

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME PULZATTO MAZETTO

**ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENTRE LÂMPADAS A
VAPOR DE SÓDIO EM ALTA PRESSÃO E LED**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

GUILHERME PULZATTO MAZETTO

**ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENTRE LÂMPADAS A
VAPOR DE SÓDIO EM ALTA PRESSÃO E LED**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Evandro Luis Volpato

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENTRE LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO
EM ALTA PRESSÃO E LED**

por
Guilherme Pulzatto Mazetto

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 18h40min do dia 20 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Luiz Becher
(UTFPR)

Prof. Paulo Henrique Rodrigues
(UTFPR)

Prof. Esp. Evandro Luis Volpato
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

MAZETTO, Guilherme. **Estudo comparativo de eficiência entre lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão e LED**. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2017.

Este trabalho foi desenvolvido tendo como objeto de estudo a iluminação pública do município de Peabiru, localizado no estado do Paraná. Teve o intuito de comparar e avaliar a eficiência luminosa das lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e do LED. As avaliações seguiram o método descrito na NBR 5101:1992. Uma vez que as características foram comparadas, fez-se o cálculo do tempo de retorno do investimento realizado pelo município na substituição da iluminação pública antiga de trechos da cidade pelo LED. Os resultados obtidos mostram que o LED apresentou maior iluminância e mais ofuscamento do que a lâmpada a vapor de sódio. Entretanto, esta apresentou maior fator de uniformidade. Ambas as lâmpadas atenderam os requisitos mínimos estabelecidos pela norma. O cálculo do payback demonstrou que o investimento realizado não será pago ou trará lucro, uma vez que este é maior do que a vida mediana do LED.

Palavras - chave: Lâmpada a vapor de sódio em alta pressão, LED, Payback.

ABSTRACT

MAZETTO, Guilherme. **Comparative efficiency study between high pressure sodium-vapor lamps and LED**. 2017. 42 p. Final Paper (Bachelor of Civil Engineering). Federal Technological University of Paraná - Campo Mourão Campus. Campo Mourão, 2017.

This paper was developed having as object of study the street lighting of Peabiru, placed on Paraná. It aims to compare and evaluate the luminous efficiency of high pressure sodium-vapor lamps and LED's. The evaluations followed the method described in the NBR 5101:1992. Once the technical features were compared, it was calculated the payback of the investment made by Peabiru's town hall in the substitution of the old lighting system by LED. The results shown that LED has a greater illuminance and dazzle compared to the high pressure sodium-vapor lamp. However, the high pressure sodium-vapor lamps presented greater uniformity factor. Both lamps presented results according to the minimum requirements established by the NBR 5101:1992. The payback shows that the investment done will not be payed or bring any profit, once it is greater than the LED's médium life.

Keywords: high pressure sodium-vapor lamps, LED, Payback.

Lista de Figuras

Figura 1 – Fluxo luminoso.....	14
Figura 2 – Eficiência iluminosa.....	15
Figura 3 – Iluminância.....	15
Figura 4 – Temperatura de cor.....	16
Figura 5 – Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRC's.....	16
Figura 6 – Modelo de luxímetro usado nas medições.....	18
Figura 7 – Situação do trecho de lâmpada a vapor de sódio.....	27
Figura 8 – Situação do trecho de LED.....	28
Figura 9 – Malha de medições.....	29
Figura 10 – Limites fotométricos para os trechos a serem estudados.....	31
Figura 11 – Local das medições das lâmpadas a vapor de sódio.....	32
Figura 12 – Local das medições das lâmpadas de LED.....	34
Figura 13 – Tarifa cobrada para subgrupo B4b.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 DEFINIÇÃO DOS TERMOS LUMINOTÉCNICOS	14
4.2.1 Luxímetro	17
4.3 TECNOLOGIAS APLICÁVEIS EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	18
4.3.1 Fontes Luminosas	18
4.3.2 Reatores.....	19
4.3.3 Circuitos de comando.....	20
4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS	21
4.5 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TRÁFEGO.....	22
4.5.1 Volume de tráfego	22
4.6 CARACTERÍSTICAS LUMINOTÉCNICAS.....	22
4.7 REQUISITOS MÍNIMOS.....	23
4.8 OFUSCAMENTO	24
4.9 PAYBACK (TEMPO DE RETORNO)	24
4.9.1 Payback Descontado	24
4.9.2 Taxa selic	25
5 METODOLOGIA	26
5.1 MEDIÇÕES	26
5.2 LOCAL ESCOLHIDO	26
5.2.1 Lâmpadas a vapor de sódio	26

5.2.2 Lâmpadas LED.....	27
5.3 MALHA PARA VERIFICAÇÃO DETALHADA DE ILUMINÂNCIA.....	28
5.4 FATOR DE UNIFORMIDADE DE ILUMINÂNCIA SIMPLES	30
5.5 NÍVEIS MÍNIMOS.....	30
5.6 CÁLCULO DO PAYBACK	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
6.1 LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO	32
6.1.1 Iluminância média	32
6.1.2 Fator de uniformidade de iluminância simples	33
6.2 LÂMPADAS LED.....	34
6.2.1 Iluminância média	34
6.2.2 Fator de uniformidade de iluminância simples	35
6.3 TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO.....	36
6.3.1 Valor final do investimento	36
6.3.2 Valor presente (lucro).....	36
6.3.3 Tempo de retorno.....	37
6.4 VIDA MÉDIA DO LED	38
7 CONCLUSÕES	39
8 REFERÊNCIAS.....	40
ANEXOS	42

1 INTRODUÇÃO

A luz é algo importante para a humanidade. Desde a descoberta do fogo, ela é utilizada para afastar animais durante a noite, confortar o homem dos seus medos e abrir caminhos no escuro. Ou seja, lhe deu uma chance a mais de sobrevivência.

Define-se LUZ como a energia radiante que é capaz de excitar a retina do olho humano e produzir, por consequência uma sensação visual, desencadeando o processo visual. A compreensão completa da luz implica não somente o conhecimento das leis da física sobre sua natureza como também as respostas do ser humano perante esse fenômeno. (GODOY, Plinio, 2009, p. 19).

Atualmente a luz continua sendo essencial para as pessoas, visto que uma região mal iluminada apresenta perigo e transmite a sensação de falta de segurança. Durante a noite, também, o sentido de localização é alterado, sendo assim indispensável tanto para os condutores de automóveis quanto para pedestres que se tenham vias devidamente iluminadas.

Dessa forma, é importante o correto planejamento de como será executada a iluminação pública da cidade. Um projeto adequado proporciona a devida quantidade de luz necessária para circulação e tráfego ou até o embelezamento da arquitetura urbana, juntamente com a economia de energia. Em alguns casos, observa-se a falta de iluminação adequada. Em outros, a iluminação excessiva, causadora de ofuscamento. O ofuscamento, de acordo com Godoy:

[...] é, em resumo, a utilização descontrolada da luz em relação às pessoas e seus olhos, este podendo ser classificado como “desconfortante”, ou seja, aquele que cria desconforto nas pessoas pela incidência de luz no plano de visão, até “velador”, aquela luz que, incidindo nos olhos, cria uma cegueira temporária, impedindo que as pessoas consigam ver os arredores. (GODOY; Plinio, 2009, p. 37).

Tentando buscar uma maior otimização energética, lâmpadas com diferentes tecnologias têm sido criadas. Mais comuns, as de vapor de sódio em alta pressão, vapor de mercúrio em alta pressão, fluorescente de indução magnética e a lâmpada à multivapores metálicos, estão sendo comparadas ao LED (diodo emissor de luz), tecnologia relativamente nova. Segundo o Manual de Iluminação Pública da COPEL (2012, p. 20), “Diferente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que emitem

luz através da queima de um filamento ou pela ionização de alguns gases, o LED produz sua luminosidade [...] através da liberação de fótons [...]”. Tal liberação é ocasionada pela passagem de uma corrente elétrica pelo componente.

Um dos problemas do LED comercializado no Brasil é que os empreendimentos cadastrados como micro ou pequena empresa podem vender lâmpadas de LED sem certificação até 13 de Setembro de 2017 (Stella, 2016). Portanto, o risco de se comprar um produto que não corresponda à expectativa de uso é grande. Quanto à sua utilização, o Manual de Iluminação Pública da COPEL recomenda certos cuidados, que serão abordados na sequência deste trabalho, de modo a precaver de problemas na rede elétrica devido à possível baixa qualidade do produto.

Para tanto, neste trabalho serão realizadas comparações entre dois sistemas de iluminação pública: lâmpadas a vapor de sódio e LED. Em posse da análise feita em campo, na cidade de Peabiru-PR, verificar-se-á qual dos dois sistemas se apresenta mais eficiente. Em seguida, será calculado o tempo de retorno do investimento realizado na implantação do sistema LED na cidade, verificando se é justificável a substituição de um sistema pelo outro.

Foi escolhida a cidade de Peabiru-PR para o estudo deste trabalho uma vez que a mesma apresenta os dois tipos de iluminação pública visados para a comparação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem por objetivo fazer um estudo comparativo entre lâmpada a vapor de sódio e LED. A partir deste estudo e do cálculo de Payback Descontado, espera-se avaliar a viabilidade da implantação do LED no sistema de iluminação pública.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a tecnologia de iluminação mais eficiente;
- Verificar a viabilidade econômico/financeira da substituição das lâmpadas utilizadas na iluminação pública;
- Verificar se os níveis de iluminância estão de acordo com as normas técnicas;
- Verificar se a eficiência luminosa divulgada pelo fabricante é constatada na prática.

3 JUSTIFICATIVA

Os últimos anos têm sido de instabilidade na conta de energia do brasileiro. Aumentos significativos, até de forma incorreta, foram estabelecidos, fazendo com que qualquer economia seja bem vinda. Sendo assim, é colocado em pauta quais os pontos a serem otimizados, objetivando uma redução de gastos.

A mais nova tecnologia em termos de iluminação é o LED (diodo emissor de luz). As expectativas em cima deste são muitas, posto que metrópoles como Paris, Londres, Nova Iorque, Tóquio e outras mais já se utilizam deste sistema em sua iluminação pública.

Seattle, no noroeste dos Estados Unidos, está investindo US\$ 6 milhões (seis milhões de dólares) em fundos federais para substituir todas as suas 40.000 lâmpadas comuns por LED. A pequena Bangor, no Estado de Maine, anunciou que vai implantar LED nos postes e economizar por ano mais de US\$ 30.000 (trinta mil dólares). (SHULZ, Willy, 2012, p. 19).

No Brasil, essa tecnologia já foi utilizada em Florianópolis – SC, por exemplo. Em 2012, como parte de um programa de comemoração do 286º aniversário da cidade, 366 luminárias foram instaladas na ciclovia localizada na Avenida Beira Mar Norte. Essa ação, segundo divulgado pela imprensa, trouxe uma redução de gastos com energia elétrica de 50% comparada com a iluminação precedente, de lâmpadas a multivapores metálicos (GE REPORTS BRASIL, 2012).

Devido à sua alta vida média de 50000 horas, o LED ganha com folga se comparado com a lâmpada a vapor sódio. Esta apresenta vida média girando em torno de 18000 a 32000 horas. (Manual de Iluminação Pública COPEL, 2012).

O LED apresenta vantagem também quando se diz respeito à poluição, pois é livre de materiais tóxicos e são 100% recicláveis (Eletro Energia, 2016). Apresenta maior IRC (Índice de Reprodução de Cores), que é a capacidade da fonte luminosa de reproduzir com fidelidade as cores reais de um objeto, com relação à lâmpada de sódio de alta pressão: até 80% para o LED e 22% para a de vapor de sódio. A

temperatura de cor do LED também é maior, com índices maiores do que 5000K (cor fria), atraindo menos insetos (Manual de Iluminação Pública COPEL, 2012).

O ponto desfavorável do LED é que ele apresenta menor eficiência (cerca de 80lm/W) quando comparado às lâmpadas de vapor de sódio, cuja eficiência varia de 80 a 150lm/W (Manual de Iluminação Pública COPEL, 2012). Sendo assim, se demonstra necessária a realização de estudos comparativos antes de que se diga que uma tecnologia é melhor do que a outra.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 DEFINIÇÃO DOS TERMOS LUMINOTÉCNICOS

Visando um melhor entendimento deste trabalho, serão apresentados alguns conceitos básicos necessários para uma completa compreensão do tema que está sendo abordado. Termos técnicos serão detalhados a seguir, retirados todos do Manual De Iluminação Pública da COPEL (2012).

- Fluxo Luminoso: O fluxo luminoso pode ser entendido como a quantidade de energia radiante em todas as direções, emitida por unidade de tempo, e avaliada de acordo com a sensação luminosa produzida. A unidade de medida é o lúmen (lm).



Figura 1 – Fluxo luminoso.

Fonte: Manual Luminotécnico Prático OSRAM (p. 3).

- Eficiência Luminosa: A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela potência elétrica absorvida, sendo a unidade de medida o lúmen por Watt (lm/W). Este conceito é utilizado para comparar a diferentes fontes luminosas.

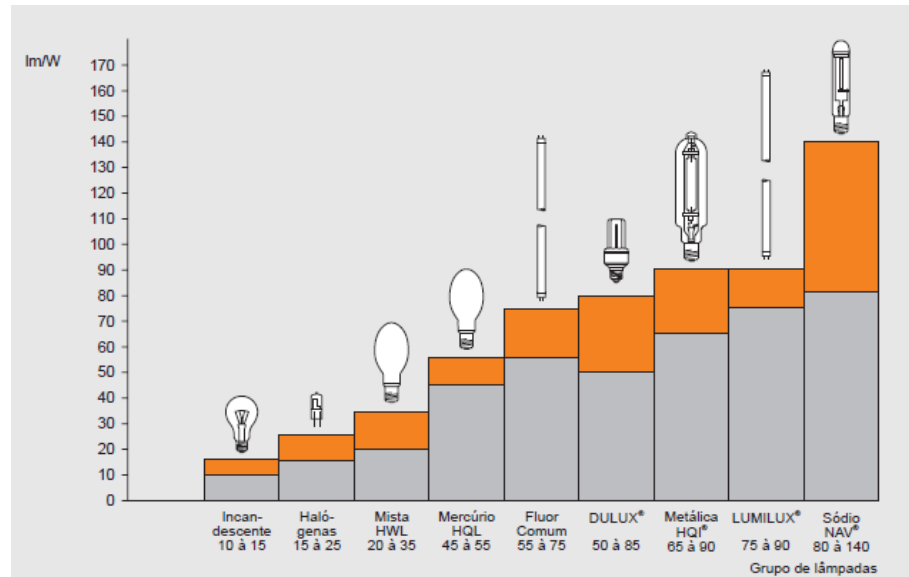


Figura 2 – Eficiência iluminosa.

Fonte: Manual Luminotécnico Prático OSRAM (p. 5).

- Iluminamento ou Iluminância: Iluminância é a densidade de fluxo luminoso recebido por uma superfície. Por definição a unidade de medida é o lúmen por metro ao quadrado (lm/m^2), que pode ser denominada também de lux. A verificação deste parâmetro é fundamental para comprovar a qualidade da iluminação de um determinado local.

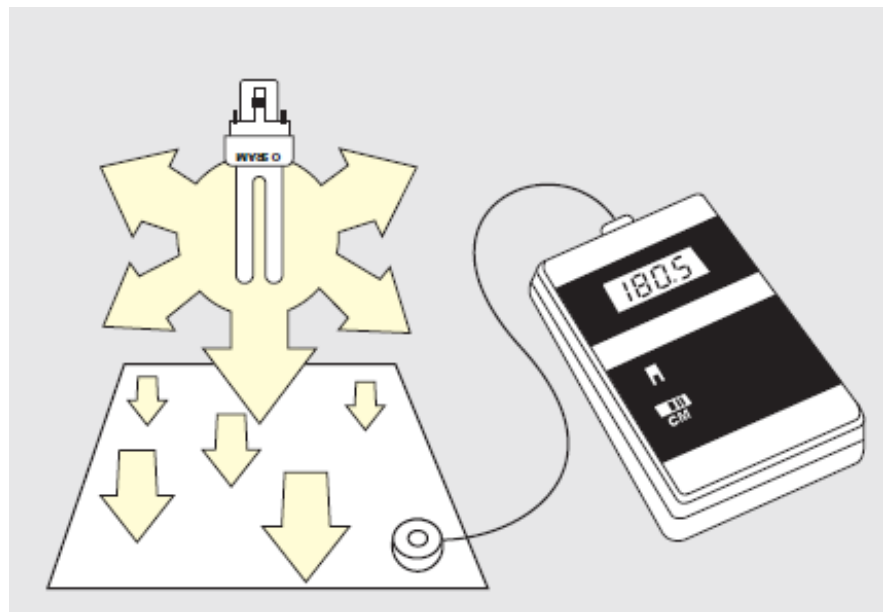


Figura 3 – Iluminância.

Fonte: Manual Luminotécnico Prático OSRAM (p. 4).

- Temperatura de Cor: Este parâmetro não está relacionado com o calor emitido por uma lâmpada, mas pela sensação de conforto que a mesma proporciona em um determinado ambiente. Quanto mais alto for o valor da temperatura de cor, mais branca será a luz emitida, denominada comumente de “luz fria” e que é utilizada, por exemplo, em ambientes de trabalho, pois induz maior atividade ao ser humano. No entanto, caso seja baixa a temperatura de cor, a luz será mais amarelada, proporcionando uma maior sensação de conforto e relaxamento, chamada popularmente de “luz quente”, utilizada preferencialmente em

salas de estar ou quartos. As fontes luminosas artificiais podem variar entre 2000K (muito quente) até mais de 10000K (muito fria).



Temperatura de cor (K)	Aparência	
<3300	Quente (branco alaranjado)	
De 3300 a 5000	Intermediária (branco)	
>5000	Fria (branco azulado)	

Figura 4 – Temperatura de cor.

Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL (2012, p. 5).

- Índice de Reprodução de Cor: O índice de reprodução de cor (IRC) de uma fonte luminosa é a medida de cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial. Uma fonte com IRC 100% é a que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade. Na Figura 1, é apresentado o mesmo local sob as mesmas condições, porém iluminado com fontes luminosas diferentes. À esquerda a iluminação é feita por LED's (light emitting diode ou diodo emissor de luz) de alto IRC, e à direita com lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão com baixo IRC. Nota-se que na segunda situação a definição das cores é prejudicada.



Figura 5 – Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRC's.

Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL (2012, p. 6).

- Vida Mediana: Tempo após o qual 50% das lâmpadas de uma determinada amostragem, submetidas a um ensaio de vida, deixam de funcionar.
- Distorção Harmônica Total: Entende-se por distorção harmônica total (THD – Total Harmonic Distortion), a relação entre a soma dos valores eficazes de todas as componentes harmônicas de uma determinada forma de onda pelo valor eficaz de sua componente fundamental, expresso normalmente em termos percentuais. Para este manual, define-se THDi como a distorção harmônica da corrente absorvida por uma carga não linear, em geral equipamentos eletroeletrônicos, em

relação à onda senoidal pura com frequência de 60Hz, fornecida pela concessionária. Com relativa intensidade, uma corrente com elevado THDi pode provocar distorções nas formas de onda da corrente e tensão do sistema elétrico, reduzindo a qualidade da energia entregue e prejudicando o funcionamento de outros equipamentos conectados à mesma rede.

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^n I_j^2}}{I_1} \Rightarrow THDi(\%) = 100 * THDi$$

Equação 1 – Equação para cálculo da distorção harmônica total da corrente, expressa em porcentagem.

Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL (2012, p. 7).

4.2 FOTOMETRIA

Para Rodrigues (2014, p.1) “A fotometria é o ramo da óptica que se preocupa em medir a luz, em termos de como seu brilho é percebido pelo olho humano.”.

Dentre os aparelhos existentes para medição da luz temos o luxímetro, utilizado nas medições desse trabalho e que, de acordo com uma Especificação Técnica da COPEL (2010), é “[...] um equipamento destinado a efetuar medições de iluminância em ambientes com iluminação natural ou artificial, em lux – (lx) ou lúmens por metro quadrado – (lm/m²).”.

4.2.1 Luxímetro

“Um exemplo de fotômetro, calibrado em lux, utilizado para medir os níveis de iluminância de interiores.” (RODRIGUES; PIERRE, 2002).

O modelo de luxímetro usado para realizar as medições neste trabalho é o LD – 510, da ICEL, mostrado na figura 6 abaixo.



Figura 6 – Modelo de luxímetro usado nas medições.

Fonte: <http://www.alpax.com.br/produtos/equipamentos/luximetro/luximetro-digital-portatil-ld510-icel>.

4.3 TECNOLOGIAS APLICÁVEIS EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Serão apresentados a seguir alguns dos principais equipamentos utilizados em sistemas de iluminação pública.

4.3.1 Fontes Luminosas

De acordo com o Manual de Iluminação Pública da COPEL (2012), serão apresentadas algumas das tecnologias, utilizadas em iluminação pública, de iluminação artificial.

- **Lâmpada Incandescente:** Comercializadas desde 1907, a lâmpada incandescente é a mais popular dentre todas as tecnologias de fontes luminosas disponíveis. A produção da luz ocorre pelo aquecimento de um filamento, normalmente fabricado em tungstênio, por corrente elétrica. Para que não haja a queima precoce do filamento, o mesmo é montado dentro de um bulbo com gases inertes, como o argônio e o nitrogênio.
- **Lâmpada a Vapor de Mercúrio em Alta Pressão:** Na partida desta lâmpada há a ionização de um gás inerte, em geral o argônio, provocando um aquecimento no bulbo fazendo evaporar o mercúrio e produzindo uma luz amarelada pela migração de elétrons. Na sequência há a ionização do mercúrio e as colisões entre os elétrons livres deste com o argônio produz uma luz azulada, e a composição das duas é o resultado obtido desta lâmpada.
- **Lâmpada a Vapor de Sódio em Alta Pressão:** A lâmpada a vapor de sódio em alta pressão, comercializada a partir de 1955, tem princípio de funcionamento muito similar a vapor de mercúrio, tendo como diferença básica a adição do sódio, e que devido suas características físicas exige que a partida seja feita mediante a um pico de tensão da ordem de alguns quilo Volts com duração da ordem de micro segundos.

- Lâmpada a Multivapores Metálicos: Esta lâmpada, comercializada a partir de 1964, é uma evolução da tecnologia a vapor de mercúrio, sendo fisicamente semelhante a vapor de sódio. O princípio é o mesmo, porém a adição de iodetos metálicos, conferiu à fonte luminosa maior eficiência luminosa e IRC. A luz produzida é extremamente brilhante, realçando e valorizando espaços; por estes motivos esta lâmpada é empregada em sistemas de iluminação pública em locais em que se busca também o embelezamento urbano.
- Lâmpada Fluorescente de Indução Magnética: Esta tecnologia foi desenvolvida recentemente e o princípio básico de funcionamento é a excitação do mercúrio e dos gases nobres em seu interior através da aplicação de um campo magnético externo oscilante de altíssima frequência, da ordem de 250kHz.
- LED: Diferentemente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que emitem luz através da queima de um filamento ou pela ionização de alguns gases específicos, o LED produz sua luminosidade, basicamente, através da liberação de fótons provocada quando uma corrente elétrica flui através deste componente. Possui vida média de cerca de 50000 horas, eficiência de cerca de 80lm/W, elevado IRC e flexibilidade na escolha das cores.

A tabela 1 a seguir apresenta algumas características específicas de algumas das lâmpadas descritas acima.

Tabela 1 – Comparativo entre lâmpadas.

Tecnologia	Temperatura de cor (K)	IRC (%)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida mediana (horas)
Incandescente	2700	100	10-20	1000
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9000-15000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18000-32000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8000-12000
Indução	4000	80-90	80-110	60000

Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL (2012, p. 21).

4.3.2 Reatores

Antes de se entender o que é um reator, é necessária a compreensão de como são ligadas as lâmpadas.

Lâmpadas incandescentes trabalham como uma resistência. Sendo assim, funcionam normalmente a partir do momento em que são conectadas na rede elétrica. Já as que produzem luz a partir da excitação de gases têm funcionamento diferente. No momento inicial, antes do acionamento, a carga da lâmpada possui uma elevada

impedância. Mas logo após a ionização dos gases essa impedância cai para valores baixíssimos, o que faz com que a lâmpada se comporte como um curto circuito.

No caso das lâmpadas a vapor de sódio, objetos de estudo deste trabalho, é necessário aplicar uma tensão elevada, por um curto período de tempo da ordem de micro segundos, para se vencer esta alta impedância inicial da partida. Tal tensão, que pode chegar a alguns quilo volts, é comumente aplicada utilizando-se de um componente chamado ignitor.

Logo após o acendimento da lâmpada de descarga a impedância cai a valores muito baixos e, utilizando-se de um reator, consegue-se fazer com que a corrente de alimentação se torne limitada.

4.3.3 Circuitos de comando

Os circuitos de comando se fazem necessários para a ligação das luminárias pertencentes ao sistema de iluminação pública. Inicialmente era uma pessoa, designada para tal tarefa, que fazia a ligação de cada luminária, manualmente. Entretanto, com o crescimento das cidades e do sistema de iluminação, se tornou impraticável continuar a realizar o acionamento dessa forma.

Para isso, foram desenvolvidos alguns equipamentos destinados a realizar automaticamente a comutação da carga. Como a iluminação pública é destinada a prover luz no período noturno, os mais empregados são os sensores baseados em nível de iluminância. Estes se chamam relés fotoelétricos. Entretanto, ainda há aqueles baseados em movimento e horários pré-determinados.

De acordo com o Manual de Iluminação Pública da COPEL (2012):

- Os relés fotoelétricos podem ter princípios de funcionamento denominados térmicos, magnéticos e eletrônicos. O acionamento por princípio térmico se dá através da deformação de lâminas bimetalicas, devido à passagem de uma corrente elétrica, que só ocorre quando o nível de iluminância atinge valor suficiente para sensibilizar o sensor fotoelétrico. No relé magnético é utilizada uma chave eletromecânica, que alterna a posição de seus pólos através da força gerada por um campo magnético induzido por uma corrente elétrica fluindo em sua bobina; esta corrente também é originada pela sensibilização da célula fotoelétrica. Relés com acionamento eletrônico também utilizam chaves eletromecânicas, porém a corrente de acionamento das chaves provém de circuitos eletrônicos que, a partir das alterações da fotocélula, podem ser projetados de maneira a prover temporizações, proteções de sobrecorrentes e sobretensões ou estresses na própria chave, conferindo maior durabilidade ao equipamento.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS

De acordo com o Manual De Iluminação Pública da COPEL (2012), as vias são classificadas em:

a) Vias Urbanas: Aquela 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.

I. Via de Trânsito Rápido: Avenidas e ruas asfaltadas, exclusivas para tráfego motorizado, onde não há predominância de construções. Baixo trânsito de pedestres e alto trânsito de veículos. Aquela 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.

II. Via Arterial: Via exclusiva para tráfego motorizado, que se caracteriza 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.

III. 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.

IV. Via Local: Via que permite acesso às edificações e a outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno volume de tráfego. Aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas, com velocidade máxima de 30 km/h.

V. 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.

b) Vias Rurais: Via mais conhecida como estradas de rodagem, que nem sempre apresenta, exclusivamente, tráfego motorizado.

I. Rodovias: Via para tráfego motorizado, pavimentada, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos com as seguintes velocidades máximas: 110km/h para automóveis, camionetas e motocicletas; 90km/h para ônibus e micro-ônibus; 80km/h para os demais veículos.

II. Estradas: Vias para tráfego motorizado, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos. Trata-se de via rural não pavimentada, com velocidade máxima de 60 km/h. Vias de áreas de pedestres são vias ou conjunto de vias destinadas à circulação prioritária de pedestres.

4.5 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TRÁFEGO

Segundo o Manual de Iluminação Pública da COPEL (2012), “O tipo do tráfego também deve ser levado em consideração, sendo classificados como: sem, leve, médio ou intenso tanto para pedestres quanto para veículos.” A tabela 2 a seguir apresenta as particularidades dos diferentes tipos de tráfego.

Tabela 2 – Tipo de tráfego.

Classificação	Tipo de tráfego	
	Motorizado*	Pedestres
Sem	Até 500	Ocupação em ruas arteriais, exclusivas para o tráfego motorizado
Leve	501 a 1200	Ocupação em ruas residenciais médias
Médio	> 1200	Ocupação em ruas comerciais secundárias
Intenso	---	Ocupação em ruas comerciais principais

*Volume de tráfego noturno de veículos por hora, em ambos sentidos, em pista única.

Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL (2012, p. 12).

4.5.1 Volume de tráfego

“Número máximo de veículos ou de pedestres que passam numa dada via, durante o período de 1 h.” (NBR 5101, 1992, p. 3).

4.6 CARACTERÍSTICAS LUMINOTÉCNICAS

Uma vez que a via é classificada e o tipo de tráfego determinado, os valores fotométricos que devem ser cumpridos se encontram na NBR 5101:1992. Esta determina os valores mínimos para iluminância e fator de uniformidade de acordo com o tipo de via a ser atendida. Na tabela 3 a seguir são apresentados esses valores de forma resumida.

Tabela 3 – Limites fotométricos para vias de tráfego motorizado e pedestres.

Descrição da via	VOLUME de tráfego	E_{\min} (lux)	U_{\min}
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; auto-estradas	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	Intenso	20	0,3
	Médio	15	0,2
	Leve	10	0,2
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Médio	10	0,2
	Leve	5	0,2
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais)		20	0,3
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)		10	0,25
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)		5	0,2
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)		3	0,2

Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL, 2012, pg. 13.

4.7 REQUISITOS MÍNIMOS

De acordo com a norma NBR 5101 (1992, p.6), níveis mínimos para a iluminação das vias são previstos tendo como referência a classificação da via e o tipo de tráfego

Tais níveis são descritos a seguir, de acordo com Ferreira et al. (2009):

- Iluminância de pontos adjacentes: a variação da iluminância entre dois pontos adjacentes quaisquer (distância máxima entre eles de 1,5m), situados na pista de rolamento da via de tráfego motorizado, deve ser tal que a razão da menor para a maior iluminância obedeça aos valores mínimos da tabela 3.
- Iluminância média mínima: a iluminância média mínima ($E_{\text{méd.mín.}}$), valor obtido pelo cálculo da média aritmética das leituras realizadas, em

plano horizontal, sobre o nível do piso, deve ser igual ou superior ao valor estabelecido pela norma, o qual está relacionado com a classificação da via em relação ao tráfego de veículos e pedestres.

- Menor valor de iluminância: o menor valor de iluminância ($E_{mín.}$) obtido das leituras realizadas deve ser necessariamente igual ou superior a 1,0 lux.
- Fator de uniformidade de iluminância simples: o valor do fator de uniformidade de iluminância simples, definido pela equação a seguir, deve ser igual ou superior ao valor estabelecido pela norma, o qual está relacionado com a classificação da via em relação ao tráfego de veículos e pedestres [Equação 2].

$$U = \frac{E_{mín}}{E_{méd}}$$

Equação 2 – Fator de uniformidade de iluminância simples.

Fonte: Procedimento de medição de iluminância de exteriores (2009).

4.8 OFUSCAMENTO

“Efeito de uma luz forte no campo de visão do olho humano. Pode provocar sensação de desconforto e prejudicar o desempenho das atividades realizadas no local.” (RODRIGUES; PIERRE, 2002).

4.9 PAYBACK (TEMPO DE RETORNO)

Índice que informa em quanto tempo um certo valor investido será recuperado. Pode ser mensurado em dias, meses, anos, ou seja, em alguma unidade de tempo. É dividido em dois conceitos:

- Payback Simples;
- Payback Descontado;

Neste trabalho será utilizado somente o método de Payback Descontado, que dá bons resultados e garante a validade ou não do investimento.

4.9.1 Payback Descontado

“O payback descontado é aplicado quando se avalia o valor do dinheiro no tempo em períodos mais longos, como investimentos que se faz com expectativa de retorno para anos futuros.” (Análise Econômica, 2015).

Suponhamos que uma pessoa vai receber R\$1.000,00 daqui um ano, sob uma inflação de 10% a.a. (ao ano). Esse valor, corrigido pela inflação, é o mesmo que receber R\$ 909,09 na data de hoje, chamada de data zero (Análise Econômica, 2015):

$$\frac{1000}{(1+0,1)^1} = \frac{1000}{1,1} = 909,09$$

Equação 3 – Valor corrigido.

Fonte: <http://analiseeconomica.com.br/site/o-metodo-do-pay-back-descontado/>.

4.9.2 Taxa selic

“[...] esta taxa é usada para operações de curtíssimo prazo entre bancos, que, quando querem tomar recursos emprestados de outros bancos por um dia, oferecem títulos públicos como lastro, visando reduzir o risco [...]” (InfoMoney, 2007).

Dessa forma, sendo de curtíssimo prazo e refletindo o risco do governo, a taxa Selic acaba sendo adotada como referência para todas as outras (InfoMoney, 2007).

5 METODOLOGIA

5.1 MEDIÇÕES

As medições serão realizadas na cidade de Peabiru-PR, onde encontram-se instaladas lâmpadas a vapor de sódio e LED, objetos de estudo deste trabalho. Tais medições objetivam levantar os seguintes índices:

- Iluminância média mínima;
- Fator de uniformidade de iluminância simples.

Feito o levantamento, será possível comparar os índices acima e verificar qual das duas tecnologias se mostra mais eficiente

5.2 LOCAL ESCOLHIDO

Para as medições da iluminância média, procurou-se escolher trechos de vias com características semelhantes: fluxo de pedestres e veículos automotivos, uso da via e dimensões de largura e comprimento. Tentou-se realizar as medições em trechos onde não houvessem árvores ou, no caso de haver, que estas pouco influenciassem nos resultados.

5.2.1 Lâmpadas a vapor de sódio

As medições para as lâmpadas a vapor de sódio, que apresentam potência de 150 W (Solicitação de Compra - Pregão Presidencial nº 038/2016, 2016, p.13) serão realizadas na Av. Dr. Didio Boscardin Bello, quadra 11, Peabiru-PR.

A figura 7 a seguir ilustra esquematicamente a situação dos postes utilizados para a medição.

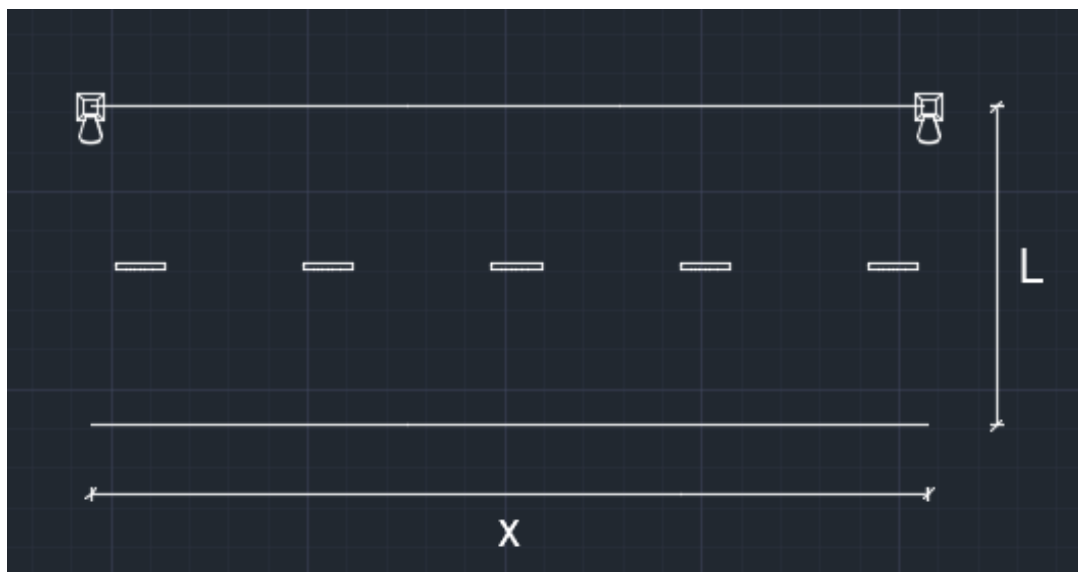


Figura 7 – Situação do trecho de lâmpada a vapor de sódio.
Fonte: Autoria própria.

Em que $L = 12,4$ m e $x = 37,2$ m.

5.2.2 Lâmpadas LED

As medições para as lâmpadas de LED, que apresentam potência de 100 W (Solicitação de Compra – Pregão Presidencial nº 038/2016, 2016, p.13) serão realizadas na rua Casemiro Radominski, quadra 10, Peabiru-PR.

A figura 8 a seguir ilustra esquematicamente a situação dos postes utilizados para a medição.

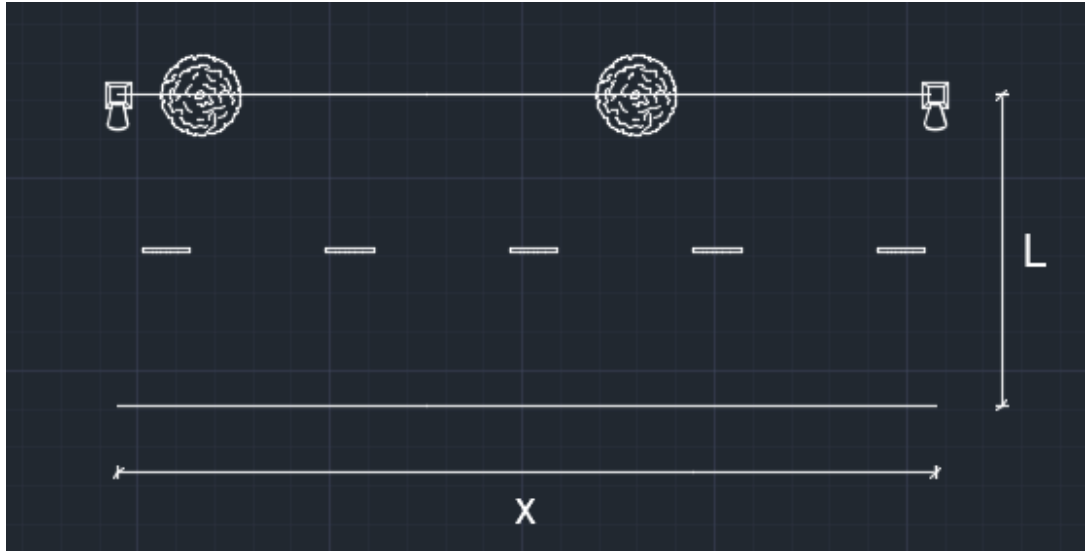


Figura 8 – Situação do trecho de LED.
Fonte: Autoria própria.

Em que $L = 12,6$ m e $x = 33,2$ m.

5.3 MALHA PARA VERIFICAÇÃO DETALHADA DE ILUMINÂNCIA

Neste trabalho, as medições seguirão como roteiro o método de 'Malha para verificação detalhada' descrito na NBR 5101 (2012).

Para uma distância entre luminárias inferior ou igual a 50 m, usa-se $n = 10$, chegando ao número de pontos de medições transversais. Para distâncias que superem 50 m, o valor de n será o maior valor inteiro dado por:

$$d = \frac{S}{n}$$

Equação 4
Fonte: Autoria própria.

Onde:

- d – distância máxima entre as fileiras, em metros ($d \leq 5$ m);
- S – distância entre luminárias;
- n – número de pontos de medições transversais.

Na figura 9 a seguir, temos o esquema determinado pela NBR 5101

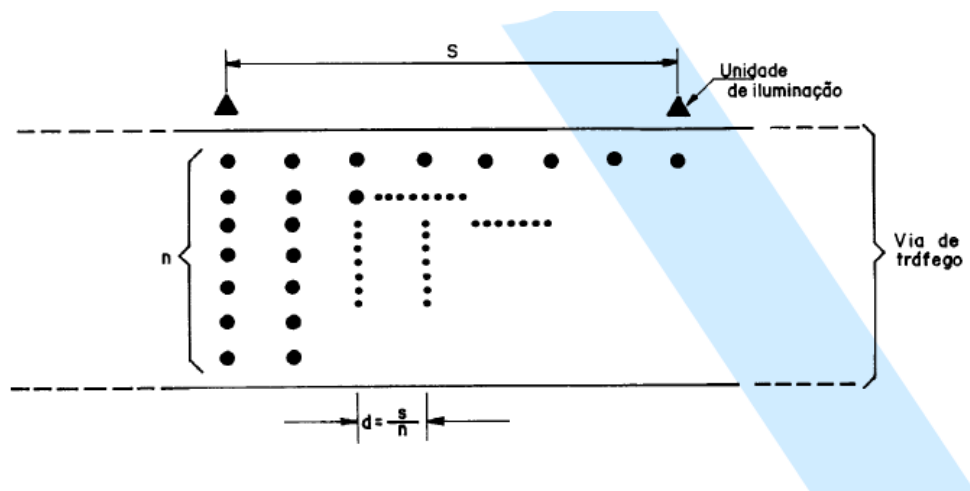


Figura 9 – Malha de medições.
Fonte: NBR 5101 (1992).

Para a distância entre pontos da medição transversal, basta fazer:

$$y = \frac{L}{n}$$

Equação 5
Fonte: Autoria própria.

Onde:

- y – distância transversal, em metros;
- L – largura da via, em metros;
- n – número de pontos de medição.

Finalizadas as medições, será feito o somatório de todos os valores encontrados e, através de uma média aritmética, chega-se ao valor da iluminância média do trecho:

$$Eméd = \frac{\sum E}{n \cdot (n + 1)}$$

Equação 6
Fonte: Autoria própria.

Onde:

- $Eméd$ – iluminância média, em lux;

- $\sum E$ – somatório das medições de iluminância, em lux;
- n – número de pontos de medição.

5.4 FATOR DE UNIFORMIDADE DE ILUMINÂNCIA SIMPLES

O fator de uniformidade de iluminância simples será calculado pela razão entre o a iluminância mínima e a iluminância média do trecho analisado:

$$U = \frac{Emín}{Eméd}$$

Equação 7
Fonte: Autoria própria.

Onde:

- U – fator de uniformidade de iluminância simples;
- $Emín$ – iluminância mínima, em lux;
- $Eméd$ – iluminância média, em lux.

5.5 NÍVEIS MÍNIMOS

As vias escolhidas serão classificadas, quanto ao tipo, como via local, uma vez que não possui grande fluxo automotivo e são mais utilizadas como vias de acesso residencial.

Já quanto ao tráfego de veículos, as vias serão classificadas como sem, pois apresentam um fluxo noturno menor do que 150 veículos por hora, em ambos os sentidos, pista única. Os tráfegos de pedestres serão classificados como leve, uma vez que se tratam de ocupações em ruas residenciais médias.

Sendo assim, temos que os valores das iluminâncias médias mínimas a serem encontradas através das medições deverão ser maiores ou iguais a 5 ($Eméd.mín. = 5$ lux). Da mesma forma, os fatores de uniformidade de iluminância simples deverão ser maiores ou iguais a 0,2 ($Umín. = 0,2$).

Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Médio	10	0,2
	Leve	5	0,2

Figura 10 – Limites fotométricos para os trechos a serem estudados.
Fonte: Manual de Iluminação Pública COPEL, 2012, pg. 13.

5.6 CÁLCULO DO PAYBACK

Após o levantamento de dados, será realizado o cálculo do Payback Descontado. Este visa avaliar se o tempo de retorno do investimento feito no município de Peabiru substituindo a iluminação pública convencional por LED é viável, através da seguinte equação:

$$VF = VP \cdot (1 + i)^n$$

Equação 8

Fonte: Autoria própria.

Onde:

- VF – valor final;
- VP – valor presente;
- i – taxa de juros;
- n – tempo de retorno do investimento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO

6.1.1 Iluminância média



**Figura 11 – Local das medições das lâmpadas a vapor de sódio.
Fonte: Autoria própria.**

O trecho compreendido pelos postes de lâmpadas a vapor de sódio possui uma distância $x = 37,2$ m e uma largura de via de $L = 12,4$ m. Seguindo o método de malha para verificação detalhada da iluminância descrito em 5.3, $n=10$ uma vez que $x < 50$ m. Portanto, tem-se:

$$d = \frac{37,2}{10}$$

$$d = 3,72 \text{ m}$$

Equação 9

Fonte: Autoria própria.

Para determinar a distância vertical (y) entre as medições, também seguiu-se o método descrito em 5.3:

$$y = \frac{L}{n}$$

$$y = \frac{12,4}{10}$$

$$y = 1,24 \text{ m}$$

Equação 10
Fonte: Autoria própria.

Os resultados das medições podem ser encontrados na figura 17 a seguir

Distância entre postes (m)	Distância vertical (m)									
	1,24	2,48	3,72	4,96	6,2	7,44	8,68	9,92	11,16	12,4
0	117	19	19	17	14	11	8	6	4	4
3,72	62	14	15	14	12	8	7	4	4	2
7,44	6	8	10	10	9	6	4	3	2	2
11,16	4	5	6	5	5	4	3	2	2	1
14,88	2	2	3	4	3	3	2	1	1	1
18,6	2	2	2	3	3	2	2	1	1	1
22,32	3	3	4	4	4	3	3	2	2	1
26,04	6	6	7	6	6	4	4	3	2	1
29,76	7	9	11	11	10	7	5	4	3	2
33,48	58	16	16	15	13	10	6	5	4	4
37,2	120	20	20	19	16	12	9	8	5	5

Quadro 1 – Resultados das medições de iluminância das lâmpadas a vapor de sódio.
Fonte: Autoria própria.

Realizadas as medições, foi feita uma média aritmética para se chegar no valor da iluminância média e encontrou-se que:

$$E = \frac{1023}{110}$$

$$E = 9,3 \text{ lux}$$

Equação 11
Fonte: Autoria própria.

6.1.2 Fator de uniformidade de iluminância simples

Segundo o método descrito em 5.4, tem-se que:

$$U = \frac{5}{9,3}$$

$$U = 0,54$$

Equação 12
Fonte: Autoria própria.

6.2 LÂMPADAS LED

6.2.1 Iluminância média



Figura 12 – Local das medições das lâmpadas de LED.
Fonte: Autoria própria.

O trecho compreendido pelos postes de lâmpadas de LED possui uma distância $x = 33,2$ m e uma largura de via de $L = 12,6$ m. Seguindo o método de malha para verificação detalhada da iluminância descrito em 5.3, $n=10$ uma vez que $x < 50$ m. Portanto, tem-se:

$$d = \frac{33,2}{10}$$

$$d = 3,32 \text{ m}$$

Equação 14
Fonte: Autoria própria.

Para determinar a distância vertical (y) entre as medições, também seguiu-se o método descrito em 5.3:

$$y = \frac{L}{n}$$

$$y = \frac{12,4}{10}$$

$$y = 1,24 \text{ m}$$

Equação 15

Fonte: Autoria própria.

Os resultados das medições podem ser encontrados na figura 19 a seguir

Distância entre postes (m)	Distância vertical (m)									
	1,26	2,52	3,78	5,04	6,3	7,56	8,82	10,08	11,34	12,6
0	113	75	45	30	18	9	9	7	5	3
3,32	64	47	27	22	14	13	8	7	5	2
6,64	29	28	21	25	22	7	5	5	3	5
9,96	3	4	5	5	4	3	2	2	3	1
13,28	2	2	3	4	4	3	3	1	1	2
16,6	0	4	5	5	5	4	3	3	3	4
19,92	9	11	10	9	8	5	4	3	3	3
23,24	0	25	20	15	10	7	5	4	3	4
26,56	30	29	23	27	22	9	6	5	4	5
29,88	67	49	44	23	16	10	8	5	4	5
33,2	130	88	56	33	20	13	9	6	5	5

Quadro 2 – Resultados das medições de iluminância das lâmpadas de LED.

Fonte: Autoria própria.

Realizadas as medições, foi feita uma média aritmética para se chegar no valor da iluminância média e encontrou-se que:

$$E = \frac{1680}{110}$$

$$E = 15,27 \text{ lux}$$

Equação 16

Fonte: Autoria própria.

6.2.2 Fator de uniformidade de iluminância simples

Seguindo o método descrito em 5.4, tem-se que:

$$U = \frac{5}{15,27}$$

$$U = 0,33$$

Equação 17
Fonte: Autoria própria.

6.3 TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

6.3.1 Valor final do investimento

De acordo com o Pregão Presidencial nº 038/2016, instaurado pelo município de Peabiru – PR, o valor pago na compra dos materiais elétricos para utilização do sistema LED de iluminação na substituição da iluminação pública já antes existente, mostrado no Anexo A, foi de R\$ 819.932,70. Uma vez que foram 574 luminárias compradas, dividiu-se o valor total pelo unitário, chegando ao preço aproximado de cada conjunto instalado:

$$VF = \frac{819932,70}{574}$$

$$VF = R\$ 1428,45$$

Equação 18
Fonte: Autoria própria.

Portanto, temos que o valor do investimento para cada conjunto de luminária LED instalado foi de R\$ 1.428,45

6.3.2 Valor presente (lucro)

De acordo com a Portaria DNAEE nº 466 (1997), “Para fins de faturamento de energia elétrica destinada à iluminação pública [...] será de 360 (trezentos e sessenta) o número de horas a ser considerado como tempo de consumo de energia elétrica mensal.”.

Uma vez que a lâmpada de LED, de 100 W, foi instalada substituindo uma de vapor de sódio de 150 W, tem-se uma redução de 50 W. Esses 50 W reduzidos multiplicados pelas 360 horas de consumo mensal de energia, resultam numa economia anual de:

$$VP' = [(150 - 100) \cdot 360] \cdot 12$$

$$VP' = 216000 \text{ Wh ou } 216 \text{ kWh}$$

Equação 19

Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Manual de Tarifação da Energia Elétrica da Procel (2011, p. 10), a classificação do consumidor adotada será subgrupo B4, destinada à iluminação pública. A Copel ainda distingue o subgrupo B4 em subgrupo B4a, o qual apresenta a tarifa a ser cobrada para a rede de distribuição, e subgrupo B4b, correspondente à tarifa a ser cobrada no bulbo da lâmpada. Utilizou-se, portanto, a tarifa destinada ao subgrupo B4b, que pode ser vista na figura 13 a seguir:

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL N° 2.214, de 28 de março de 2017	
Tarifa em R\$/kWh	Resolução ANEEL(*)	com Impostos: ICMS PIS/COFINS
B4b - Bulbo da Lâmpada	0,24968	0,38412
Vigência em 01/05/2017		

Figura 13 – Tarifa cobrada para subgrupo B4b.

Fonte:

<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fc88b3866720272b90325768f005e60f4>.

Multiplicou-se o valor da potência economizada pelo valor da tarifa cobrada, chegando no valor economizado:

$$VP = 216 \cdot 0,38412$$

$$VP = R\$ 82,96$$

Equação 20

Fonte: Autoria própria.

Portanto, obteve-se uma economia ao ano de cerca de R\$ 82,96.

6.3.3 Tempo de retorno

Utilizando a equação de payback descontado, com a taxa de juros Selic valendo $i = 10,25\%$ a.a (G1, 2017), tem-se:

$$VF = VP \cdot (1 + i)^n$$

$$1428,45 = 82,96 \cdot (1 + 0,1025)^n$$

$$n = 29,16 \text{ anos}$$

Equação 21
Fonte: Autoria própria.

Portanto, obteve-se que é necessário um tempo de aproximadamente 29 anos, 1 mês e 27 dias para que o investimento realizado seja pago e comece a retornar, ou seja, dar lucros.

6.4 VIDA MÉDIA DO LED

De acordo com o Manual de Iluminação Pública da Copel (2012), a vida média do LED é de cerca de 50.000 horas. Dividindo esta vida média pelas as 360 horas, recomendadas pela Portaria DNAEE nº 466 (1997) como “[...] tempo de consumo de energia elétrica mensal.”, multiplicados por 12, número de meses em um ano, temos:

$$n = \frac{50000}{12 \cdot 360}$$

$$n = 11,57 \text{ anos}$$

Equação 22
Fonte: Autoria própria.

Portanto, obteve-se que uma lâmpada de LED dura, em média, cerca de 11 anos, 6 meses e 25 dias.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

O LED apresentou maior iluminância comparado à lâmpada a vapor de sódio em alta pressão; ambos atendem os requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 5101:1992.

Entretanto, a lâmpada a vapor de sódio em alta pressão apresentou maior fator de uniformidade, o que significa uma distribuição da luz mais homogênea na rua e calçada, quando comparada ao LED; mais uma vez, ambas as tecnologias mostraram-se acima dos níveis mínimos estabelecidos pela NBR 5101:1992.

Observou-se durante as medições que as lâmpadas de LED causam um ofuscamento maior do que as a vapor de sódio, causando um maior desconforto na visão de quem trafega pela área.

Quanto ao tempo de retorno do investimento realizado na substituição da iluminação pública já existente, nota-se que este se demonstra muito superior do que o período de vida média do LED. Isto significa que a troca foi inviável, uma vez que o investimento realizado não se paga nem muito menos gera retorno.

8 REFERÊNCIAS

Manual de Iluminação Pública. COPEL, Fevereiro de 2012. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/M%20anuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2016, 21:00.

SCHULZ, Willy. **Iluminação Pública.** Disponível em: <<http://www.arquitec.com.br/iluminacao-urbana-por-plinio-godoy-livro-virtual/>>. Acesso em: 28 mar. 2016, 21:44.

GODOY, Plinio. **Iluminação Urbana**, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://creajrpr.files.wordpress.com/2010/11/iluminac3a7c3a3o-pc3bablica.pdf>>. Acesso em: 3 abr. 2016, 22:05.

GODOY, Plinio. **Iluminação Pública e Urbana.** Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed-111_Fasciculo_Cap-IV-Iluminacao-publica-e-urbana.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2016, 22:19.

(ABNT) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5101 – **Iluminação Pública**. Abril, 1992. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/nbr-5101-nb-429-iluminacao-publica.html>>. Acesso em: 20 mar. 2017, 20:07.

GE REPORT BRASIL. Disponível em: <<http://www.gereportsbrasil.com.br/post/96000913604/florianopolis-acende-leds>>. Acesso em: 15 mar. 2016, 19:46.

RODRIGUES, Eliab. **Fotometria**. Junho, 2014. Disponível em: <http://tecinmed.com/artigos/metrologia/o_fotometro_tecinmed_tec-in-med.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2017, 21:23.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**. Procel, 2002. 36 p. Disponível em:

<https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Manual_Iluminacao.pdf>. Acesso em: 20. 2017, 19:26.

Manual de Tarifação da Energia Elétrica. PROCEL, Agosto de 2011. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2017, 21:00.

INFOMONEY. **Entenda o que pe e como a Selic afeta a economia brasileira e seu bolso.** Bloomberg, 18 jul. 2007. Disponível em:

<http://www.infomoney.com.br/educacao/guias/noticia/125180/entenda-que-como-selic-afeta-economia-brasileira-seu-bolso>>. Acesso em: 31 mai. 2017, 20:56.

BRASIL, Portaria DNAEE nº 466, de 12 de novembro de 1997. Estabelece disposições relativas às condições de fornecimento a serem observadas na prestação e utilização do serviço público de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial**, 13 de novembro de 1997. Disponível em:

<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=181559>>. Acesso em: 28 mai. 2017, 20:34.

MARTELLO, Alexandre. Copom reduz juro para 10,25% ao ano e indica corte menor no futuro. G1, Brasília, 31 mai. 2017. Disponível em:

<<http://g1.globo.com/economia/noticia/copom-mantem-ritmo-e-reduz-juros-para-1025-ao-ano-na-6-queda-consecutiva.ghtml>>. Acesso em: 31 mai. 2017, 20:47.

Manual Luminotécnico Prático. OSRAM. Disponível em:

<<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2017, 21:10.

COPEL. Disponível em:

<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F3f9e1661e050c4030325768f005c5174>>. Acesso em: 31 mai. 2017, 18:26.

FERREIRA, Rodrigo S. et al. **Procedimento de medição de iluminância de exteriores.** Agosto, 2009. Disponível em:

<http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2009/ceel2009_019.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2017, 21:24.

ANEXOS

ANEXO A – Orçamento da licitação.

<i>ITE M</i>	<i>QTD.</i>	<i>UN</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>	<i>MARCA</i>	<i>VALOR Unit.</i>	<i>VALOR Total</i>
1.	574	UN.	Luminária LED 100 W (conforme memorial descritivo 01)	Z.LIGHT	1.305,00	749.070,00
2.	477	UN.	Braço de fixação (conforme memorial descritivo 02)	Z.LIGHT	121,00	57.717,00
3.	1.431	MT	Cabo PP 2 X 2,5 MM	SIL	2,80	4.006,80
4.	200	UN.	Perfurante 70X2,5	INTELLI	7,60	1.520,00
5.	938	UN.	Cunha 2X2,5	INTELLI	3,80	3.564,40
6	954	UN.	Abraçadeira galvanizada para poste duplo T com regulagem	ROMAGNO LE	4,25	4.054,50
TOTAL						RS819.932,70