



Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Departamento de Engenharia Elétrica

## **Trabalho de Conclusão de Curso**

# **Estudo da Viabilidade da Substituição de Lâmpadas Convencionais pelas Lâmpadas com Tecnologia LED - Estudo de Caso**

**Larissa Martins de Freitas Perdigão**

João Monlevade, MG  
2020

**Larissa Martins de Freitas Perdigão**

**Estudo da Viabilidade da Substituição de  
Lâmpadas Convencionais pelas Lâmpadas com  
Tecnologia LED - Estudo de Caso**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho

**Universidade Federal de Ouro Preto  
João Monlevade  
2020**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P433e Perdigão, Larissa Martins de Freitas .  
Estudo da viabilidade da substituição de lâmpadas convencionais  
pelas lâmpadas com tecnologia LED [manuscrito]: estudo de caso. /  
Larissa Martins de Freitas Perdigão. - 2020.  
58 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia  
Elétrica .

1. Energia elétrica - Consumo. 2. Iluminação municipal. 3. Lâmpadas  
de LED. 4. Lâmpadas fluorescentes. I. Baracho, Francisco Ricardo  
Abrantes Couy. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.31

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRICA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Larissa Martins de Freitas Perdigão**

**Estudo da viabilidade da substituição de lâmpadas convencionais pelas lâmpadas com tecnologia LED – Estudo de Caso**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Aprovada em 04 de dezembro de 2020

### Membros da banca

Professor Doutor Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Professor Doutor Welbert Alves Rodrigues - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Professor Doutor Willingthon Guerra Zvietcovich (Universidade Federal de Ouro Preto)

Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/12/2020



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/12/2020, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0118152** e o código CRC **74167421**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.009974/2020-06

SEI nº 0118152

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: - www.ufop.br

# Resumo

Os benefícios para implementação de estudos relacionados à eficiência energética no setor de iluminação pública são de suma importância para sociedade, pois contribuem para a segurança e a qualidade de vida das pessoas, além de contribuir com a sustentabilidade do planeta.

O presente trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade técnico-econômica na substituição das luminárias convencionais instaladas atualmente pelas luminárias que utilizam tecnologia LED nas vias da cidade de Varginha - MG. O intuito é propor melhorias na eficiência energética da cidade e, conseqüentemente, uma redução de consumo de energia elétrica, além de analisar a viabilidade econômico-financeira do projeto. Será avaliado também, se o atual sistema de iluminação da cidade está de acordo com os requisitos mínimos exigidos pela Norma Brasileira NBR5101 (2018). Para esse propósito, usou-se o software DIALux que é uma ferramenta de modelagem e cálculo luminotécnico.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Tecnologia LED, Iluminação pública

# Abstract

The benefits of implementing studies related to energy efficiency in the street lighting sector are of Paramount importance to society, as they contribute to people safety and quality of life, as well as contributing to the planet sustainability.

This work aims to study the technical and economic feasibility of replacing the conventional fixtures currently installed though LED fixtures on the roads in the city of Varginha - MG. The aim is to propose improvements in the city's energy efficiency and consequently a reduction in electricity consumption, in addition to analyzing the economic and financial feasibility of the project. It will also be evaluated if the current city lighting system is in accordance with the minimum requirements required by the Brazilian Standard NBR5101 (2018). For this purpose, DIALux software was used, which is a luminotechnical modeling and calculation tool.

**Keywords:** Energy Efficiency, LED Technology, Street Lighting.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Principais Conceitos . . . . .	5
Figura 2 – Exemplo de curva de distribuição de intensidade luminosa em dois planos ortogonais de uma luminária de duas lâmpadas . . . . .	6
Figura 3 – Exemplo para TI . . . . .	8
Figura 4 – Locais onde são medidos os valores de iluminância para o cálculo do SR . . . . .	9
Figura 5 – Arquivo disponibilizado pela prefeitura com todos os pontos de iluminação da cidade. . . . .	15
Figura 6 – Característica do ponto de iluminação após o clique sobre 1 ponto. . . . .	16
Figura 7 – Potências escolhidas para estudo. . . . .	17
Figura 8 – Luxímetro . . . . .	18
Figura 9 – Malha para verificação detalhada de iluminação sugerida pela ABNT NBR5101 (2018) . . . . .	19
Figura 10 – Malha usada para medição em campo. . . . .	19
Figura 11 – Definição das novas aplicações . . . . .	20
Figura 12 – Análise de Conformidade dos Cenários Atuais . . . . .	26
Figura 13 – VPL X TIR . . . . .	32
Figura 14 – Payback . . . . .	33
Figura 15 – Compilação dos Resultados Aplicação 1 . . . . .	38
Figura 16 – Continuação da compilação dos Resultados Aplicação 1 . . . . .	39
Figura 17 – Curva de Distribuição - Aplicação 1 . . . . .	39
Figura 18 – Malha de Medição - Aplicação 1 . . . . .	40
Figura 19 – Compilação dos Resultados Aplicação 2 . . . . .	41
Figura 20 – Continuação da compilação dos Resultados Aplicação 2 . . . . .	42
Figura 21 – Curva de Distribuição - Aplicação 2 . . . . .	42
Figura 22 – Malha de Medição - Aplicação 2 . . . . .	43
Figura 23 – Compilação dos Resultados Aplicação 3 . . . . .	44
Figura 24 – Curva de Distribuição - Aplicação 3 . . . . .	45
Figura 25 – Malha de Medição - Aplicação 3 . . . . .	45
Figura 26 – Compilação dos Resultados Aplicação 4 . . . . .	46
Figura 27 – Curva de Distribuição - Aplicação 4 . . . . .	47
Figura 28 – Malha de Medição - Aplicação 4 . . . . .	47
Figura 29 – Compilação dos Resultados Aplicação 5 . . . . .	48
Figura 30 – Curva de Distribuição - Aplicação 5 . . . . .	49
Figura 31 – Malha de Medição - Aplicação 5 . . . . .	49
Figura 32 – Compilação dos Resultados Aplicação 6 . . . . .	50
Figura 33 – Curva de Distribuição - Aplicação 6 . . . . .	51

Figura 34 – Malha de Medição - Aplicação 6 . . . . .	51
Figura 35 – Compilação dos Resultados Aplicação 7 . . . . .	52
Figura 36 – Curva de Distribuição - Aplicação 7 . . . . .	53
Figura 37 – Malha de Medição - Aplicação 7 . . . . .	53
Figura 38 – Passo 1 . . . . .	54
Figura 39 – Passo 2 . . . . .	55
Figura 40 – Passo 3 . . . . .	56
Figura 41 – Passo 4 . . . . .	57
Figura 42 – Passo 5 . . . . .	57
Figura 43 – Passo 5 . . . . .	58



# Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores típicos de Iluminância . . . . .	6
Tabela 2 – Rendimento dos variados tipos de lâmpadas. . . . .	10
Tabela 3 – IRC para diferentes tipos de lâmpadas . . . . .	11
Tabela 4 – Classe de Iluminação para cada tipo de via . . . . .	12
Tabela 5 – Iluminação média mínima e uniformidade mínima para cada classe de iluminação. . . . .	13
Tabela 6 – Requisitos de luminância e uniformidade . . . . .	13
Tabela 7 – Iluminação média mínima e uniformidade mínima para cada classe de iluminação. . . . .	13
Tabela 8 – Classe de iluminação para cada tipo de via. . . . .	14
Tabela 9 – Quantidade de luminárias Potência <i>versus</i> Tipo . . . . .	16
Tabela 10 – Potências e tipo de lâmpadas que serão trabalhadas. . . . .	17
Tabela 11 – Ruas escolhidas para medições em Campo . . . . .	18
Tabela 12 – Cenários que são simulados. . . . .	20
Tabela 13 – Medidas de iluminância na Av. Rio Branco . . . . .	24
Tabela 14 – Medidas de iluminância na Av. Major Venâncio . . . . .	24
Tabela 15 – Medidas de iluminância na Av. Princesa do Sul . . . . .	25
Tabela 16 – Medidas de iluminância na Rua Coronel Venerado Pereira . . . . .	25
Tabela 17 – Medidas de iluminância na Rua 15 de Novembro . . . . .	25
Tabela 18 – Medidas de iluminância na Rua Marajós . . . . .	26
Tabela 19 – Potência Total Simulada . . . . .	29
Tabela 20 – Potência instalada atualmente . . . . .	29
Tabela 21 – Custo total das luminárias instaladas no projeto . . . . .	30
Tabela 22 – Custo total do Projeto de Eficiência Energética . . . . .	31
Tabela 23 – Economia Anual Financeira . . . . .	31
Tabela 24 – Análise Econômico-financeira do Projeto . . . . .	60

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos	2
1.2	Justificativa	2
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CONCEITOS E GRANDEZAS GERAIS</b>	<b>5</b>
3.1	Fluxo Luminoso	5
3.2	Intensidade Luminosa	5
3.3	Iluminância	6
3.4	Luminância	7
3.5	Fator de uniformidade da Luminância Cargas	7
3.5.1	Uniformidade Global ( $U_0$ )	7
3.5.2	Uniformidade Longitudinal ( $U_l$ )	7
3.5.3	Uniformidade mínima ( $U_{min}$ )	7
3.6	Ofuscamento Perturbador (TI – Treshold Increment)	8
3.7	Rácio Envolvente – Edge Illuminance Ratio (EIR - SR)	9
3.8	Eficiência Luminosa (n)	9
3.9	Índice de Reprodução de Cor (IRC)	10
3.10	Conceitos básicos referentes à eficiência energética de uma instalação	11
3.10.1	Densidade de Potência $D_p$	11
3.10.2	Densidade de Energia $D_e$	11
3.11	Classificação das Vias Públicas	12
3.11.1	Via para tráfego de veículos	12
3.11.2	Via para tráfego de pedestres	13
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
4.1	Estudo do Cenário Atual	15
4.2	Medições de Iluminância	18
4.3	Definição da proposta para novas aplicações	20
4.4	Simulações com auxílio do software DIALux	21
4.5	Viabilidade Econômico-financeira	22
4.5.1	Valor Presente Líquido (VPL)	23
4.5.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	23
4.5.3	Payback	23

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultado das Medições</b>	<b>24</b>
5.1.1	Análise de Conformidade dos Cenários Atuais	26
<b>5.2</b>	<b>Cálculo de potência com as novas luminárias simuladas LED</b>	<b>26</b>
5.2.1	Aplicação 1	27
5.2.2	Aplicação 2	27
5.2.3	Aplicação 3	27
5.2.4	Aplicação 4	27
5.2.5	Aplicação 5	28
5.2.6	Aplicação 6	28
5.2.7	Aplicação 7	28
5.2.8	Conclusão da seção 5.2	28
<b>5.3</b>	<b>Potência instalada atualmente (PA) X Potência Simulada (PS)</b>	<b>29</b>
5.3.1	Conclusão da seção 5.3	30
<b>5.4</b>	<b>Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Projeto</b>	<b>30</b>
5.4.1	Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback	32
5.4.2	Conclusão da Seção 5.4	32
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos Futuros</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>35</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>37</b>
	<b>ANEXO A – APLICAÇÃO 1</b>	<b>38</b>
	<b>ANEXO B – APLICAÇÃO 2</b>	<b>41</b>
	<b>ANEXO C – APLICAÇÃO 3</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXO D – APLICAÇÃO 4</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXO E – APLICAÇÃO 5</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXO F – APLICAÇÃO 6</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXO G – APLICAÇÃO 7</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXO H – TUTORIAL SIMULAÇÃO NO DIALUX</b>	<b>54</b>

---

**ANEXO I – TABELA DA ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA 59**

# 1 Introdução

A questão energética é crucial para a manutenção da vida e da sociedade como a conhecemos hoje e a busca por maior eficiência energética é ainda mais importante se considerarmos a questão da sustentabilidade. Assim, a tecnologia, a legislação e os processos estão em constante renovação.

O consumo de energia de uma instalação de iluminação pública pode ser melhorado com a introdução de várias medidas tecnológicas. O objetivo da melhoria é reduzir o consumo de energia, sem prejudicar o conforto e a qualidade de vida das pessoas; proteger o meio ambiente; garantir o fornecimento e promover a sustentabilidade.

Quando tratamos o assunto de redução de consumo de energia elétrica, estamos consequentemente falamos de eficiência energética. Em geral, algo é mais eficiente em termos energéticos se oferecer mais serviços ou bens para a mesma entrada de energia, ou os mesmos serviços ou bens para menor consumo de energia. Eficiência energética é a razão entre o desempenho obtido com a quantidade de ganhos, consistindo em bens ou serviços e a quantidade de energia usada nesse sentido (CIOBANU; PENTIUC, 2016).

Um dos propósitos do mercado de eletricidade é reduzir a demanda de energia através do uso eficiente. Eram consumidos, no mundo, em 2009, cerca de 151,2 Terawatt-hora – TWH em iluminação pública e significativa parte desse valor pode ser economizado com o uso da tecnologia LED (SALES, 2009).

Os LEDs são a opção de iluminação com maior eficiência energética do mercado atualmente, podendo tornar a vida útil em dobro quando comparados com Lâmpadas convencionais. Nos últimos tempos os custos destas lâmpadas vem caindo, tornando viável o seu emprego. (CIOBANU; PENTIUC, 2016).

As luminárias de LED para iluminação pública já estão em uso em grande parte do mundo. Milhões de dólares estão sendo investidos para trocar a iluminação convencional por luminárias LED (SANTANA, 2010). Los Angeles, por exemplo, já substituiu 140 mil luminárias existentes na cidade por unidades LED em um período de 4 anos. O uso de energia para iluminação foi reduzido em 63,1% e as emissões de carbono foram reduzidas em 47.583 toneladas por ano. Essa iniciativa gerou grande economia no custo de energia e na manutenção.<sup>1</sup>

Buscando estar em sinergia com o mundo e em conformidade com a política de sustentabilidade que vem sendo discutida, o presente trabalho aborda um estudo das luminárias instaladas nas vias públicas na cidade de Varginha. O intuito é confirmar a viabilidade técnica, econômica e financeira na substituição das mesmas por luminárias de LED. Para isso, levanta-se as quantidades de pontos de iluminação da cidade, os tipos de

---

<sup>1</sup> City of Los Angeles Department of Public Works Bureau of Street Lighting: <http://bsl.lacity.org/led.html>

lâmpadas nas luminárias, a resposta à questão referente ao fato do sistema atual estar ou não aderente às normas vigentes, através de medições de campo. Em seguida, são simulados cenários baseados nas vias públicas de Varginha com novas luminárias de LED. Através de simulações avalia-se resultados que reduzem o consumo de energia e conseqüentemente a emissão de carbono. O software usado para as simulações foi o DIALux. Realizou-se também análises de investimento através de ferramentas financeiras a fim de avaliar se é viável a troca das luminárias de descarga de vapor de Sódio pelas luminárias LED.

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é avaliar a viabilidade técnica, econômica e financeira para substituição das luminárias convencionais instaladas atualmente na cidade de Varginha – MG, por luminárias de LED, para alcance de melhor eficiência energética.

Já o objetivo secundário é avaliar o nível de iluminância em algumas vias da cidade, visando determinar se os parâmetros luminotécnicos atendem a norma ABNT NBR 5101 (2018).

## 1.2 Justificativa

A iluminação pública exerce papel fundamental na segurança das cidades. Pois, a falta de iluminação adequada nas vias públicas pode contribuir para aumento de crimes (AVER, 2013).

Além da questão social, é preciso atentar-se para a sustentabilidade do planeta. Neste quesito, o uso da tecnologia LED contribui para a redução do consumo de energia e conseqüentemente para a redução da emissão de carbono.

No aspecto econômico, além do baixo consumo de energia dos LEDs, os mesmos apresentam uma vida longa. Assim sendo, os gastos com manutenção são reduzidos. Um aspecto importante é que a administração da iluminação pública é feita pelas prefeituras (no Brasil), assim os recursos financeiros economizados com energia elétrica poderiam ser usados em outras áreas como saúde, educação e etc.

Dessa forma, este trabalho contribui com estes aspectos indicados propondo a troca da iluminação de Vapor de Sódio para LED na cidade de Varginha – MG.

## 2 Estado da Arte

Apresenta-se, nesta seção, as pesquisas encontradas na literatura, as quais tratam este tema e auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

No artigo Anthopoulos e Doulos (2019), apresenta-se um estudo entre dois cenários de iluminação em um estudo de caso em uma importante estrada da Grécia conhecida como Egnatia Odos, de aproximadamente 670 Km. Os autores mostram o avanço da tecnologia LED em um intervalo de 2 anos, comparando as instalações feitas em 2017 com luminárias comercializadas em 2019. Faz-se uma investigação quanto ao atraso no design da iluminação e na construção do projeto. Os cenários avaliados são: utilização das instalações de postes existentes e novas posições dos postes. Os resultados encontrados no primeiro cenário mostram uma economia de 13,57% de energia apenas trocando a iluminação e não trocando os postes de posição, e no segundo cenário uma economia de 27,65% trocando a iluminação e o posicionamento dos postes.

No artigo de Ciobanu e Pentiuc (2016), os autores analisam a viabilidade de se usar soluções através de um projeto de retrofit para aumentar a eficiência energética do sistema de iluminação pública. Foram feitas simulações com as lâmpadas convencionais e as lâmpadas de LED no software DIALux, usando distâncias extremas entre postes de 40m e 50m. Foram substituídas somente as lâmpadas (retrofit), após as simulações, apresenta-se um cálculo de eficiência energética e o resultado é uma melhoria de 44,21%. Porém, de acordo com as simulações, as novas lâmpadas nos parâmetros extremos da rua simulada não atendem aos requisitos mínimos da norma europeia de iluminação pública. Assim, conclui-se que em alguns casos o retrofit não é viável e que é necessário trocar o sistema de iluminação por completo.

Nair et al. (2016), apresentam uma análise de desempenho de lâmpadas fluorescentes convencionais e LED de 22 postes de iluminação pública na Índia. Substituem-se as lâmpadas convencionais de 22 postes por lâmpadas de LED. As lâmpadas fluorescentes eram de 55W, enquanto as lâmpadas de LED eram de 22W. Fizeram uma avaliação de desempenho em 3 análises, sendo estas: posição dos postes nas ruas, análise térmica das lâmpadas e análise elétrica do sistema. Após estudo, concluiu-se que o nível de intensidade da luz por watt de LED é 80% maior do que em lâmpadas fluorescentes. Quanto ao consumo de energia, houve uma redução de 43% no consumo médio de energia.

Bullough e Radetsky (2013), avaliaram a iluminação em estradas com tecnologia predominante de lâmpadas de Vapor de Sódio de alta pressão e novas tecnologias. Eles consideraram várias métricas como seleção de luminárias, espaçamento, alturas de montagem, área de cobertura e percepção de brilho e sensibilidade espectral para brilho ofensivo.

Essa avaliação sugeriu que, entre as várias tecnologias para iluminação de estradas, as tecnologias de LED eram viáveis economicamente. Então especificaram sistemas de

iluminação de estradas com eficiência energética e visualmente eficazes.

Payan, Moreno e Santos (2012), apresentam um projeto para melhoria da iluminação pública no município de Bollullos de La Mitacion (9200 habitantes), na província de Sevilha (Sul da Espanha). Apresenta-se, no trabalho, uma parceria com uma empresa de energia. A prefeitura local terceirizou a iluminação para essa empresa parceira. Fizeram um estudo nos 2.027 pontos de iluminação da cidade, analisando a localização dos pontos, o circuito elétrico, os sistemas de ignição, tipos de luminárias, bem como a tecnologia e a potência das luminárias. Observaram que grande parte das lâmpadas eram de vapor de mercúrio e que 40% da carga instalada era de lâmpadas de 250W. Substituíram as lâmpadas dos bairros por LED e trocaram as lâmpadas do centro da cidade para vapor de sódio, pois a população prefere “luz quente”. Como houve uma terceirização e um contrato de 10 anos com a prefeitura, estimaram que durante esses 10 anos a prefeitura economizará 10% dos seus gastos com iluminação pública. Após o fim do contrato com a concessionária, as responsabilidades com a iluminação voltam para a prefeitura e estima-se uma economia com gastos com iluminação serão de aproximadamente 43%.

Lopes (2014), discute a evolução da iluminação pública no Brasil, mostrando o cenário do passado e a evolução da iluminação pública bem como aspectos de regulamentação, legislação e padronização da tecnologia LED. Além disso, são apresentados alguns exemplos de cidades brasileiras que contam com a tecnologia LED na iluminação pública, como no caso dos túneis do RodoAnel em São Paulo, onde é mostrado que economicamente a implantação do LED é bastante vantajosa, já que o payback do projeto se daria num período relativamente curto de aproximadamente 20 meses. Aborda também, um projeto piloto feito pelo Núcleo de Iluminação Moderna da UFJF no campus universitário, onde foram instalados 44 pontos de iluminação empregando LEDs ao longo do anel viário da Faculdade de Engenharia, sendo um dos objetivos do projeto verificar a possibilidade de realização de retrofit. Os cálculos sinalizam uma economia anual de R\$ 13.024,37 com o sistema LED. Sendo que, o payback do sistema empregando LEDs instalado durante o projeto piloto se daria em sete anos.

Através dos artigos apresentados nessa seção, nota-se que o tema abordado no presente trabalho está em sinergia com as pesquisas relacionadas no mundo. Os estudos apresentados possibilita o aprendizado e aplicação de métodos para cálculos de economia de energia elétrica e auxílio na escolha do software DIALux para as simulações e resultados apresentados nas demais seções desse trabalho.



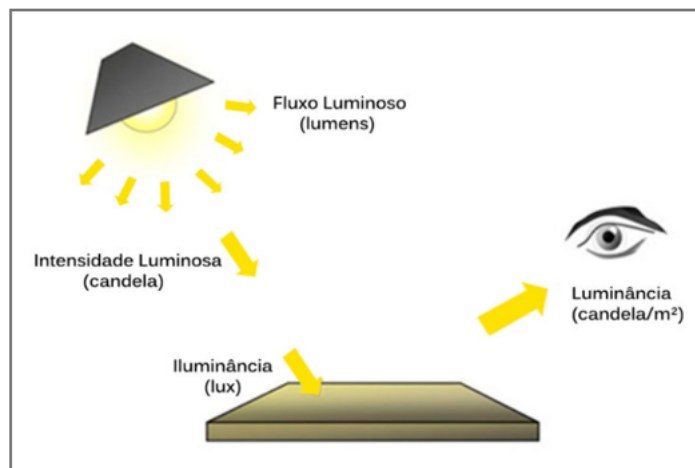
## 3 Conceitos e Grandezas Gerais

A presente seção tem por objetivo apresentar os conceitos e grandezas usadas para desenvolvimento do trabalho.

### 3.1 Fluxo Luminoso

O Fluxo Luminoso ( $\Phi$ ) é a quantidade de luz radiada por uma fonte de luz a cada segundo. A unidade de fluxo luminoso é o lúmen (lm). O fluxo luminoso não especifica as direções nas quais a luz é radiada. É usado para especificar a quantidade total de luz emitida por uma lâmpada – Figura 1. A razão entre o fluxo luminoso de uma lâmpada e a energia dissipada nessa lâmpada é a “eficiência luminosa”, que é expressa em lumens por watt (lm/W)(LUZ, 2010).

Figura 1 – Principais Conceitos

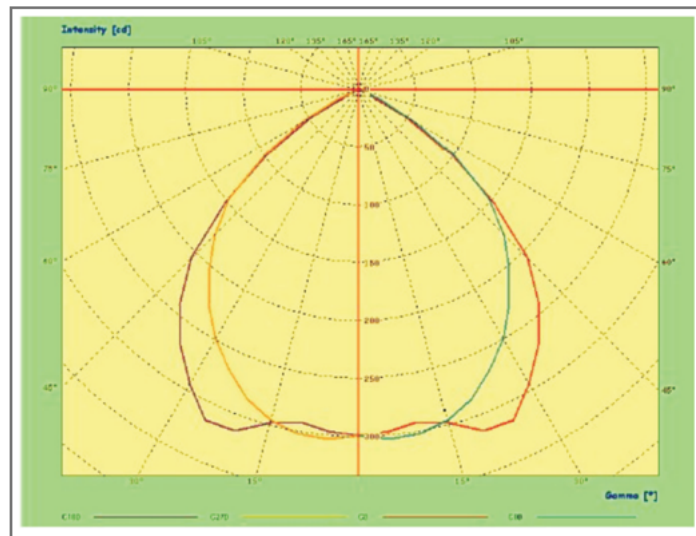


Fonte: (GRADO, 2013)

### 3.2 Intensidade Luminosa

A intensidade luminosa ( $I$ ) é a quantidade de luz emitida a cada segundo em uma direção específica. A unidade é a candela (cd). Para melhor entendimento da intensidade luminosa, é interessante apresentar o conceito da Curva de Distribuição Luminosa (CDL). As CDLs são curvas polares que retratam a direção e a intensidade em que a luz é distribuída em torno do centro da fonte de luz. Em uma curva polar de distribuição de luz, a distância de qualquer ponto da curva para o centro indica a intensidade luminosa dessa fonte nessa direção (LUZ, 2010).

Figura 2 – Exemplo de curva de distribuição de intensidade luminosa em dois planos ortogonais de uma luminária de duas lâmpadas



Fonte:(MAIA et al., 2011)

### 3.3 Iluminância

A iluminância ( $E$ ) é a quantidade de luz ou fluxo luminoso ( $\Phi$ ) que incide sobre uma unidade de área ( $A$ ) de uma superfície. A unidade é o lux. Um lux corresponde a um lúmen de luz incidente por metro quadrado da superfície iluminada. A iluminância é independente da direção na qual o fluxo luminoso alcança a superfície. É a luz direta, conforme figura 1 (OSRAM, 2012). Vê-se, na Tabela 1, os valores típicos de Iluminância para fontes luminosas naturais e artificiais.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (3.1)$$

Valores típicos de Iluminância	lux
Dia enlarado de verão em local aberto	100.000
Dia encoberto de verão	20.000
Dia escuro de inverno	3.000
Boa iluminação de rua	20 a 40
Noite de lua cheia	0,25
Luz de estrelas	0,01

Tabela 1 – Valores típicos de Iluminância

Fonte:(OSRAM, 2012)

## 3.4 Luminância

Luminância ( $L$ ) é a razão da intensidade luminosa ( $I$ ), incidente em uma superfície, para a área ( $A$ ) aparente vista pelo observador. Quando a incidência da intensidade luminosa é normal à superfície, esta área aparente é a própria área da superfície; caso contrário, é proporcional ao cosseno do ângulo  $\alpha$ . A unidade é a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) (LUZ, 2010).

$$L = \frac{I}{A \times \cos(\alpha)} \quad (3.2)$$

## 3.5 Fator de uniformidade da Luminância Cargas

A uniformidade da luminância é a relação entre os pontos mais e menos iluminados em um espaço iluminado. Na prática, deve-se evitar pontos escuros onde a visão é prejudicada. Tem-se a uniformidade global e a uniformidade longitudinal (GODOY, 2010).

### 3.5.1 Uniformidade Global ( $U_0$ )

A Uniformidade Global ( $U_0$ ), é a variação da luminância. Calcula-se usando a razão entre a luminância mínima ( $L_{\min}$ ) e a luminância média ( $L_{\text{med}}$ ) em um plano especificado (GODOY, 2010).

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}} \quad (3.3)$$

### 3.5.2 Uniformidade Longitudinal ( $U_l$ )

A uniformidade longitudinal ( $U_l$ ), é a razão entre a luminância mínima e a luminância máxima ( $L_{\max}$ ) ao longo das linhas paralelas do eixo longitudinal da via em um plano especificado (GODOY, 2010).

$$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (3.4)$$

### 3.5.3 Uniformidade mínima ( $U_{\min}$ )

O fator de uniformidade mínima é a razão entre o valor da iluminância mínima ( $E_{\min}$ ) e o valor da iluminância média ( $E_{\text{med}}$ ) (ABNT NBR5101, 2018).

$$U_{\min} = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} \quad (3.5)$$

### 3.6 Ofuscamento Perturbador (TI – Treshold Increment)

Também conhecido como incremento de limiar (TI), é uma medida que quantifica a perda de visibilidade causada pelo ofuscamento das luminárias. Neste caso, um objeto que está no limite da visibilidade deixa de ser visível devido ao ofuscamento. Caso se pretenda que o objeto seja visível nestas condições, o nível de contraste deve ser incrementado – este incremento corresponde ao TI (DREEIP, 2013).

$$TI = \frac{65}{\bar{L}^{0,8}} \times L_v \% \quad (3.6)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} \quad (3.7)$$

Onde:

- L – Luminância média é o valor médio da luminância na área delimitada pela malha de pontos considerada ao nível da via. Dá-se em cd/m<sup>2</sup>.
- L<sub>v</sub> - Luminância de velamento é o efeito provocado pela luz que incide sobre o olho do observador no plano perpendicular à linha da visão.
- Iluminância (em lux, baseada no fluxo inicial da lâmpada em lumens) produzida pela luminária k, num plano normal à linha de visão e à altura do olho do observador.
- $\theta$  – Ângulo, em graus, do arco entre a linha de visão e a linha desde o observador ao centro da luminária k.

Figura 3 – Exemplo para TI



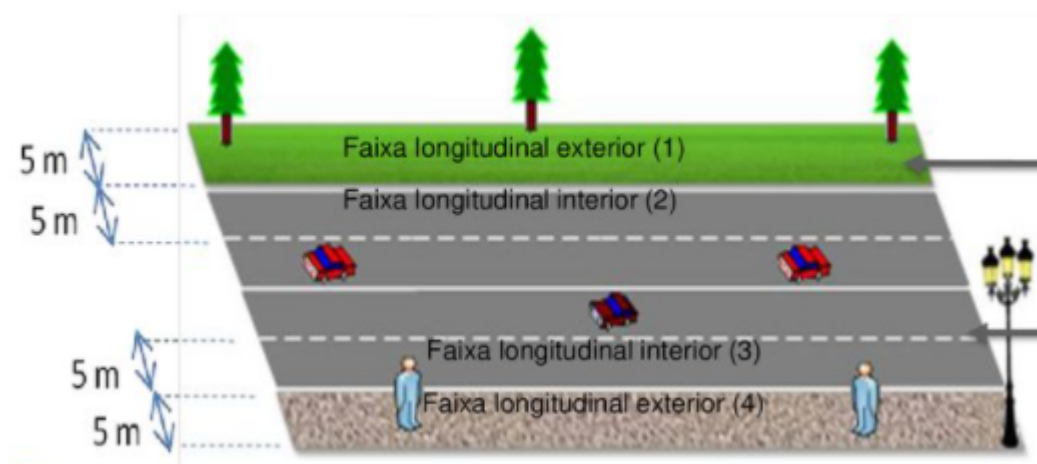
Fonte:(DREEIP, 2013)

### 3.7 Rácio Envolvente – Edge Illuminance Ratio (EIR - SR)

O rácio envolvente (EIR), citado na ABNT NBR5101 (2018) como SR (razão entre a soma das iluminâncias médias horizontais) garante que o fluxo luminoso direcionado para os arredores das vias seja suficiente para tornar perfeitamente visíveis as laterais das vias. Esse parâmetro pressupõe a existência de uma iluminação própria para a travessia de pedestres, levando em consideração o posicionamento da luminária, permitindo a percepção do pedestre pelo motorista (ABNT NBR5101, 2018). Pode ser calculado através da razão entre as iluminâncias médias ( $\bar{E}$ ) das várias faixas longitudinais, pela Equação 3.8. A Figura 4, ilustra os locais nos quais deve-se medir a iluminância para a realização do cálculo do SR.

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3} \quad (3.8)$$

Figura 4 – Locais onde são medidos os valores de iluminância para o cálculo do SR



Fonte:(EDP, 2016)

### 3.8 Eficiência Luminosa (n)

A eficiência luminosa (n) é calculada pela razão entre o fluxo luminoso ( $\Phi$ ) em lumens, e a potência (P) consumida em watts, sendo n expressa em lm/W. Quanto maior a relação lm/W, mais eficiente é a fonte luminosa (MURRAY, 2010).

$$n = \frac{\Phi}{P} \quad (3.9)$$

Observa-se, na Tabela 2, que as lâmpadas incandescentes apresentam menor rendimento, com valores em torno de 2,3%. Tem-se como padrão, no Brasil, o uso de lâmpadas de Vapor de Sódio (VSAP) na iluminação pública. Tais lâmpadas alcançam um rendimento

máximo de 20,6%. Já as lâmpadas de LED atingem um rendimento máximo de 30,45%, o que torna vantajoso o uso da tecnologia LED.

Tipo de lâmpada	Eficiência [lm/W]	Rendimento [%]
Incandescentes	10 a 15	1,5 a 2,3
Halógenas	15 a 25	2,2 a 3,8
Mista	20 a 35	2,9 a 5,2
Vapor de mercúrio	45 a 55	6,6 a 8,2
Fluorescente comum	55 a 75	8,1 a 11,1
Fluorescente compacta	50 a 85	7,3 a 12,5
Vapor Metálico	65 a 90	9,5 a 13,3
Fluorescente eficiente	75 a 90	11,0 a 13,3
VSAP	80 a 140	11,7 a 20,6
VSBP	130 a 200	19,0 a 29,3
LED	70 a 208	10,2 a 30,45

Tabela 2 – Rendimento dos variados tipos de lâmpadas.

Fonte:(MURRAY, 2010)

### 3.9 Índice de Reprodução de Cor (IRC)

De acordo com Maia et al. (2011), IRC é a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma determinada fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural do dia (luz do sol). Na Tabela 3, vê-se o IRC para diferentes tipos de lâmpada. Observa-se que as lâmpadas de LED e incandescentes são as que apresentam um maior índice de reprodução de cor, ou seja, as cores vistas diante dessas fontes luminosas artificiais são as que melhor correspondem às cores reais.

Tipos de Lâmpara	IRC (%)
VSAP	25
Mercúrio	40
Mista	50
Vapor Metálico	70
Fluorescente Compacta	80
LED	70 - 90
Incandescente	100

Tabela 3 – IRC para diferentes tipos de lâmpadas  
Fonte:(MAIA et al., 2011)

### 3.10 Conceitos básicos referentes à eficiência energética de uma instalação

Para ter sucesso em um projeto eficiente de iluminação pública, deve-se garantir que as vias sejam classificadas de acordo com a norma ABNT NBR5101 (2018). Os critérios de iluminação devem ser alcançados e não deve haver excessos. Para não haver excessos, deve-se fazer uma seleção cuidadosa da luminária utilizada, distância entre postes, potência, fluxo luminoso, altura do poste e uniformidade. É importante calcular alguns indicadores de desempenho para quantificar e comparar o melhor desempenho energético. Alguns indicadores de desempenho são:

- Indicador de densidade de potência ( $D_p$ );
- Indicador de consumo de energia ( $D_e$ );

#### 3.10.1 Densidade de Potência $D_p$

Densidade de potência é a razão entre a potência total (P) do sistema de iluminação e o somatório do produto da iluminância média pela area. É dada em  $W/(Lux \times m^2)$  (DREEIP, 2013).

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n \bar{E}_i \times A_i} \quad (3.10)$$

#### 3.10.2 Densidade de Energia $D_e$

Densidade de energia é a razão entre a o somatório das potências associadas aos períodos de operação e a área total que será iluminada. É dada em  $Wh/m^2$  (DREEIP, 2013).

$$D_e = \frac{\sum_{j=1}^M P_j \times T_j}{A} \quad (3.11)$$

## 3.11 Classificação das Vias Públicas

A norma ABNT NBR5101 (2018), recomenda requisitos de iluminância e uniformidade. Ela separa em classes de iluminação de V1 a V5 para veículos e P1 a P4 para pedestres. As classes são determinadas de acordo com as características das vias, tais como densidade de tráfego, complexidade do tráfego, separação do tráfego e da existência de facilidades para o controle do tráfego.

### 3.11.1 Via para tráfego de veículos

Define-se, nas Tabelas 4 e 5, a classe de iluminação para cada tipo de via para tráfego de veículos, iluminância média mínima e uniformidade mínima para cada classe de iluminação. Na Tabela 6 mostra-se os requisitos de luminância e uniformidade para cada tipo de via.

DESCRIÇÃO DA VIA	CLASSE DE ILUMINAÇÃO
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; Auto-estradas	
Volume de tráfego intenso	V 1
Volume de tráfego médio	V 2
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo	
Volume de tráfego intenso	V 1
Volume de tráfego médio	V 2
DESCRIÇÃO DA VIA	CLASSE DE ILUMINAÇÃO
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego elevado	
Volume de tráfego intenso	V 2
Volume de tráfego médio	V 3
Volume de tráfego leve	V 4
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	
Volume de tráfego médio	V 4
Volume de tráfego leve	V 5

Tabela 4 – Classe de Iluminação para cada tipo de via  
Fonte:(ABNT NBR5101, 2018)



Classe de Iluminação	Iluminância média mínima (lux)	Fator de uniformidade mínimo
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Tabela 5 – Iluminação média mínima e uniformidade mínima para cada classe de iluminação.

Fonte:(ABNT NBR5101, 2018)

Classe de Iluminação	<i>Lmed</i>	<i>Uo</i> ≥	<i>UL</i> ≥	<i>TI</i> %	<i>SR</i> ≥
V1 <sup>a</sup>	2,00	0,40	0,70	10,00	0,50
V2 <sup>a</sup>	1,50	0,40	0,70	10,00	0,50
V3 <sup>a</sup>	1,00	0,40	0,70	10,00	0,50
V4 <sup>a</sup>	0,75	0,40	0,60	15,00	-
V5 <sup>a</sup>	0,50	0,40	0,60	15,00	-
<b>Legenda</b>					
<i>Lmed</i>	Luminância média				
<i>Uo</i>	Uniformidade global				
<i>UL</i>	Uniformidade longitudinal				
<i>TI</i>	Incremento de limiar				
<i>SR</i>	Razão das áreas adjacentes à via				
Nota	Os critérios de <i>TI</i> e <i>SR</i> são orientativos assim como a classe V4 e V5				
* Para as classes V1, V2 e V3 deve-se atender aos requisitos de luminância média, uniformidade global e uniformidade longitudinal.					

Tabela 6 – Requisitos de luminância e uniformidade

Fonte:(ABNT NBR5101, 2018)

### 3.11.2 Via para tráfego de pedestres

Define-se, nas Tabelas 7 e 8 a classe de iluminação para cada tipo de via para tráfego de pedestres, iluminância média mínima e uniformidade mínima para cada classe de iluminação.

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima (lux)	Fator de uniformidade mínimo
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Tabela 7 – Iluminação média mínima e uniformidade mínima para cada classe de iluminação.

Fonte:(ABNT NBR5101, 2018)

Descrição da Via	Classe de Iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadões, passeios de zonas comerciais)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)	P4

Tabela 8 – Classe de iluminação para cada tipo de via.  
Fonte:(ABNT NBR5101, 2018)

## 4 Metodologia

A metodologia usada no presente trabalho é um estudo de caso da iluminação pública da cidade de Varginha – MG. Esse estudo está dividido em 5 etapas, sendo elas:

- Cenário Atual;
- Conformidade do Cenário Atual com os requisitos mínimos exigidos pela ABNT NBR5101 (2018);
- Definição de Novas Aplicações para realização do estudo de adequação à tecnologia LED;
- Simulações com auxílio do software DIALux;
- Análise da Viabilidade Econômica do Projeto.

### 4.1 Estudo do Cenário Atual

A prefeitura de Varginha disponibilizou algumas planilhas e programas com os dados de todos os pontos de iluminação da cidade. Esses dados foram levantados pela CEMIG em 2015. O mapa dos pontos de iluminação foi projetado no programa Google Earth. Na Figura 5, é possível ver o mapa geográfico com os pontos disponibilizados pela prefeitura. Cada ponto preto visto na Figura 5 sinaliza um ponto de iluminação da cidade.

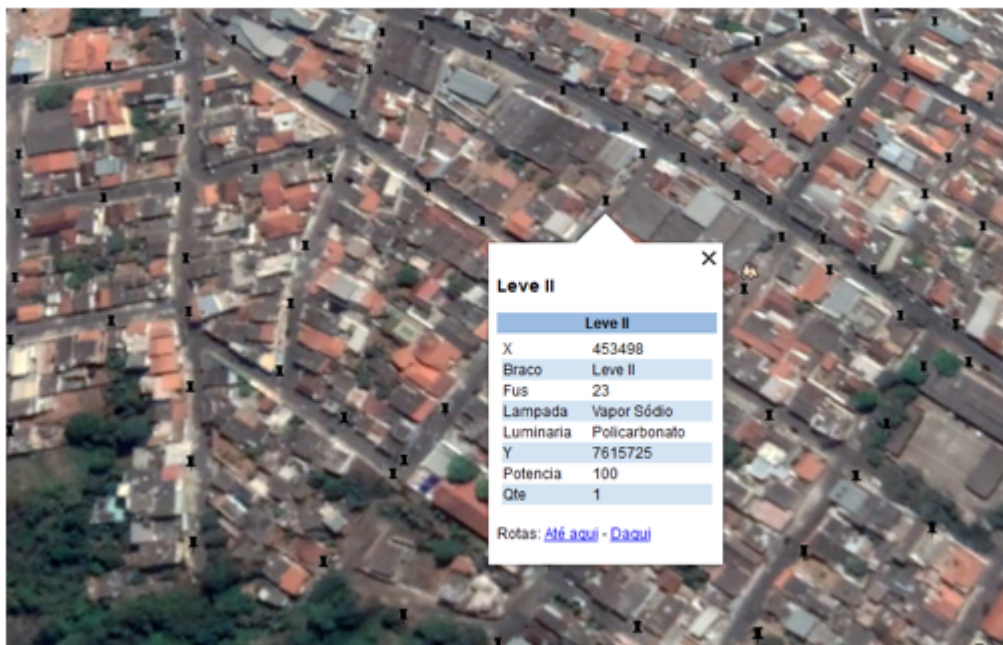
Figura 5 – Arquivo disponibilizado pela prefeitura com todos os pontos de iluminação da cidade.



Fonte: Prefeitura Municipal de Varginha (2019).

No mapeamento apresentado na Figura 6, a cada clique sobre qualquer ponto preto (ponto de iluminação) é possível verificar o tipo de lâmpada, potência, quantidade e tipo de braço da luminária em questão.

Figura 6 – Característica do ponto de iluminação após o clique sobre 1 ponto.



Fonte: Prefeitura Municipal de Varginha (2019).

Segundo dados da prefeitura, Varginha possui 16.500 pontos de iluminação. A cidade utiliza lâmpadas dos tipos Vapor de Sódio, Vapor de Mercúrio e Vapor Metálico de diferentes potências, conforme Tabela 9. Observou-se que aproximadamente 99% das luminárias instaladas são de Vapor de Sódio com potências iguais a 70W, 100W, 150W, 250W e 400W são as de maior quantidade. Assim sendo, decidiu-se trabalhar apenas nessas potências e em luminárias de Vapor de Sódio. A Tabela 10, apresenta as quantidades de cada potência das luminárias de vapor de sódio que serão trabalhadas nesse trabalho.

Potência(W)	V. Mercúrio	V. Metálico	V. Sódio
70	0	0	3289
80	5	0	0
100	0	0	7955
125	141	0	0
150	0	2	3135
250	6	6	1503
350	0	0	68
400	3	3	384

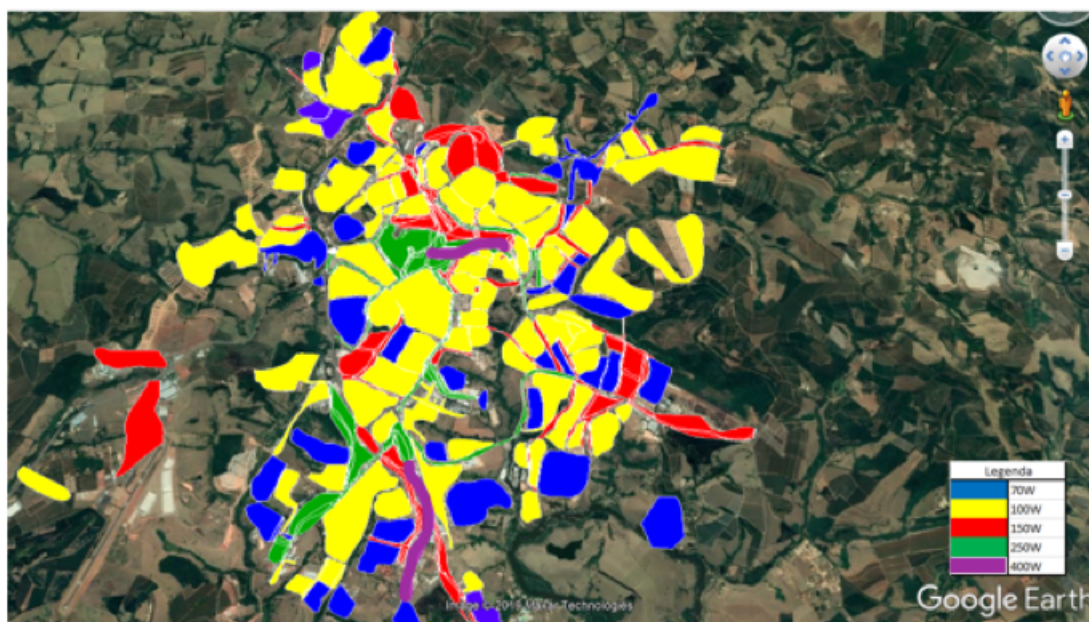
Tabela 9 – Quantidade de luminárias Potência *versus* Tipo  
Fonte: Autoria Própria

Vapor de Sódio	
Potência(W)	Quantidade
70	3289
100	7955
150	3135
250	1503
400	384

Tabela 10 – Potências e tipo de lâmpadas que serão trabalhadas.  
Fonte: Autoria Própria

Analisou-se as características dos pontos de iluminação de toda a cidade, e fez-se a separação dos locais que possuíam luminárias com potência e tipo de lâmpada semelhantes, cada cor representando uma potência conforme legenda apresentada na Figura 7. As luminárias de 70W estão instaladas em bairros afastados do centro, as luminárias de 100W estão localizadas na maioria dos bairros residenciais da cidade e as luminárias de 150W estão presentes nos bairros industriais e algumas avenidas da cidade. As luminárias de 250W localizam-se principalmente na região central e principais avenidas da cidade. Já as luminárias de 400W estão localizadas exclusivamente nas praças do centro da cidade e em parte da avenida Princesa do Sul, principal avenida da cidade.

Figura 7 – Potências escolhidas para estudo.



Fonte: Autoria Própria



## 4.2 Medições de Iluminância

Diante da grande quantidade de vias públicas e das pequenas variações nos parâmetros de largura das vias e distância entre postes, considerou-se valores predominantes para análise do todo. O critério para a escolha das ruas com dados a serem coletados e medições foram: avenidas principais, centro e uma rua com cada potência trabalhada. Na Tabela 11, é possível ver as ruas escolhidas para a realização das medições.

Cenário	Endereço	Lâmpada	Distribuição dos Postes	Espaçamento entre Postes	Largura da Rua
1	Av. Rio Branco	400W	Bilateral Alternado	27m	9m
2	Av. Major Venâncio	250W	Bilateral Alternado	28m	10m
3	Av. Princesa do Sul	250W	Bilateral Alternado	30,5m	12m
4	Rua Coronel Venerando	150W	Unilateral	32m	7m
5	Rua 15 de Novembro	100W	Unilateral	29m	7m
6	Rua Marajós	70W	Unilateral	30m	7m

Tabela 11 – Ruas escolhidas para medições em Campo  
Fonte: Autoria Própria

Realizou-se medições da iluminância nas ruas escolhidas para a realização do cálculo de uniformidade global e iluminância média. Com esses dados, é possível avaliar se os parâmetros mínimos estabelecidos pela norma ABNT NBR5101 (2018) estão em conformidade com os calculados. Assim, utilizou-se o Luxímetro devidamente calibrado, modelo Chroma meter CL-200A, da marca Konica Minolta, ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Luxímetro



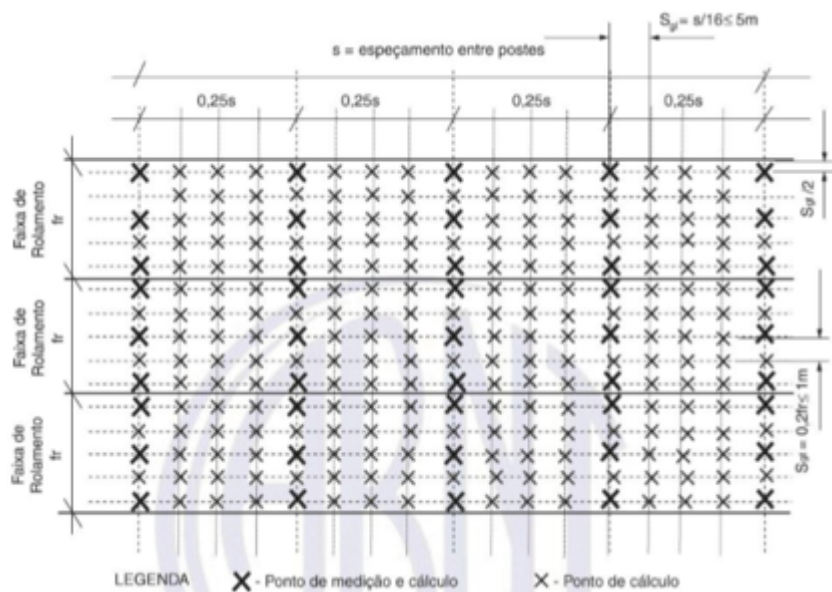
Fonte: <http://sensing.konicaminolta.com.br/products/medidor-de-croma-cl-200a/>

A ABNT NBR5101 (2018) sugere que a medição de iluminância seja realizada em diversos pontos da rua conforme malha ilustrada na Figura 9. No qual cada X em negrito é o ponto de referência onde deve-se medir a iluminância.

Devido ao grande fluxo de veículos nas ruas, tornou-se inviável a medição em todos os pontos sugeridos. Portanto, a iluminância foi medida em pontos estratégicos da via

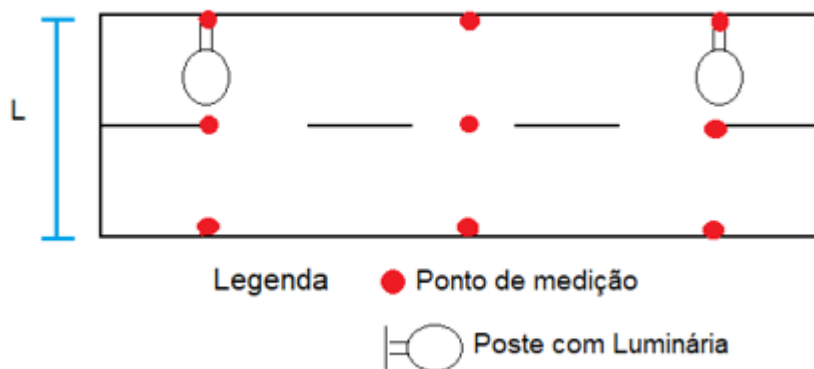
de acordo com os critérios adotados por Nascimento (2012), são eles: pontos com maior relevância, possibilitando encontrar valores máximos e mínimos de iluminância e número mínimo de pontos, desde que seja possível analisar a iluminância mínima, iluminância média e uniformidade. Apresenta-se na figura 10, os pontos onde as medições foram realizadas.

Figura 9 – Malha para verificação detalhada de iluminação sugerida pela ABNT NBR5101 (2018)



Fonte: (ABNT NBR5101, 2018)

Figura 10 – Malha usada para medição em campo.

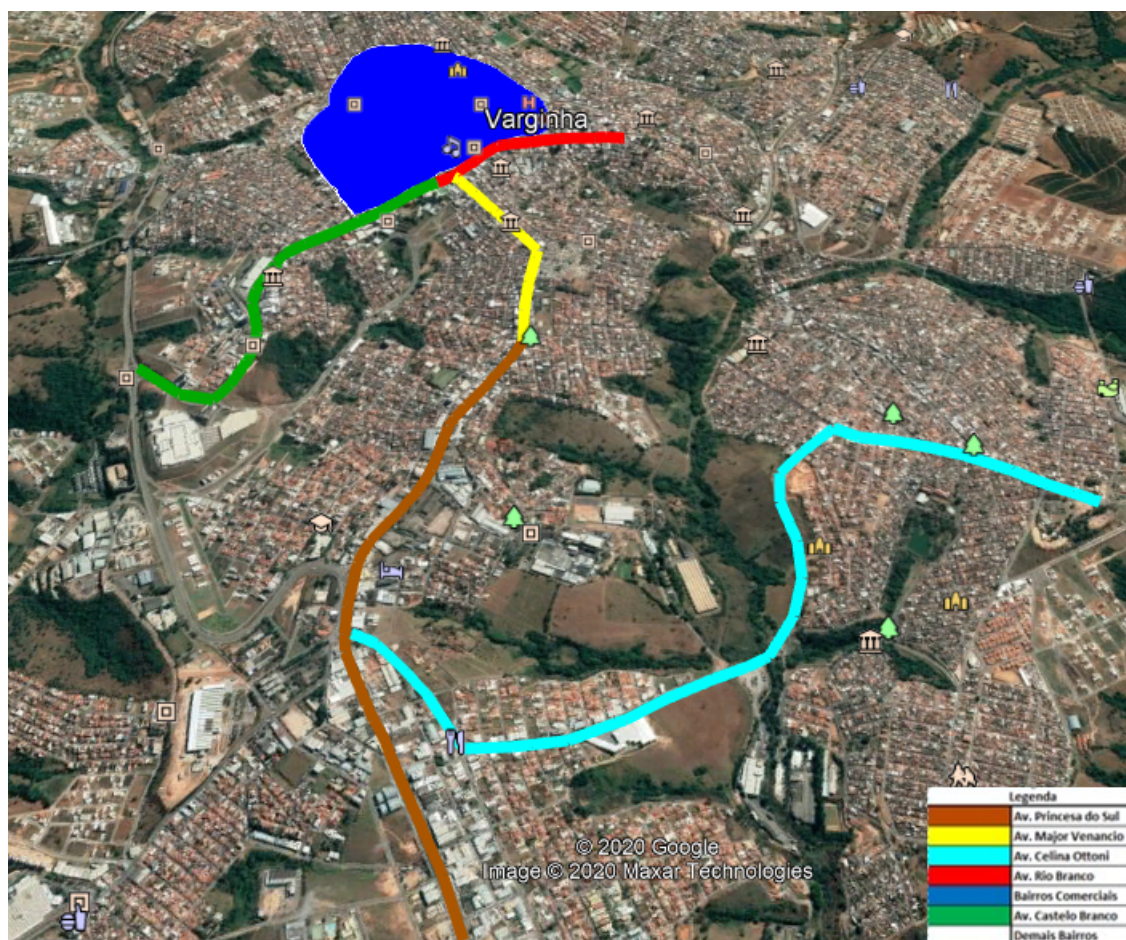


Fonte: Autoria Própria

### 4.3 Definição da proposta para novas aplicações

Para a viabilidade do projeto, separou-se a cidade em aplicações. Os critérios para escolha das aplicações foram: importância das vias para a cidade e semelhança nas características luminosas. As aplicações são apresentadas na Figura 11.

Figura 11 – Definição das novas aplicações



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 12, apresenta onde as novas aplicações são simulados.

Cenário	Endereço	Distribuição dos Postes	Espaçamento médio entre Postes	Largura da Via	Classificação da Via
1	Av. Princesa do Sul	Bilateral Alternado	32m	12m	V1
2	Av. Major Venâncio	Bilateral Alternado	28m	10m	V2
3	Av. Celina Otoni	Unilateral	35m	11m	V3
4	Av. Rio Branco	Bilateral Alternado	27m	9m	V2
5	Av. Castelo Branco	Unilateral	35m	7,5m	V2
6	Bairros Comerciais	Unilateral	29m	7m	V3
7	Bairros Residenciais	Unilateral	30m	7m	V5

Tabela 12 – Cenários que são simulados.

Fonte: Autoria Própria



Os critérios para escolha das aplicações foram aquelas listados abaixo:

- Aplicação 1: Av. Princesa do Sul – Essa é a avenida principal da cidade. Dá acesso à Rodovia Fernão Dias.
- Aplicação 2: Av. Major Venâncio – Avenida que dá acesso ao Shopping e à Rodoviária.
- Aplicação 3: Av. Celina Ottoni – Avenida que dá acesso à Universidade Federal de Lavras e à Unidade de Pronto Atendimento.
- Aplicação 4: Av. Rio Branco – Avenida ao redor da praça central da cidade. A mesma é próxima ao Hospital Regional do Sul de Minas.
- Aplicação 5: Av. Castelo Branco – Essa via liga a rodoviária ao Shopping. Varginha é o polo industrial do Sul de Minas e o Shopping recebe moradores das cidades vizinhas, sendo uma fonte de lazer para a cidade.
- Aplicação 6: Bairros Comerciais – Bairros próximos ao centro, com comércio ativo e movimentação média nas vias.
- Aplicação 7: Demais Bairros – São os bairros residenciais com características semelhantes das vias; por se tratar de vias com pouco movimento, sem comércio ativo e caracterizada apenas por residências, basicamente.

#### 4.4 Simulações com auxílio do software DIALux

Foram considerados dois cenários, o primeiro é considerando a iluminação atual (iluminação convencional) e no segundo com a iluminação utilizando a tecnologia LED. Simulou-se no software DIALux a luminária LED que melhor se adequa aos parâmetros estabelecidos pela legislação de acordo com as características de cada via, a fim de comparar as potências das luminárias de LED com as luminárias instaladas atualmente nas vias de Varginha - MG. As luminárias usadas no software foram as da fabricante Philips. Os dados a seguir foram utilizados nas simulações.

- Tipo de distribuição de luminárias;
- Distância entre postes;
- Distância entre o poste e a pista de rodagem;
- Quantidade de luminária por poste;
- Dados fotométricos das luminárias do fabricante;
- “IES” do fabricante das luminária – documento que contém a curva de distribuição luminosa;

- Classe de iluminação para veículos e pedestres;
- Classificação da superfície;
- Largura da rua;
- Quantidade de faixas na rua;
- Largura da faixa de estacionamento, se houver;
- Altura e largura do passeio;
- Fator de depreciação.

Definiu-se o fator de depreciação de acordo com a ABNT NBR5101 (2018), que diz que para luminárias declaradas com grau de proteção IP66, o fator de depreciação é 0,90.

Classificou-se a superfície como CIE C2, uma vez que se trata de um revestimento por asfalto.

Foram simuladas luminárias de modelos e potências diferentes, de forma a encontrar a luminária LED mais adequada e eficiente para cada cenário definido.

No Anexo H, tem-se um tutorial básico ensinando passo a passo como implementar uma simulação usando o software DIALux.

Após a escolha das melhores aplicações de luminárias LED nos dois cenários estabelecidos, são calculados parâmetros de eficiência energética, sendo estes: a redução da demanda (RD) e a energia economizada (EE). Considera-se a potência total instalada atualmente (PA) e a potência total simulada (PS), conforme equação 4.1.

$$RD = PA - PS \quad (4.1)$$

Considerando o fator de demanda de 50%, diariamente; ou seja, 12h de funcionamento das luminárias por dia, em um ano tem-se 4380h. Assim, encontra-se a energia economizada (EE) anualmente, conforme equação 4.2.

$$EE = RD \times 4380h \quad (4.2)$$

## 4.5 Viabilidade Econômico-financeira

A eficiência energética está diretamente relacionada com a redução de consumo de energia elétrica. Logo, acredita-se que existe retorno financeiro quando há investimentos em projetos desta natureza. Segundo Biezma e Cristobal (2006), métodos como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback são os mais utilizados e efetivos para avaliar investimentos em Eficiência Energética.

### 4.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é usado para análise de viabilidade econômica de um projeto. Segundo Silva e Fontes (2005), o VPL é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos. Este método visa medir a variação do valor do dinheiro no tempo, introduzindo taxas de desconto.

A equação geral para o método VPL é mostrada a seguir:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (4.3)$$

Onde:

- $FC_j$ : Valores de entrada ou saída de caixa em cada período do tempo;
- $FC_0$ : Valor de investimento inicial;
- $j$ : Período de tempo;
- $i$ : Taxa de desconto do projeto

Se o VPL for maior que zero, significa que esse projeto traz retorno para o investidor, gerando lucro. Em contrapartida, se o VPL for menor que zero, o projeto não traz retorno para o investidor, gerando prejuízo.

### 4.5.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma métrica utilizada para analisar o percentual de retorno financeiro, corresponde à taxa de desconto que anula o valor presente líquido de um projeto (URTADO et al., 2009).

A equação para o cálculo da TIR é identificado com a seguinte equação:

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (4.4)$$

### 4.5.3 Payback

O método Payback se baseia sua análise temporal; ou seja, avalia o tempo em que o fluxo de caixa acumulado periodicamente consegue recuperar o investimento inicial. Este é o principal método não exato, que mede o tempo necessário para que a somatória das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial (GUIMARÃES, 2012).

## 5 Resultados e Discussão

A presente seção apresenta os resultados obtidos através das medições feitas nas ruas de Varginha - MG. As medições foram feitas conforme pontos mostrados na Figura 10, onde L1 é a localização abaixo do poste, Meio refere-se ao centro da via e L2 à localização oposta ao poste. Apresenta-se também a análise de conformidade dos parâmetros medidos de iluminância mínima, iluminância média e calcula-se a uniformidade mínima de acordo com a equação 3.5.

### 5.1 Resultado das Medições

#### Av. Rio Branco

Mediu-se os valores de iluminância na Av. Rio Branco conforme Tabela 13.

Av. Rio Branco - 400W		
L1(lux)	Meio (lux)	L2 (lux)
52,6	167,2	96,2
180,2	43,9	177,7
61,5	54,9	53,4

Tabela 13 – Medidas de iluminância na Av. Rio Branco  
Fonte: Aatoria Própria

#### Av. Major Venâncio

Mediu-se os valores de iluminância na Av. Major Venâncio conforme Tabela 14.

Av. Major Venâncio - 250W		
L1(lux)	Meio (lux)	L2 (lux)
35,7	8,8	27,2
112,4	2,3	105
35,8	9,8	20,6

Tabela 14 – Medidas de iluminância na Av. Major Venâncio  
Fonte: Aatoria Própria

#### Av. Princesa do Sul

Mediu-se os valores de iluminância na Av. Princesa do Sul conforme Tabela 15.

Av. Princesa do Sul - 250W		
L1(lux)	Meio (lux)	L2 (lux)
34,5	8,3	28,3
118,1	2,6	105,9
34,2	10,6	23,7

Tabela 15 – Medidas de iluminância na Av. Princesa do Sul  
Fonte: Aatoria Própria

### Rua Coronel Venerado Pereira

Mediu-se os valores de iluminância na Rua Coronel Venerado Pereira conforme Tabela 16.

Rua Coronel Venerado Pereira - 150W		
L1(lux)	Meio (lux)	L2 (lux)
12,3	3,4	16,4
24,2	1,3	18,9
16,6	0,2	9,5

Tabela 16 – Medidas de iluminância na Rua Coronel Venerado Pereira  
Fonte: Aatoria Própria

### Rua 15 de Novembro

Mediu-se os valores de iluminância na Rua 15 de Novembro conforme Tabela 17.

Rua 15 de Novembro - 100W		
L1(lux)	Meio (lux)	L2 (lux)
5,6	3,1	13,2
12,2	3,8	27,2
5,6	1	11,4

Tabela 17 – Medidas de iluminância na Rua 15 de Novembro  
Fonte: Aatoria Própria

### Rua Marajós

Mediu-se os valores de iluminância na Rua Marajós conforme Tabela 18.

Rua Marajós - 70W		
L1(lux)	Meio (lux)	L2 (lux)
4,2	1,1	10,1
8,1	2,3	21,2
3,1	0,3	8,7

Tabela 18 – Medidas de iluminância na Rua Marajós  
Fonte: Autoria Própria

### 5.1.1 Análise de Conformidade dos Cenários Atuais

Observa-se na Figura 12 que, com exceção da Av. Rio Branco, pelo menos um requisito na iluminação de todas as vias analisadas, seja de iluminância ou uniformidade, não atende às exigências apresentadas pela norma brasileira ABNT NBR5101 (2018).

Figura 12 – Análise de Conformidade dos Cenários Atuais

Av. Rio Branco – 400W				Rua Marajós– 70W			
Classe: V1	Referência	Valor obtido	Conformidade	Classe: V5	Referência	Valor obtido	Conformidade
Emed	>30	98,62	C	Emed	>5	6,57	C
Emin	>1	43,90	C	Emin	>1	0,30	NC
U	>0,4	0,45	C	U	>0,2	0,05	NC
Av. Major Venâncio – 250W				Av. Princesa do Sul– 250W			
Classe: V2	Referência	Valor obtido	Conformidade	Classe: V1	Referência	Valor obtido	Conformidade
Emed	>20	39,73	C	Emed	>30	40,69	C
Emin	>1	2,3	C	Emin	>1	2,6	C
U	>0,3	0,06	NC	U	>0,4	0,06	NC
Rua Coronel Venerado Pereira– 150W				Rua 15 de Novembro– 100W			
Classe: V3	Referência	Valor obtido	Conformidade	Classe: V5	Referência	Valor obtido	Conformidade
Emed	>15	11,42	NC	Emed	>5	9,23	C
Emin	>1	0,20	NC	Emin	>1	1	C
U	>0,2	0,02	NC	U	>0,2	0,11	NC

Fonte: Autoria Própria

## 5.2 Cálculo de potência com as novas luminárias simuladas LED

A seguir serão apresentados os cálculos das potências usando as luminárias de LED que passaram pelos requisitos da norma ABNT NBR5101 (2018) nas simulações apresentadas nos Anexos A,B,C,D,E,F e G.

### 5.2.1 Aplicação 1

Na avenida Princesa do Sul, foram contabilizadas aproximadamente 318 luminárias de potência 250W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu às especificações foi a luminária BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V, de potência 88W. No Anexo A, apresenta-se a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS = \text{Quantidade de Pontos de Iluminação} \times \text{Potência da Luminária Simulada} \quad (5.1)$$

$$PS_1 = 318 \times 88W = 27,98kW$$

### 5.2.2 Aplicação 2

Na avenida Major Venâncio, foram contabilizadas aproximadamente 176 luminárias de potência 250W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu às especificações foi a luminária BRP371 A LED81-4SNW 68W DW1 NEMA7P MP 220V de potência 68W. No Anexo B, apresenta-se a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS_2 = 176 \times 68W = 11,97kW$$

### 5.2.3 Aplicação 3

Foram contabilizadas aproximadamente 197 luminárias, na avenida Celina Ottoni. A potência das luminárias instaladas nesse cenário é de 250W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu às especificações foi a luminária BRP371 A LED1585S-NW 140W DME NEMA7P de potência 140W. No Anexo C, apresenta-se a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS_3 = 197 \times 140W = 27,58kW$$

### 5.2.4 Aplicação 4

Na Avenida Rio Branco, foram contabilizadas aproximadamente 283 luminárias de potência 400W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu às especificações foi a luminária BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V de potência 88W. Apresenta-se, no anexo D, a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS_4 = 283 \times 88W = 24,90kW$$

### 5.2.5 Aplicação 5

Na Avenida Castelo Branco, foram contabilizadas aproximadamente 187 luminárias de potência 250W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu às especificações foi a luminária BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V de potência 88W. No Anexo E, apresenta-se a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS_5 = 187 \times 88W = 16,46kW$$

### 5.2.6 Aplicação 6

Nos Bairros Comerciais, aqueles perto do centro, foram contabilizadas aproximadamente 4995 luminárias. A potência das luminárias instaladas nesse cenário varia entre 100W e 150W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu às especificações foi a luminária BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V de potência 88W. No Anexo F, apresenta-se a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS_6 = 4995 \times 88W = 439,56kW$$

### 5.2.7 Aplicação 7

Nos bairros residenciais, foram contabilizadas aproximadamente 10.384 luminárias. A potência das luminárias instaladas nesse cenário varia entre 70W e 100W. A luminária no catálogo Philips que melhor atendeu as especificações foi a luminária BRP220 LED455S NW 38W DME NEMA7P de potência 38W. No Anexo G, apresenta-se a simulação para esse cenário. Todos os parâmetros observados estão dentro das especificações da norma ABNT NBR5101 (2018).

$$PS_7 = 10344 \times 38W = 393,07kW$$

### 5.2.8 Conclusão da seção 5.2

Nessa seção, as luminárias que atenderam os requisitos de iluminância e uniformidade em conformidade com a ABNT NBR5101 (2018) são apresentadas. Através das potências dessas luminárias, calcula-se a potência simulada de acordo com as quantidades de pontos de iluminação. Assim, é possível calcular a potência total simulada para as vias



estudadas através do somatório das potências. Têm-se na Tabela 19 o valor da potência total simulada.

$$PS = \sum_{c=1}^n PS_n \quad (5.2)$$

Potência das Luminárias (W)	Qtdade de Luminária	Potência instalada (kW)
88	318	27,984
68	176	11,968
140	197	27,580
88	283	24,904
88	187	16,456
88	4.995	439,56
38	10.344	393,07
	Total (PS)	941,52

Tabela 19 – Potência Total Simulada  
Fonte: Autoria Própria

### 5.3 Potência instalada atualmente (PA) X Potência Simulada (PS)

Considerando os pontos de iluminação pública no cenário atual de Varginha, calcula-se a potência total instalada (PA) de acordo com as informações cedidas pela Prefeitura da Cidade. A Tabela 20 apresenta o valor da potência total instalada na cidade atualmente.

Potência das Luminárias (W)	Qtdade de Luminária	Potência instalada (kW)
70	3.289	230,23
80	5	0,4
100	7.955	795,5
125	141	17,625
150	3.137	470,55
250	1.515	378,75
350	68	23,8
400	390	156
	Total	2.072,855

Tabela 20 – Potência instalada atualmente  
Fonte: Autoria Própria

Somando as potências das aplicações simuladas apresentadas na seção 5.2, tem-se uma potência total simulada (PS) instalada de 943,04kW. Diante disso, calcula-se a redução de demanda de acordo com a equação 4.1 caso a troca das luminárias ocorra.

$$RD = 2.072,85kW - 941,52kW = 1.131,33kW$$

Com a redução de demanda calculada, calcula-se a Economia de Energia anual de acordo com a equação 4.2.

$$EE = 1.131,33kW \times 4.380h = 4,95GWh$$

### 5.3.1 Conclusão da seção 5.3

Após feitas as simulações, encontrou-se as potências das luminárias de LED com proposição para troca nas vias de Varginha. Calculou-se a soma das potências para cada aplicação estudada e comparou-se com a soma das potências das luminárias instaladas atualmente na cidade. Após isso, encontrou-se uma economia de energia de 4,95GWh anualmente. O que representa uma redução de 54% no consumo de energia anual na cidade.

## 5.4 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Projeto

De acordo com as simulações feitas na seção 5.2, observa-se que as luminárias de potência 68W, 88W e 140W são as que melhor atendem aos parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR5101 (2018). Para análise econômico-financeira, levantou-se o custo estimado e a quantidade de luminárias instaladas em cada aplicação. Na Tabela 21, tem-se o custo total estimado através de orçamentos levantados com os fabricantes das luminárias propostas para o projeto.

	Valor da Luminária (R\$)	Quantidade de Luminária instalada por Cenário						Custo total Material (R\$)
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	
<b>Luminária 68W</b>	1.000		176					176.000,00
<b>Luminária 88W</b>	1.200	318			283	187	4995	6.939.600,00
<b>Luminária 140W</b>	1.900			197				374.300,00
								<b>7.489.900,00</b>

Tabela 21 – Custo total das luminárias instaladas no projeto

Fonte: Autoria Própria

Segundo Mendes e Bastos (2001), as despesas relacionadas a mão de obra em projetos públicos apresentam uma certa variabilidade e os percentuais adotados estão entre 20% e 40% em relação aos custos de materias. No presente trabalho, considera-se a porcentagem de 40%. Assim, tem-se na Tabela 20 o custo das despesas totais do projeto.

Conforme apresentado na seção 5.3, a economia de energia do projeto é de 4,95GWh/ano. O custo do quilowatt-hora (kWh) da iluminação pública em Varginha - MG é de R\$ 0,62833.

Calcula-se a economia anual de energia elétrica em Varginha-MG multiplicando-se o valor do quilowatt-hora pela estimativa adotada de economia anual de energia elétrica.

Considerando 40% de mão de obra (R\$)	2.995.960,00
Custo Material + Mão de Obra (R\$)	10.485.860,00

Tabela 22 – Custo total do Projeto de Eficiência Energética  
Fonte: Autoria Própria

Assim, caso a troca das luminárias ocorra, a economia anual financeira é apresentada pela Tabela 21.

Economia anual do Projeto (KWh)	4.950.000
Custo do kWh em Varginha (R\$)	0,62833
Economia Anual (R\$)	3.110.233,50

Tabela 23 – Economia Anual Financeira  
Fonte: Autoria Própria

### 5.4.1 Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback

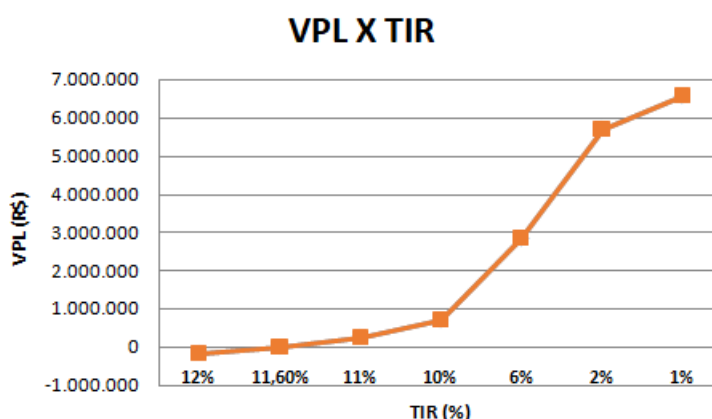
Calcula-se o VPL e a TIR de acordo com as equações 4.3 e 4.4. Considerando o investimento e a manutenção no período de 10 anos, estima-se uma taxa de 10% de despesas ao ano em relação ao custo total do projeto. Além disso, para que a análise financeira seja feita de uma forma completa, estima-se uma despesa com retrofit no sexto ano de projeto com um custo de 15% em relação ao custo total do investimento.

No gráfico representado na figura 13, vê-se os resultados obtidos. Observa-se que a taxa (TIR) que anula o VPL é de aproximadamente 11,6% (valor muito satisfatório no contexto econômico-financeiro atual). No presente trabalho, estimou-se uma taxa de 6% como uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA representa o mínimo esperado de retorno financeiro que uma aplicação deve trazer para ter viabilidade.

Com um TMA de 6%, tem-se um VPL de R\$ 2.840.015,68. Sendo assim, conclui-se que o projeto é muito atrativo.

A tabela com os custos, de forma aberta, está apresentada no Anexo I.

Figura 13 – VPL X TIR



Fonte: Autoria Própria

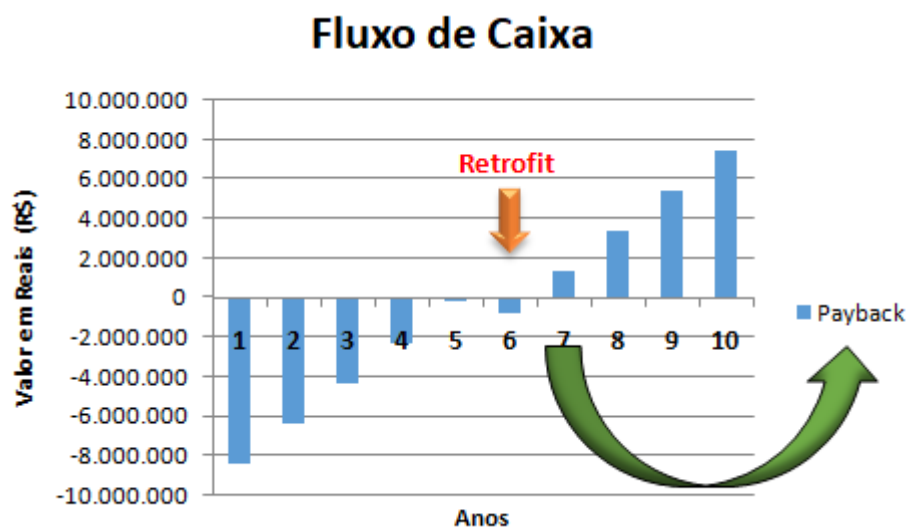
Considerando-se o custo do investimento inicial de R\$ 10.485.860,00, os gastos anuais de aproximadamente R\$ 1.048.586,00/ano, o ganho líquido anual devido a economia de energia de R\$ 3.110.233,50/ano.

No gráfico apresentado na Figura 14, vê-se a análise completa do Payback do projeto. Observa-se que o resultado do projeto tem um Payback de 7 anos.

### 5.4.2 Conclusão da Seção 5.4

De acordo com os métodos usados, observa-se que o projeto é lucrativo do ponto de vista econômico-financeiro. Encontrou-se um valor positivo de VPL e um Payback de 7

Figura 14 – Payback



Fonte: Autoria Própria

anos. Considerando que o tempo de vida útil das luminárias LED são de aproximadamente 13 anos, pode-se considerar um projeto de sucesso.

## 6 Conclusão

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a substituição das luminárias convencionais atualmente instaladas pelas luminárias com tecnologia LED em algumas vias da cidade de Varginha. Com os resultados obtidos se faz uma análise financeira da substituição considerando toda a cidade.

Na seção 5.1, observa-se que em todas as luminárias instaladas no cenário atual, utilizadas no estudo, com exceção da Av. Rio Branco (localizada no centro da cidade), pelo menos um dos parâmetros calculados ou medidos não está conforme o exigido pela norma ABNT NBR5101 (2018). Diante dessa análise, a motivação foi ainda maior para a realização da análise da viabilidade do uso de luminárias mais eficientes.

Através das simulações, conseguiu-se luminárias LED com potências menores comparadas àquelas instaladas atualmente na cidade, que atendem todos os parâmetros técnicos exigidos pela norma ABNT NBR5101 (2018). Além disso, através dos cálculos apresentados nas seções 5.2 e 5.3, conclui-se que, há uma redução potencial de 54% no consumo atual de energia elétrica da cidade por ano. Através da análise feita na seção 5.4, conclui-se que do ponto de vista econômico-financeiro, o projeto é muito atrativo, devido ao Valor Presente Líquido (VPL) positivo e um Payback de 7 anos. Considerando que o tempo de vida útil das luminárias LED são de aproximadamente 13 anos, pode-se considerar um projeto de sucesso.

### 6.1 Trabalhos Futuros

Propõe-se estudar, em trabalhos futuros, a utilização de controladores dimerizáveis; pois, de acordo com a fabricante Philips, as luminárias propostas nesse trabalho podem oferecer esse tipo de tecnologia, utilizando controle em uma central única e automática. Os controladores dimerizáveis, também conhecidos como drivers dimerizáveis, são dispositivos que atuam como fonte de alimentação para o LED. Com esse tipo de dispositivo, é possível controlar o fluxo luminoso do LED com a finalidade de ter vários patamares de iluminação.

# Referências

- ANTHOPOULOU, E.; DOULOS, L. The effect of the continuous energy efficient upgrading of LED street lighting technology: The case study of Egnatia Odos. *Second Balkan Junior Conference on Lighting (Balkan Light Junior)*, IEEE, 2019. 3
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5101: Iluminação pública - procedimento*. Rio de Janeiro, 2018. 4, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 22, 26, 27, 28, 30, 34
- AVER, A. A relação iluminação pública e criminalidade. *Revista Especialize*, IPOG, 2013. 2
- BIEZMA, M. V.; CRISTOBAL, J. R. S. Investment criteria for the selection of cogeneration plants—a state of the art review. . *Applied Thermal Engineering* VI 26, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.07.006>>. Acesso em: 15 out. 2020. 22
- BULLOUGH, J. D.; RADETSKY, L. C. Analysis of new highway lighting technologies. *National cooperative Highway Research Program, Lighting Research and Technology*, 2013. 3
- CIOBANU, I.; PENTIUC, R. D. Analysis on the possibility of using retrofit solutions for increasing the energy efficiency of public lighting systems. *International Conference on Applied and Theoretical Electricity*, IEEE, 2016. 1, 3
- DREEIP. Eficiência energética na iluminação pública, Conceitos de Luminotécnica – Parte 1. DREEIP, 2013. Disponível em: <[https://areac.pt/images/Documentos/DREEIP\\_Partel.pdf](https://areac.pt/images/Documentos/DREEIP_Partel.pdf)>. Acesso em: 8 out. 2019. 8, 11
- EDP. Manual da Iluminação Pública. EDP Distribuição, 2016. Disponível em: <[www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-04/Manual](http://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-04/Manual)>. Acesso em: 8 out. 2019. 9
- GODOY, P. Qualidade na iluminação urbana. *O Setor Elétrico*, 2010. 7
- GRADO, I. Conceitos Básicos de Iluminação. *Grado Iluminação*, 2013. Disponível em: <<https://www.gradoiluminacao.com.br/artigos/conceitos-basicos-de-iluminacao/>>. Acesso em: 12 set. 2019. 5
- GUIMARÃES, A. M. P. Estudo da Viabilidade de Investimentos em uma Franquia de Ensino Profissionalizante . IX Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia UFSJ, 2012. 23
- LOPES, L. B. Uma avaliação da tecnologia led na iluminação pública. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010665.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019. 4
- LUZ, J. M. Luminotécnica. UNICAMP, 2010. Disponível em: <<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019. 5, 7
- MAIA, A. C. B. et al. Manual de Iluminacao. PROCEL, 2011. 6, 10, 11

- MENDES, A. L.; BASTOS, P. R. leitão. Um aspecto polêmico dos orçamentos de obras públicas: Benefícios e Despesas Indiretas. Revista do TCU, edição n88, 2001. 30
- MURRAY, M. Cree Breaks 200 Lumen Per Watt Efficacy Barrier. CREE, 2010. Disponível em: <[www.cree.com/press/press\\_detail.asp?i=1265232091259](http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1265232091259)>. Acesso em: 28 set. 2019. 9, 10
- NACIMENTO, A. Análise do uso da tecnologia led na iluminação pública: Estudo das perspectivas de aplicação na cidade de são paulo. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Energia), Universidade Federal do ABC, 2012. 19
- NAIR, A. K. et al. Performance analysis of LED and florescent lamps a case study of street lighting system. *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS)*, IEEE, 2016. 3
- OSRAM. Manual Luminotécnico Prático. 2012. 6
- PAYAN, B. M.; MORENO, F. J. C.; SANTOS, J. M. R. Improving the Energy Efficiency of Street Lighting. A Case in the South of Spain. *IEEE 9th International Conference on the European Energy Market*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012. 4
- SALES, R. Luminárias a Led na iluminação pública: características técnicas e viabilidade econômica. O Setor Elétrico, 2009. 1
- SANTANA, R. Iluminação Pública: Uma abordagem Gerencial. *Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia- MRIE, Programa de Pós graduação em Engenharia, Universidade de Salvador, UNIFACS*, 2010. 1
- SILVA, M. L. da; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente(VAE) e Valor Esperado da Terra(VET) . <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n6/a12v29n6.pdf>, 2005. Acesso em: 15 out. 2020. 23
- URTADO, E. S. et al. Aplicação do método do Valor Presente Líquido (VPL) na análise da viabilidade econômica de projetos na indústria Metal Mecânica: Um Estudo de Caso. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/0732\\_0960\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0732_0960_01.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2020. 23



# Anexos

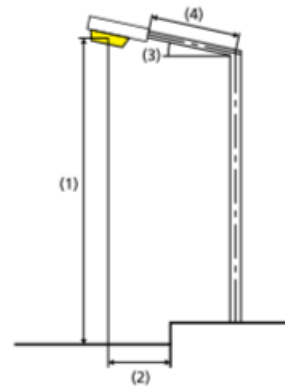
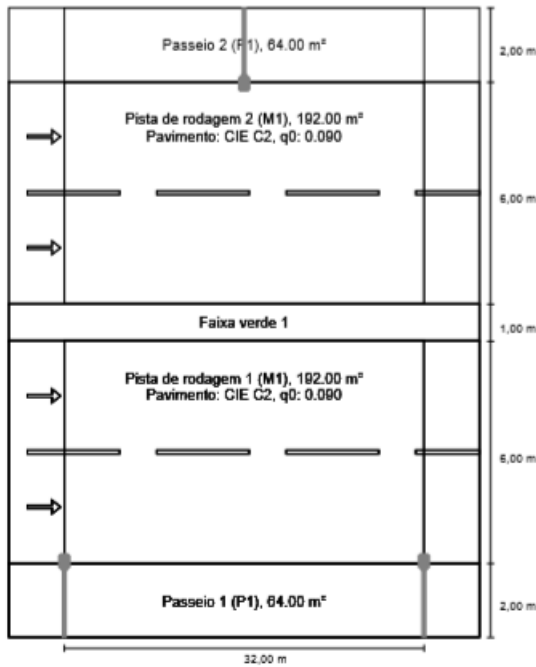
# ANEXO A – Aplicação 1

Avenida Princesa do Sul - Via bilateral alternada com largura de 12m, distanciamento entre postes de 32m.

Figura 15 – Compilação dos Resultados Aplicação 1

Princesa do Sul em direcção EN 13201:2015

Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W  
DW1 NEMA7P MP 220V



Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	10467.10 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	10467.10 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 89.6 W
W/km:	5555.2
Distribuição:	bilateral alternadamente
Distância entre postes:	32.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	0.0°
Comprimento braço extensor (4):	2.000 m
Altura do ponto de luz (1):	8.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	0.000 m

ULR: -1.00

ULOR: 0.00

Valor máximo da potência luminosa

com 70° e acima: 619 cd/klm \*

com 80° e acima: 62.3 cd/klm \*

com 90° e acima: 1.04 cd/klm \*

Classe de potência luminosa: G\*3

Figura 16 – Continuação da compilação dos Resultados Aplicação 1

**Resultados para os campos de avaliação**  
 Factor de manutenção: 0.90

**Passeio 2 (P1)**

Em [lx]	Emin [lx]
≥ 15.00	≥ 3.00
≤ 22.50	
✓ 21.68	✓ 9.23

**Pista de rodagem 2 (M1)**

Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	Uo	UI	TI [%]	EIR
≥ 2.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
✓ 2.44	✓ 0.86	✓ 0.80	✓ 8	✓ 1.06

**Pista de rodagem 1 (M1)**

Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	Uo	UI	TI [%]	EIR
≥ 2.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
✓ 2.45	✓ 0.82	✓ 0.75	✓ 9	✓ 1.06

**Passeio 1 (P1)**

Em [lx]	Emin [lx]
≥ 15.00	≥ 3.00
≤ 22.50	
✓ 21.62	✓ 9.09

**Resultados para indicadores de eficiência energética**

**Indicador de Densidade de potência (Dp)** 0.013 W/bm<sup>2</sup>

**Densidade de consumo de energia** 1.4 kWh/m<sup>2</sup> yr

Distribuição: 17982 - 1 - Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V.ies (716.8 kWh/yr)

Figura 17 – Curva de Distribuição - Aplicação 1

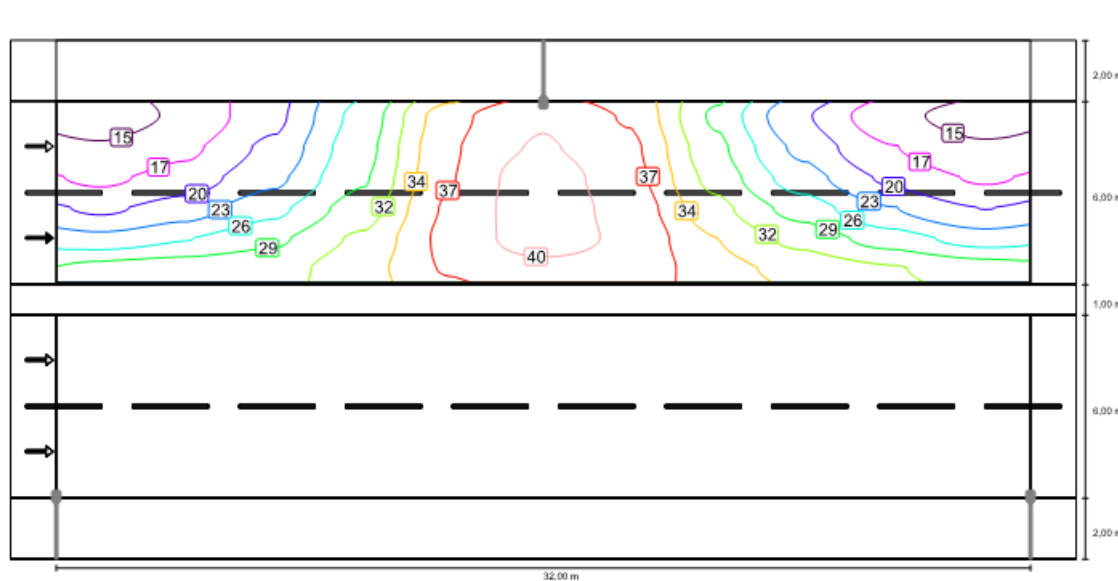
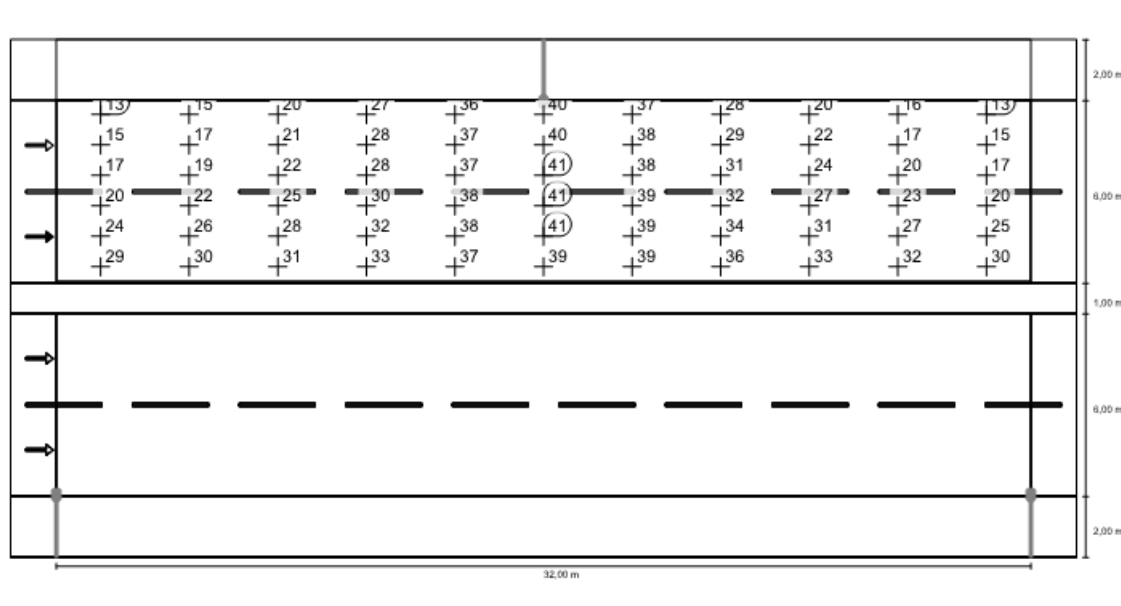


Figura 18 – Malha de Medição - Aplicação 1



## ANEXO B – Aplicação 2

Avenida Major Venâncio - Via bilateral alternada com largura de 10m, distanciamento entre postes de 28m.

Figura 19 – Compilação dos Resultados Aplicação 2

Av. Major Venancio em direcção EN 13201:2015

Philips - LUM LED - BRP371 A LED81-4SNW 68W  
DW1 NEMA7P MP 220V

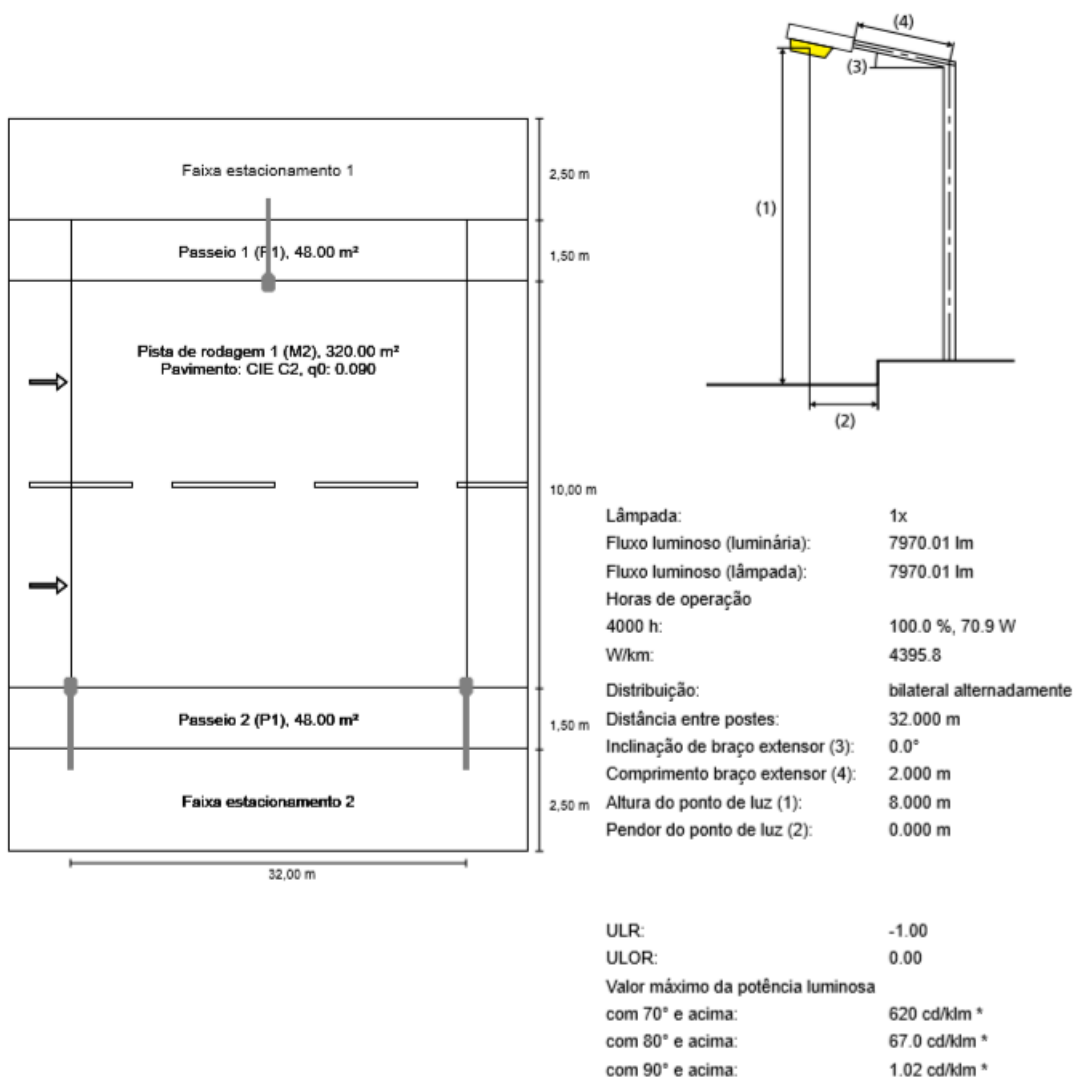


Figura 20 – Continuação da compilação dos Resultados Aplicação 2

Resultados para os campos de avaliação  
 Factor de manutenção: 0.90

Passeio 1 (P1)

Em [lx] ≥ 15.00 ≤ 22.50	Emin [lx] ≥ 3.00
✓ 19.25	✓ 8.90

Pista de rodagem 1 (M2)

Lm [cd/m <sup>2</sup> ] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR
✓ 2.37	✓ 0.78	✓ 0.80	✓ 7	* 0.52

Passeio 2 (P1)

Em [lx] ≥ 15.00 ≤ 22.50	Emin [lx] ≥ 3.00
✓ 19.21	✓ 9.01

\* informativo, não faz parte da avaliação

Resultados para indicadores de eficiência energética

Indicador de Densidade de potência (Dp) 0.014 W/lxm<sup>2</sup>  
 Densidade de consumo de energia  
 Distribuição: 17983 - 1 - Philips - LUM LED - BRP371 A LED81-4SNW 68W DW1 NEMA7P MP 220V.ies (567.2 kWh/yr) 1.4 kWh/m<sup>2</sup> yr

Figura 21 – Curva de Distribuição - Aplicação 2

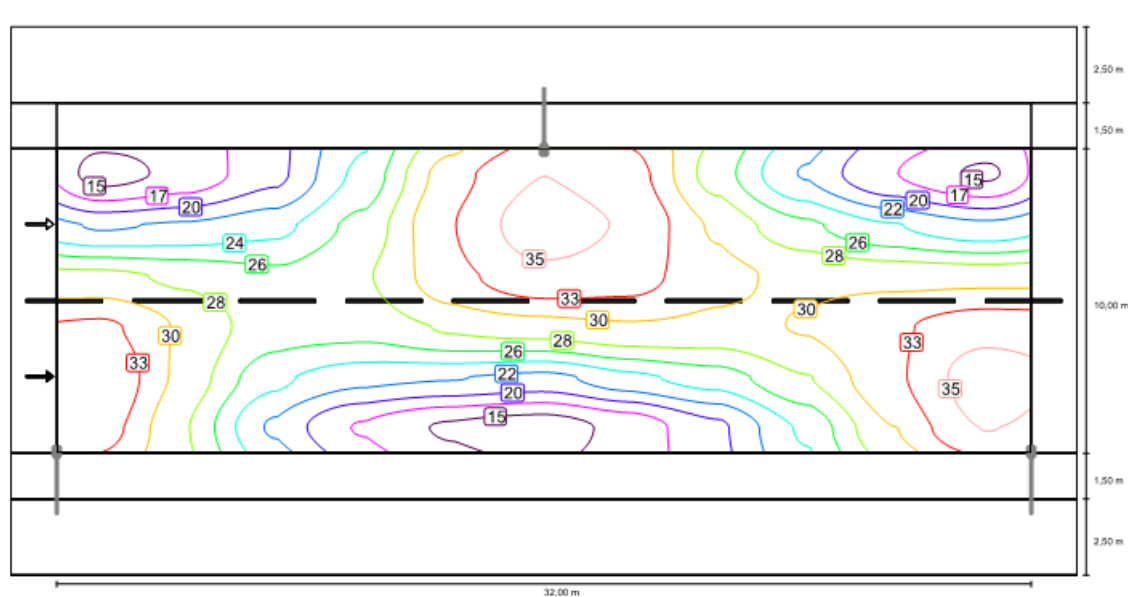
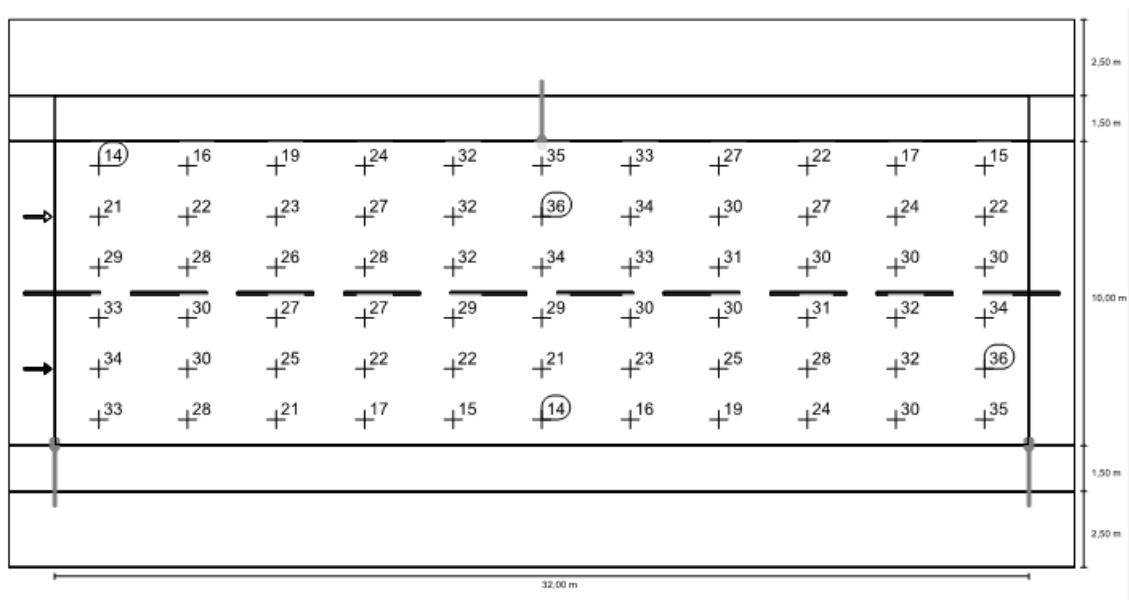


Figura 22 – Malha de Medição - Aplicação 2



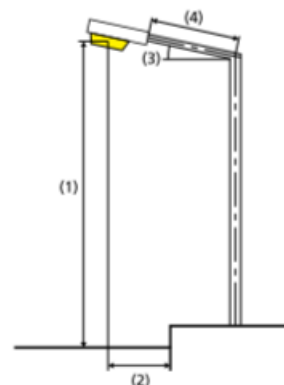
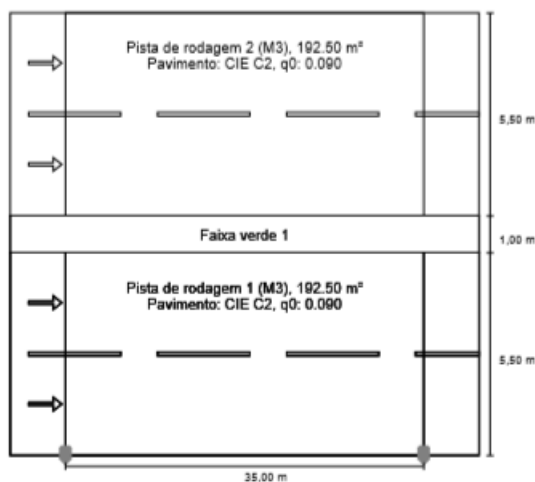
## ANEXO C – Aplicação 3

Avenida Celina Otoni - Via unilateral, com largura de 11m, distanciamento entre postes de 35m.

Figura 23 – Compilação dos Resultados Aplicação 3

Rua 1 em direcção EN 13201:2015

Philips - Luminaria LED - BRP371 A LED158-5S\_NW 140W DME NEMA7P



Resultados para os campos de avaliação  
Factor de manutenção: 0.90

Pista de rodagem 2 (M3)

Lm [cd/m <sup>2</sup> ] ≥ 1.00	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 1.31	✓ 0.61	✓ 0.84	✓ 10	✓ 0.54

Pista de rodagem 1 (M3)

Lm [cd/m <sup>2</sup> ] ≥ 1.00	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 2.53	✓ 0.65	✓ 0.79	✓ 8	✓ 0.75

Resultados para indicadores de eficiência energética

<b>Indicador de Densidade de potência (Dp)</b>	0.016 W/bm <sup>2</sup>
Densidade de consumo de energia	
Distribuição: 19841 - 1 - Philips - Luminária LED - BRP371 A LED158-5S_NW 140W DME NEMA7P:IES (574.8 kWh/yr)	1.5 kWh/m <sup>2</sup> yr

Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	15822.44 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	15822.44 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 143.7 W
W/km:	4167.3
Distribuição:	unilateral em baixo
Distância entre postes:	35.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	10.0°
Comprimento braço extensor (4):	0.000 m
Altura do ponto de luz (1):	10.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	0.000 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Valor máximo da potência luminosa	
com 70° e acima:	662 cd/klm *
com 80° e acima:	126 cd/klm *
com 90° e acima:	6.05 cd/klm *
Classe de potência luminosa:	G*2



Figura 24 – Curva de Distribuição - Aplicação 3

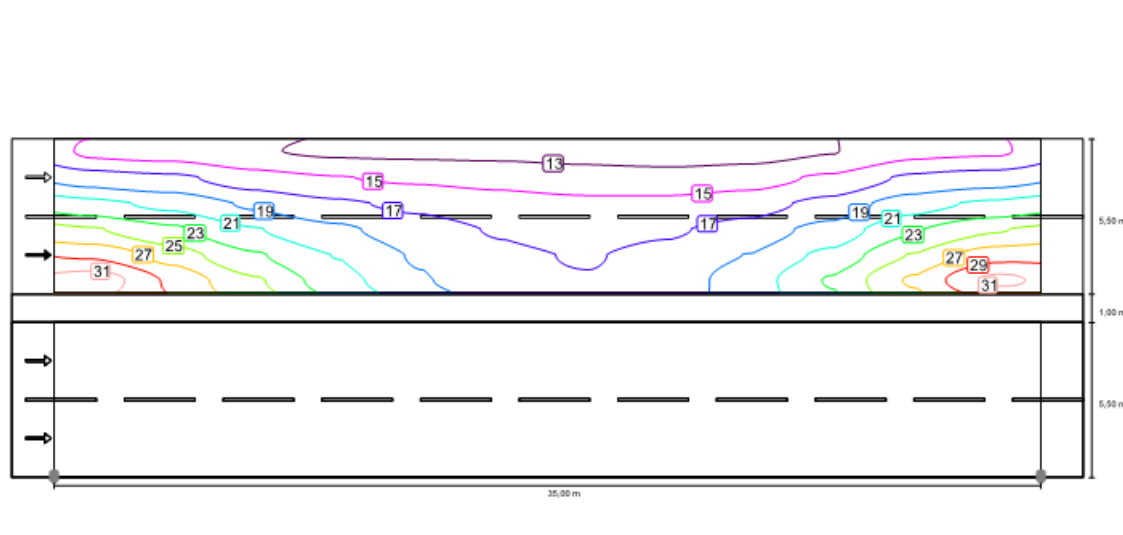
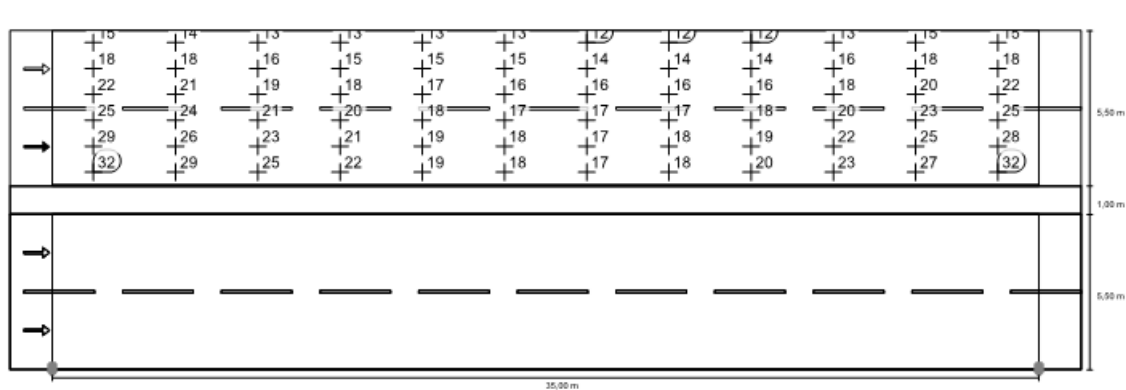


Figura 25 – Malha de Medição - Aplicação 3



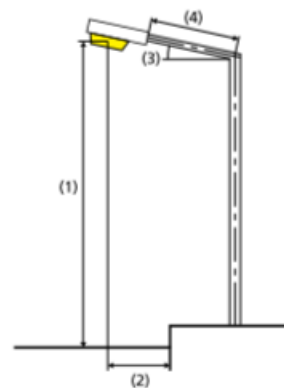
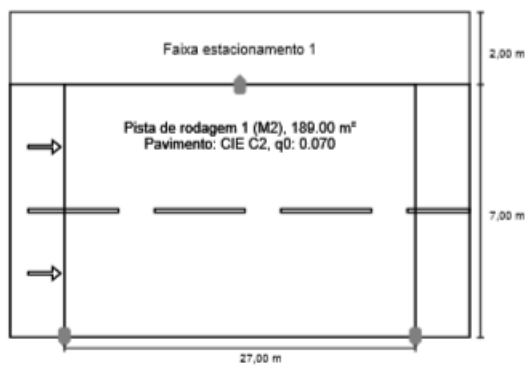
# ANEXO D – Aplicação 4

Avenida Rio Branco - Via bilateral alternada, com largura de 9m, distanciamento entre postes de 27m.

Figura 26 – Compilação dos Resultados Aplicação 4

Rua 1 em direcção EN 13201:2015

Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W  
DW1 NEMA7P MP 220V



Resultados para os campos de avaliação  
Factor de manutenção: 0.90

Pista de rodagem 1 (M2)

Lm [cd/m <sup>2</sup> ] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 3.47	✓ 0.88	✓ 0.90	✓ 8	✓ 0.68

Resultados para indicadores de eficiência energética

Indicador de Densidade de potência (Dp)	0.019 W/bm <sup>2</sup>
Densidade de consumo de energia	
Distribuição: 17982 - 1 - Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V.ies (716.8 kWh/yr)	3.8 kWh/m <sup>2</sup> yr

Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	10467.10 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	10467.10 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 89.6 W
W/km:	6630.4
Distribuição:	bilateral alternadamente
Distância entre postes:	27.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	0.0°
Comprimento braço extensor (4):	0.000 m
Altura do ponto de luz (1):	8.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	0.000 m

ULR:	-1.00
ULOR:	0.00
Valor máximo da potência luminosa	
com 70° e acima:	619 cd/klm *
com 80° e acima:	62.3 cd/klm *
com 90° e acima:	1.04 cd/klm *

Figura 27 – Curva de Distribuição - Aplicação 4

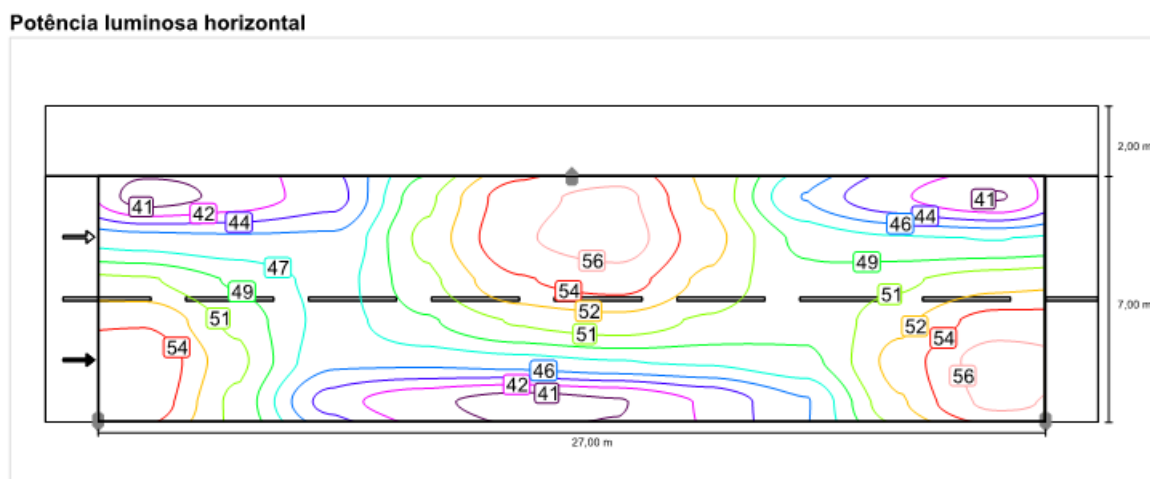
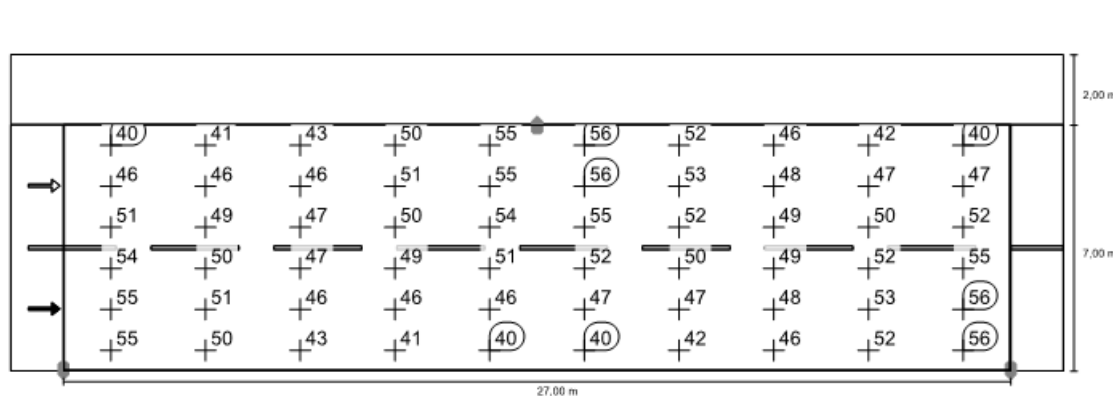


Figura 28 – Malha de Medição - Aplicação 4



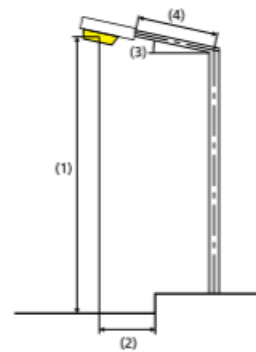
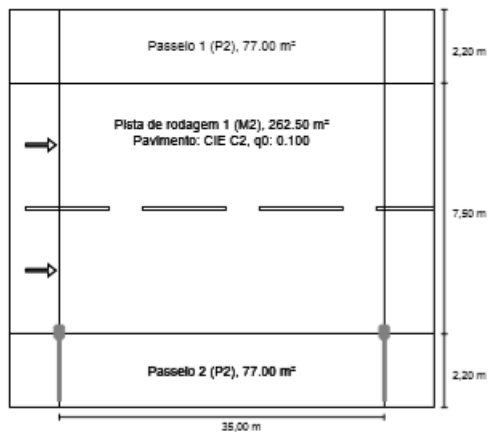
# ANEXO E – Aplicação 5

Avenida Castelo Branco - Via unilateral, com largura de 7,5m, distanciamento entre postes de 35m.

Figura 29 – Compilação dos Resultados Aplicação 5

Rua 1 em direção EN 13201:2015

Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W  
DW1 NEMA7P MP 220V



Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	10467.10 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	10467.10 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 89.6 W
W/km:	2598.4
Distribuição:	unilateral em baixo
Distância entre postes:	35.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	0.0°
Comprimento braço extensor (4):	2.000 m
Altura do ponto de luz (1):	10.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	0.000 m

Resultados para os campos de avaliação  
Factor de manutenção: 0.90

Passelo 1 (P2)

Em [lx] ≥ 10.00 ≤ 15.00	Emin [lx] ≥ 2.00
✓ 11.61	✓ 9.41

Pista de rodagem 1 (M2)

Lm [cd/m²] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	Tl [%] ≤ 10	EIR
✓ 1.56	✓ 0.62	✓ 0.83	✓ 7	* 0.68

Passelo 2 (P2)

Em [lx] ≥ 10.00 ≤ 15.00	Emin [lx] ≥ 2.00
✓ 14.99	✓ 7.13

\* informativo, não faz parte da avaliação

Resultados para indicadores de eficiência energética

Indicador de Densidade de potência (Dp)	0.015 W/km²
Densidade de consumo de energia	
Distribuição: 17982 - 1 - Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V/ies (358,4 kWh/yr)	0.9 kWh/m² yr

ULR:	-1.00
ULOR:	0.00

Valor máximo da potência luminosa	
com 70° e acima:	619 cd/km *
com 80° e acima:	62.3 cd/km *
com 90° e acima:	1.04 cd/km *
Classe de potência luminosa:	G*3

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

\* Os valores de intensidade luminosa em [cd/km] para o cálculo da classe de intensidade luminosa referem-se ao fluxo luminoso das luminárias de acordo com EN 13201:2015.

A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.6



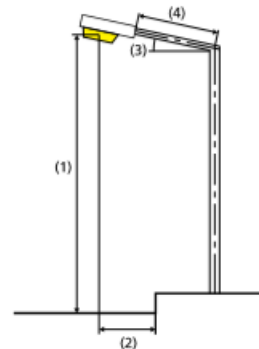
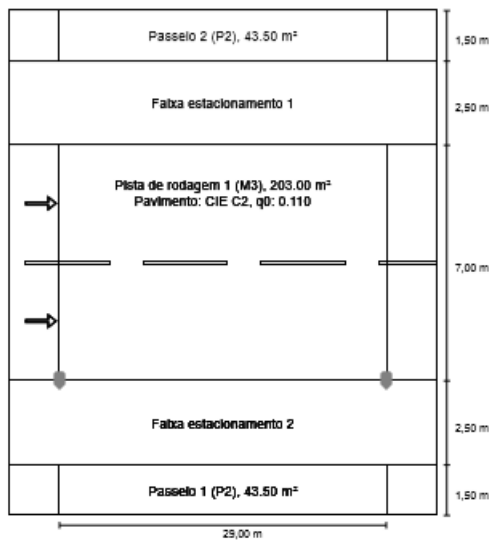
# ANEXO F – Aplicação 6

Bairros Comerciais - Via unilateral, com largura de 7m, distanciamento entre postes de 29m.

Figura 32 – Compilação dos Resultados Aplicação 6

Rua 1 em direcção EN 13201:2015

Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W  
DW1 NEMA7P MP 220V



Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	10467.10 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	10467.10 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 89.6 W
W/km:	3046.4
Distribuição:	unilateral em baixo
Distância entre postes:	29.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	0.0°
Comprimento braço extensor (4):	0.000 m
Altura do ponto de luz (1):	10.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	0.000 m

Resultados para os campos de avaliação  
Factor de manutenção: 0.90

Passelo 2 (P2)

Em [lx]	Emin [lx]
≥ 10.00	≥ 2.00
≤ 15.00	
✓ 10.09	✓ 8.46

Pista de rodagem 1 (M3)

Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI [%]	EIR
≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
✓ 2.11	✓ 0.66	✓ 0.94	✓ 6	✓ 0.74

Passelo 1 (P2)

Em [lx]	Emin [lx]
≥ 10.00	≥ 2.00
≤ 15.00	
✓ 14.41	✓ 7.30

Resultados para indicadores de eficiência energética

Indicador de Densidade de potência (Dp) 0.018 W/km²

Densidade de consumo de energia

Distribuição: 17982 - 1 - Philips - LUM LED - BRP371 A LED106-4SNW 88W DW1 NEMA7P MP 220V.ies (358.4 kWh/yr)

ULR: -1.00

ULOR: 0.00

Valor máximo da potência luminosa

com 70° e acima: 619 cd/km \*

com 80° e acima: 62.3 cd/km \*

com 90° e acima: 1.04 cd/km \*

Classe de potência luminosa: G\*3

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

\* Os valores de intensidade luminosa em [cd/km] para o cálculo da classe de intensidade luminosa referem-se ao fluxo luminoso das luminárias de acordo com EN 13201:2015.

A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.6

Figura 33 – Curva de Distribuição - Aplicação 6

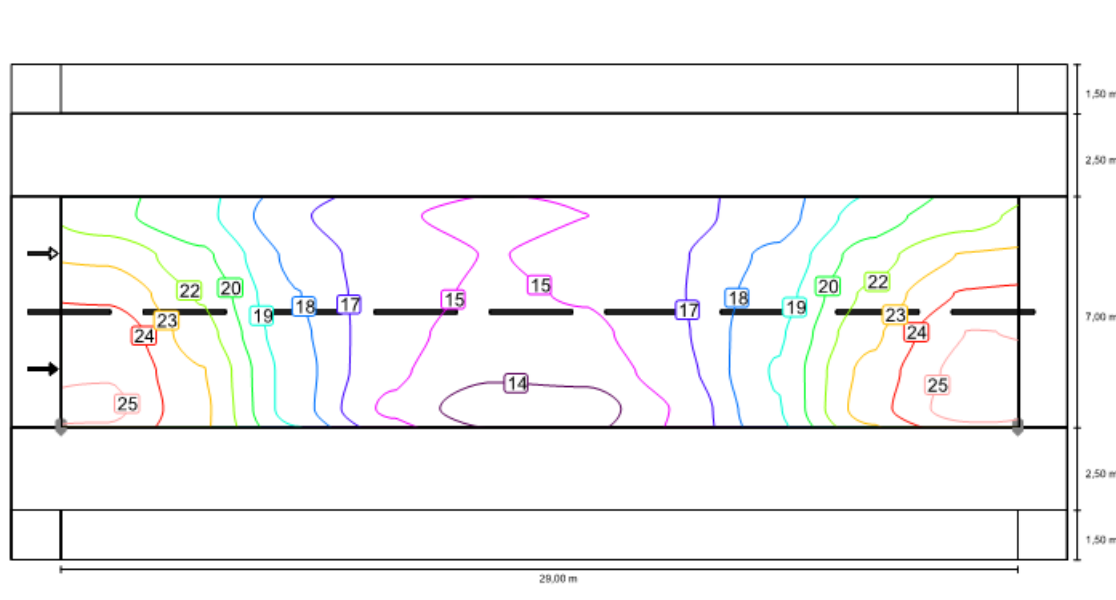
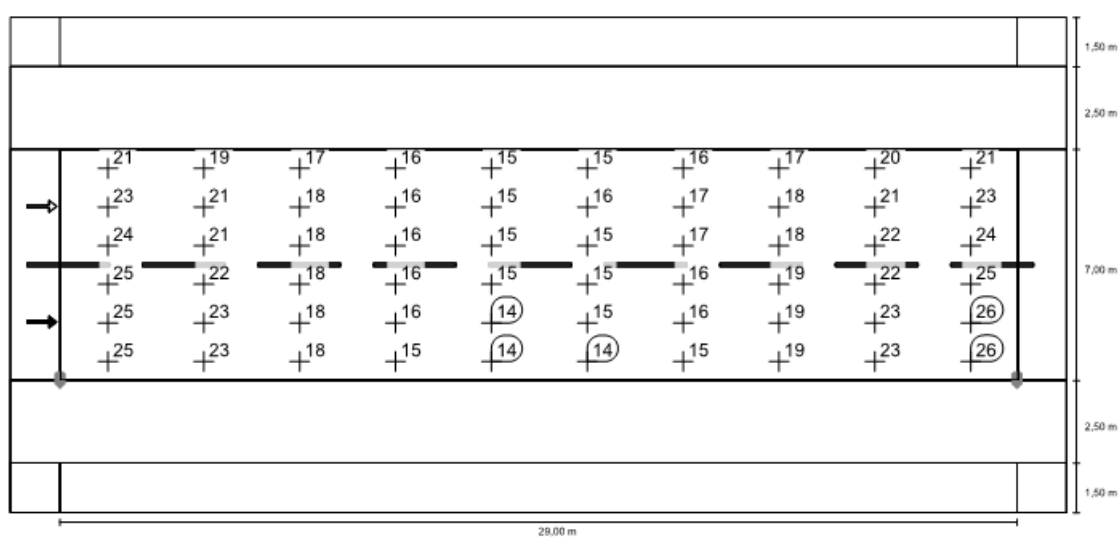


Figura 34 – Malha de Medição - Aplicação 6



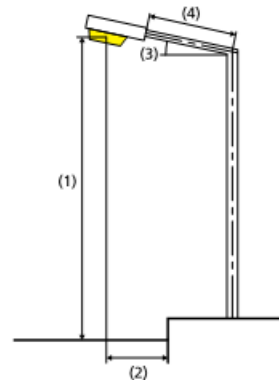
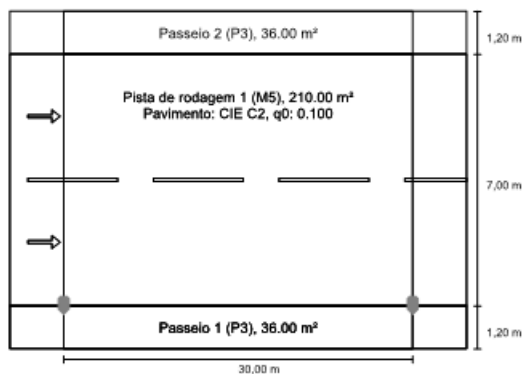
# ANEXO G – Aplicação 7

Bairros Residenciais - Via unilateral, com largura de 7m, distanciamento entre postes de 30m.

Figura 35 – Compilação dos Resultados Aplicação 7

Rua 1 em direcção EN 13201:2015

Philips - LUMINARIA LED 1 - BRP220 LED45-5S\_NW 38W DME NEMA7P



Resultados para os campos de avaliação  
Factor de manutenção: 0.90

Passeio 2 (P3)

Em [lx] ≥ 7.50 ≤ 11.25	Emin [lx] ≥ 1.50
✓ 7.51	✓ 6.45

Pista de rodagem 1 (M5)

Lm [cd/m²] ≥ 0.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR
✓ 0.95	✓ 0.62	✓ 0.84	✓ 6	* 0.65

Passeio 1 (P3)

Em [lx] ≥ 7.50 ≤ 11.25	Emin [lx] ≥ 1.50
✓ 9.09	✓ 5.37

\* informativo, não faz parte da avaliação

Resultados para indicadores de eficiência energética

Indicador de Densidade de potência (Dp) 0.015 W/lxm²

Densidade de consumo de energia

Distribuição: 20398 - Philips - LUMINARIA LED 1 - BRP220 LED45-5S\_NW 38W DME NEMA7P.ies (153.6 kWh/yr)

Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	4538.34 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	4538.34 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 38.4 W
W/km:	1267.2
Distribuição:	unilateral em baixo
Distância entre postes:	30.000 m
Inclinação de braço extensor (3):	0.0°
Comprimento braço extensor (4):	0.000 m
Altura do ponto de luz (1):	10.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	0.000 m

ULR: -1.00  
ULOR: 0.00

Valor máximo da potência luminosa

com 70° e acima:	647 cd/klm *
com 80° e acima:	43.6 cd/klm *
com 90° e acima:	1.33 cd/klm *
Classe de potência luminosa:	G*3

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



Figura 36 – Curva de Distribuição - Aplicação 7

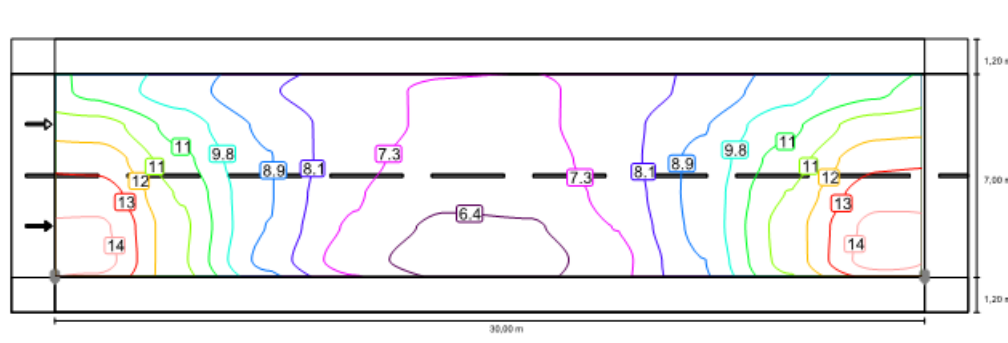
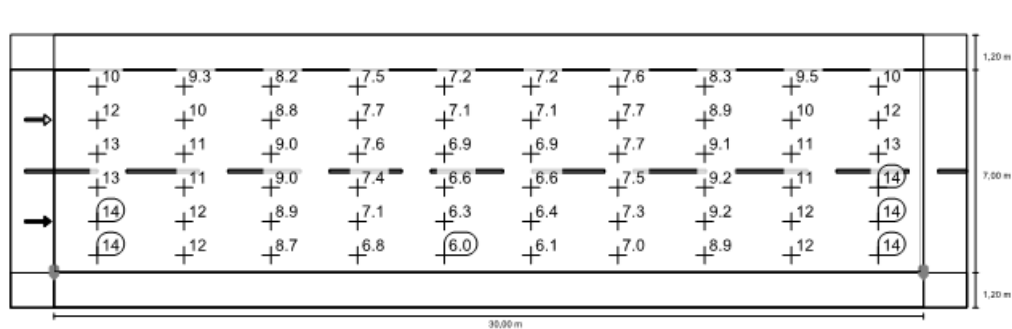


Figura 37 – Malha de Medição - Aplicação 7



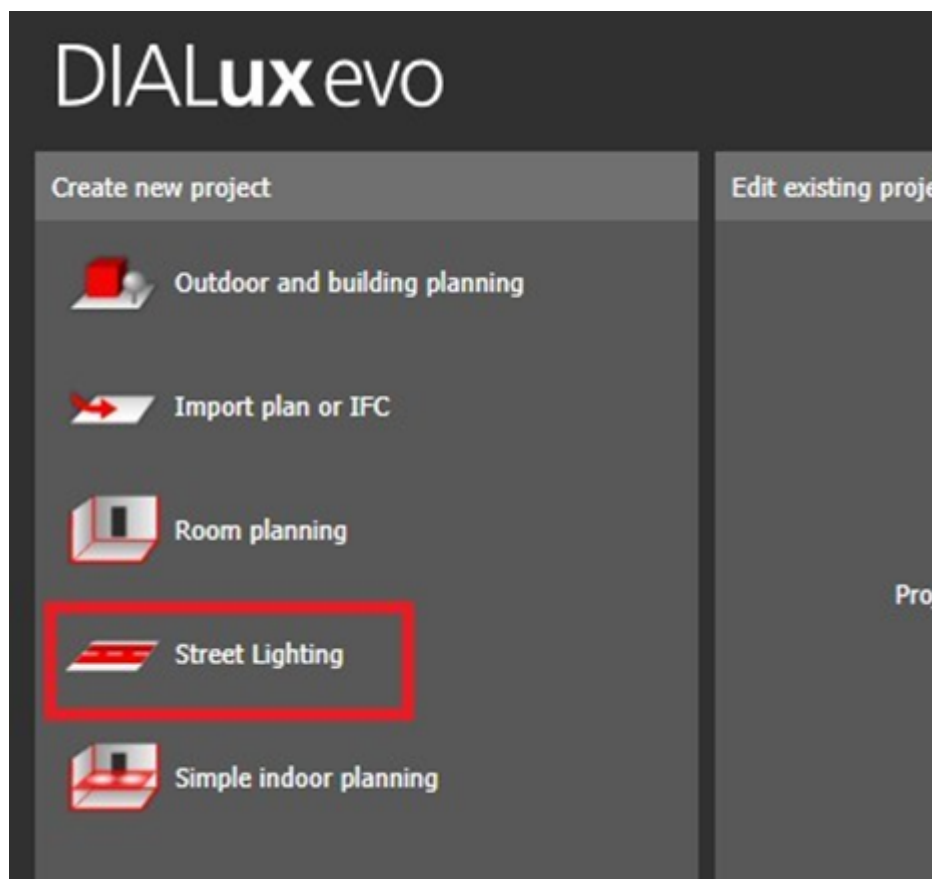
# ANEXO H – Tutorial Simulação no DIALux

No presente anexo, apresenta-se o passo a passo básico para simular um projeto luminotécnico para vias públicas utilizando o software DIALux evo 9.1.

## Passo 1

Ao abrir o software, clique em Street lighting conforme Figura 38.

Figura 38 – Passo 1



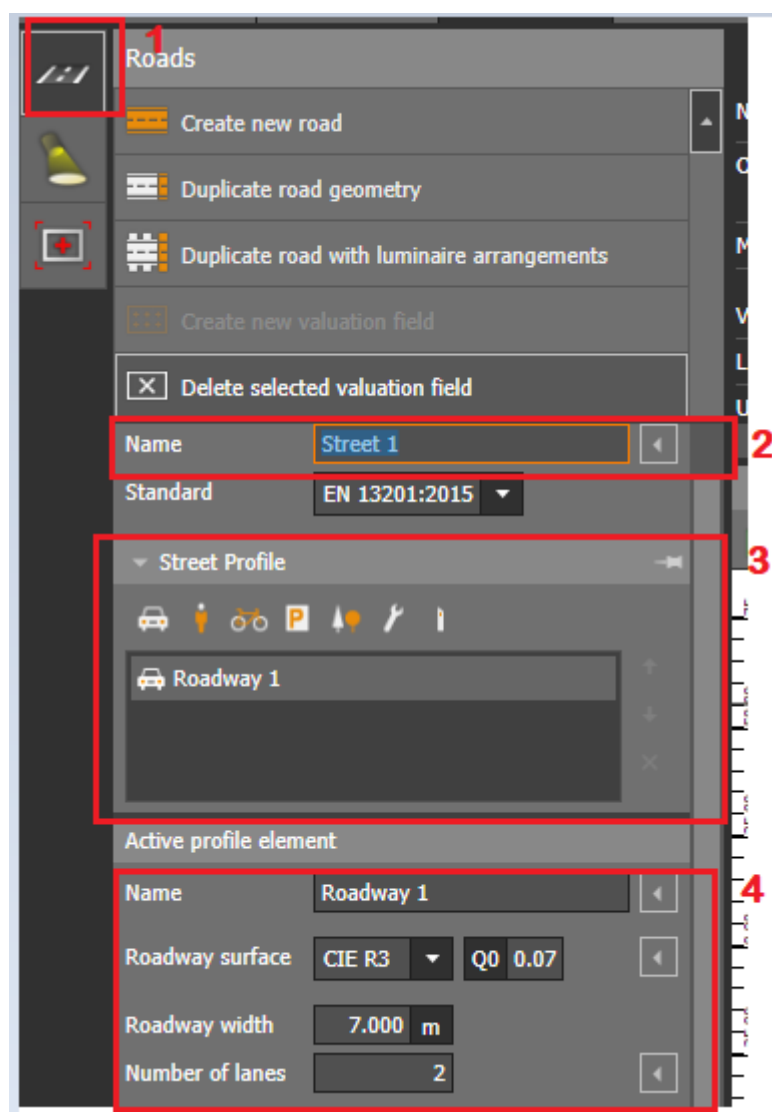
Fonte: Autoria Própria

## Passo 2

Clique sobre o ícone sinalizado no quadro de número 1 de acordo com a Figura 39. Em seguida, preencha o nome da rua (quadro número 2), o perfil da rua (número 3) - se houver passeios, ciclovia, canteiros, é possível incluir apenas clicando nos desenhos

ilustrados no quadro número 3. No quadro de número 4, preencha com o tipo de superfície, no presente trabalho, usou-se CIE C2, por se tratar de um revestimento de asfalto e a largura da via, além do número de pistas.

Figura 39 – Passo 2

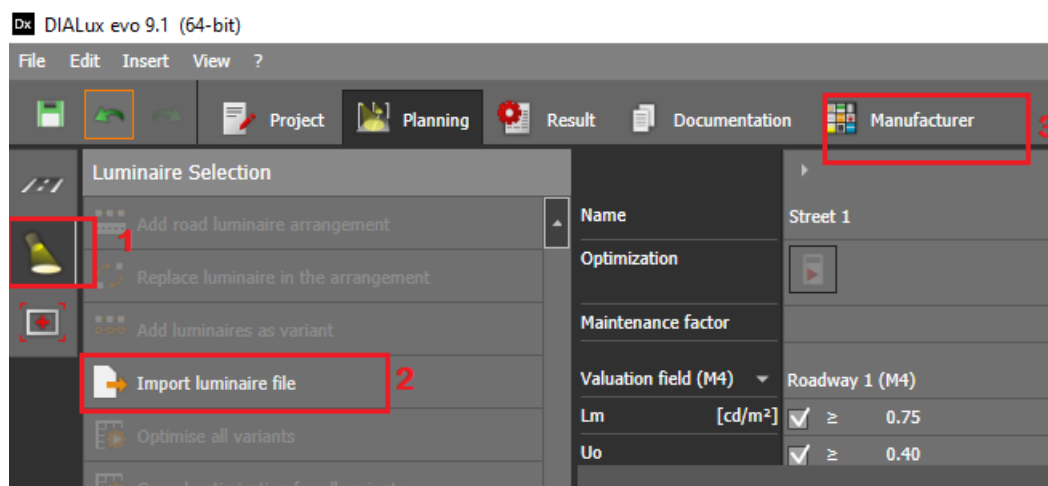


Fonte: Autoria Própria

### Passo 3

Clique sobre o ícone sinalizado no quadro de número 1 de acordo com a Figura 40. Caso o usuário tenha os arquivos ".IES" do fabricante de luminárias, no qual contém a curva de distribuição luminosa das luminárias, basta importar esse arquivo clicando no quadro de número 2. Se o usuário não possuir esses dados, o DIALux possui o catálogo de diversos fabricantes, para isso, basta clicar no quadro 3 e escolher.

Figura 40 – Passo 3



Fonte: Autoria Própria

## Passo 4

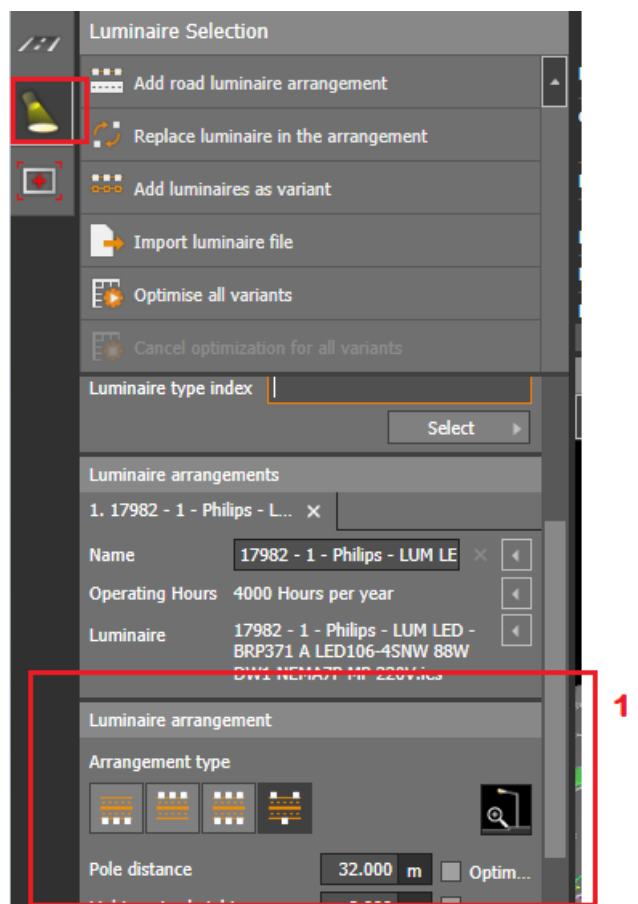
Preencha toda seção Luminaire arrangement, apresentada no quadro 1 da Figura 41, de acordo com os dados coletados, ou que serão projetados. Nesse passo, deve-se definir a distribuição das luminárias, a distância entre os postes, a quantidade de luminária por poste e a posição do poste sobre o passeio.

## Passo 5

Compile os resultados clicando no quadro 1 da Figura 42, role a barra indicada pela seta e veja os resultados obtidos. É possível ver os resultados de uma forma completa clicando em documentation de acordo com a Figura 43. Observe que, é possível visualizar a imagem da rua simulada através do gráfico 3D.

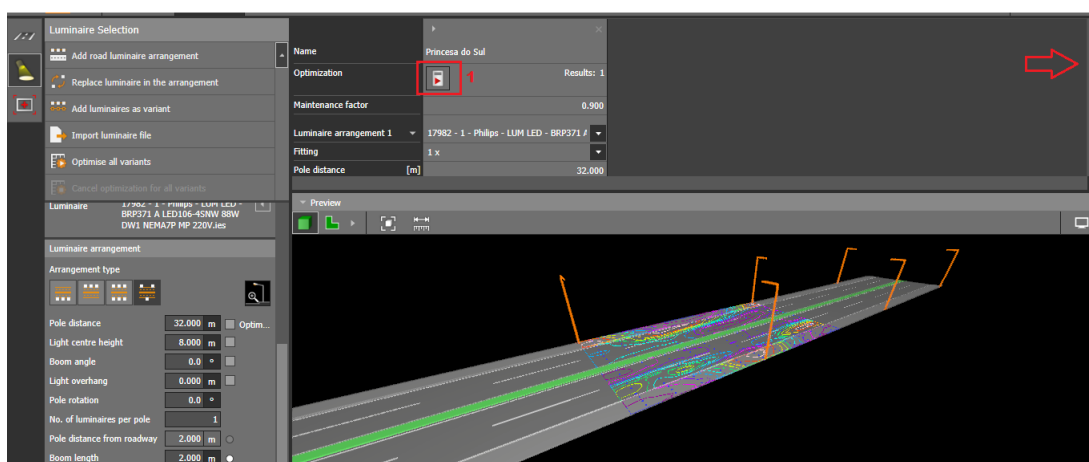
O DIALux é um software muito completo e pode-se fazer testes de inúmeras aplicações apenas explorando melhor a ferramenta.

Figura 41 – Passo 4



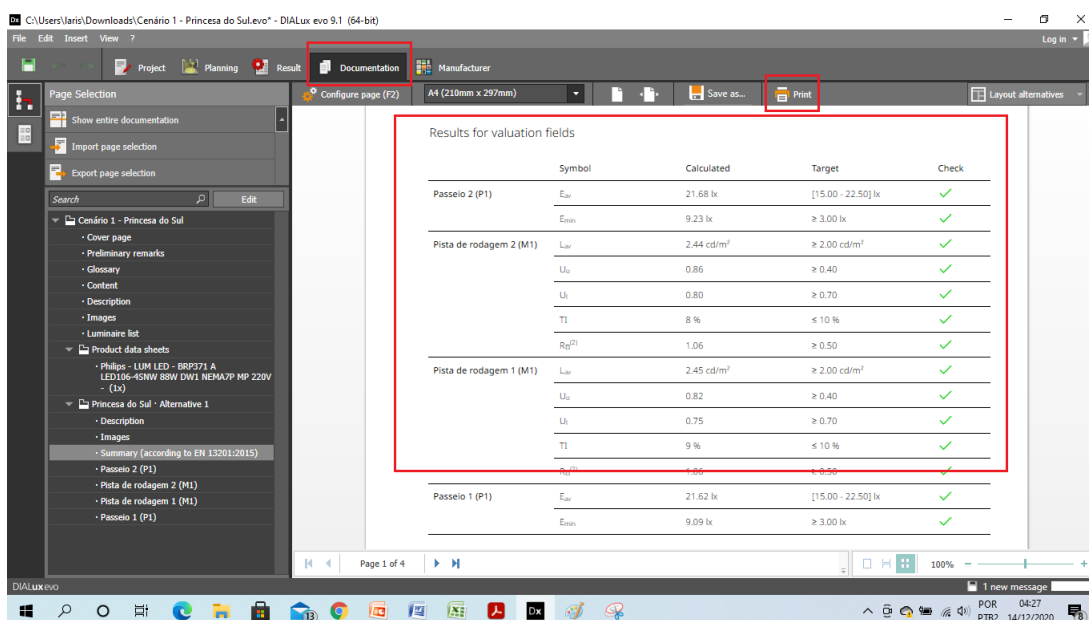
Fonte: Autoria Própria

Figura 42 – Passo 5



Fonte: Autoria Própria

Figura 43 – Passo 5



Fonte: Autoria Própria

# ANEXO I – Tabela da Análise Econômico-Financeira

Tabela 24 – Análise Econômico-financeira do Projeto

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Investimento	-10.485.860										
Despesas à época	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586
Retrofit no ano zero	-1.848.029										
Despesas no ano zero	-7.717.684	-933.238	-880.413	-830.578	-783.564	-739.212	-697.370	-657.896	-620.656	-585.525	
<b>Despesa total no ano zero</b>	<b>-20.051.574</b>										
Receita à época	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234
<b>Receita no ano zero</b>	<b>22.891.589</b>	<b>2.768.097</b>	<b>2.611.412</b>	<b>2.463.596</b>	<b>2.324.147</b>	<b>2.192.592</b>	<b>2.068.483</b>	<b>1.951.399</b>	<b>1.840.942</b>	<b>1.736.738</b>	
<b>VPL</b>	<b>2.840.016</b>										
Gastou à época	-10.485.860	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-3.670.051	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586	-1.048.586
Recebeu à época	0	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234	3.110.234
Valor líquido	-10.485.860	2.061.648	2.061.648	2.061.648	2.061.648	2.061.648	-559.818	2.061.648	2.061.648	2.061.648	2.061.648
<b>Payback</b>	<b>-10.485.860</b>	<b>-8.424.213</b>	<b>-6.362.565</b>	<b>-4.300.918</b>	<b>-2.239.270</b>	<b>-177.622</b>	<b>-737.440</b>	<b>1.324.208</b>	<b>3.385.855</b>	<b>5.447.503</b>	<b>7.509.150</b>
Valor líquido descontado	-10.485.860	1944950	1834859	1730999	1633018	1540583	-394649	1371113	1293503	1220286	1151213
<b>Payback Descontado</b>	<b>-10.485.860</b>	<b>-8.540.910</b>	<b>-6.706.051</b>	<b>-4.975.052</b>	<b>-3.342.034</b>	<b>-1.801.451</b>	<b>-2.196.100</b>	<b>-824.987</b>	<b>468.517</b>	<b>1.688.802</b>	<b>2.840.016</b>

Taxa de Desconto = 6,00%

Fonte: Autoria Própria





## TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “**Estudo da Viabilidade da Substituição de Lâmpadas Convencionais pelas Lâmpadas com Tecnologia LED - Estudo de Caso**” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 14 de dezembro de 2020.

---

Nome completo do(a) aluno(a)