. Mas segundo a norma citada, em vias de tráfego médio e leve os critérios de iluminância serão ainda os principais critérios observados em uma instalação de IP. Assim como as medições, foi realizada em datas anteriores a atualização da norma e verificadas em cima da versão de 1992, ou seja, foi obtidos níveis de iluminância em lux.

5.1.2 Características da Instalação

Segundo a NBR 5101:2012 a característica de uma via se especifica pelo fluxo de veículos por hora, ou seja, as dimensões da via não interferem diretamente na identificação de tipo de via. Porém segundo a NBR 5101:2012 se uma via possui um fluxo menor que 150 veículos por hora, devem ser considerados como sem classificação e utilizar características mínimas de iluminação de via de leve/médio tráfego. Na figura 21 tem-se um aspecto de vias segundo a norma NBR 5101.

Assim como citado anteriormente, na instalação das luminárias segue-se um padrão, segundo NBR 5101:2012, de via de leve/médio tráfego. O poste é do tipo duplo T citada na NTC 841005 da COPEL. O braço é do tipo BR-2, especificada na norma da COPEL NTC 810044 e detalhada na NTC 813951/53, como figura 22. Esse braço possui uma inclinação de 15° para a horizontal, afim da fixação da luminária e a distância do poste à luminária ser de aproximadamente 2400 mm.

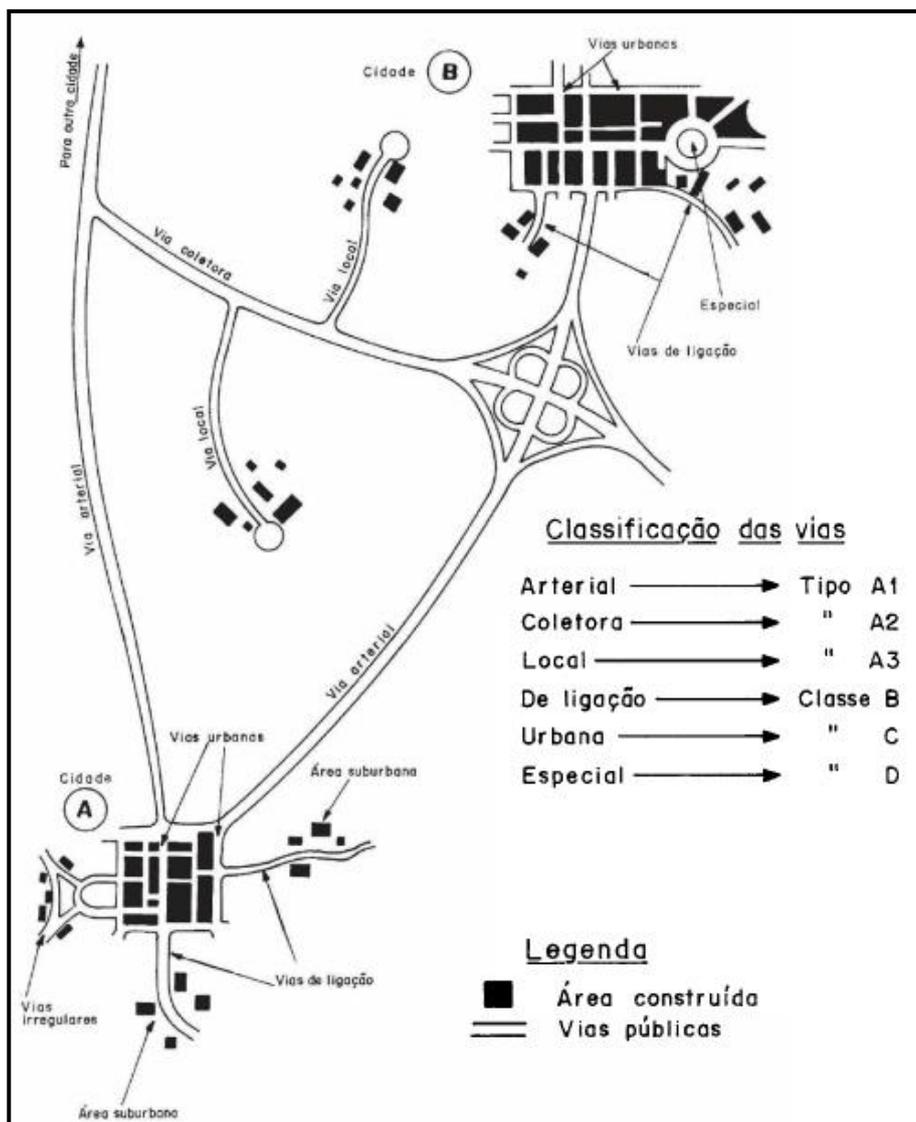


Figura 21 – Tipos de vias
 Fonte: ABNT NBR 5101 (2012).

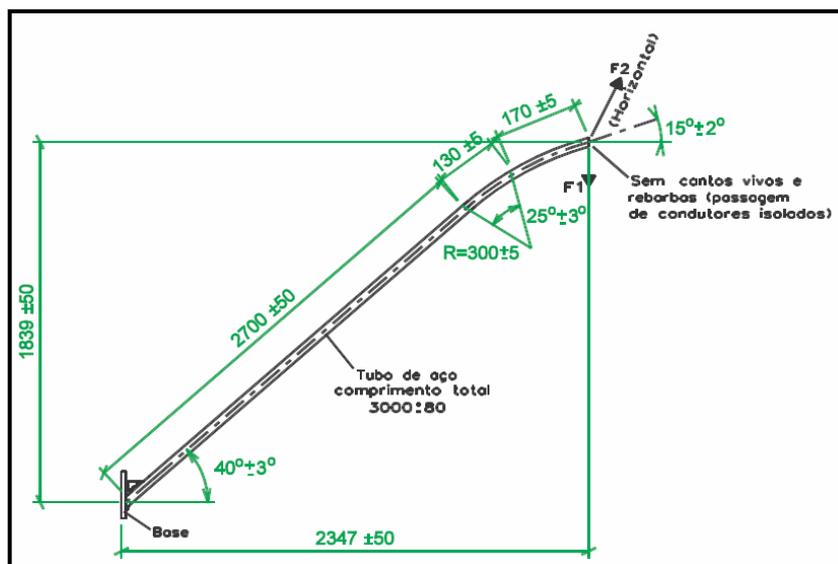


Figura 22 – Braço BR-2
Fonte: Copel NTC 810044 (2009).

Observa-se com devido conhecimento que mesmo sendo um padrão de braço utilizado pela COPEL, não distancia do padrão de braço recomendado pela NBR 5434 (já revogada) assim como o tamanho do poste, que com luminária, chega a 8,5 metros de altura, dentro da faixa de altura recomendada pela NBR 5434 (já revogada), conforme a figura 23. Como a versão da norma que substitui a NBR 5434, no caso a NBR 15688:2012, não cita dimensionamento de poste e braço, fica somente como um comentário e o válido para a situação é a NTC 810044.

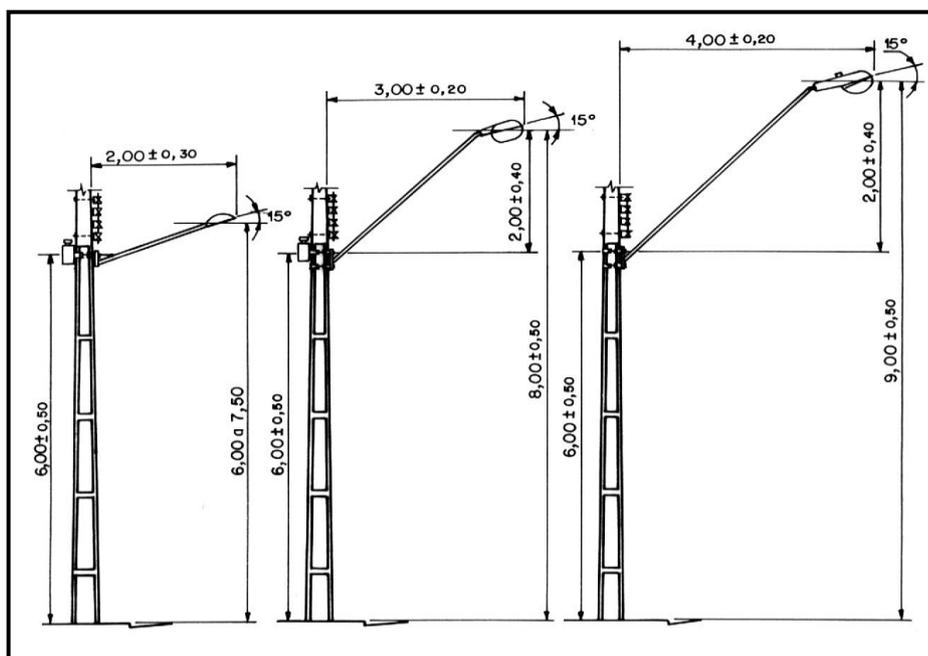


Figura 23 – Padrões de instalação de IP
Fonte: ABNT NBR 5434 (1983).

A pista de rolagem possui 7 metros de largura, uma luminária está a 27 metros distante uma da outra. A topologia de instalação segue o padrão de arranjo unilateral, onde um conjunto poste/luminária está disposto lateralmente ao outro em apenas um lado da rua, na figura 24 é possível visualizar o detalhado do arranjo com dimensões da pista e distancias do poste e na figura 25 vê-se rua onde estão instaladas as luminárias, no caso da foto com as luminárias Vapor de Sódio, ainda instaladas.

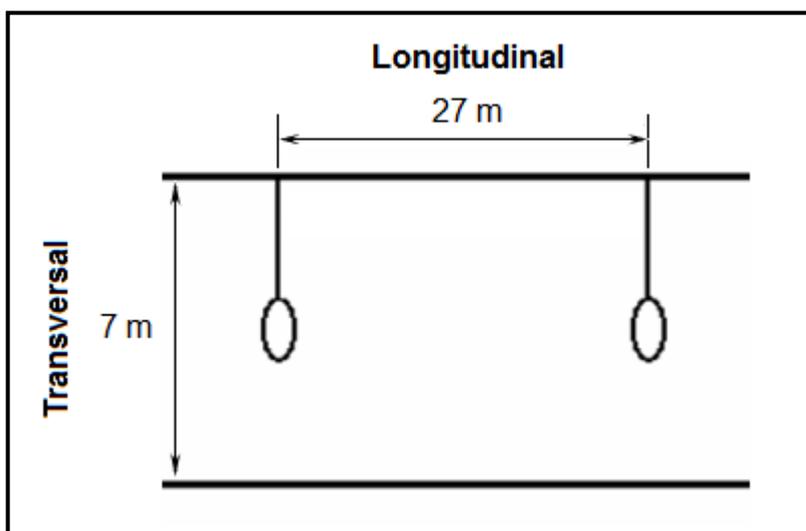


Figura 24 – Arranjo e dimensões da luminária e pista
Fonte: Autoria própria.

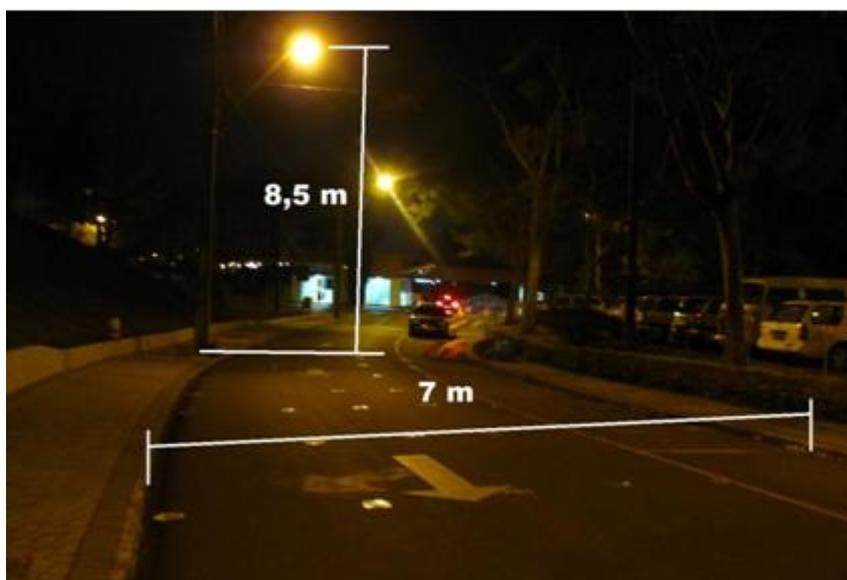


Figura 25 – Dimensões do poste e rua
Fonte: Adaptado de arquivos da Copel.

Para a verificação foi utilizado critério baseado no cap. 7 da NBR 5101:1992 onde foi montada uma malha de medição de acordo com a figura 26.

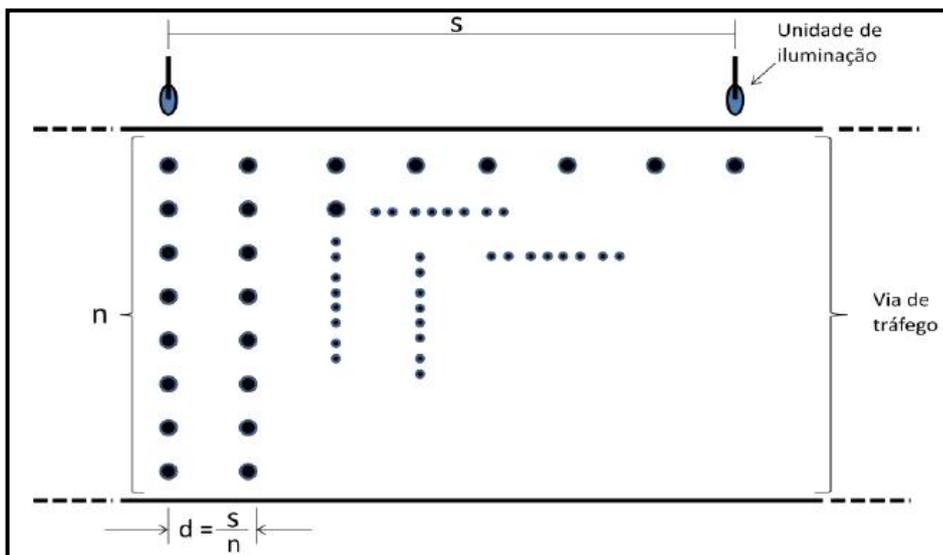


Figura 26 – Malha de medição utilizada
Fonte: ABNT NBR 5101 (1992).

Porém, na norma fica determinada uma malha de 10x10, nas medições foi utilizada uma malha de 7x10, devido a dimensões da pista, com sete pontos na transversal e dez na longitudinal. A figura 27 mostra a rua com os pontos marcados para medição das iluminâncias, nessa foto já com as luminárias LED's.



Figura 27 – Rua com pontos de medição
Fonte: adaptado de arquivos da Copel.

De acordo com a nova norma, NBR 5101:2012, existem duas malhas:

- malha de cálculo;
- malha de medição.

A malha de cálculo possui um número maior de pontos de coleta de dados, aproximadamente 170 pontos, enquanto a malha de medição possui um número reduzido de aproximadamente 30 pontos. Como a base de medição inicialmente se baseava NBR 5101:1992, onde utilizava aproximadamente 100 pontos dependendo do tamanho da pista, pode-se assim enquadrar as medições nas características de malha de medição da NBR 5101:2012.

Para medição foi utilizado um luxímetro colocado ponto a ponto, conforme a figura 28 e os dados foram tabelados e inseridos em uma planilha para finalidade de verificação dos critérios de iluminância e de uniformidade.



Figura 28 – Luxímetro utilizado nas medições
Fonte: Arquivo da Copel.

5.1.3 Medições

Os pontos de medição foram dispostos de acordo com a figura 29. Na figura 30 tem-se os pontos com os valores referente à luminária de Vapor de Sódio, já na figura 31 tem referente à luminária LED. Os cálculos realizados para verificação,

usando os critérios da NBR 5101:2012 e foram realizados com base nos valores de iluminância coletados nos pontos.

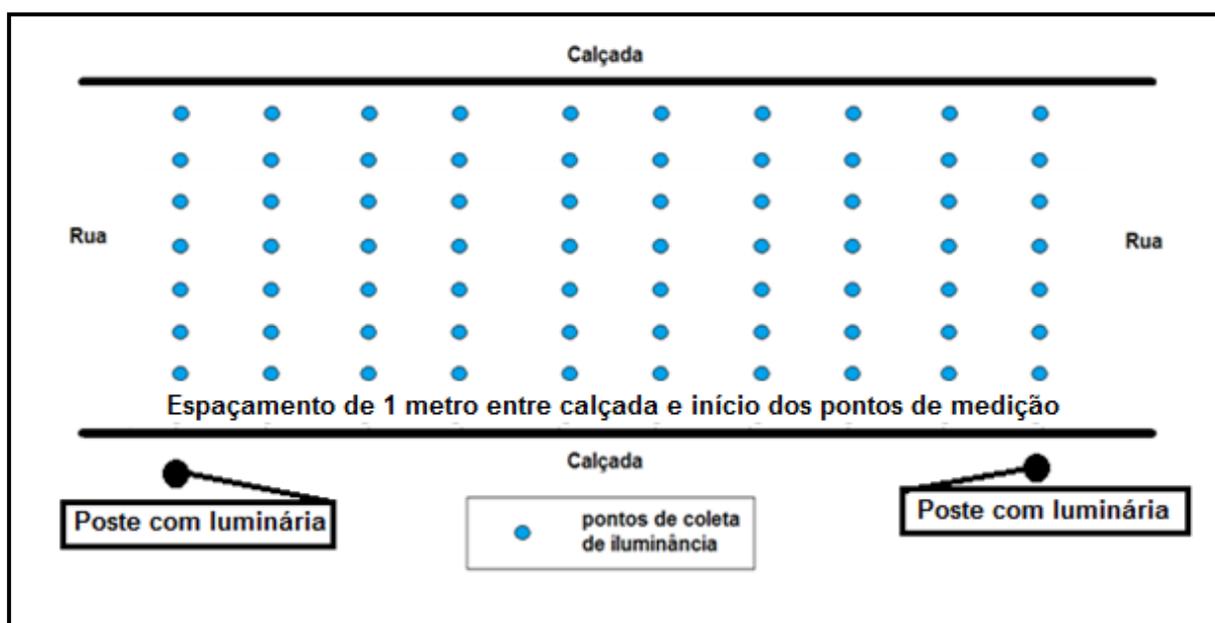


Figura 29 – Disposição dos pontos de medição

Fonte: Autoria própria.

Calçada

Rua

Rua

Calçada

Poste com luminária

Poste com luminária

Espaçamento de 1 metro entre calçada e início dos pontos de medição

8,40	10,00	9,80	9,70	10,40	8,10	14,30	14,30	15,20	14,10
10,20	12,40	11,60	11,90	9,80	11,90	13,80	14,90	15,90	15,30
14,00	14,60	14,80	14,20	10,80	11,50	14,50	16,20	16,70	15,80
14,30	15,20	16,60	14,20	11,70	10,30	13,60	15,90	16,50	15,30
13,60	13,40	15,80	12,50	10,00	9,70	11,30	15,10	15,40	15,10
12,40	11,30	14,50	11,20	9,00	8,00	10,70	14,60	13,70	14,10
10,60	8,40	12,80	9,40	6,50	5,50	9,20	13,10	11,60	12,40

Figura 30 – Valores da luminária vapor de sódio dispostos nos pontos

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Calçada											
	32,30	26,94	17,74	12,37	12,62	12,62	12,62	22,45	33,00	36,70	
	32,80	25,20	20,05	15,06	13,82	13,82	13,82	21,86	33,20	33,70	
	30,90	23,40	16,53	12,06	12,59	12,47	14,53	19,98	28,50	31,90	
Rua	21,52	15,58	15,13	11,14	12,78	12,31	11,91	14,81	20,35	23,91	Rua
	15,54	14,25	12,62	10,04	10,69	9,92	9,62	11,22	8,64	12,05	
	3,94	4,46	7,38	7,11	9,71	8,53	6,61	5,83	5,95	6,15	
	4,50	4,36	6,80	7,69	9,18	8,65	6,01	5,43	6,10	6,91	
Espaçamento de 1 metro entre calçada e início dos pontos de medição											
	Calçada										
	●									●	
	Poste com luminária									Poste com luminária	

Figura 31 – Valores da luminária vapor de sódio dispostos nos pontos
 Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

5.1.4 Avaliações das medições

Com os dados, através de um software de criação de gráficos, pode-se criar uma projeção tridimensional dos mesmos, tomando como referência valores dimensionais da pista e valores de iluminância nos pontos. Na figura 32, tem-se a projeção da iluminância da luminária de Vapor de Sódio. Observa-se um equilíbrio entre valores de iluminância, dando ao gráfico um aspecto mais próximo de um plano. Mesmo nas zonas escuras, compreendidas na região central do gráfico, a iluminância não diverge muito das da região com maior intensidade.

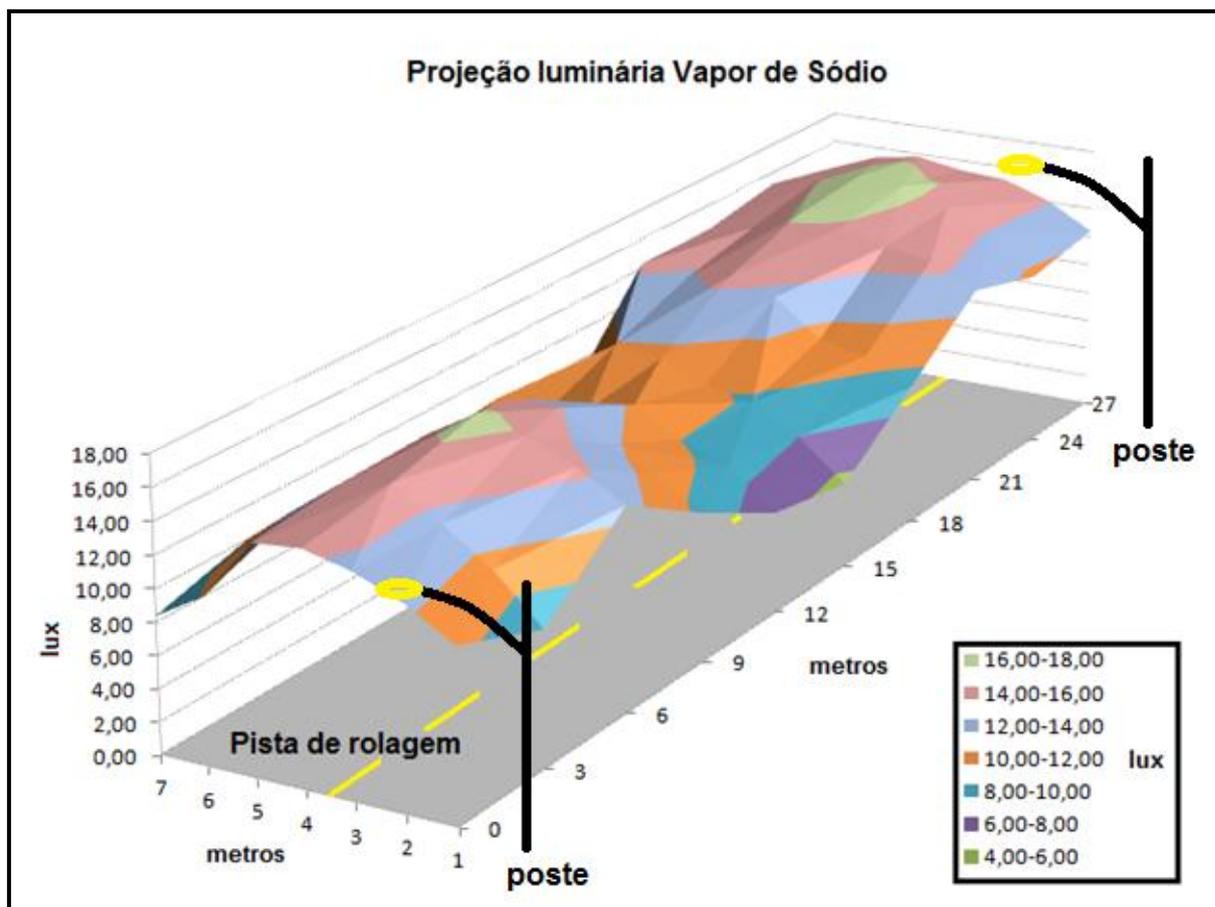


Figura 32 – Projeção luminária vapor de sódio
 Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Provavelmente o equilíbrio entre as iluminâncias deve-se ao projeto inicial que foi concebido para luminária de Vapor de Sódio, ou seja, foi realizado com dados de fabricante. Na figura 33, tem-se uma visão superior da distribuição das iluminâncias no plano da pista, nela as luminárias se encontram nos extremos laterais, nota-se que as áreas de cor roxa são as com maiores iluminâncias. Na lateral esquerda da figura 33, vê-se que a área de maior iluminância se encontra descentralizada da luminária, isso se deve a uma provável depreciação da luminária, defeito na reflexão da luminária ou montagem errada, porém se visto os valores numéricos, figura 30, não há um distanciamento grande nos valores.

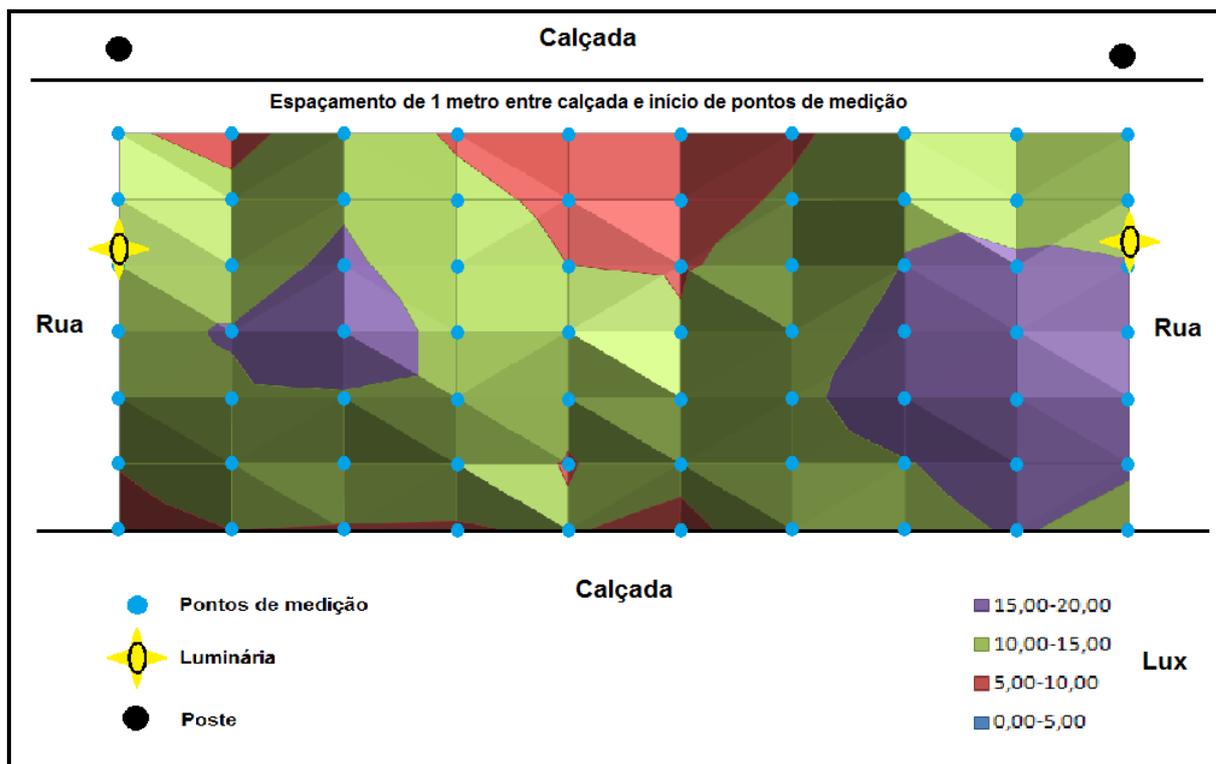


Figura 33 - Visão superior da distribuição das iluminâncias, vapor de sódio
 Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Assim, como feito com a luminária de Vapor de Sódio, foram plotados os valores da luminária LED, figura 34, vê-se que a luminária LED possui um acentuado nível de iluminância no extremo oposto do poste, além de ter um desequilíbrio acentuado entre valores altos e baixos de iluminâncias.

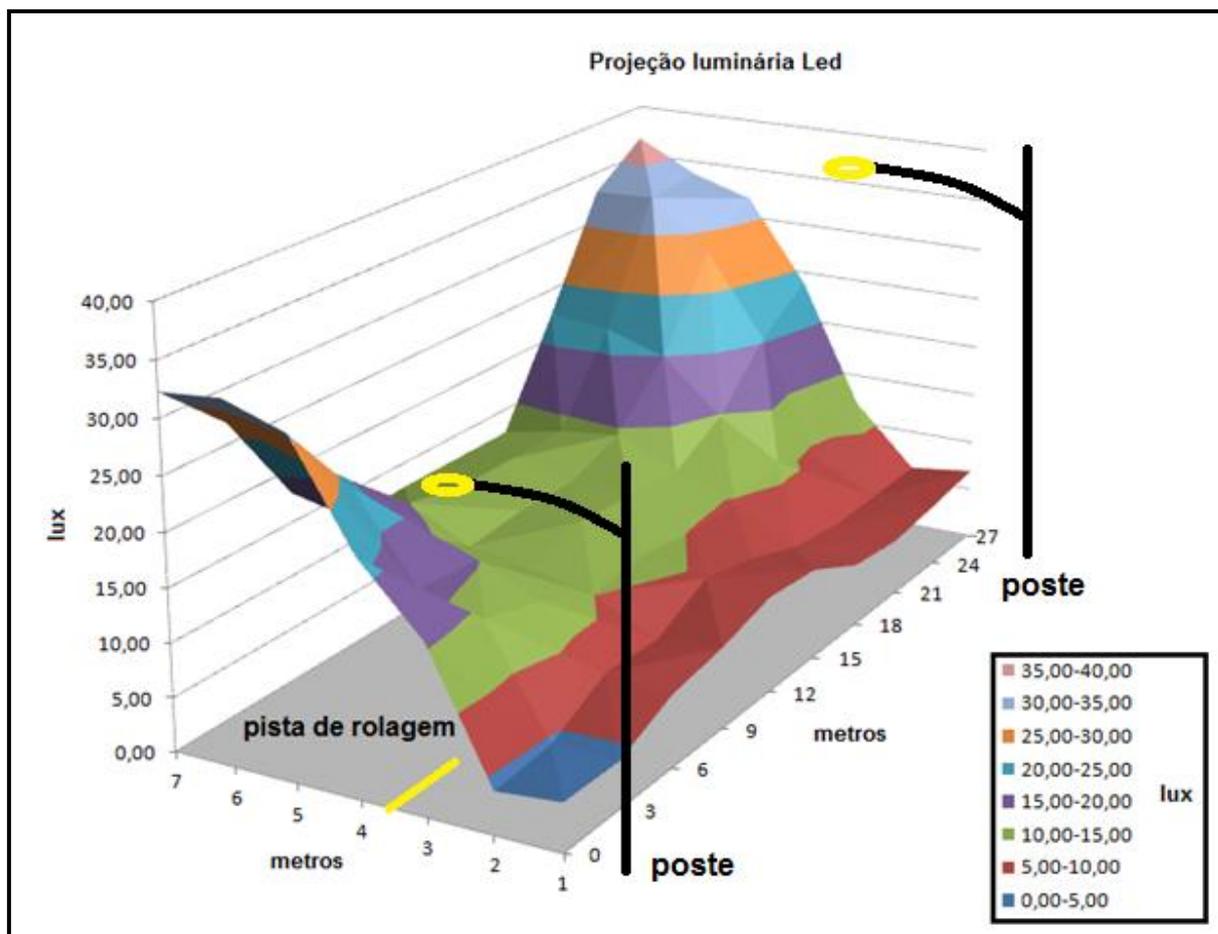


Figura 34 – Projeção luminária LED
 Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Na figura 34, as diferenças entre iluminâncias dão aspecto de dois cumes acentuados na região de maior iluminância e de um vale na região escura entre luminárias. Percebe-se que a luminária possui um maior valor de iluminância chegando a valores próximos de 35 lux, porém também possui valores muito baixos próximo a 3 lux. Esse fato pode ser explicado pela característica de projeto da luminária não ter sido concebido para o braço em questão, ou seja, não é especificado para o ângulo de 15° do braço BR-2 e sim para um ângulo de 0° com ajuste de $\pm 5^\circ$, segundo o fabricante. Esse ponto indica que a iluminância próxima ao poste é baixa remetendo, conseqüentemente, a ideia de a iluminação na calçada ser mais baixa ainda, chegando possivelmente a níveis inferiores de iluminância, na figura 35 tem-se uma foto que mostra quão baixa é a iluminação junto ao poste se comparado à lumináride Vapor de Sódio.



Figura 35 – Iluminação junto ao poste de ambas as luminárias
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Na figura 36, vê-se, como uma visão superior, quão desigual é a distribuição de iluminâncias e a princípio tem-se a impressão que não é possível substituir diretamente uma luminária de Vapor de Sódio por uma luminária LED (no caso dessa luminária LED), e realmente não o é visto pelas grandes desigualdades de iluminâncias, porém será avaliado a seguir, e comparado com a NBR 5101:2012 chegando à conclusão de instalação da luminária LED está de acordo.

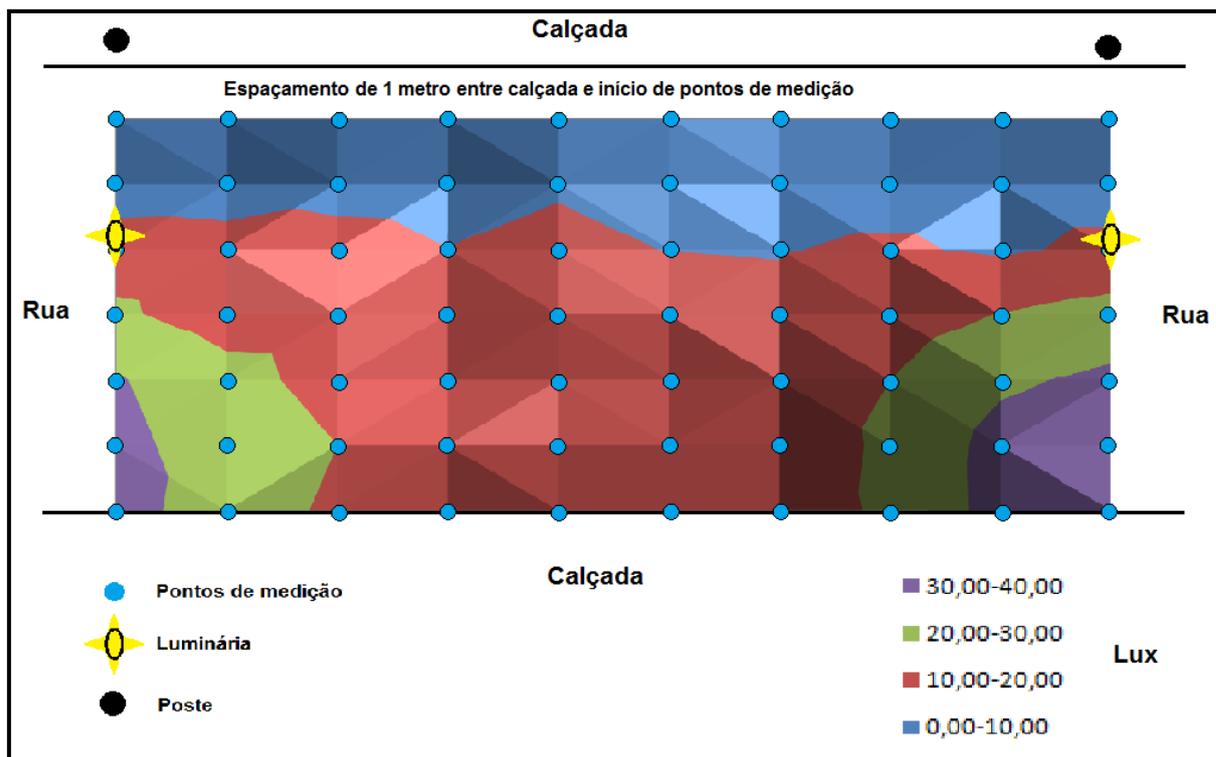


Figura 36 - Visão superior da distribuição das iluminâncias, vapor de sódio
 Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

5.1.5 Validade na norma.

Para verificação da validade da norma na instalação LED, do estacionamento, faz-se uso dos valores obtidos nas medições, como dito anteriormente. Com os valores tabelados na figura 31, primeiramente calcula-se a iluminância média mínima, onde é feito uma média aritmética direta entre os valores obtidos. Para obtenção da média foi utilizado um software matemático, porém pode ser feito utilizando uma relação matemática como a seguir, onde os pontos medidos são as letras P.

$$\text{Iluminância média}(E_{med}) = \frac{P1 + P2 + P3 \dots + Pn}{n} \quad (4)$$

Desse modo a Iluminância média (E_{med}) da luminária LED é $E_{med}=15,01 lux$, visto que $E_{máx}=36,7 lux$ e $E_{mín}=3,94 lux$.

Outro critério necessário, na verificação da norma é o fator de uniformidade, que segundo a NBR 5101:2012 é a razão entre a iluminância mínima e média, em um plano específico. Sua determinação é dada pela equação 5.

$$\text{Uniformidade}(U) = \frac{E_{\min}}{E_{\text{méd}}} \quad (5)$$

Tendo $E_{\text{méd}}=15,01 \text{ lux}$ e $E_{\min}=3,94 \text{ lux}$.

$$U = \frac{3,94 \text{ lux}}{15,01 \text{ lux}} = 0,26 \quad (6)$$

Para a luminária de Vapor de Sódio, seguindo as mesmas equações e relações da luminária LED e tendo os valores $E_{\text{máx}}=16,7 \text{ lux}$ e $E_{\min}=5,5 \text{ lux}$, tem-se $E_{\text{méd}}=12,57 \text{ lux}$. Aplicando as mesmas relações na uniformidade chega-se a seguinte uniformidade $U=0,43$. Conclui nos números que a luminária de Vapor de Sódio possui uma maior uniformidade, conclusão essa, possível de ser observada nas projeções tridimensionais das iluminâncias.

Outro critério visto na NBR 5101:1992, porém não citado na versão 2012 da norma, é o da iluminância de pontos adjacentes, onde a razão da menor iluminância para a maior, em pontos adjacentes, deve ser tal que respeitem um valor mínimo dependendo do tipo de tráfego adotado em projeto. Para tal deve-se levar em conta uma distância máxima de 1,5 m, a disposição dos pontos na transversal obedece a esse critério se distanciando em 1m, porém na longitudinal não obedecem, pois mantém uma distância de 3 m. Mas se visto na figura 37 (LED), observa-se que o maior distanciamento de iluminâncias está no sentido transversal. Porém na figura 38(Sódio) o maior distanciamento de iluminâncias se dá no sentido longitudinal (círculo amarelo), mas será considerado o sentido transversal para efeito de comparação (círculo vermelho). Esse critério será exposto como curiosidade, pois as medições foram realizadas na vigência da NBR 5101:1992, porém a versão 2012 da norma não exige esse critério.

Calçada										
	32,30	26,94	17,74	12,37	12,62	12,62	12,62	22,45	33,00	36,70
	32,80	25,20	20,05	15,06	13,82	13,82	13,82	21,86	33,20	33,70
	30,90	23,40	16,53	12,06	12,59	12,47	14,53	19,98	28,50	31,90
Rua	21,52	15,58	15,13	11,14	12,78	12,31	11,91	14,81	20,35	23,91
	15,54	14,25	12,62	10,04	10,69	9,92	9,62	11,22	8,64	12,05
	3,94	4,46	7,38	7,11	9,71	8,53	6,61	5,83	5,95	6,15
	4,50	4,36	6,80	7,69	9,18	8,65	6,01	5,43	6,10	6,91
Calçada										

Figura 37 – Iluminância entre pontos adjacentes, luminária LED
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Calçada										
	8,40	10,00	9,80	9,70	10,40	8,10	14,30	14,30	15,20	14,10
	10,20	12,40	11,60	11,90	9,80	11,90	13,80	14,90	15,90	15,30
	14,00	14,60	14,80	14,20	10,80	11,50	14,50	16,20	16,70	15,80
Rua	14,30	15,20	16,60	14,20	11,70	10,30	13,60	15,90	16,50	15,30
	13,60	13,40	15,80	12,50	10,00	9,70	11,30	15,10	15,40	15,10
	12,40	11,30	14,50	11,20	9,00	8,00	10,70	14,60	13,70	14,10
	10,60	8,40	12,80	9,40	6,50	5,50	9,20	13,10	11,60	12,40
Calçada										

Figura 38 – Iluminância entre pontos adjacentes, luminária vapor de sódio
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Para a luminária LED tem-se que a maior diferença de iluminância entre pontos adjacentes é de:

$$15,54 - 3,94 = 11,6 \text{ lux} \quad (7)$$

E a razão da menor com a maior é:

$$3,94 \text{ lux} / 15,54 \text{ lux} = 0,25 \quad (8)$$

Já para a luminária de Vapor de Sódio a maior diferença, no sentido transversal, é:

$$14,00 - 10,20 = 3,8 \text{ lux} \quad (9)$$

Com uma razão da menor com a maior de:

$$10,20 \text{ lux} / 14,00 \text{ lux} = 0,73 \quad (10)$$

Se considerar, para efeito de exemplificação, a diferença longitudinal da luminária de Vapor de Sódio tem-se uma diferença de:

$$14,30 - 8,10 = 6,2 \text{ lux} \quad (11)$$

E a razão da menor pela maior, no sentido longitudinal, será:

$$8,10 \text{ lux} / 14,30 \text{ lux} = 0,57 \quad (12)$$

Não esquecendo que a distância máxima admitida pela norma, para iluminância entre pontos adjacentes, é de 1,5 m e a distância no sentido longitudinal, das medições, foi de 3 m.

Outro ponto que a norma cita é de a iluminância mínima ser superior a 1 lux, em ambos os casos a iluminância mínima medida na pista ficou superior a 1 lux.

5.1.6 Resultados

A seguir será mostrada uma tabela com informações e resultados pertinentes as medições das luminárias comparando-as entre si.

Tabela 4 – Tabela comparativa entre luminária LED e vapor de sódio

	Vapor de Sódio	LED	NBR 5101
Iluminância máxima (Emáx)	16,7 lux	36,7 lux	Sem limite
Iluminância mínima (Emín)	5,5 lux	3,94 lux	1 lux
Iluminância média (Eméd)	12,57 lux	15,01 lux	Depende tipo de via
Uniformidade (U)	0,43	0,26	Depende tipo de via
Maior diferença entre pontos adjacentes	3,8 lux (vide texto)	11,6 lux	Não prevê a versão 2012
Menor razão, pontos adjacentes	0,73	0,25	Não prevê a versão 2012

Fonte: Autoria própria.

Através da tabela 4, é possível de maneira rápida fazer um paralelo entre a luminária de Vapor de Sódio e LED. A iluminância máxima fica para a luminária LED

com um distanciamento grande entre as luminárias, uma possível explicação pode ser dado pelo fato da luminária de Vapor de Sódio, tipo globo padrão LM-3 com reator externo, estar pouco depreciada pelo fato de que estava há algum tempo instalada no local. A iluminância mínima fica para a luminária LED, e isso pode ser explicada pelo fato da luminária ser projetada para um braço com inclinação de 0° e estar instalada em um braço, tipo BR-2, com inclinação de 15° projetando o foco luminoso para o lado oposto da pista de rolagem. Mas ambas as iluminâncias mínimas estão dentro do especificado pela norma, 1 lux.

A iluminância média de ambos se enquadra nas classes V4 e V5 da norma NBR 5101:2012, conforme figura 39, para vias locais de tráfego médio e leve e vias coletoras de tráfego leve, já a luminária LED pode-se enquadrar na classe V3 em vias coletoras de tráfego médio. Para, à uniformidade, ambas as luminárias se enquadram nas vias citadas anteriormente, porém a luminária LED não se enquadraria em classes V1 e V2, isso para a uniformidade.

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

Figura 39 – Classes de iluminação
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5101:2012 (2012).

Já os dois últimos itens são referentes iluminância entre pontos adjacentes, na revisão 2012 da norma esse item já não é mais citado, mas será citado no trabalho pois as medições se iniciaram antes da revisão, além de ser um item interessante para avaliar possíveis saltos de iluminância. Saltos de iluminância pode-ser definida como sendo uma diferença muito grande de iluminância em uma curta distância. Na versão de 1992 da norma capítulo 5.1.1, a menor razão apresentada é 0,40 para vias de leve tráfego, nesse caso a luminária LED não se enquadra, mas como esse critério é irrelevante na versão 2012 da norma, essa comparação é apenas demonstrativa.

5.2 COMPARATIVO ELÉTRICO

Nessa comparação serão utilizadas medições elétricas realizadas nas luminárias LED. As luminárias LED utilizadas são de dois tipos, uma importada de marca conhecida mundialmente que foi utilizada para comparativo luminotécnico com luminária de Vapor de Sódio, outra de marca nacional que será utilizada para avaliação de histórico luminotécnico. A luminária importada é composta de um conjunto LEDs, e sua potencia é de 125 W, já a nacional é de dois LED com uma potencia total de 85 W onde cada LED possui potencia de até 50 W. Nas luminárias de Vapor de Sódio não foram realizadas medições elétricas, pois, essas luminárias possuem norma especifica NBR 13593, que determina parâmetros mínimos para fabricação e ensaio. Esses parâmetros são pré-determinados nas normas de fabricação e montagem de luminárias de Vapor de Sódio, portanto os fabricantes de luminárias e reatores para lâmpadas de Vapor de Sódio devem seguir esses padrões como critério mínimo.

5.2.1 Normatização.

Como não existe, ainda, uma norma brasileira vigente que especifique parâmetros de montagem e fabricação de luminária LED para iluminação pública especificamente, serão utilizados como critério de avaliação e comparação dois itens: Fator de Potência e Taxa de Distorção Harmônica de corrente (THDi). (COPEL, 2012)

Para o fator de potencia usa-se o artigo 95 da resolução da ANEEL numero 414 de 2010, que especifica valor mínimo de 0,92 para unidades consumidoras dos grupos A e B. No fator de potência citado anteriormente, entende-se a iluminação pública como uma unidade consumidora do grupo B, assim, os administradores da iluminação pública local no caso as prefeituras, provavelmente não irão comprar equipamentos de iluminação com fator de potência abaixo de 0,92.

Para a THDi utiliza-se a norma internacional IEC 61000-3-2, que determina critérios para equipamentos elétricos até 16A. Na tabela 5 a seguir têm-se, os valores eficazes máximos admitidos para equipamentos de iluminação, em percentual, das componentes harmônicas em cada ordem relevante.

Tabela 5 – Limites de THDi nas componentes

Ordem da componente Harmônica (n)	Máximo valor expresso em % da componente fundamental (60Hz)
2	2
3	30xFP*
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (apenas os ímpares)	3
* O Máximo valor admitido é trinta vezes o fator de potência.	

Fonte: Adaptado da IEC 61000-3-2.

Através dos valores da tabela 5, e com uso da equação de soma dos percentuais (dada a seguir), visto que os percentuais tabelados são em relação a componente fundamental, tem-se o valor máximo de THDi:

$$THDi(\%) = \sqrt{\sum In(\%)^2} \quad (13)$$

Onde $In(\%)$ é a componente da harmônica, mesma da tabela, em percentual assim:

$$THDi(\%) = \sqrt{2^2 + (30 * 1)^2 + 10^2 + 7^2 + 5^2 + (15 * (3^2))} = 34,83\% \quad (14)$$

O valor 34,83% é o valor máximo admitido da THDi total, ou seja, esse é o percentual da corrente nominal medida admitido para harmônicas, dado pela norma internacional IEC 61000-3-2, isso para um fator de potencia unitário. Se considerado um fator de potência de 0,92, mínimo admitido pela resolução 414 de 2010 da ANEEL, tem-se o seguinte valor de THDi:

$$THDi(\%) = \sqrt{2^2 + (30 * 0,92)^2 + 10^2 + 7^2 + 5^2 + (15 * (3^2))} = 32,78\% \quad (15)$$

Portanto para uma menor correção de fator de potência há a necessidade de uma maior correção do THDi total.

5.2.2 Medições

Como citado anteriormente foram medidas dois tipos de luminárias, uma de 125W com um LED, luminária essa importada e outra de 85W com dois LED's de 50W, luminária de montagem nacional. Como é recomendado pela proprietária das medições não divulgar fabricantes, não será mostrado fotos ou imagens das luminárias, para preservar a identidade dos mesmos, visto que as características da montagem são específicas de cada luminária.

As medições foram realizadas em laboratório com uso de um analisador de energia de marca Yokogawa, os valores obtidos são valores reais já com correção de THDi, no caso do fator de potência e corrente. Os valores medidos são mostrados nos quadros a seguir.

Parâmetro	Valor	Unidade	Obs
Tensão	127	V	
Corrente	0,653	A	
Potência ativa	83	W	
Potência reativa	-7	var	capacitivo
Potência aparente	83	VA	
Fator de potência	-0,996		
Distorção harmônica total	10	%	
3º harmônico	10	%	
7º harmônico		%	

Figura 40 – Valores elétricos luminária nacional, em 127 V
Fonte: Arquivo da Copel.

Parâmetro	Valor	Unidade	Obs
Tensão	220	V	
Corrente	0,395	A	
Potência ativa	82	W	
Potência reativa	-30	var	capacitivo
Potência aparente	87	VA	
Fator de potência	-0,937		
Distorção harmônica total	17,9	%	
3º harmônico	17,9	%	
7º harmônico		%	

Figura 41 – Valores elétricos luminária nacional, em 220 V
Fonte: Arquivo da Copel.

Parâmetro	Valor	Unidade	Obs
Tensão	217,2	V	
Corrente	0,574	A	
Potência ativa	121	W	
Potência reativa	-30	var	capacitivo
Potência aparente	124	VA	
Fator de potência	-0,971		
Distorção harmônica total	8,7	%	
3º harmônico	7	%	
7º harmônico	5,3	%	

Figura 42 – Valores elétricos luminária importada, em 220 V
Fonte: Arquivo da Copel.

As duas primeiras figuras são referentes à luminária nacional, percebe-se que foram realizadas medições em duas faixas de tensão elétrica, 127 V e 220 V, pois a luminária de fabricação nacional, no caso medido, é bivolt. Ainda referente às duas primeiras figuras, da luminária nacional, vê-se que as potências ativas ficam próximas da especificada pelo fabricante, de 85 W. Porém fica evidente, por observação do quadro, a diferença para as duas faixas de tensão elétrica, em 127 V vê-se um maior fator de potência e uma menor THDi, porém a luminária responde dentro dos padrões, resolução 414 de 2012 da ANEEL para o fator de potência e IEC 61000-3-2 para THDi, para ambas as tensões. Do mesmo modo a luminária importada, terceiro quadro, responde dentro dos padrões para fator de potência e THDi.

Como visto no capítulo 4.2.2, construtivamente uma luminária LED para IP é constituída de *driver* e LED's, o *driver* para o LED está assim como o reator para a lâmpada de Vapor de Sódio, porém um controla níveis de tensão e corrente permanentemente outro os controla auxiliando a partida. O *driver* por se tratar de um circuito eletrônico de alta frequência, pode gerar distorção harmônica na corrente de saída, fato esse que os fabricantes devem evitar. Os níveis de THDi admitidos foram citados anteriormente, assim visto os valores das luminárias percebe-se que ambas responderam dentro da IEC 61000-3-2, ou seja os filtros internos de seus *drivers* corresponderam ao pré-determinado. Não só na THDi total que as luminárias ficam dentro do padrão, mas também na THDi de ordem n , para a luminária nacional a única ordem que apresentou distorção harmônica foi a terceira, como o determinado na IEC é 30 vezes o fator de potência ambas as tensões se enquadram. A seguir têm-se os níveis de terceiro harmônico admitido para a luminária nacional nos dois níveis de tensão elétrica.

$$\text{Luminária Led(nacional)127V} \rightarrow 30 \times |FP| = 30 \times 0,996 = 29,88\% \quad (16)$$

$$\text{Luminária Led(nacional)220V} \rightarrow 30 \times |FP| = 30 \times 0,937 = 28,11\% \quad (17)$$

A luminária importada apresentou THDi de terceira e sétima ordem, a norma especifica 7% para harmônica sétima ordem, a luminária apresentou 5,7% se enquadrando dentro da norma. Para a harmônica de terceira ordem, a luminária apresentou 7%, visto que o limite máximo admitido para a luminária é:

$$\text{Luminária Led(importada)220V} \rightarrow 30 \times |FP| = 30 \times 0,971 = 29,13\% \quad (18)$$

Outro detalhe é que ambas as luminárias apresentaram fator de potência capacitivo, característica essa, cuja proveniência não está determinada nesse trabalho, podendo ser causado pelo *driver* e ou pelos LED's de potência.

5.3 HISTÓRICO DE ILUMINAMENTO

5.3.1 Instalação

Nesse capítulo será apresentado um estudo sobre valores de iluminância medidas em três luminárias LED, essas mesmas semelhantes às do capítulo x estão instaladas no estacionamento da COPEL, porém em outro ponto do mesmo. Os dados foram coletados no período de 2009 a 2012, o método de coleta de dados é próximo ao do capítulo 5.1, porém com uso de menos pontos de coleta. A razão da utilização de um número menor de pontos de medição deve-se ao fato de o objetivo final ser avaliar o histórico de iluminação das luminárias e não os critérios da norma NBR 5101. Esse número foi distribuído ao longo da pista de rolagem, com espaçamentos conforme figura 43.

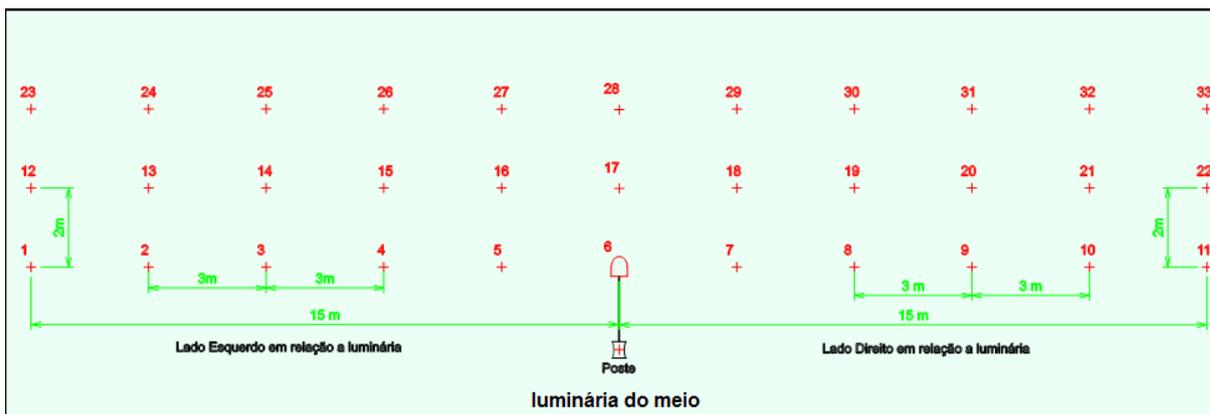


Figura 43 – Distribuição dos pontos de medição por luminária
Fonte: Arquivo da Copel.

Com relação à pista de rolagem têm-se os seguintes dados: 7 metros de largura e 30 metros de espaçamento entre postes, conforme figura 44. Já na figura 45 tem-se uma foto mostrando a instalação das luminárias. O padrão de instalação segue o utilizado no capítulo 5.1, com poste de 8,5 m e braço tipo BR-2.

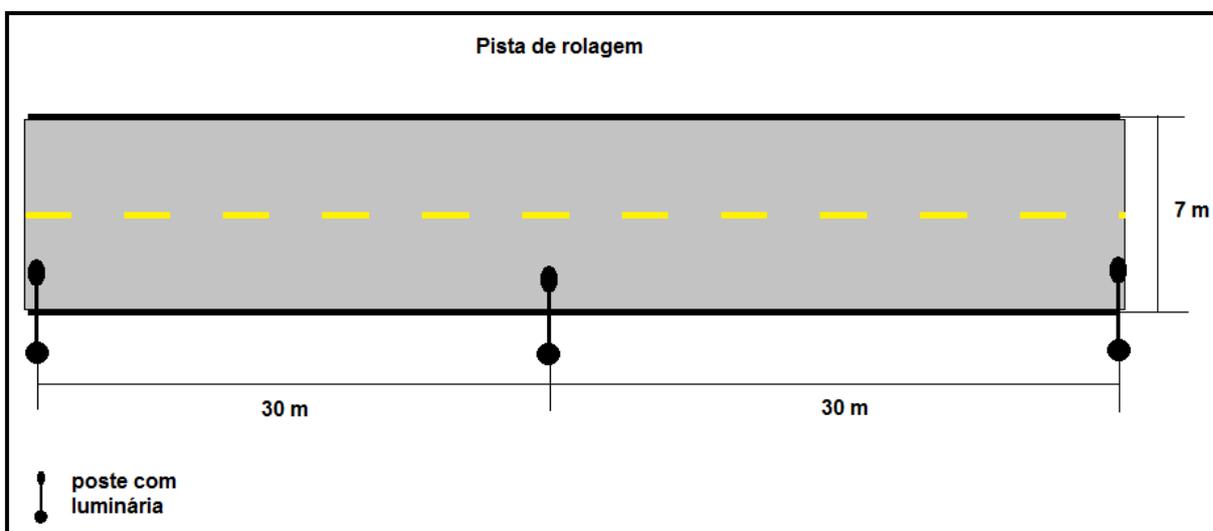


Figura 44 – Dimensões da pista
Fonte: Autoria própria.

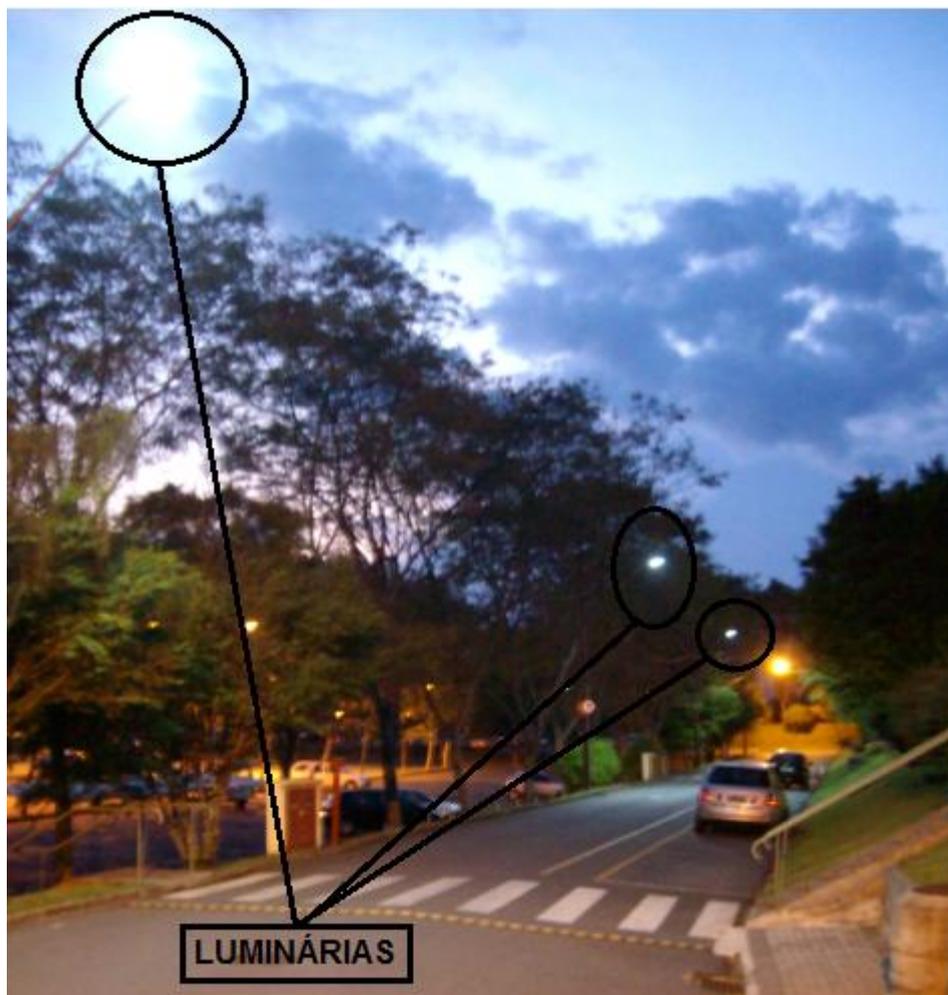


Figura 45 – Detalhe da instalação
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

As luminárias conforme citado no capítulo anterior, são de um fabricante nacional que faz a montagem da mesma, sua potência individual é de 85 W divididos para dois LED's de 50 W, as especificações da luminária se encontram na tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Dados de fábrica da luminária LED nacional

Potência	85 W (2 LED's de 50 W)
Tensão	127/220 V
Fluxo luminoso	5400 lm
Vida útil	>50000 horas
Temperatura de cor	7000 k +- 500 K

Fonte: Adaptado dos valores do fabricante.

Segundo catalogo de fabricante essa luminária possui equivalência superior dá de 250 W de Vapor de Sódio. Na instalação ela substitui uma luminária de 250 W de Vapor de Sódio tipo globo padrão LM-3, segundo NTC 810037, com reator e acionamento externo. O fornecedor não dispõe de dados específicos para projetos como: diagrama isolux, curva de utilização e equação de iluminância máxima.

As medições foram realizadas em períodos com características de iluminância lunares mais próximas possíveis. Os dados obtidos pelas medições foram tabelados em planilha para efeito de uma avaliação estatística dos mesmos. As medições inicialmente eram para ser realizadas conforme distribuição mostrada na figura 43, porém devido à presença de duas luminárias de Vapor de Sódio, uma à esquerda da luminária 3 e uma à direita da luminária 1, à aproximadamente 20 m, foram desconsideradas as medições relativas aos extremos das luminárias 1 e 3. Assim a faixa de medição real compreende aos eixos da luminária 1 à luminária 3 passando por toda a faixa de medição da luminária 2. Dessa forma os pontos de medições foram distribuídos segundo a figura 46, nota-se que os números que aparecem na figura referem-se aos pontos medidos com distribuição de acordo com a figura 43 excluindo-se os extremos das luminárias laterais.

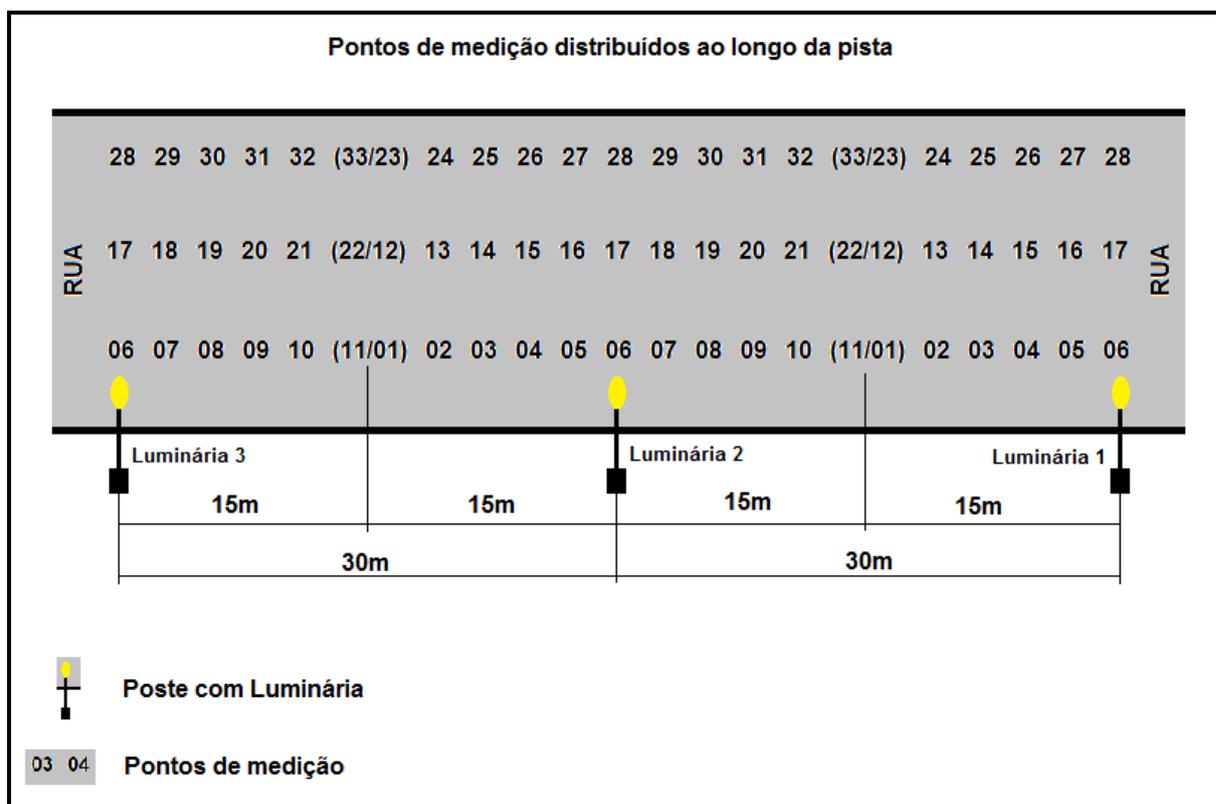


Figura 46 – Distribuição dos pontos com as três luminárias
 Fonte: Autoria própria.

5.3.2 Dados medidos e médias

Os dados medidos e tabelados são mostrados nas figuras a seguir, assim como feito no capítulo 5.1 foram projetados de forma tridimensional a iluminância pelas as dimensões da pista. Cada figura mostra os dados medidos, dimensões da área medida da pista (transversal e longitudinal), o número da medição e a data da mesma. A disposição dos dados nas figuras, com referencia a pista, são mostrados na figura 47. Detalhe que a medição número 6, está apenas de forma ilustrativa, pois, no início do ano de 2012 a luminária 2 apresentou problemas e teve que ser substituída por outra de mesma marca e modelo.

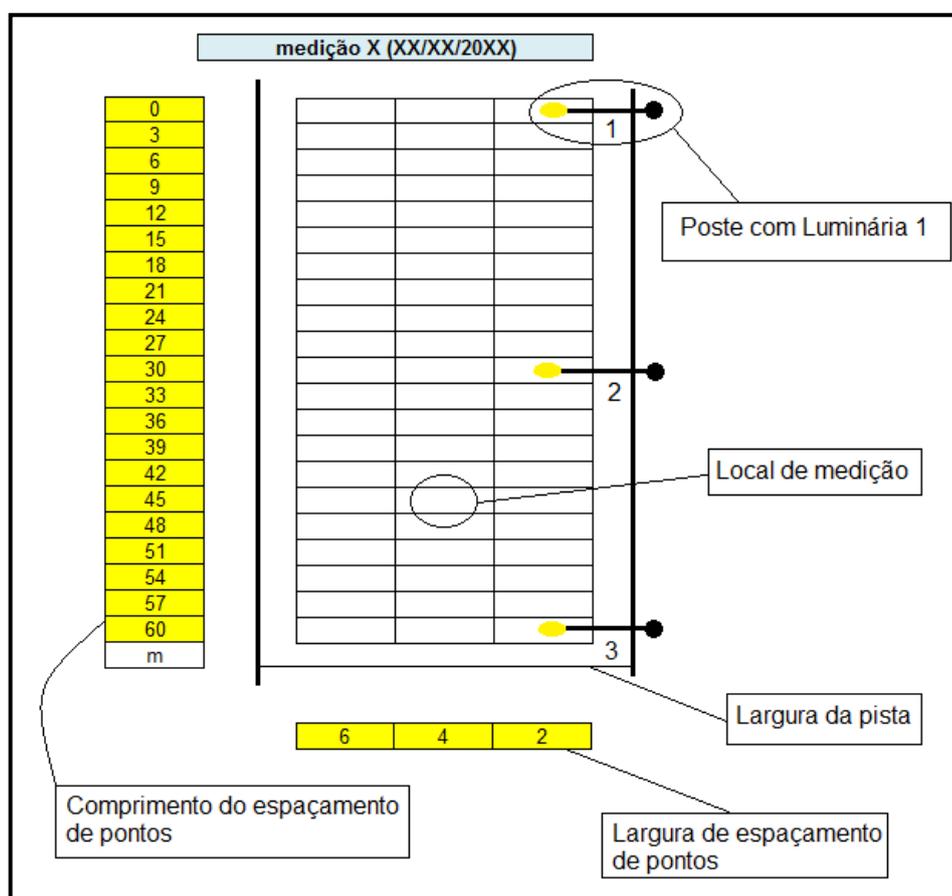


Figura 47 – Disposição dos valores medidos

Fonte: Autoria própria.

Na figura 48 tem-se as medições 1 e 2 devidamente datadas.

medição 1 (29/12/2009)				medição 2 (28/04/2010)			
0	18	25	28	0	20,5	26	28
3	15	20	20	3	19	20	21,5
6	9	10	11	6	16	11	11
9	4	5	5	9	10	5	5,5
12	3	3	3	12	5	3	3
15	2	2	1	15	3	2	2
18	2	2	2	18	2,5	2,5	2,5
21	3	4	4	21	4	4	4,5
24	8	9	9	24	9,5	9,5	10
27	12	16	18	27	12,5	16,5	18
30	15	20	22	30	15	20	22
33	11	15	16	33	11,5	15	16,6
36	6	8	9	36	7,5	8,5	9
39	4	4	4	39	3,5	4	4
42	2	2	2	42	2,5	2,5	3
45	2	2	2	45	1	1,5	1,5
48	2	2	2	48	2	3	3,5
51	5	5	5	51	5	5	5,5
54	9	10	10	54	9	10,5	10,5
57	12	17	18	57	13	17	18,5
60	15	20	20	60	15	19,5	22
m	6	4	2	m	6	4	2

Figura 48 – Valores medição 1 e 2
Fonte: Arquivo da Copel.

Já na figura 49 tem-se a 3ª e 4ª medição.

medição 3 (21/10/2010)				medição 4 (28/04/2011)			
0	23,3	28,3	29,4	0	21	25	26,8
3	21,5	22,8	23,2	3	18,4	22,2	22,1
6	18,1	12,2	10,7	6	17	12,9	13,6
9	10,3	6	6,5	9	11,8	6,2	6,9
12	5,4	3,6	3,7	12	5,3	4,1	4
15	3,5	2,4	2,4	15	3,5	3	2,7
18	3,2	2,9	3,1	18	3,1	3,2	3,2
21	4,7	5	5,2	21	4,7	4,9	4,9
24	9,1	10,2	10,3	24	9,1	8,9	10
27	15	17,6	19,1	27	12,4	16,5	18,1
30	15,9	21,2	23,7	30	13,9	19,5	22,1
33	13,2	16,5	18,2	33	13,2	15,1	17,3
36	8,4	9,5	9,8	36	8	9,2	9,4
39	4,9	5,1	5	39	4,6	5	5
42	3,7	3,6	3,4	42	4,3	4	3,6
45	3	3,2	2,6	45	3,5	3,7	2,9
48	3,5	3,7	3,6	48	3,6	3,8	2,8
51	5,8	5,8	5,9	51	5,7	6,1	4,4
54	10	11	11,6	54	9,2	10,4	10,7
57	14,2	18	19,7	57	12,5	16,6	18,5
60	17,2	21,7	23,4	60	14,8	19,5	21,8
m	6	4	2	m	6	4	2

Figura 49 – Valores medição 3 e 4
Fonte: Arquivo da Copel.

Na figura 50, a 5ª e 6ª medição.

medição 5 (11/10/2011)				medição 6 (23/08/2012)			
0	19,4	24,5	26,5	0	20	25,1	27,2
3	16	20,3	20,9	3	16	19,6	20,6
6	9,9	11,3	11,4	6	9,3	10,8	10,9
9	5,5	6,2	6,3	9	5	5,8	5,8
12	3,5	3,6	3,8	12	3,3	3,5	3,7
15	2,5	2,8	2,5	15	2,3	2,5	2,5
18	3,3	3,3	3,3	18	5,3	5,4	5,5
21	4,7	5,1	5,3	21	8	9	9,6
24	8,3	9,6	10,4	24	11,6	15,1	17,1
27	12,9	16,3	18,2	27	14	18,5	21,1
30	14,4	19,7	22	30	17,1	22,2	25,2
33	12,2	15,1	17,3	33	13,2	17	18,7
36	8,6	9,3	9,6	36	11,6	14,5	15,4
39	4,8	5,1	4,7	39	7,7	8,2	8,8
42	4,1	3,9	3,6	42	5,6	5,6	4,9
45	3,8	3,8	2,9	45	3,9	3,7	2,9
48	2,4	5,2	4,4	48	2,9	3,1	3
51	6,3	7,2	6,1	51	4	4,6	5,1
54	11,1	11,4	11,2	54	7,9	8,7	9,9
57	14	17,7	19	57	11,9	15,4	17
60	15,6	20,3	22,5	60	14,3	18,1	20,3
m	6	4	2	m	6	4	2

Figura 50 – Valores medição 5 e 6
Fonte: Arquivo da Copel.

A partir dos dados medidos é possível obtém a projeção tridimensional dos mesmos.

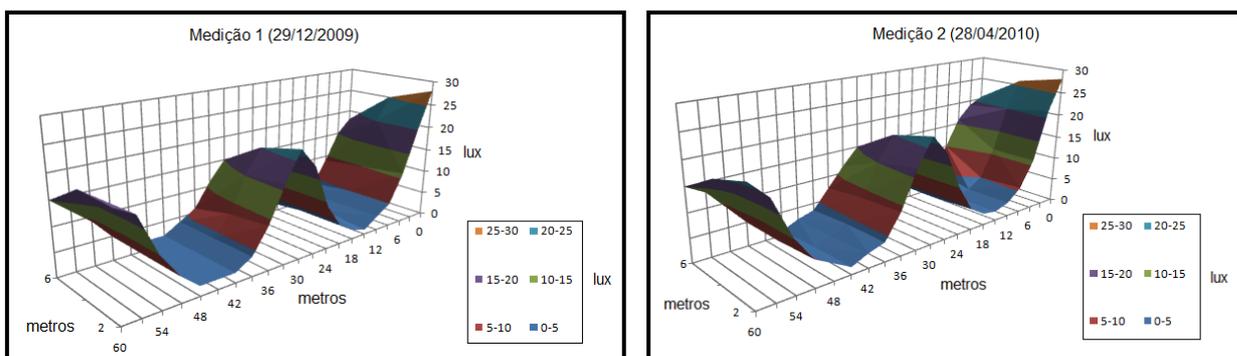


Figura 51 – Projeções das medições 1 e 2
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

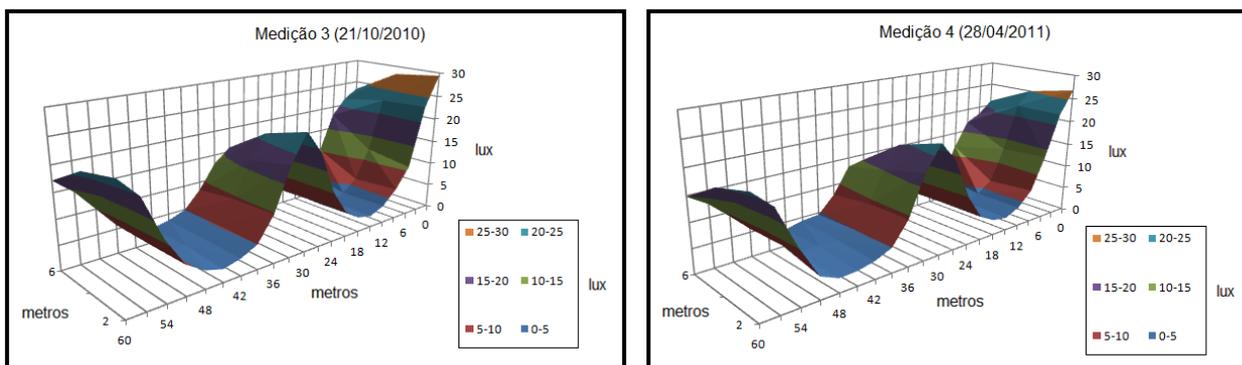


Figura 52 – Projeções das medições 3 e 4
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

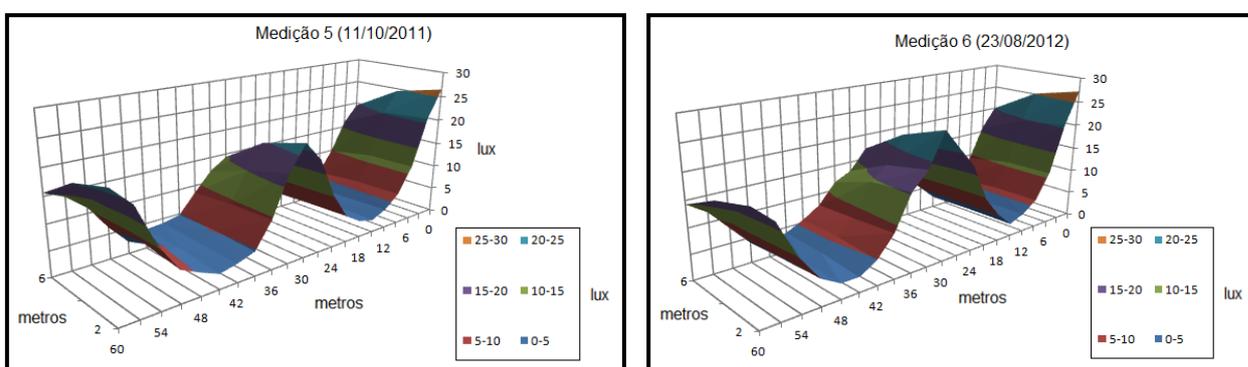


Figura 53 – Projeções das medições 5 e 6
Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Ainda a partir dos dados medidos pode-se chegar a valores importantes para comparação entre as medições, dentre esses valores tem-se: iluminância média, uniformidade e fluxo luminoso incidente na superfície.

A iluminância média ($E_{méd}$) é calculada de forma equivalente ao capítulo 5.1, onde se faz a média dos valores medidos, sua unidade de medida é dada em lux. A uniformidade (U), também como o capítulo 5.1, é a razão do menor valor de iluminância pelo valor médio de iluminância. Segundo a NBR 5101:2012 a uniformidade demonstra o equilíbrio das iluminâncias frente à iluminância média. O outro item citado é o do fluxo luminoso incidente (φ) dado em lúmens (lm), sabendo que iluminância, em lux, é o fluxo total por unidade de área ($lux = lm/m^2$) e tendo o valor de iluminância média além do valor de área medida, pode-se estimar um valor de fluxo luminoso médio incidindo sobre a superfície.

$$fluxo\ luminoso(lúmens(lm)) = iluminância\ média\left(lux = \frac{lúmens}{m^2}\right) * área(m^2) \quad (19)$$

$$\varphi = E_{méd} * m^2 \quad (20)$$

$$\phi(1^{\text{a}} \text{ medição}) = 9,063 \text{ lux} * (60 \text{ m} * (6 - 4)\text{m}) = 2175,23 \text{ lm} \quad (21)$$

Assim a soma dos fluxos luminosos das três luminárias, incidindo na via com 240m², e estando em postes de 8,5m de altura é na media 2175,23 *lm*, isso para a primeira medição. As demais medições seguem o mesmo princípio, assim calculando para todas as medições chega-se a tabela 7 com os valores de todas as mesmas.

Tabela 7 – Valores médios do histórico

	1 ^a med.	2 ^a med.	3 ^a med.	4 ^a med.	5 ^a med.	6 ^a med.	
E_{méd}	9,063	9,76	10,87	10,32	10,11	10,89	lux
E_{máx}	28	28	29,4	26,8	26,5	27,2	lux
E_{mín}	1	1	2,4	2,7	2,4	2,3	lux
U	0,11	0,10	0,22	0,26	0,24	0,21	
φ	2175,24	2343,24	2608,38	2476,95	2426,29	2615,24	lm

Fonte: Autoria própria.

Pelas medições e os gráficos percebe-se que não há uma grande variação entre ambas, pelo contrário, o que é de se esperar é o decréscimo dos valores, mas o que aconteceu é que os valores aumentaram em relação à primeira medição.

Ainda sobre os dados medidos e ou calculados, vê-se maiores valores de iluminância média e fluxo luminoso, na 3^a e 6^a medição. Para a terceira medição, segundo a fonte dos dados, a coleta de dados sofreu influencia da iluminação do interior do prédio, principalmente referente à luminária 1. Já para a sexta medição, como dito anteriormente, a luminária 2 foi substituída por outra devido a um defeito de funcionamento.

5.3.2.1 Avaliação

Na falta de regulamentos nacionais referentes a luminárias LED para iluminação pública, será utilizado como referencia alguns critérios estipulados pelo programa norte-americano de eficiência energética, *Energy Star*. Segundo o *Energy Star*, para lâmpadas LED com potencia maiores de 10W e vida útil declarada de 50

mil horas sua depreciação deve ser de 4,2% ao final de 6 mil horas de ciclo, porém isso é especificado diretamente para lâmpadas e luminárias LED ensaiadas sob condições próprias de avaliação com temperatura constante e condições de depreciação ambiental nula, além de outros critérios, pois o intuito do regulamento é estipular uma manutenção mínima do fluxo luminoso do LED.

No caso avaliado, a temperatura não é constante e a condição ambiental não é nula, pois está em um local aberto. Assim a avaliação, a rigor, não se enquadra nos critérios de avaliação da *Energy Star*, mas mesmo assim foi usado o critério das 6 mil horas somente com finalidade comparativa.

Desconsiderando a medição 6, pois foi trocado a luminária 2, tem-se do período de 29/12/2009 à 11/10/2011, 651 dias com uma média de 10 horas diárias em funcionamento. Assim as luminárias tiveram um ciclo até a data citada de 6510 horas. Se visto o fluxo médio da quinta medição e comparar com o da primeira medição, vê-se um aumento no fluxo luminoso, isso poderia ser explicado por influências de iluminações externas à medição, fluxímetro fora de calibração ou aumento da potência das luminárias devido o controle do *driver*. Porém a coleta dos dados não entrou nesse critério, ficando difícil à afirmação de um ou de outro fator.

5.3.3 Histograma

Pela média, segundo o capítulo anterior, houve ao invés de um decréscimo de iluminância um aumento do valor. Mas, no entanto é necessário avaliar ponto a ponto as medições para se ter um aspecto da evolução de iluminâncias.

Para a verificação ponto a ponto será utilizado histograma, uma ferramenta estatística, cuja finalidade é agrupar um numero de frequências de eventos. Como a subtração ponto-a-ponto gera uma quantidade grande de valores, sessenta e três pontos, que em grande parte não são iguais, fica difícil o agrupamento desses valores; portanto foi utilizado o arredondamento do valor, obtido na subtração, para valores de meio em meio lux como o exemplo a seguir.

$$22,3lux - 21,5lux = 0,8lux \text{ arredondado para } 1lux \quad (22)$$

$$22,3lux - 21,6lux = 0,7lux \text{ arredondado para } 0,5lux \quad (23)$$

Desta maneira é possível agrupar um maior número de pontos. As subtrações se darão no sentido de uma medição atual subtraída de uma passada, ou seja, por exemplo:

$$X \text{ pontos da medição 3} - X \text{ pontos da medição 4} = X \text{ valores} \quad (24)$$

As subtrações são entre pontos situados na mesma posição de medição, os valores negativos representam um decréscimo do valor de iluminância já os positivos representam um aumento de iluminância. A seguir serão mostrados os histogramas das medições um a um.

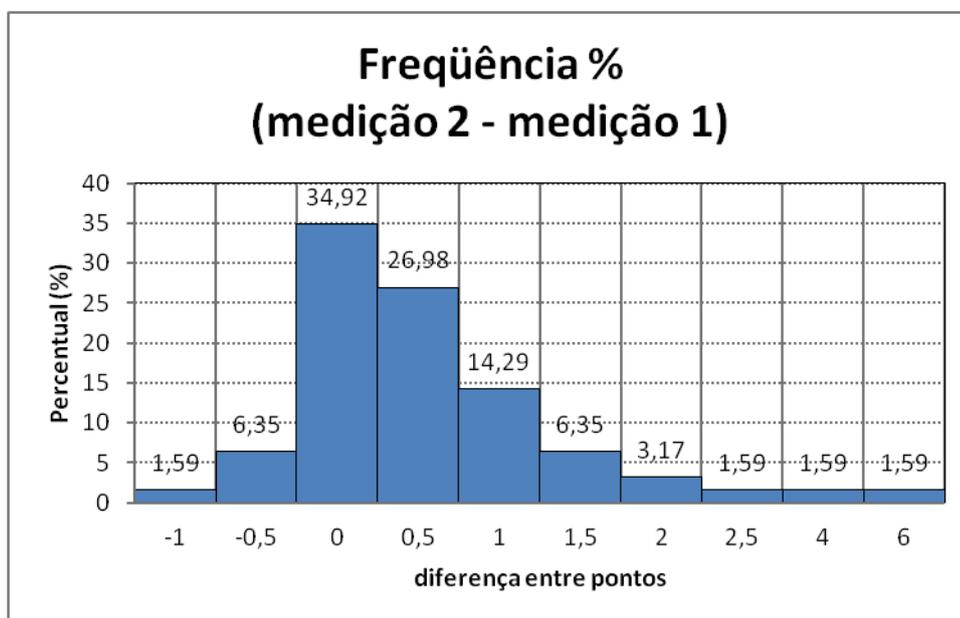


Gráfico 1 – Frequência (medição 2 – medição 1)

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

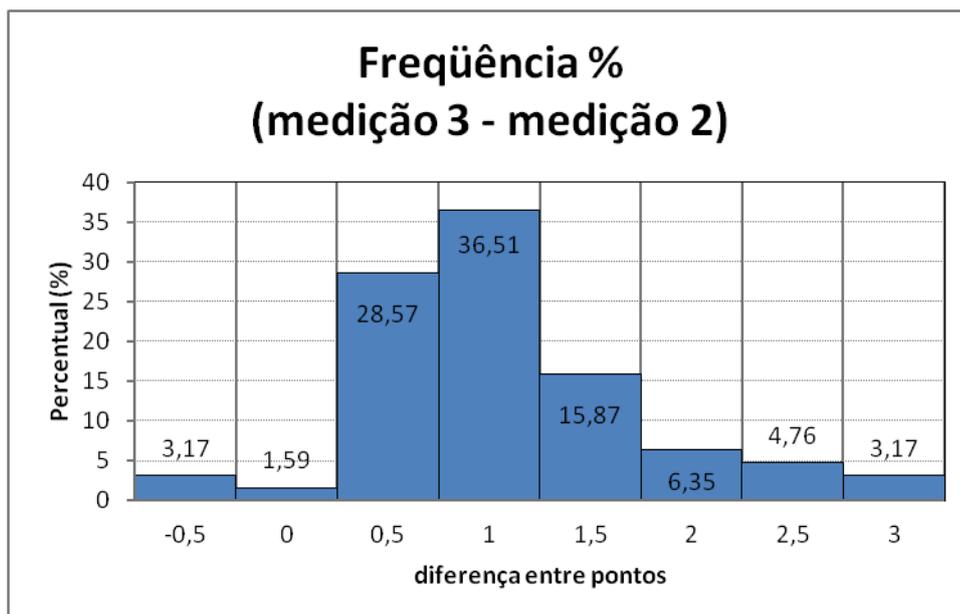


Gráfico 2 – Frequência (medição 3 – medição 2)

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

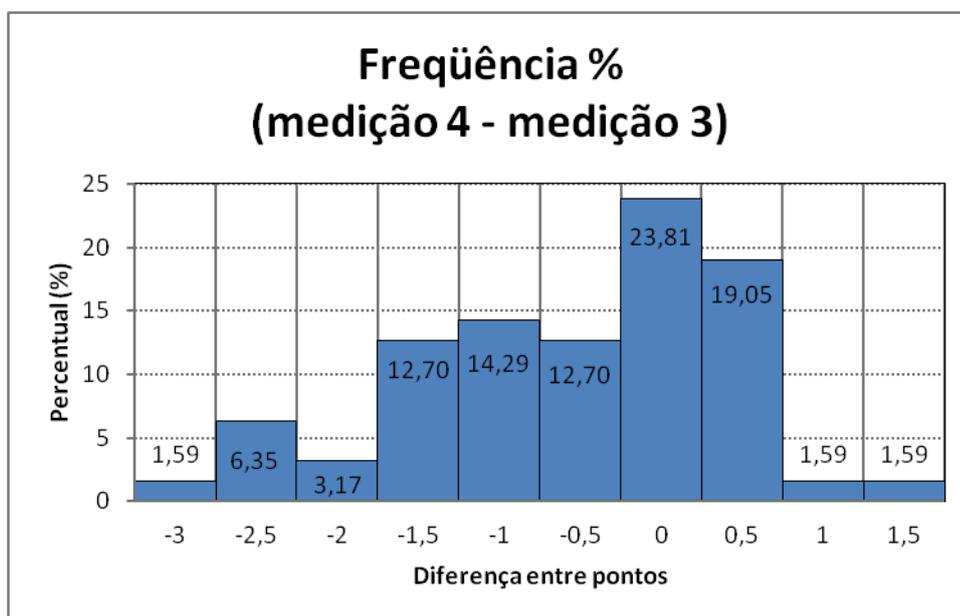


Gráfico 3 – Frequência (medição 4 – medição 3)

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

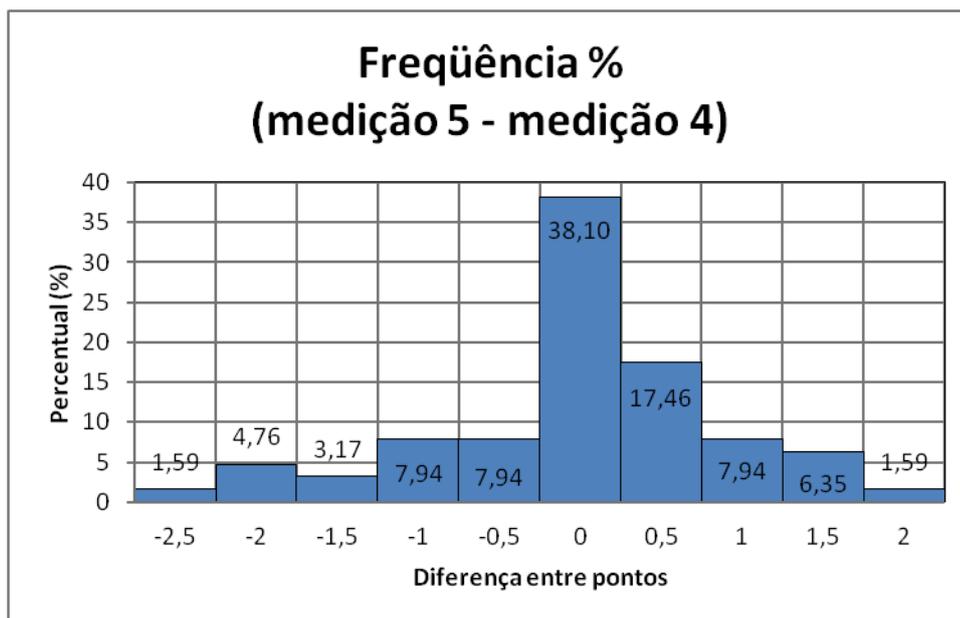


Gráfico 4 – Frequência (medição 5 – medição 4)

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

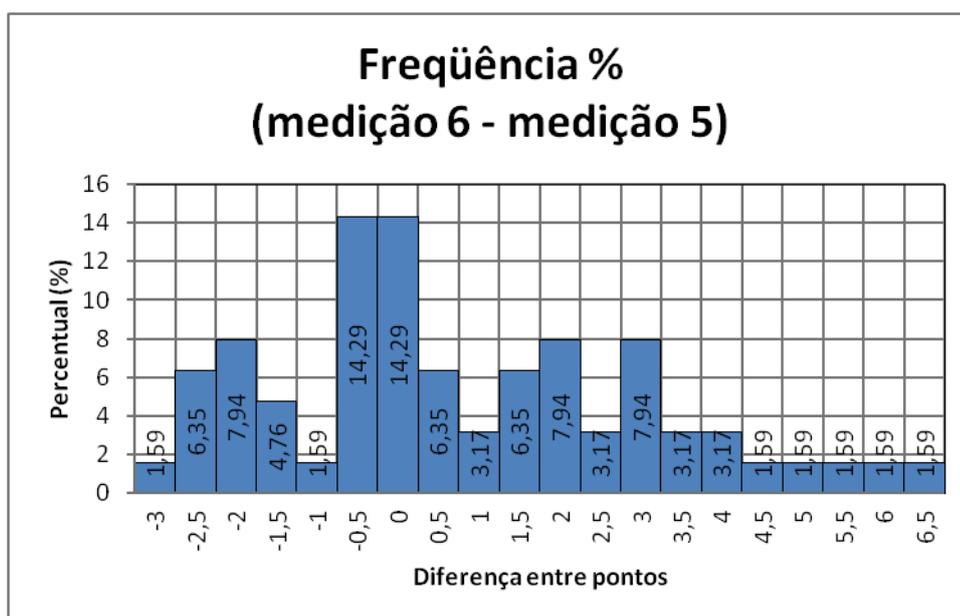


Gráfico 5 – Frequência (medição 6 – medição 5)

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Destaca-se nos gráficos o fato de boa parte deles possuírem um volume maior de dados nas faixas entre 0 e 1 comprovando o aumento da iluminância nas medições. Apenas nos gráficos que possuem a medição 3 nota-se, no primeiro caso, um aumento com volume maior de dados situados nas faixas entre 0,5 e 1,5. Já no segundo caso vê-se um volume maior de dados nas faixas entre 0,5 e -1,5,

representando um decréscimo de iluminância. Mas esses fatos, conforme fora dito anteriormente, é devido à interferência gerada pela iluminação no interior do prédio, no momento das medições.

Ainda, é interessante avaliar no final das 6510 horas de funcionamento das luminárias, o progresso das iluminâncias ponto a ponto. Para essa avaliação usam-se os mesmos critérios aplicados anteriormente, porém, para as medições 5 e 1 chegando ao gráfico 6.

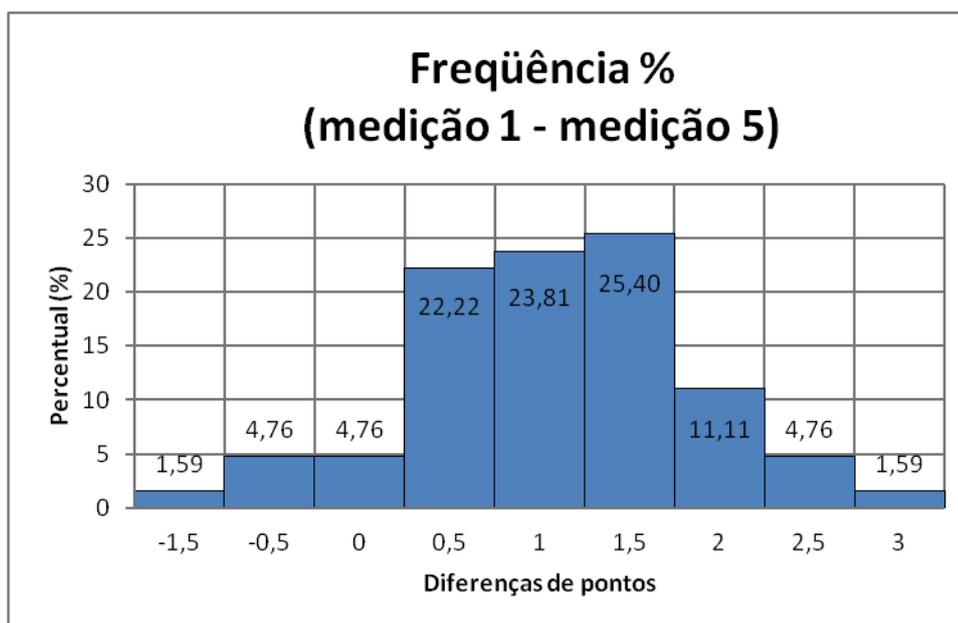


Gráfico 6 – Frequência (medição 1 – medição 5)
 Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Usando a primeira e a última medição em um ciclo de 6510 horas, chega ao histograma que mostra que as frequências de variação das medições nos pontos, tiveram um acréscimo acentuado na faixa de 0,5 lux a 1,5 lux. Com isso é possível verificar que o crescimento das médias de iluminância e fluxo luminoso estão de acordo com a variação dos valores medidos nos pontos.

5.3.4 Ponto 6

Devido à área iluminada e as influências externas: iluminância da lua, árvores e luz no interior do prédio; há uma diferença entre as iluminâncias. Para se ter um aspecto mais fiel o possível do real histórico de iluminação das luminárias, seria

necessária ter a menor influência externa e para tal as medições deveriam ter sido realizadas em laboratório.

Mas é possível analisar a evolução do ponto com menor influência externa e com maior fidelidade da iluminância da luminária, esse ponto seria o ponto 6 da luminária 2. Pode-se considerar esse ponto, pois as influências laterais são as luminárias LED e não luminárias Vapor de Sódio como nas luminárias 1 e 3, ou seja esse ponto estaria submetido apenas à iluminação de luminárias LED, além de ser um ponto situado exatamente abaixo da luminária 2, ou seja recebe o maior fluxo luminoso emitido por essa luminária. Na tabela 8, tem-se os valores das medições no ponto 6 ao longo do tempo.

Tabela 8 – Valores medidos no ponto 6

Medição 1	22 lux
Medição 2	22 lux
Medição 3	23,7 lux
Medição 4	22,1 lux
Medição 5	22 lux
Medição 6	25,2 lux

Fonte: Adaptado de arquivo da Copel.

Excluindo as medições 3 e 6 que, como dito anteriormente, um foi influenciado pela iluminação do interior do prédio e outro foi substituída luminária, vê-se que apenas a medição 4 teve uma diferença de 0,1 lux das outras. Assim tem-se que o ponto com menor influência externa praticamente não variou mantendo as medições em 22 lux.

Assim sendo chega-se aos seguintes fatos:

- Para as médias, a iluminância e o fluxo luminoso aumentaram da 1ª para 5ª medição na ordem de 11,55%;
- Para as medições ponto a ponto a maior frequência de variação de iluminância se situaram no aumento das mesmas entre 0,5 a 1,5 lux, na ordem de 71,43% dos pontos;
- Já para o ponto com menor influência externa a variação de iluminância foi nula se mantendo com 22 lux na 1ª e na 5ª medição.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foram apresentadas três considerações, onde, duas comparações e um histórico temporal. As comparações foram realizadas em dois âmbitos, um luminotécnico e outro elétrico. E o histórico temporal foi realizado no âmbito luminotécnico.

Para o luminotécnico foi realizado um paralelo das medições de campo com a norma NBR 5101:2012, porém como as medições foram realizadas anteriormente à atualização da norma, alguns pontos observados não são contemplados na nova norma, assim como alguns pontos contemplados não foram observados.

Ambas as luminárias contemplam os pontos da norma para sua respectiva instalação, ou seja, estão adequadas na realidade mostrada. A luminária LED mostrou níveis de iluminância superior, porém mostrou um zoneamento dos níveis superiores de iluminância para o lado oposto ao poste com luminária, criando uma região escura com níveis inferiores de iluminância próxima à instalação da mesma, caindo de uma iluminância máxima para uma mínima na ordem de 89%. Na versão de 1992 da NBR 5101 existia o critério da uniformidade entre pontos adjacentes distantes no máximo de 1,5 metros, porém na nova norma esse critério não mais existe. Graças a esse fato a luminária em questão, luminária importada de 125 W, se enquadra em todos os pré-requisitos para uma iluminação de uma via de tráfego leve/médio, mesmo sendo o projeto da luminária concebido para um braço com inclinação de 0° e a instalação estar utilizando um braço, de uso padrão pela concessionária em maior parte das instalações, com inclinação de 15°. Portanto mesmo a luminária, importada, atendendo a norma ela mantém uma condição de iluminância baixa na calçada, visto que os pontos medidos mais próximos da calçada estão distantes a um metro da mesma, trazendo uma condição insegura para o transeunte, não se adequando para um projeto que leve em conta o braço em questão, no caso o BR-2. Assim conclui-se que para o melhor aproveitamento da luminária LED em questão, nos critérios luminotécnicos, é inviável a substituição direta de uma luminária de Vapor de Sódio já instalada por uma luminária com características construtivas semelhantes à apresentada no trabalho, mantendo as mesmas características de instalação física.

As comparações elétricas se basearam em medições feitas nas luminárias LED, tanto importada como nacional. Todas as medições responderam dentro de

especificações internacionais, pois existe um vazio nas normas nacionais referente aos critérios elétricos adotados no trabalho. Conclui-se assim que os *drivers* das respectivas luminárias possuem filtros compatíveis com parâmetros internacionais, filtros esses responsáveis pela compensação de harmônicas e de fator de potência.

Para o estudo do histórico tem-se um aumento da iluminância média no tempo, porém se visto no ponto de menor interferência de outras fontes de iluminância externa as medições se mantiveram constante. Conclui-se que outros fatores externos não quantificados, além dos citados, estiveram presentes nas medições, mascarando algumas medidas. Mas mesmo assim a instalação em um contexto geral se apresentou eficiente no tempo, no quesito de iluminância, salvo o fato de uma luminária ter apresentado problemas no funcionamento e ter sido substituída.

No geral têm-se as seguintes conclusões:

- Para realizar uma implantação de um sistema de luminárias LED, de iluminação pública, não basta apenas substituir diretamente uma tecnologia por outra, deve-se avaliar a instalação física e verificar as características construtivas da luminária a fim de aproveitar ao máximo o desempenho luminoso do mesmo distribuído na pista como um todo.
- Sistemas de luminárias geram THDi, pelo fato do *driver* ser um sistema eletrônico. É necessário ser criterioso na escolha de uma luminária, pois em um conjunto grande de luminárias a THDi pode vir a trazer consequências na rede elétrica.
- Para levantamento de histórico luminoso é necessário realizar em laboratório, pois condições necessárias para medição devem ser seguidas a rigor, porém pode verificar as iluminâncias, a fim de verificar a permanência do iluminamento.
- No que tange a normatização, há um espaço vago para luminárias LED de iluminação pública, fazendo com que fabricantes e projetistas se voltem para critérios internacionais mais generalistas e voltados para uma realidade às vezes diferente da realidade dos sistemas de iluminação pública no Brasil ou até use critérios para iluminação de interiores.

7 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Percebe-se com o estudo realizado que alguns pontos não foram suficientemente expandidos, dentre eles pode-se citar:

- Avaliação da luminária importada com um braço inclinado em 0°;
- Avaliação da instalação com um maior número de pontos medidos e utilizando os critérios da NBR 5101:2012, ou seja, captação de iluminância e luminância;
- Capturar e avaliar toda a faixa de distorção harmônica das luminárias em condições de tempo ligado e temperatura;
- Realizar um estudo histórico em laboratório, forçar o controle do *driver*, em varias situações, para verificar sua atuação;
- Estudo de itens necessário para normatização de luminárias LED para iluminação pública.

Alguns pontos remetem às luminárias estudadas, como a marca e o modelo não foram citados fica difícil estudar critérios que as contenha. Assim os três primeiros pontos, que devem utilizar as citadas, se tornam de difícil análise, principalmente o primeiro item que remete diretamente à luminária importada. Porém para os outros itens pode ser utilizada uma luminária LED qualquer para realização do estudo.

Para o segundo ponto é interessante avaliar a resposta de uma luminária LED com os critérios da norma NBR 5101 atualizada, e buscar um fabricante que permita sua divulgação para fazer um paralelo entre os valores medidos e os valores de catálogo do fabricante.

O terceiro e quarto ponto podem ser realizados em conjunto, pois os estudos devem ser realizados em laboratório, é possível e interessante estudar a evolução do fluxo luminoso no tempo e também estudar o controle do *driver* ao longo do tempo, verificando se a vida útil declarada pelo fabricante refere-se a todo conjunto (*driver* e LED) ou apenas ao LED de potência. É interessante analisar esse contexto, pois, no trabalho atual uma das luminárias apresentou problemas de funcionamento com pouco mais de 6000 horas, visto que o fabricante atribui 50000 horas de vida útil. Se analisado a amostra tem-se que 1/3 apresentou problemas, ou seja, 33,33% apresentou problemas no funcionamento. Além do mais na media houve um crescimento de níveis de iluminação.

Outro ponto interessante é o estudo de pontos para normatização das luminárias LED para iluminação pública, pois no presente trabalho surgiu uma dificuldade de normas, nacionais, referentes às luminárias LED. Nesse estudo das normas fica a determinação de limites mínimos a serem preenchidos pelos fabricantes de luminárias. Esses limites, assim como as luminárias à Vapor de Sódio e de mercúrio, são de critérios elétricos, luminotécnicos, eficiência energética, depreciação luminosa, vida útil, montagem física dentre outras características.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Pedro S. Requisitos de Acionamento e Projetos de Drivers parLED's integrados a luminárias destinadas à iluminação pública. **ILUMEXPO 2013**, Juiz de Fora, jun 2013. Disponível em:

<http://www.rpmbrasil.com.br/ilumexpo2013/Pedro_Santos_Almeida.pdf> Acesso em: agosto de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15688** - Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 5101** – Iluminação pública. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 5101** – Iluminação pública. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5434** - Redes de distribuição aérea urbana de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 13593** - Reator e ignitor para lâmpada de vapor de sódio a alta pressão — Especificação e ensaios. Rio de Janeiro, 2011.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **Resolução Normativa da ANEEL nº. 456**, de 29 de novembro de 2000. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf> > Acesso em: março de 2013.

_____. **Resolução Normativa da ANEEL nº. 414**, de 09 de setembro de 2010. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: abril de 2013.

_____. **Resolução Normativa da ANEEL nº. 479**, de 03 de abril de 2012.

Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: abril de 2013.

CANDURA, Paulo. **Normas brasileiras de Iluminação pública**, 2005. Disponível em:

<<http://www.eletronbras.com/elb/services/DocumentManagement/FILEDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7BBFA2F5EB-7B26-48D5-8CB4BD8652B49A13%7D&ServiceInstUID=%7BAE43DA-69AD-4278-B9FC41031DD07B52%7D>>. Acesso em: agosto de 2013.

CLDC, 2005 - City Lights Design Competition – ***A Brief History of Street Lighting in New York City***. Disponível em: <<http://www.nyc.gov>>. Acesso em: abril de 2013.

CONCHA, Patricio. **Apuntes de Máquinas Eléctricas. Distribución de la Energía Eléctrica**. Cap. 7. Disponível em <http://patricioconcha.ubb.cl/eLEDuc/public_www/index.html>. Acesso em: abril de 2013.

COPEL. **Manual de Iluminação Pública**. Paraná, 2012.

COPEL. **Norma Técnica COPEL nº 810044 – Braços de Iluminação Pública**. 2009. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/53FB6DE69DDFD5B30325758A006FE37F/\\$FILE/ntc810044.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/53FB6DE69DDFD5B30325758A006FE37F/$FILE/ntc810044.pdf)> Acesso em: junho 2013.

COPEL. **Norma Técnica COPEL nº 810037 – Luminária fechada sem equipamento**. 2011. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/E201A5D6D0FE16AC032576690042FB66/\\$FILE/ntc810037.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/E201A5D6D0FE16AC032576690042FB66/$FILE/ntc810037.pdf)> Acesso em: junho 2013.

COPEL. **Norma Técnica COPEL nº 841005 – Desenho de redes de distribuição**. 2003. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/43370F08D90F719D032574FD006D105D/\\$FILE/NTC%20841005.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/43370F08D90F719D032574FD006D105D/$FILE/NTC%20841005.pdf)> Acesso em: junho 2013.

COPEL. **Norma Técnica COPEL nº 813951/53 – Braço de iluminação pública**. 2011. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/CD77719D3C986CB6032572ED004D8B8C/\\$FILE/ntc813951.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/CD77719D3C986CB6032572ED004D8B8C/$FILE/ntc813951.pdf)> Acesso em: junho 2013.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica**. 4. Ed. Porto Alegre: EDIPUCS. 2006.

ENERGY STAR®. Program Requirements for Integral LED Lamps. 2012. Disponível em: <http://www.energystar.gov/ia/partners/product_specs/program_reqs/Integral_LED_Lamps_Program_Requirements.pdf> Acesso em: junho 2013.

GIANELLI B. F. Mestre UNESP; SILVEIRA M. C. F., Mestranda UNESP; THAUMATURGO L. R. Y., Doutoranda UNESP; ASTORGA O. A. M., Livre Docente UNESP; FILHO M B M, Sisvoo, **O Emprego de Tecnologia LED na Iluminação**

Pública – Seus Impactos na Qualidade de Energia e no Meio Ambiente, 2009.

Disponível em:

<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Artigos/o_emprego_de_tecnologia_LED_na_iluminacao_p%C3%BAblica_seus_impactos_na_qualidade_de_energia_e_no_meio_ambiente.pdf> Acesso em 06/04/2013.

GRUPO LLEDÓ. **LEDs by LLEDó**: catálogo. Móstles-Madrid, 2010. 61p.

IEC 61000-3-2: "*Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 2: Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment input current < 16A per phase)*". *International Electrotechnical Commission, 3ª edition 2005.*

LUMICENTER. **Informações Técnicas. Luminotécnica – Conceitos Básicos.**

Paraná: catálogo, [2012]. 9 p.

MENDONÇA, Luciana. **Desenvolvimento tecnológico em iluminação pública.**

Revista O Setor Elétrico, São Paulo, Ano 7, Ed. 74, p. 64-71, mar.2012.

MOREIRA, Vinicius de Araujo, **Iluminação Elétrica.** Ed. Única. Rio de Janeiro:

Editora Edgard Blucher. 1999.

NOVICKI; Martinez, JACKSON; Rodrigo, **LEDS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA,**

2008. Disponível em:

<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Pesquisa/LEDs_para_iluminacao_publica.pdf> Acesso em 15/03/2013.

OSRAM. **Manual do Curso Iluminação, Conceitos e Projetos.** Disponível em

<http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_&_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao,_Conceitos_e_Projetos/Manual_Luminotecnico_-_parte_01.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2013.

PHILIPS sense and simplicity. **LED na iluminação.** Disponível em

<<http://www.lighting.philips.com.br/lightcommunity/trends/LED/>>. Acesso em: 21/04/2012 às 18h39.

REVISTA O SETOR ELÉTRICO. **Sistemas de iluminação, Luminárias LED na iluminação pública: características técnicas e viabilidade econômica, Capítulo 5,** 2011. Disponível em:

<http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed76_fasc_iluminacao_cap5.pdf> Acesso em 05/03/2013.

RIBEIRO, Ana C. C.; ROSA, HELBERT C. P.; CORREA, Joana D. S.; SILVA, Arlete V. S., e-xacta, **O EMPREGO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**, 2012. Disponível em:
<<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/725/450>> Acesso em 05/03/2013.

TECHNOSOL. **Luminária LED - Alto Desempenho**. Disponível em
<http://www.technosol.ind.br/index_arquivos/postepublico.htm >. Acesso em:
20/04/2012 às 20h11.

TSAO, J. Y. **Solid State Lighting: Lamps, Chips and Materials for Tomorrow**.
IEEE Circuits&Devices, vol. 20, n.3, p. 28 – 37, 2004.