

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CÁSSIA CRUZ LUIZ

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
LUMINÁRIAS DESTINADAS À ILUMINAÇÃO PÚBLICA
NA CIDADE DE JAGUARUNA-SC**

JOINVILLE – SC

2016

CÁSSIA CRUZ LUIZ

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM LUMINÁRIAS DESTINADAS À
ILUMINAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE JAGUARUNA-SC**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira

**JOINVILLE, SC
2016**

CÁSSIA CRUZ LUIZ

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM LUMINÁRIAS DESTINADAS À
ILUMINAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE JAGUARUNA-SC**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora

Orientador:

Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro:

Dr. Adalberto de Araújo Barreto Filho

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro:

Dr. Fernando Buzzulini Prioste

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Joinville, 02/12/2016

Dedico este trabalho aos meus pais, Rosana Teresinha Cruz Luiz e Joel da Silva Luiz, ao meu avô Pedro Basílio Cruz, aos meus amigos e a todos aqueles que de alguma forma estiveram por perto nesse período importante da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Sérgio Vidal Garcia Oliveira, pela orientação e confiança.

A UDESC, pelos ensinamentos e lições de vida.

Ao meu pai, Joel da Silva Luiz, a quem atribuo à escolha do meu curso e quem me ajudou na realização do presente trabalho. A minha mãe, Rosana Teresinha Cruz Luiz, pela paciência, amor e confiança nos momentos difíceis nos últimos anos. Toda minha gratidão aos dois que nunca mediram esforços para me ver realizando meu sonho.

Ao meu avô, Pedro Basílio Cruz, por sempre ter depositado máxima confiança no meu potencial.

Aos irmãos que a faculdade me deu, Diana Rodrigues, Eduardo Wilsem, Henrique Nunes, Jefson de Souza Júnior, Kevin Matos de Sá, Verônica Marin.

Ao Ciro Manarin, que me ajudou o quanto pode nos últimos anos e se tornou uma pessoa inesquecível em minha vida.

Aos demais amigos que a faculdade me deu a oportunidade de conhecer.

Ao CADEE, pela oportunidade de crescimento pessoal e, também, de conhecer pessoas inesquecíveis.

As minhas amigas, Andresa Freccia, Anita Pereira, Bruna Durante, Bruna Pinheiro, Caroline Guarezi, Cleidiana Droppa, Juliana Costa, Luiza Kock, Marcella Furlaneto, Nágila Espíndola, Nicole Saviato, Renata Pereira, Thaís Corrêa, que me motivaram a acreditar no meu potencial sempre.

Aos meus amigos Iryo Baldissera, João Reis, Maurício Reynaldo, Murilo Guimarães, Saul Beltrame.

A minha avó, Maria das Dores Cruz (in memoriam), que é minha fonte de força. Ao meu tio Jorge Luiz Cruz (in memoriam). Ao meu tio João Batista Cruz (in memoriam), por ter acreditado em mim e sempre me ajudado quando foi preciso.

Ao meu primo Lucas Cruz e esposa, Silvana Piuco, por serem, além de família, meus amigos.

A minha tia Alba Helena Cruz e Antônio João Paes, pelo carinho e confiança.

A minha tia Janilda Maura dos Santos Cruz e suas filhas, pelo suporte, antes mesmo de ter ingressado na faculdade.

“Se você quiser alguém em quem confiar

Confie em si mesmo

Quem acredita sempre alcança”.

Renato Russo

RESUMO

Devido ao alto consumo de energia elétrica no Brasil, iniciou-se uma busca pela efficientização de processos, tornando os sistemas já existentes ainda mais econômicos e, conseqüentemente, reduzindo a demanda da energia no país. A partir disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) busca incentivar projetos de eficiência energética através de programas como PROCEL, GEM, Reluz, etc. Neste TCC será realizado um ProEE com ênfase na substituição de luminárias atuais no bairro Arroio Corrente, na cidade de Jaguaruna, SC, de acordo com as normas cabíveis e, também, seguindo os módulos do PROPEE, será possível avaliar os resultados de economia de energia no local.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Iluminação Pública, LED.

ABSTRACT

Due to the high demand in electric power in Brazil, a search for processes efficiency began, making the existing systems even more economic and, consequently, reducing the power demand in the country. From that, the Electric Energy National Agency (ANEEL) try to encourage electric energy efficiency projects through programs such as PROCEL, GEM, Reluz etc. In this paper a ProPEE will be conducted, emphasizing the replacement of public lamps in the Arroio Corrente neighborhood, in the city of Jaguaruna – SC, according to the current standards and, also, following the PROPEE modules, an evaluation of energy savings results in the area will be made possible.

Keywords: Energetic Efficiency, Street Lighting, LED.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas PEE	20
Figura 2 - Módulos PROPEE.....	22
Figura 3 - Atividades de M&V e fases de projeto	33
Figura 4 - IRC	50
Figura 5 – Economia de energia elétrica.....	52
Figura 6 – Lâmpada Vapor de Sódio Ovóide	53
Figura 7 – Lâmpada Vapor de Sódio Tubular.....	53
Figura 8 – Lâmpada Vapor de Mercúrio.....	54
Figura 9 – Lâmpada LED.....	54
Figura 10 – Mapa Bal. Arroio Corrente	56
Figura 11 - Luxímetro	64
Figura 12 - Luminária LED 70W proposta utilizada no projeto.....	68
Figura 13 - Luminária LED 90W proposta utilizada no projeto.....	68
Figura 14 - Tipos de distribuição de luminárias	70
Figura 15 - Malha inspeção para 2 luminárias	71
Figura 16 - Malha inspeção para 3 luminárias	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do sistema de iluminação.....	23
Tabela 2 - Parâmetros da equação (1).....	25
Tabela 3 - Parâmetros da equação (2).....	26
Tabela 4 - Custo total de equipamentos.....	31
Tabela 5 - Serviços e demais custos indiretos.....	31
Tabela 6 - Benefícios.....	32
Tabela 7 - Tráfego motorizado.....	41
Tabela 8 - Tráfego para pedestres.....	42
Tabela 9 - Iluminância e Uniformidade.....	43
Tabela 10 - Classes de iluminação para cada tipo de via.....	44
Tabela 11 - Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.....	45
Tabela 12 - Classes de iluminação para cada tipo de via.....	45
Tabela 13 - Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação.....	45
Tabela 14 - Temperatura de cor.....	51
Tabela 15 – Situação atual.....	57
Tabela 16 – Troca direta de lâmpadas.....	58
Tabela 17 – Características das lâmpadas.....	58
Tabela 18 – Resultados.....	59
Tabela 19 – Resultados esperados.....	60
Tabela 20 – Custo total em equipamentos.....	61
Tabela 21- Tarifas.....	62
Tabela 22 - Custos de Energia.....	63
Tabela 23 - RCB.....	63
Tabela 24 - Iluminancia mínima.....	65
Tabela 25 - Classes de iluminação utilizadas.....	65
Tabela 26 - Resultados DIALux Vapor de Sódio 70W.....	65
Tabela 27 - Resultados DIALux Vapor de Sódio 150W.....	66
Tabela 28 - Resultados DIALux Vapor de Sódio 250W.....	66
Tabela 29 - Resultados DIALux e experimentalmente.....	67
Tabela 30 - Simulação para LED 70W.....	69
Tabela 31 - Simulação para LED 90W.....	69
Tabela 32 - Resultado de iluminância para via local.....	69
Tabela 33 - Resultado de iluminância para via coletora.....	69
Tabela 34 - Resultado esperado.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS DE SIGLAS

AEE	Ação de Eficiência Energética
AMEE	Agentes Municipais de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CED	Custo Evitado de Demanda
CEE	Custo da Energia Evitada
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
EE	Energia Economizada
FRC _u	Fator de Recuperação do Capital
FCP	Fator de Coincidência na Ponta
GEM	Gestão Energética Municipal
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRC	Índice de Reprodução de Cores
LED	Diodo Emissor de Luz
MME	Ministério de Minas e Energia
M&V	Medição e Verificação
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PLAMGE	Planos Municipais de Gestão de Energia Elétrica
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo Benefício
RCE	Rede Cidades Eficientes em Energia Elétrica
RDP	Redução de Demanda na Ponta
ROL	Receita Operacional Líquida
SGPEE	Sistema de Gestão do PEE

SUMÁRIO

1	Introdução	16
1.1	Problema da pesquisa.....	17
1.2	Questões da pesquisa	17
1.3	Objetivos	17
1.4	Justificativa	17
1.5	Estrutura do trabalho	18
2	Revisão Bibliográfica.....	19
2.1	Eficiência Energética	19
2.1.1	PROPEE	20
2.1.2	PROCEL.....	34
2.1.3	PROCEL GEM.....	35
2.2	Iluminação Pública.....	36
2.2.1	Evolução da iluminação pública.....	36
2.2.2	Benefícios da Iluminação pública em um município	37
2.2.3	Eficiência elétrica em sistemas de iluminação pública	37
2.2.4	Normas técnicas aplicáveis.....	39
2.3	Conceitos básicos referentes à iluminação.....	49
2.3.1	Espectro eletromagnético	49
2.3.2	Espectro visível.....	49
2.3.3	Fluxo luminoso	49
2.3.4	Iluminância	49
2.3.5	Eficiência luminosa	50
2.3.6	Índice de reprodução de cor (IRC)	50
2.3.7	Temperatura de cor.....	50
2.3.8	Curva de distribuição luminosa	51
2.3.9	Ofuscamento.....	51
2.3.10	Reflexão, transmissão e absorção de luz.....	51
2.4	Consumo de energia elétrica em iluminação pública no Brasil	52
2.5	Tipos de lâmpadas.....	52
2.5.1	Lâmpada Vapor de sódio	53
2.5.2	Lâmpada Vapor de Mercúrio.....	53

2.5.3 Lâmpada LED.....	54
3 Projeto de eficiência energética nas luminárias de Jaguaruna	56
3.1 Aspectos gerais sobre iluminação pública na cidade de Jaguaruna	56
3.2 Projeto de <i>Retrofit</i>	58
3.3 Projeto eficiência luminotécnica.....	64
4 Conclusão	74
4.1 Trabalhos futuros	74
5 REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE A – DADOS DE ILUMINÂNCIA COLETADOS.....	78
Tabela 1 - Iluminâncias.....	78
APENDICE B – RESULTADOS DIALUX	88
Vapor de sódio 70W	88
Vapor de sódio 150W	90
Vapor de sódio 250W	92
LED 70W	94
LED 90W	96
ANEXO A	98
Tabela 1 – Coeficientes para $k=0,15$	98

1 Introdução

A energia elétrica é uma das formas de energia mais usadas no mundo, em diversos setores, tais como industriais, comerciais e residenciais. É obtida através de termoelétricas, hidrelétricas, eólicas, termonucleares e outros meios.

Os custos com energia elétrica vêm subindo ano a ano e a possibilidade de escassez dos recursos, que antes era algo que parecia distante, já se torna uma preocupação evidente. Tal situação iniciou uma corrida em busca de equipamentos mais eficientes, que suprissem as necessidades da população com um consumo de energia menor. O governo e, também, a sociedade em geral, estão cada vez mais buscando formas para melhorar a produção e gastos de energia. No Brasil, a ANEEL busca melhorar projetos de eficiência energética através do PROPEE (Procedimentos do Programa de Eficiência Energética). Por esses fatores, a eficiência energética tem ganhado grande destaque no ramo, de modo que proporciona economia de energia considerável quando bem aplicada.

O PROPEE serve de modelo para concessionárias de energia como modelo para desenvolvimento de projetos no ramo de eficiência energética. Tem como objetivo promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e a demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso de energia elétrica. [1].

Dessa forma, deseja-se orientar o estudo para uma luminária que é utilizada na iluminação pública do município de Jaguaruna, com o intuito de confirmar a viabilidade da substituição da mesma por outra que seja mais eficiente energeticamente. Para isso, serão realizados testes de eficiência da luminária escolhida, testes na luminária mais eficiente disponível no mercado e, após isso, a comparação de dados entre elas, tais testes serão realizados através do *software* DIALux.

1.1 Problema da pesquisa

Estudo de caso na área de eficiência energética na cidade de Jaguaruna/SC, Balneário Arroio Corrente.

1.2 Questões da pesquisa

As questões de pesquisa as quais se referem a este estudo são:

- a) Como fazer um projeto de eficiência energética de acordo com o PROPEE?
- b) A Relação Custo Benefício (RCB) do projeto é satisfatória?

1.3 Objetivos

O trabalho tem como objetivo realizar um projeto de eficiência energética nas luminárias públicas na cidade de Jaguaruna/SC, no bairro Balneário Arroio Corrente e analisar a sua viabilidade de acordo com a NBR5101 de iluminação pública, NBR15129 de luminárias públicas.

1.4 Justificativa

Devido à necessidade de conservação de energia no setor elétrico brasileiro, juntamente com o objetivo de diminuir os recursos destinados à expansão da geração e transmissão de energia, tem levado ao governo federal à adoção de medidas com intuito de promover uma forma mais racional de energia elétrica. O PROCEL é um dos mais importantes, dentro dele há o Reluz, o qual tem como objetivo a implantação de sistemas de iluminação pública mais eficiente, o que requer a utilização de tecnologias de lâmpadas que proporcionem mais economia e melhorem a qualidade da iluminação. Além disso, tem-se o aumento de tarifa de energia elétrica, a qual contribui diretamente no custo de vida da população. Dessa forma, a redução de consumo de energia se tornou emergencial nos últimos tempos. Por isso, projetos em eficiência energética estão ganhando bastante ênfase na política energética nacional.

Define-se, assim, a importância sobre a realização desse projeto em eficiência energética, a fim de mostrar que investimentos nessa área são de grande valia, além de ajudar o município a reduzir gastos com energia elétrica.

1.5 Estrutura do trabalho

No segundo capítulo tem-se revisão bibliográfica, onde são citados conceitos de eficiência energética, estudo do PROPEE e seus módulos, conceitos de iluminação pública e normas cabíveis ao projeto.

No terceiro capítulo é apresentado o projeto que pode ser realizado pela troca direta de lâmpadas mais eficiente, analisando juntamente as normas aplicáveis.

Por fim, são mostradas conclusões e resultados dos projetos e sugestões para futuros projetos nessa área.

2 Revisão Bibliográfica

Parte do trabalho que contém toda pesquisa realizada para o desenvolvimento do PEE para sistema de iluminação pública.

2.1 Eficiência Energética

O alto consumo de energia, embora reflita no crescimento econômico e melhoria na qualidade de vida, também tem aspectos negativos. [2] Um deles é a possibilidade de esgotamento dos recursos utilizados para produção de energia elétrica. O outro impacto é ligado ao meio ambiente, pois ainda há formas não sustentáveis de produção de energia, as quais utilizam recursos renováveis. O terceiro impacto negativo é o elevado investimento exigido na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas.

Uma das alternativas para se conter a expansão do consumo sem comprometer a qualidade de vida da sociedade e desenvolvimento econômico, tem sido o estímulo ao uso eficiente. Isto é, aplicando-se a eficiência energética no sistema. Tal termo tem por definição obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia.

A demanda energética dos países do mundo inteiro está em crescimento constante, e a matriz energética não vem acompanhando o ritmo.

No Brasil, o país está passando por um momento de crescimento e evolução tecnológica, fazendo com que o governo busque alternativas de melhorar a matriz energética, tanto no âmbito de geração e transmissão quanto no consumo de energia elétrica. Dessa forma, o Ministério de Minas e Energia (MME), por meio da ANEEL, vem desenvolvendo estudos para redução de perdas de energia.

No ano de 1985, por iniciativa do MME, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), a fim de aumentar a eficiência energética dos consumidores e promover o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente de energia. O PROCEL promove o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais. Desde sua implantação, 1986, até os dias atuais foram economizados 92,2 bilhões de kWh, provando que o programa teve resultados favoráveis. [1]

É visto que projetos de eficiência energética são cada vez mais necessários para uma evolução sustentável do país. Aumentando eficiência nas linhas de transmissão e distribuição, as perdas com movimentação de energia e demanda necessária para geração serão reduzidas. A partir dessa necessidade a ANEEL vem buscando estimular os projetos de eficiência energética.

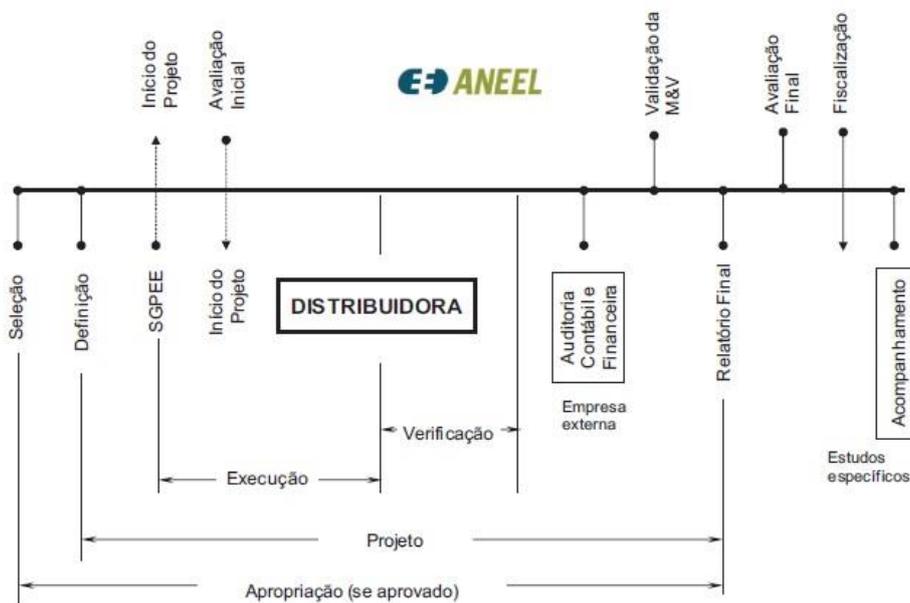
2.1.1 PROPEE

A ANEEL desenvolveu o PROPEE com a intuição de definir os critérios de fiscalização e avaliação e os tipos de projetos contemplados pelo PEE. Como determina a legislação, as empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, devem aplicar um percentual mínimo da Receita Operacional Líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética.

O objetivo é promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

A Figura 1 mostra todas as etapas que compõem um PEE.

Figura 1 - Etapas PEE



Fonte: [1]

A seguir, tem-se uma breve explicação das etapas dos projetos:

- **Seleção:** inclui atividades de prospecção, pré-diagnóstico e seleção de projetos.

- **Definição:** definição das ações de eficiência energética a implantar com respectiva análise técnico-econômica e bases para as atividades de Medição e Verificação (M&V).
- **SGPEE:** Sistema de Gestão do PEE, sistema da ANEEL, onde são cadastrados todos os projetos do PEE.
- **Avaliação Inicial:** aos projetos que necessitarem dessa avaliação, segundo módulo 9 do PROPEE, deverão ser submetidos à ANEEL.
- **Execução:** elaboração do plano de M&V.
- **Verificação:** ações iniciais para desenvolvimento do relatório de M&V.
- **Validação M&V:** validação feita pela ANEEL.
- **Auditoria Contábil e Financeira:** elaboração do relatório de Auditoria.
- **Relatório Final:** realizada segundo módulo 9 de avaliação de projetos e é obrigatória para todos os projetos no âmbito de PEE.
- **Fiscalização:** realizado pela ANEEL.
- **Acompanhamento:** avaliar a permanência das ações de eficiência realizadas.

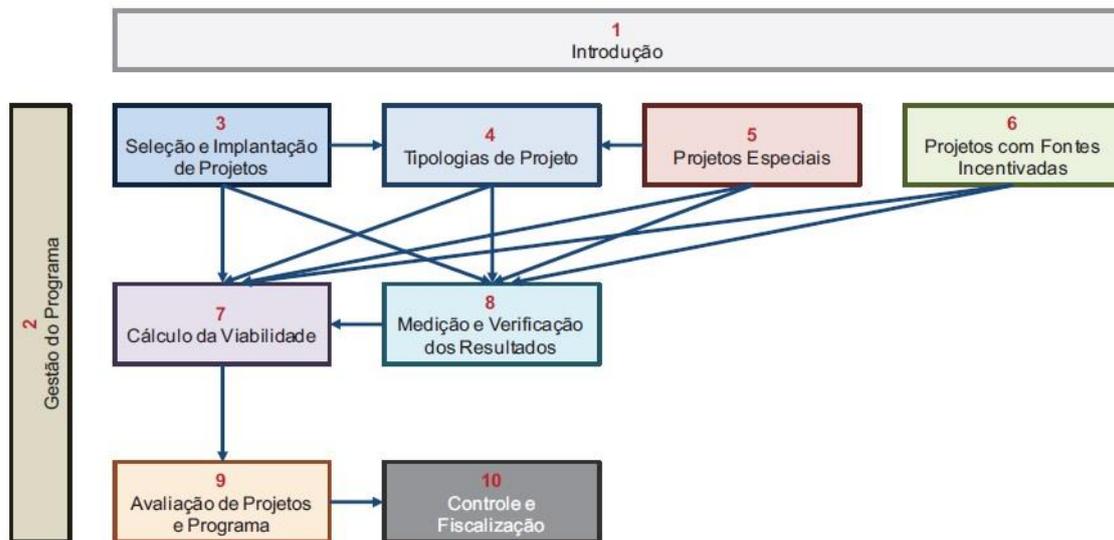
O objetivo geral dos procedimentos é determinar regras e documentos para que os recursos do PEE possam ser aplicados. O PROPEE é dividido em 10 módulos, sendo eles:

- 1) **Introdução:** apresenta uma visão geral do PROPEE.
- 2) **Gestão do Programa:** apresenta os aspectos gerenciais que permeiam as ações do PEE.
- 3) **Seleção e Implantação de Projetos:** apresenta a forma para seleção de projetos ao PEE e orienta quanto à forma de implantação junto ao consumidor ou interessado.
- 4) **Tipologias de Projeto:** apresenta os tipos de projeto do PEE e suas características principais.
- 5) **Projetos Especiais:** versa sobre projetos que merecem atenção especial, tanto da distribuidora quanto do regulador.
- 6) **Projetos com Fontes Incentivadas:** aborda os projetos de eficiência energética com adição de fonte incentivada para atender a unidade consumidora.
- 7) **Cálculo da Viabilidade:** estabelece regras e formas de cálculo para verificar a viabilidade perante o PEE e ainda analisar outros fatores não mensuráveis de benefício com o projeto.
- 8) **Medição e Verificação dos Resultados:** estabelece os procedimentos para uma avaliação confiável dos benefícios energéticos.

- 9) **Avaliação dos Projetos e Programa:** define os critérios de avaliação tanto final quanto inicial dos projetos do PEE.
- 10) **Controle e Fiscalização:** estabelece diretrizes para fiscalização dos projetos, que é feita pela ANEEL.

A Figura 2 abaixo mostra os módulos do PROPEE.

Figura 2 - Módulos PROPEE



Fonte: [1]

2.1.1.1 Módulo 4 – Tipologias de Projeto

Este módulo tem como objetivo estabelecer as diretrizes para a realização de projetos com as tipologias mais utilizadas. Não se pretende limitar a ação do PEE aos projetos apresentados, simplesmente facilitar a consecução dos mais frequentes.

Aqui, são previstas as tipologias mais usuais, abrangendo todos os setores da economia, classes de consumo e usos finais. As tipologias de projeto estimadas são: industrial, comércio e serviços, poder público, serviços públicos, rural, residencial, baixa renda, gestão energética municipal, educacional e iluminação pública.

Os equipamentos instalados adquiridos com recurso do PEE devem ser energeticamente eficientes. “Considera-se equipamento eficiente aquele detentor do Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente Selo Procel (ELETROBRAS/PROCEL, em parceria com o INMETRO), dentro de cada categoria definida naquele programa.” [1]

No que diz respeito à tipologia de iluminação pública, tem-se com objetivo apoiar as prefeituras municipais na melhoria da eficiência energética dos sistemas de iluminação pública. A ação de eficiência energética consiste, nesse caso, no uso de lâmpadas e equipamentos mais eficientes, podendo envolver a troca de reatores, ignitores, luminárias, relés fotoelétricos, fiação, braços, postes e demais elementos de fixação.

As ações de eficiência energética desse módulo têm como finalidade estabelecer as diretrizes gerais a serem obedecidas na elaboração, execução e gerenciamento de projetos com ações de eficiência energética para a melhoria de instalação e gestão energética. Tais ações são de acordo com o tipo de projeto. Ela estabelece diretrizes gerais a serem obedecidas em todas as partes do projeto, sendo aplicadas em instalações de uso final da energia. São elas: Iluminação, Condicionamento Ambiental, Sistemas Motrizes, Sistemas de Refrigeração, Aquecimento Solar de Água, Gestão Energética, Gestão Energética Municipal, Bônus para eletrodomésticos eficientes.

Projetos na área de iluminação têm como objetivo a eficiência energética através de:

- Substituição de equipamentos: lâmpadas, reatores e luminárias.
- Instalação de dispositivos de controle: interruptores, sensores de presença, dimmers, etc.
- Maior aproveitamento da iluminação natural com redução da carga da iluminação artificial.

Dados necessários para serem enviados a ANEEL, são de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Dados do sistema de iluminação

SISTEMA ATUAL		
	Sistema 1	TOTAL
Tipo de lâmpada		
Potência (lâmpada + reator) W	pa_1	
Quantidade	qa_i	
Potência instalada (W)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times qa_1}{1000}$	
Funcionamento (h/ano)	ha_1	
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1 = \frac{Da_1}{Pa_1}$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pa_1 \times ha_1}{1000}$	$E_a = \sum_i Ea_i$
Demanda média na ponta (kW)	Da_1	$D_a = \sum_i Da_i$

SISTEMA PROPOSTO		
Tipo de lâmpada	Sistema 1	TOTAL
Potência (lâmpada + reator) W	pp_1	
Quantidade	qp_i	
Potência instalada (W)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times qp_1}{1000}$	
Funcionamento (h/ano)	hp_1	
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPp_1 = \frac{Dp_1}{Pp_1}$	
Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pp_1 \times hp_1}{1000}$	$E_a = \sum_i Ea_i$
Demanda média na ponta (kW)	Dp_1	$D_a = \sum_i Da_i$
RESULTADOS ESPERADOS		
	Sistema 1	Total
Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$	$RDP = \sum_i RDP_i$
Redução de Demanda na ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$	$RDP_1 = \frac{RDP}{Da}$
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$	$EE = \sum_i RDP_i$
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$	$EE\% = \frac{EE}{Ea}$

Fonte: [1]

Observações:

- Agrupar as lâmpadas em sistemas que tenham o mesmo regime de funcionamento e sejam trocadas por um determinado tipo de lâmpada – usar sistemas diferentes para troca diferentes.
- Tipo de lâmpada e potência nominal.
- Incluir a potência média consumida pelos reatores por cada lâmpada; especificar se são reatores eletromagnéticos ou eletrônicos.
- Quantidade de lâmpadas em cada sistema considerado.
- Potência total instalada.
- Funcionamento médio anual (h/ano).
- Fator de coincidência na ponta.

- Energia Consumida (MWh/ano).
- Demanda média na ponta (kW).
- O funcionamento só será diferente se forem instalados dispositivos de controle adicionais. Troca-se subscrito at (atual) por pr (proposto).
- Redução de demanda na ponta (RDP).
- RDP em termos percentuais.
- Energia economizada (EE).
- EE em termos percentuais.

Fórmula:

$$EE = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \times pa_i \times ha_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \times pp_i \times hp_i) \right] \times 10^{-6} \quad (1)$$

Nas Tabelas 2 e 3 a seguir, tem-se os parâmetros necessários para calcular Energia Economizada, juntamente de suas respectivas unidades.

Tabela 2 - Parâmetros da equação (1)

EE	Energia economizada	MWh/ano
qa_i	Número de lâmpadas no sistema/atual	Unidade
pa_i	Potência da lâmpada e reator no sistema/atual	W
ha_i	Número de lâmpadas no sistema/atual	h/ano
qp_i	Número de lâmpadas no sistema/proposto	Unidade
pp_i	Potência da lâmpada e reator no sistema/proposto	W
hp_i	Tempo de funcionamento do sistema/proposto	h/ano

Fonte: [1]

$$RDP = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \times pa_i \times FCPa_1) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \times pp_i \times FCPP_1) \right] \times 10^{-3} \quad (2)$$

Tabela 3 - Parâmetros da equação (2)

<i>RDP</i>	Redução de demanda na ponta	kW
<i>FCPa₁</i>	Fator de coincidência na ponta do sistema/atual	Unidade
<i>FCPp₁</i>	Fator de coincidência na ponta do sistema/atual	Unidade

Fonte: [1]

2.1.1.2 Módulo 7 – Cálculo da Viabilidade

Este módulo trata dos diferentes fatores e formas de cálculo da viabilidade econômica de um projeto realizado no âmbito do PEE.

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a Relação Custo Benefício (RCB) que ele proporciona.

Há dois tipos de avaliação quanto aos dados disponíveis devem ser feitos durante a realização do projeto:

- a) *ex ante*, com valores estimados na fase de definição, onde se avaliam o custo e benefício.
- b) *ex post*, com valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução de demanda na ponta.

Deve ser considerado, a mérito de cálculo, o ponto de vista do sistema elétrico, onde se valoriza a economia de energia e a redução de demanda pelo custo marginal de ampliação do sistema e, do ponto de vista do consumidor, valorizando as grandezas pelos preços pagos por este. A avaliação do projeto será feita com a ótica do sistema elétrico, assim o RCB do projeto deve ser menor ou igual a 0,8. Tal índice considera que o investimento no projeto proposto é vantajoso se comparado com o mesmo investimento na expansão do sistema elétrico. Porém, muitos projetos apresentam outros benefícios mensuráveis que devem ser considerados. Assim, alguns projetos não necessariamente precisam atender o limite proposto de 0,8, os benefícios, então, são avaliados por técnicas empregadas para Medição e Verificação (M&V).

Os Custo Evitado de Demanda (CED) e o Custo da Energia Evitada (CEE) unitários serão calculados pelo método a seguir:

O cálculo se baseia no impacto para o sistema de carga evitada, supondo-se um perfil de carga típico e caracterizado pelo fator de carga (F_c). As perdas são evitadas no sistema são calculadas a partir da redução de 1kW na ponta, seu reflexo na demanda fora de ponta (LP) através do fator de carga, e pelos fatores de perda (F_p , que levam ao cálculo de LE_1 , LE_2 , LE_3 e LE_4 , juntamente com a permanência de cada posto horário no ano – 450, 315, 4.686 e 3.309 h/ano respectivamente), que medem o reflexo desta redução no horário fora de ponta e na energia consumida nos 4 postos tarifários (seco e úmido, ponta e fora de ponta). [1]

O fator de perda pode ser calculado pela equação:

$$F_p = k * F_c + (1 - k) * F_c^2 \quad (3)$$

Onde:

- F_p - fator de perda
- F_c - fator de carga
- k – constante
- Obs.: o valor de k varia de 0,15 a 0,30. É recomendado adotar $k = 0,15$ ou justificar o valor adotado em projeto.

Os cálculos para o CEE, LE_p, LE_{fp} são dados a partir das equações a seguir:

$$CEE = \frac{(C_p * LE_p) + (C_{fp} * LE_{fp})}{LE_p + LE_{fp}} \quad (4)$$

$$LE_p = \frac{(7 * LE_1) + (5 * LE_2)}{12} \quad (5)$$

$$LE_{fp} = \frac{(7 * LE_3) + (5 * LE_4)}{12} \quad (6)$$

Onde:

- CEE – Custo Unitário Evitado de Energia (R\$/MWh)
- C_p – Custo Unitário de energia no horário de ponta na bandeira verde (R\$/MWh)
- C_{fp} – Custo Unitário de energia no horário fora de ponta na bandeira verde (R\$/MWh)
- LE_p – Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta (unidade)

- LE_{fp} – Constante de perda de energia no posto fora de ponta considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta (unidade)
- LE_1 – Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta (unidade)
- LE_2 – Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta (unidade)
- LE_3 – Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta (unidade)
- LE_4 – Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta (unidade)

Os valores referentes a LE_1, LE_2, LE_3 e LE_4 encontram-se no Anexo A.

O Custo da Demanda Evitada é feito da seguinte forma:

$$CED = (12 * C_1 * h_p * F_c * 10^{-3}) + (12 * C_2 * h_{fp} * F_c * 10^{-3} * LP) \quad (7)$$

Sendo:

- CED –Custo Unitário Evitado de Demanda
- C_1 – Custo unitário do uso do Sistema de Distribuição no horário de ponta (R\$/MWh)
- C_2 – Custo unitário do uso do Sistema de Distribuição no horário fora de ponta (R\$/MWh)
- LP – Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta
- h_p – Número de horas da ponta em um mês, considerando somente os dias úteis
- h_{fp} – Número de horas fora de ponta em um mês
- F_c – Fator de carga do segmento elétrico imediatamente a montante daquele considerado ou que sofreu a intervenção, ou ainda, na falta deste, admitir-se o médio da distribuidora nos últimos 12 meses.

A partir de então, é possível calcular o RCB do projeto.

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (8)$$

Onde:

- RCB – Relação Custo Benefício
- CA_T – Custo anualizado total (R\$/ano)
- BA_T – Benefício anualizado (R\$/ano)

O CA_T é calculado da seguinte forma:

$$CA_T = \sum_n CA_n \quad (9)$$

Onde:

- CA_T – Custo anualizado total (R\$/ano)
- CA_n – Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.) (R\$/ano)

Já o Custo Total em Equipamentos (CE_T) pode ser calculado:

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad (10)$$

Onde:

- CE_T – Custo total em equipamentos (R\$)
- CE_n – Custo de cada equipamento (R\$)

Outro fator necessário para se analisar o RCB é o Fator de Recuperação de Capital ($FRCu$).

Pois aqui é calculado o tempo de retorno, o que é imprescindível para o planejamento.

$$FRCu = \frac{i * (1 + i)^u}{(1 + i)^u - 1} \quad (11)$$

Onde:

- $FRCu$ – Fator de recuperação do capital para u anos (1/ano)
- i – Taxa de desconto considerada (1/ano)
- u – Vida útil do equipamento (ano)

A taxa de desconto que deve ser considerada é a mesma especificada no Plano Nacional de Energia [11] vigente na data de submissão do projeto.

É possível calcular o Custo anualizado dos equipamentos (CA_n), conforme a equação que segue:

$$CA_n = CE_n * \frac{CT}{CE_T} * FRCu \quad (12)$$

Onde:

- CA_n – Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.) (R\$/ano)
- CE_n – Custo de cada equipamento (R\$)
- CT – Custo total do projeto (R\$)
- CE_T – Custo total em equipamentos (R\$)
- $FRCu$ – Fator de recuperação do capital para u anos (1/ano)
- u – Vida útil do equipamento (ano)

Após serem avaliados os custos do projeto, agora serão avaliados os benefícios anualizados (BA_T), de acordo com a equação a seguir:

$$BA_T = (EE * CEE) + (RDP * CED) \quad (13)$$

Onde:

- BA_T – Benefício anualizado (R\$/ano)
- EE – Energia anual economizada (MWh/ano)
- CEE – Custo unitário da energia (R\$/MWh)
- RDP – Demanda evitada na ponta (kW ano)
- CED – Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW ano)

Tabela 4 - Custo total de equipamentos

Item	Equip	Custo	Qd	Custo Total	Vida útil	FRC_u	Custo anualizado
1				CE_1	u_1	FRC_1	CE_1
2				CE_2	u_2	FRC_2	CE_2
3				CE_3	u_3	FRC_3	CE_3
Total equipamentos				$CE_T = \sum CE_n$			$CA_T = \sum CA_n$

Fonte: [1]

Tabela 5 - Serviços e demais custos indiretos

Item	Descrição	Custo	Qd	Custo Total
1				CS_1
2				CS_2
3				CS_3
Total serviços e demais indiretos				$CS = \sum CS_n$
Custo Total Projeto				$CT = CE_T + CS$

Fonte: [1]

A Tabela 6 mostra, resumidamente, os valores relevantes para o cálculo final do RCB.

Tabela 6 - Benefícios

1	Energia economizada	EE	$\frac{MWh}{ano}$	Custo unitário energia	CEE	Benefício Energia	$BA_E = EE * CEE$
2	Demanda reduzida na ponta	RDP	kW.ano	Custo unitário demanda	CDE	Benefício Demanda	$BA_D = RDP * CDE$
Benefício Total							$BA_T = BA_E + BA_D$
RCB							$\frac{CA_T}{BA_T}$

Fonte: [1]

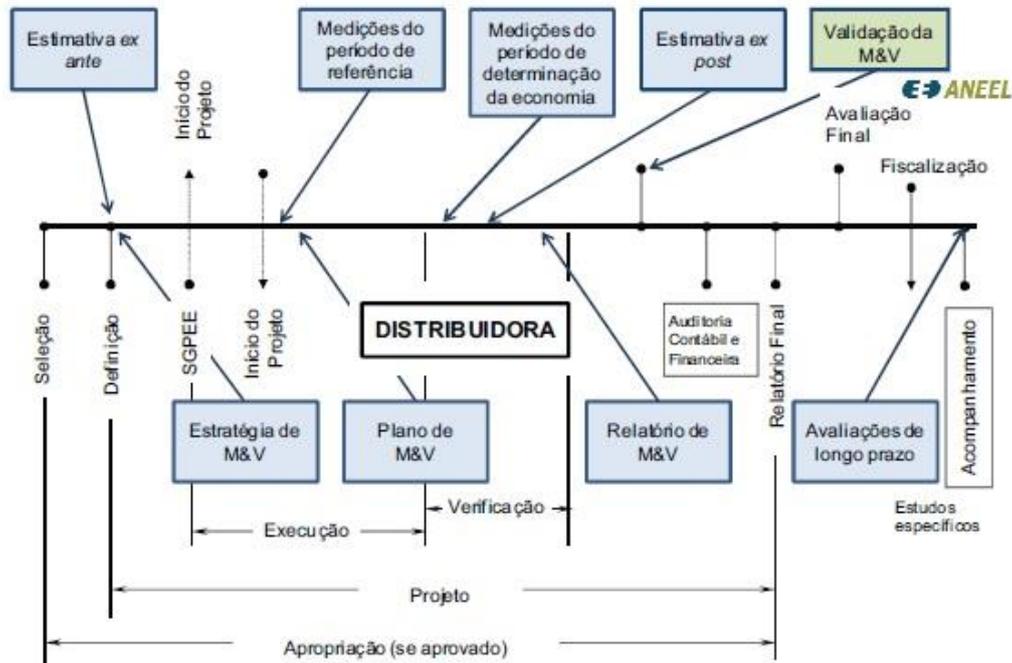
2.1.1.3 Módulo 8 – Medição e Verificação dos Resultados

Neste módulo são estabelecidos os procedimentos para avaliação dos resultados e benefícios energéticos proporcionados pelos projetos. Essa parte de M&V é de extrema importância para um projeto realizado no âmbito do PEE, já que visa estabelecer requisitos mínimos a serem observados e, também orientar as atividades de M&V nas avaliações dos projetos.

A ANEEL busca conciliar as técnicas consagradas constantes do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) com a realidade de seus projetos, com intuito de aprimorar conceitos e padronizar as atividades para M&V. Há dois modos de se medir a economia, de acordo com o PIMVP: energia evitada, quando as condições do período de determinação da economia são consideradas e economia normalizada, quando estas condições são fixas.

As atividades de M&V estão presentes desde a fase de definição do projeto, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Atividades de M&V e fases de projeto



Fonte: [1]

As atividades do M&V são as listadas a seguir:

- a) **Avaliação *ex ante***: são feitas estimativas de resultados com ações de eficiência sugeridas por uso final. Envolve estimativa da energia antes e depois da AEE.
- b) **Estratégia de M&V**: nessa fase é feito diagnóstico energético da instalação, onde se conhece o uso da energia e sua relação com a rotina da instalação. Nela são definidas as bases para as atividades de M&V, tais como: variáveis independentes, fronteira de medição, opção do PIMPV, modelo do consumo da linha de base, cálculo das economias. Aqui, define-se, basicamente, o que se vai medir e como se vai medir.
- c) **Medições do período da linha de base**: primeira atividade das fases de Execução. De acordo com o Guia de M&V, nessa fase são instalados medidores no período da linha de base. Deve ser feito antes da implantação da AEE.
- d) **Plano de M&V**: também deve ser feito antes da implantação da AEE. Já se contém as medições da linha de base e também o modelo energético.
- e) **Medições do período de determinação da economia**: após a implantação da AEE, devem ser feitas medições iniciais do período de determinação da economia.

- f) **Estimativa *ex post***: com as medições já feitas, é possível, então, calcular a economia obtida, bem como a rentabilidade do projeto.
- g) **Relatório de M&V**: emitir relatório de M&V, com a economia e custos economizados.
- h) **Validação da M&V**: essa etapa fica a cargo da ANEEL, após o término do projeto.
- i) **Avaliações de longo prazo**: serão feitas por estudos específicos que serão definidos pela ANEEL.

2.1.2 PROCEL

PROCEL é um programa do governo, criado em 1985, coordenado pelo MME e é executado pela Eletrobras. Tem intuito de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater seu desperdício. As ações do PROCEL contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviço, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia.

O PROCEL promove ações em diversos segmentos da economia, tais como:

- **Equipamentos**: “identificação, por meio do Selo Procel, dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, o que induz o desenvolvimento e ao aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro”. [12]
- **Edificações**: “promoção do uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores”. [12]
- **Iluminação pública (Reluz)**: “apoio a prefeituras no planejamento e implantação de projetos de substituição de equipamentos e melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica”. [12]
- **Poder público**: “ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implantação de projetos que visem ao menor consumo de energia em municípios e ao uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento”. [12]
- **Indústria e comércio**: “treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com a otimização dos sistemas produtivos”. [12]
- **Conhecimento**: “elaboração e disseminação da informação qualificada em eficiência energética, seja por meio de ações educacionais no ensino formal ou da divulgação de dicas, livros e softwares e manuais técnicos”. [12]

2.1.3 PROCEL GEM

O Núcleo de Gestão Energética Municipal (PROCEL GEM), tem como objetivo auxiliar a administração do município na gestão e uso eficiente de energia elétrica, bem como na identificação de oportunidades de economia de energia, visando redução de desperdício e, conseqüentemente, tem-se mais recursos a serem empregados em áreas prioritárias para a população, como saúde e educação, por exemplo.

A GEM pode ser implementada no município por meio de:

- Treinamentos em conceitos de eficiência energética aplicados aos setores de consumo da Prefeitura.
- Troca de experiência, com apoio técnico por meio da Rede Cidades Eficientes em Energia Elétrica (RCE).
- Formação de Agentes Municipais de Eficiência Energética (AMEE), que são técnicos de pequenos municípios de uma determinada região, capacitados nos conceitos de eficiência, elaboram Planos de Ação para as cidades, trocando experiência e soluções para problemas pertinentes.
- Elaboração de Planos Municipais de Gestão de Energia Elétrica (PLAMGE). O PLAMGE é um diagnóstico da situação energética do município, serve como um instrumento de apoio à administração, possibilitando conhecimento, gerenciamento, planejamento e controle do uso da energia elétrica.

Estão aptas a participar do programa as prefeituras municipais e, também, associações de municípios.

Os recursos vêm da Eletrobras, através de convênios e recursos das concessionárias, que devem, por determinação da ANEEL, fazer investimentos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica de, no mínimo, 1% da Receita Operacional Anual.

No ano de 2013, com o Projeto Comunidades de Aprendizado em Gestão Energética Municipal, contabilizou resultados de dois projetos realizados em parceria com a Eletrobras Eletronorte, em 30 municípios localizados nos estados de Mato Grosso e Maranhão. Foi obtido uma economia de energia de 2,55 milhões de kWh. A energia elétrica economizada vem crescendo cada vez mais, graças aos projetos implementados. Em 2013 o que foi economizado em energia foi equivalente ao consumo de 1300 residências em um ano.

Desde quando foi criado, o Procel GEM economizou 128,86 milhões de kWh, o que é suficiente para abastecer uma cidade de 260 mil habitantes. [13]

2.2 Iluminação Pública

É definida como um serviço público que tem por objetivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual. Sob o ponto de vista constitucional, a prestação dos serviços públicos de interesse local é de competência dos municípios. Por se tratar, também, de um serviço que requer o fornecimento de energia elétrica, está submetido à legislação federal.

Trata-se de um serviço essencial à qualidade de vida noturna da população que reside nos centros urbanos, e visa possibilitar às pessoas o desfrute dos espaços e vias públicas com segurança e tranquilidade.

Art. 21. A elaboração de projeto, a implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública são de responsabilidade do ente municipal ou de quem tenha recebido deste a delegação para prestar tais serviços. [28]

Art. 24. Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas de 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento. [28]

Art. 25. Para fins de faturamento, a energia elétrica consumida pelos equipamentos auxiliares de iluminação pública deve ser calculada com base nas normas especificadas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em dados do fabricante dos equipamentos ou em ensaios realizados em laboratórios credenciados por órgão oficial, devendo as condições pactuadas constarem do contrato. [28]

2.2.1 Evolução da iluminação pública

A evolução da humanidade está claramente ligada à utilização da iluminação natural e artificial. Nos povos antigos fazia-se uso de óleo – tanto vegetal quanto animal – a fim de se proporcionar iluminação artificial.

A iluminação pública tem origem no século XV, na Inglaterra, foi desenvolvida com o objetivo de combater o crime. Durante o século XIX, as lâmpadas a gás eram comumente utilizadas, a partir do início do século XX que começou a utilização de lâmpadas elétricas.

No Brasil, os primórdios da iluminação pública aconteceram no século XVIII, no Rio de Janeiro. Na cidade de Porto Alegre, no ano de 1874, foi inaugurada usina de gasômetro, onde os postes receberam iluminação a gás. A partir de 1887, entrou em operação uma usina elétrica, a partir de então, tal revolução ganha outras cidades.

Com a utilização da luz elétrica o Brasil começou a viver uma nova era. Desde então, buscase melhorias nas utilizações das lâmpadas, que passaram desde lâmpadas a óleo até LEDs, atualmente. Isso implicou, também, na evolução da geração de energia no país.

2.2.2 Benefícios da Iluminação pública em um município

A iluminação pública desempenha papel importante na sociedade, tais como:

- Inibir o crime, visto que melhora a visibilidade, segurança, etc.
- Estimular a prática de atividades físicas na área de esporte e lazer.
- Reduzir acidentes de trânsito com pedestres e veículos, já que reduz a possibilidade de acidentes entre motoristas e ciclistas, também choques com obstáculos na altura do solo, etc. Também, com vias iluminadas, reduz-se o efeito do ofuscamento dos faróis de veículos sobre outros motoristas, evitando acidentes.
- Atração turística, pois promove sociabilidade, permitindo que as pessoas se vejam e se encontrem; realça objetos e valoriza monumentos históricos, tornando a cidade mais atraente para turistas.

2.2.3 Eficiência elétrica em sistemas de iluminação pública

O Brasil vem passando por uma sensível melhora na qualidade de prestação do serviço de iluminação pública. Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas, e poderão aumentar a eficiência dos sistemas de iluminação pública, reduzindo o consumo de energia elétrica nesse segmento. Desde 1993, com a aplicação de recursos em projetos de eficiência energética a Eletrobrás, por meio do PROCEL, financia a efficientização da Iluminação Pública tendo como mutuária as concessionárias. [11]

Alguns problemas são frequentes quando se trata de projetos de eficiência energética, tais como:

- 1) Iluminação em excesso;
- 2) Falta de aproveitamento da iluminação natural;
- 3) Uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa;
- 4) Ausência de manutenção;

Em projetos luminotécnicos eficientes, devem-se aplicar:

- 1) Boas condições de visibilidade;
- 2) Boa reprodução de cores;
- 3) Economia de energia elétrica;
- 4) Facilidade e menores custos de manutenção;
- 5) Preço inicial compatível;
- 6) Utilizar iluminação local de reforço;
- 7) Combinar iluminação natural com artificial.

Para se alcançar o objetivo em qualquer projeto de iluminação, deve ser definido o nível de iluminância no local, de acordo com a utilização do ambiente. Para isso existem normas técnicas brasileiras e internacionais que servem como orientação, em função de determinada atividade. O nível recomendado varia, também, com a duração do trabalho sob a iluminação artificial, devendo ser o mais elevado para as longas jornadas.

Deve-se buscar obter uma distribuição razoavelmente uniforme das iluminâncias nos planos iluminados. É necessário, também, que se tenha uma correta reprodução das cores dos objetos e ambientes iluminados. A impressão da cor de um objeto depende da composição espectral da luz que o ilumina, de suas refletâncias espectrais e do sentido da visão humana. Portanto, a cor não é exatamente uma propriedade fixa e permanente em um objeto, mas o que se enxerga como cor é o fluxo luminoso refletido pelo mesmo. [4]

Na escolha do conjunto lâmpada e luminária, os aspectos que devem ser observados são: tipos de lâmpadas que podem ser empregadas; dispositivos mais econômicos; vida útil e manutenção de suas características e análise do ambiente em questão.

2.2.4 Normas técnicas aplicáveis

Um projeto de eficiência energética em iluminação pública deve seguir as indicações das normas e especificações da ABNT, da concessionária de energia elétrica e demais, que sejam pertinentes ao assunto. O projeto deverá obedecer às seguintes normas:

- 1) NBR 5101 – Iluminação Pública
- 2) NBR 15129 – Luminárias para Iluminação Pública

Também devem ser seguidas as instruções indicadas no PROPEE.

2.2.4.1 Norma 5101

A Norma 5101 trata de condições gerais necessárias para lidar com Iluminação Pública.

2.2.4.1.1 Condições gerais

A seguir, tem-se as classificações necessárias para a realização projeto.

2.2.4.1.1.1 *Classificação das vias*

a) Vias urbanas: aquela caracterizada pela existência de construção 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 e edificados ao longo de sua extensão.

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

- 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 40km/h.
 - 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 áreas restritas, com velocidade máxima de 30km/h.
- b) Vias rurais: via mais conhecida como estradas de rodagem, que nem sempre apresenta, exclusivamente, tráfego motorizado.
- Rodovias: vias para tráfego motorizado, pavimentadas, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos, com as seguintes velocidades máximas:
 - i. 110km/h para automóveis e camionetas;
 - ii. 90km/h para ônibus e micro-ônibus;
 - iii. 80km/h para os demais veículos.
 - 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 60km/h.

2.2.4.1.1.2 Classificação do volume de tráfego em vias públicas

A Tabela 7 classifica o tráfego motorizado em vias públicas de acordo com o volume de tráfego.

Tabela 7 - Tráfego motorizado

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

^a Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18h e 21h.

^b Valores para velocidades regulamentadas por lei

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

Fonte: [6]

A Tabela 8 classifica o tráfego para pedestres em vias públicas de acordo com o volume de tráfego motorizado.

Tabela 8 - Tráfego para pedestres

Classificação	Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado
Sem tráfego (S)	Como nas vias arteriais
Leve (L)	Como nas vias residenciais médias
Médio (M)	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Como nas vias comerciais principais

^a O projetista deve levar em conta esta tabela, para fins de elaboração do projeto

Fonte: [6]

2.2.4.1.2 Condições específicas

2.2.4.1.2.1 Iluminância e uniformidade

As iluminâncias médias mínimas ($E_{MED, MIN}$) são valores obtidos pelo cálculo da média aritmética das leituras realizadas, em plano horizontal, sobre o nível do piso e sob condições estabelecidas. Devem ser considerados os índices, levando-se em conta os valores mantidos ao longo do tempo de utilização de acordo com o fator de manutenção local.

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

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

As recomendações de iluminação estão em classe, de V1 a V5 para veículos e P1a P4 para pedestres [6]. As classes são selecionadas de acordo com a função da via, da densidade de tráfego, da complexidade do tráfego, da separação do tráfego e da existência de facilidades para o controle do tráfego, como os sinais. As descrições das vias e estradas são abrangentes, de modo que possam ser interpretadas como exigências individuais para as recomendações nacionais. Quando uma

seleção for feita, todos os usuários da estrada, incluindo motoristas, motociclistas, ciclistas e pedestres devem ser considerados. A Tabela 9 mostra os valores dos parâmetros das classes de iluminação.

Tabela 9 - Iluminância e Uniformidade

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

L_{med} : luminância média; U_o : uniformidade global; U_L : uniformidade longitudinal; TI: incremento linear.

NOTA 1 Os critérios TI e SR são orientativos, assim como as classes V4 e V5

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

Fonte: [6]

As Tabelas 10 e 11 a seguir definem a classe de iluminação para cada tipo de via para tráfego de veículos, iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação, vias para tráfego de pedestres e iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação.

Tabela 10 - Classes de iluminação para cada tipo de via

Descrição da via	Classe de iluminação
<p>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</p> <p>Volume de tráfego intenso</p> <p>Volume de tráfego médio</p>	<p>V1</p> <p>V2</p>
<p>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</p> <p>Volume de tráfego intenso</p> <p>Volume de tráfego médio</p>	<p>V1</p> <p>V2</p>
<p>Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado</p> <p>Volume de tráfego intenso</p> <p>Volume de tráfego médio</p> <p>Volume de tráfego leve</p>	<p>V2</p> <p>V3</p> <p>V4</p>
<p>Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial</p> <p>Volume de tráfego médio</p> <p>Volume de tráfego leve</p>	<p>V4</p> <p>V5</p>

Fonte: [6]

Tabela 11 - Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação

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

Fonte: [6]

Nas tabelas a seguir são definidas as classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de pedestres, iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação.

Tabela 12 - Classes de iluminação para cada tipo de via

Descrição da via	Classe de iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestres	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres	P3
Vias de pouco uso por pedestres	P4

Fonte: [6]

Tabela 13 - Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação

Classe de iluminação	Iluminância horizontal média E_{MED} (lux)	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{MIN}/E_{MED}$
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: [6]

2.2.4.1.2.2 Projeto e manutenção

Quando o projeto de uma instalação de iluminação com valões de iluminância conforme aos requisitos anteriores, é recomendado que sejam seguidos os preceitos de manutenção indicados a seguir:

- a) Operação da fonte de luz, nos valores nominais de corrente ou tensão;
- b) Substituição das lâmpadas depreciadas, em períodos regulares;
- c) Limpeza periódica das luminárias.

A fim de manter estes valores recomendados de iluminância, devem ser adotados esquemas de manutenção que estejam pelo menos iguais aos assumidos no projeto de instalação da iluminação. A eficiência das lâmpadas na data de substituição pode ser determinada pelos dados publicados pelos fabricantes. O fator de manutenção das luminárias varia conforme as condições locais e densidade de tráfego, devendo ser realizada a manutenção quando a iluminância média atingir 70% do valor inicial.

2.2.4.1.2.3 Inspeção

Para ser feita a malha de verificação, deve ser usada as medições ou cálculos de iluminância, em procedimento que exija detalhamento. Os pontos da grade devem ser definidos pelas interseções das linhas transversais e longitudinais à pista de rolamento e às calçadas, considerando-se a existência de:

- a) Uma linha transversal alinhada com cada luminária;
- b) Uma linha transversal no ponto entre as duas luminárias;
- c) Uma linha longitudinal no eixo de cada faixa;
- d) Uma linha longitudinal no eixo de cada calçada.

2.2.4.2 Norma 15129

A Norma 15129 estabelece definições e critérios para luminárias públicas.

2.2.4.2.1 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR IEC 60598-1 e os seguintes:

- a) Abertura de entrada do cabo da luminária integrada com coluna: abertura na parte abaixo do solo da luminária integrada, com coluna para entrada do cabo.
- b) Altura nominal da luminária integrada com coluna: distância entre a linha de centro do ponto de início da parte externa e o nível do solo desejado, para luminária integrada com coluna engastada no solo, ou a face inferior do flange para luminária integrada, com coluna com flange.
- c) Cabo de ancoragem: cabo tensionado entre suportes principais, com finalidade de limitar movimentos laterais e de rotação das luminárias suspensas.
- d) Cabo de suspensão: cabo fixado ao cabo de sustentação que suporta o peso da luminária.
- e) Compartimento de conexão da luminária integrada: compartimento destinado a abrigar os terminais da luminária, os dispositivos de proteção, e laços dos cabos de alimentação e a caixa de conexão, se existir.
- f) Caixa de conexão da luminária integrada com coluna: caixa contendo os blocos terminais.
- g) Blocos terminais: dispositivo protetor que permite a conexão da luminária integrada com coluna com a rede e laços os cabos de alimentação de eletricidade.
- h) Coluna de iluminação: suporte destinado a suportar uma ou mais luminárias, consistindo em uma ou mais partes, um poste, possivelmente uma peça de extensão e, se necessário, um suporte. Não estão incluídas colunas para iluminação com catenária.
- i) Luminárias de túnel: luminárias para iluminação de túneis que são montadas diretamente sobre estruturas na parede ou no teto do túnel.
- j) Luminárias integradas com colunas: sistemas de iluminação formados por uma luminária integrada em uma coluna de iluminação fixada ao solo.
- k) Luminárias integradas: luminárias que possuem compartimento para instalação do dispositivo de controle da lâmpada.
- l) Parte externa, refletora ou decorativa, da luminária integrada com coluna: dispositivo refletor de luz em uma direção fixa ou com proposta decorativa, montado externamente ao compartimento da lâmpada e geralmente no topo da luminária integrada com coluna.
- m) Porta de abertura da luminária integrada com coluna: abertura na coluna da luminária integrada com coluna para acesso aos equipamentos elétricos.

2.2.4.2.2 Requisitos gerais para os ensaios

Para facilitar os ensaios devido às dimensões da amostra, é permitido realiza-los apenas em cada parte apropriada da luminária.

2.2.4.2.3 Classificação das luminárias

As luminárias devem ser classificadas como classe I ou II.

- a) No tubo (braço) ou similar;
- b) Sobre o suporte ou no braço de poste (coluna);
- c) No topo do poste;
- d) Sobre cabos de sustentação ou de suspensão;
- e) Na parede.

2.2.4.2.4 Marcação

As informações seguintes devem ser fornecidas no folheto de instruções que acompanha a luminária.

- a) Posição de projeto (posição normal de operação);
- b) Massa, incluindo dispositivo de controle, se existir;
- c) Dimensões globais;
- d) Área máxima projetada sujeita à força do vento, se prevista para montagem a mais de 8m acima do solo.
- e) Gama de seções dos cabos de suspensão adequados para a luminária, se aplicável;
- f) Apropriada para uso interno, desde que os 10°C admitidos pelos efeitos de movimentação natural do ar não sejam subtraídos da temperatura medida;
- g) Dimensões do compartimento onde a caixa de conexão é instalada;
- h) O torque em newton-metro a ser aplicado nos parafusos ou roscas que fixam a luminária ao suporte.

As marcações das luminárias devem ser gravadas em placa fixada em local visível e devem conter no mínimo, de modo legível e indelével, as seguintes informações:

- a) Marca ou nome do fabricante (código ou modelo);
- b) Data de fabricação (mês e ano);
- c) Grau(s) de proteção;

- d) Potência, tensão e frequência nominais;
- e) Tipo de lâmpada (símbolo);
- f) Tipo de proteção contra choque elétrico.

2.3 Conceitos básicos referentes à iluminação

Serão apresentados fundamentos e conceitos relacionados às superfícies, à luz natural e à luz artificial, de modo que se cumpram os requisitos mínimos a fim de ser ter conforto e, também, que o projeto seja energeticamente eficiente.

2.3.1 Espectro eletromagnético

É compreendido em comprimentos de onda de 380 a 780nm, onde se tem a capacidade de estimular a retina do olho humano, produzindo sensação luminosa. Encontra-se limitado em um dos extremos pelas radiações de maior comprimento de onda (infravermelhas) e, no outro, pelas de menor comprimento de onda (ultravioletas).

2.3.2 Espectro visível

Neste caso, é tratada a impressão de cor, a qual está ligada com os comprimentos de onda das radiações. Há diferentes comprimentos de onda, onde são produzidas diversas sensações de luminosidade. A sensibilidade do olho humano passa do comprimento de onda de 555nm para 508nm.

2.3.3 Fluxo luminoso

Representa uma potência luminosa emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen (lm). [5]

2.3.4 Iluminância

Tem-se como definição sendo o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área (m²). Sua unidade é o lux. É uma densidade de luz necessária para a realização de uma determinada tarefa visual. [5]

2.3.5 Eficiência luminosa

Trata-se do quociente entre o fluxo luminoso emitido em lumens, pela potência consumida em watts. Basicamente, retrata a quantidade de “luz” que uma fonte luminosa pode produzir a partir da potência elétrica. [5]

2.3.6 Índice de reprodução de cor (IRC)

De acordo com [5] “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)”. O IRC varia em porcentagem, e varia de 0 a 100%. A Figura 4 mostra a diferença das cores de acordo com o IRC.

Figura 4 - IRC



Fonte: [21]

2.3.7 Temperatura de cor

“Expressa a aparência de cor da luz, sendo sua unidade o Kelvin”. A Tabela 14 a seguir mostra as faixas de temperatura de cor.

Tabela 14 - Temperatura de cor

Tonalidade	Temperatura de cor (Tc)
Morna	$T_c < 3300 \text{ K}$
Neutra	$3300 \leq T_c < 5000 \text{ K}$
Fria	$T_c \geq 5000 \text{ K}$

Fonte: [4]

2.3.8 Curva de distribuição luminosa

“Curva que representa, em coordenadas polares, as intensidades luminosas nos planos transversal e longitudinal.” [5].

2.3.9 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”. [5]

2.3.10 Reflexão, transmissão e absorção de luz

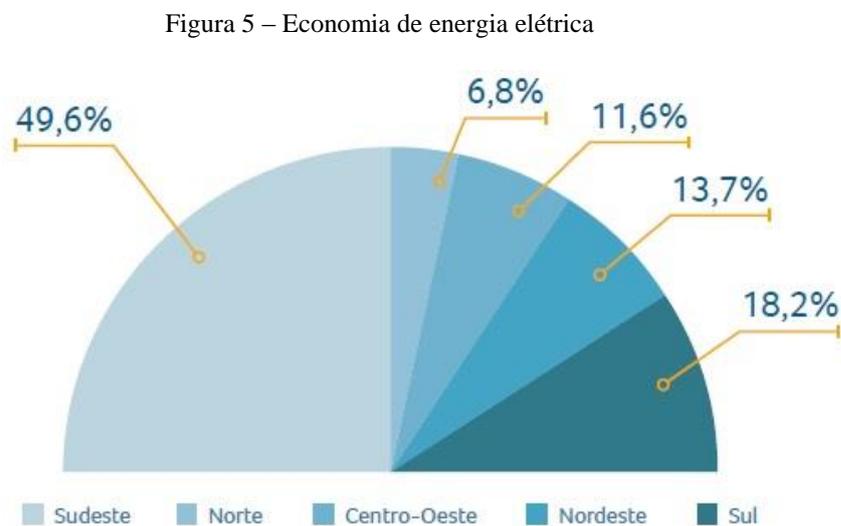
“O fluxo luminoso incidente, basicamente divide-se em três partes, em uma dada proporção, que depende das características da substância sobre a qual incide.” Os fatores que devem ser definidos são:

- Refletância: relação entre fluxo luminoso refletido por uma superfície e o fluxo luminoso incidente sobre ela;
- Transmitância: relação entre o fluxo luminoso transmitido por uma superfície e o fluxo luminoso que incide sobre ela;
- Fator de absorção: relação entre o fluxo luminoso absorvido por uma superfície e o fluxo luminoso que incide sobre a mesma. [5]

2.4 Consumo de energia elétrica em iluminação pública no Brasil

Em levantamento realizado em 2016, com referência aos dados do PROCEL em 2015, a Eletrobrás mostrou que o total de economia de energia elétrica e redução de demanda no horário de ponta, por meio do Procel Reluz, corresponderam a 120,67 milhões de kWh e 27,51 mil kW, respectivamente.

Desde 2000, o programa já proporcionou a substituição de cerca de 2,78 milhões de pontos de iluminação pública no país. A Figura 5 representa a distribuição desses pontos por região.



Fonte [3]

De acordo com o programa RELUZ, de 1995 a 2004 a potência aumentou em torno de 64% e, conseqüentemente, o consumo de energia também cresceu. Em 1995 as lâmpadas de vapor de mercúrio representavam 81% do total, enquanto que as de vapor de sódio, eram 7%. Já em 2004, vapor de mercúrio era 47% e de sódio 46%. É visível que a preferência por lâmpadas de vapor de mercúrio vem decaindo, dando preferência a vapor de sódio. Ainda assim, é possível ser ainda mais eficiente energeticamente, utilizando lâmpadas LED, por exemplo.

2.5 Tipos de lâmpadas

A seguir, têm-se alguns tipos de lâmpadas comumente utilizadas em iluminação pública.

2.5.1 Lâmpada Vapor de sódio

São lâmpadas de descarga de alta pressão, as quais utilizam o plasma de um vapor de sódio para produzir luz. Esse tipo de lâmpada emite uma luz quase monocromática. O resultado disso implica em uma luminosidade incomum e cores distinguíveis, uma vez que é emitida uma luz amarela pela lâmpada. É indicado para situações onde a distinção de cores não é importante. Podem ser do tipo ovóide e tubular. O rendimento luminoso desse tipo de lâmpada é em cerca de 120 lm/W.

Figura 6 – Lâmpada Vapor de Sódio Ovóide



Fonte: [22]

Figura 7 – Lâmpada Vapor de Sódio Tubular



Fonte: [23]

2.5.2 Lâmpada Vapor de Mercúrio

Possui alta eficiência luminosa. Também são lâmpadas de descarga, assim como a de vapor de sódio. É indicado para uso em galpões, vias públicas e pátios de empresas. Possuem uma tonalidade branco-azulada. Seu rendimento luminoso varia de 36 lm/W a 60 lm/W.

Figura 8 – Lâmpada Vapor de Mercúrio



Fonte: [24]

2.5.3 Lâmpada LED

Ultimamente a tecnologia LED (Light Emmiting Diode) está trazendo impactos significativos na utilização em indústrias, iluminação interna e externa, iluminação pública, etc. Esse tipo de lâmpada oferece uma grande economia de energia, maior vida útil, alta eficiência luminosa, baixo aquecimento, menor custo de manutenção. Contudo, ainda há desvantagens, como: custo inicial elevado, tecnologia ainda em desenvolvimento, falta de legislação específica para instalação, entre outros.

Figura 9 – Lâmpada LED



Fonte: [25]

2.5.3.1 Histórico sobre o LED

Os LEDs já existem há algum tempo, porém nos últimos 10 anos que houve maior interesse em se pesquisar e implementar tal tipo de tecnologia. Mesmo sabendo que LED é caro, sua utilização é, em muitos casos, mais econômica que muitos sistemas convencionais. [17]

A seguir, tem-se a evolução desse tipo de fonte de iluminação em ordem cronológica.

1960 – Nick Holonyak Jr. Inventou o primeiro LED na empresa General Eletric. Estes LEDs eram apenas usados em indicadores e só existiam na cor vermelha.

1970 – Com a tecnologia, LEDs até 10x mais brilhantes foram criados em relação aos antecessores. Os LEDs começaram a ser utilizados em painéis de mensagens e outdoors.

1990 – LEDs se tornaram mais confiáveis e robustos. O mercado ampliou e novas possibilidades de utilização surgiram.

2000 – Deixa de ser uma promessa tecnológica e passam a ser utilizados em muitas aplicações, entre elas, semáforos, automóveis, painéis de mensagens e iluminação arquitetural. [17].

Neste capítulo foram definidas características necessárias que servirão de base para a realização do projeto, o qual será apresentado no capítulo 3 a seguir.

3 Projeto de eficiência energética nas luminárias de Jaguaruna

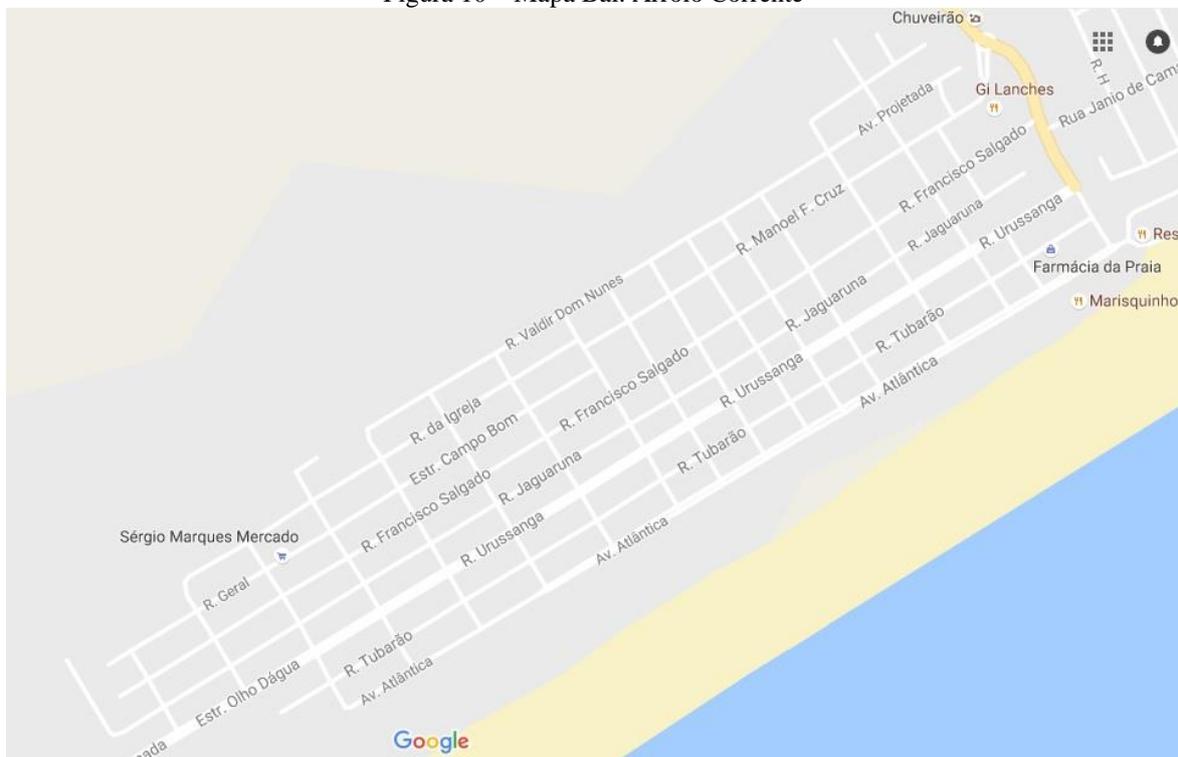
O projeto de eficiência energética nas luminárias públicas na cidade de Jaguaruna, no bairro Arroio Corrente, será feito com o objetivo de comparar os dados obtidos experimentalmente, através de medição de iluminância, com a simulação do software DIALux, de acordo com a norma NBR5101.

Será abordada, principalmente, a eficiência energética, o consumo de energia e potência total do sistema. Além disso, também tem-se como foco a iluminância de cada tipo de lâmpada, medida em lux.

3.1 Aspectos gerais sobre iluminação pública na cidade de Jaguaruna

Neste trabalho é apresentado um estudo de eficiência energética no sistema de iluminação pública na cidade de Jaguaruna, no litoral sul de Santa Catarina, no bairro Arroio Corrente. Por se tratar de cidade litorânea, tem grande parte de sua economia voltada ao turismo, o que faz com que a iluminação pública seja de grande valia para o desenvolvimento do lugar. A Figura 10 mostra o local onde será destinado o projeto.

Figura 10 – Mapa Bal. Arroio Corrente



Fonte – Google Maps

Através de pesquisa de campo, foi constatada a presença de 422 luminárias no bairro Bal. Arroio Corrente, sendo a maior parte de vapor de sódio. A Tabela 15 mostra a quantidade e potência de cada uma delas.

Os dados de iluminância do sistema medidos em lux está no Apêndice A.

Tabela 15 – Situação atual

Tipo	Potência da lâmpada (W)	Quantidade	Porcentagem (%)	Potência do sistema (W)
Sódio	70	354	84	24780
	150	43	10	6450
	250	18	4	4500
Mercúrio	80	7	2	560
Total		422		36290

Fonte: Produção Autor

Como as lâmpadas de vapor de mercúrio representam apenas 2% do total, para facilitar os cálculos será considerado a substituição destas por vapor de sódio de 70W.

O projeto de eficiência energética das luminárias públicas de Jaguaruna terá como base o PROPEE. Será feito comparando a situação atual e proposta, que será simulada..

Primeiramente, será mostrado os efeitos de um *Retrofit* em um sistema de iluminação. O *Retrofit* se trata de uma forma de troca de equipamentos de uma tecnologia antiga por equipamentos mais eficientes, sem a necessidade de mudanças estruturais ou no projeto elétrico. O objetivo é avaliar o potencial de economia de energia apenas fazendo a troca das lâmpadas.

Em segundo lugar, tem-se como objetivo a adequação dos níveis de iluminação em relação às normas ABNT NBR5101 de Iluminação Pública e ABNT NBR 15129 de Luminárias Públicas.

O PROPEE [9] descreve todas as etapas de um projeto de eficiência energética, desde o seu planejamento até as avaliações periódicas de economia, como essas duas propostas de projetos não foram executadas, o projeto será realizado até a etapa do Plano de Medição e Verificação, que é a etapa antecedente a execução do projeto. Até essa etapa será possível realizar a Estimativa ex ante,

Estratégia de M&V, essas etapas têm como objetivo definir o consumo de energia da instalação e propor formas de cálculo de economia.

3.2 Projeto de *Retrofit*

Essa etapa consiste na troca de lâmpadas, luminárias e reatores por equipamentos com melhor eficiência energética, mas sem redução dos níveis de iluminação do ambiente. A Tabela 16 mostra a lâmpada atual e a proposta.

Tabela 16 – Troca direta de lâmpadas

Quantidade	Lâmpada existente	Lâmpada proposta
354	Vapor de sódio 70W	LED 70W
43	Vapor de sódio 150W	LED 70W
18	Vapor de sódio 250W	LED 90W
7	Vapor de mercúrio 80W	LED 70W

Fonte: Produção Autor

A ANEEL exige que os equipamentos possuam selo PROCEL de eficiência energética, por esse motivo, foi realizada uma pesquisa sobre lâmpadas LED no site PROCEL, a fim de se determinar características das lâmpadas, para que fossem o mais próximo possível das que são utilizadas na cidade. A Tabela 17 a seguir contém informações das lâmpadas escolhidas.

Tabela 17 – Características das lâmpadas

Lâmpada proposta	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa	IRC	Temp de cor (K)	Vidaútil (h)
LED 70W	6080	87 lm/W	80	3000	100000
LED 90W	6100	68 lm/W	80	5000	50000

Fonte: Produção Autor

Nas Tabelas 18 e 19, tem-se as características do sistema atual e proposto, respectivamente.

Tabela 18 – Resultados

Sistema Atual			
Tipo de lâmpada	Vapor de sódio 70W	Vapor de sódio 150W	Vapor de Sódio 250W
Potência da lâmpada (W)	70	150	250
Quantidade	361	43	18
Potência instalada (W)	25270	6450	4500
Tempo de utilização do sistema (h/dia)	11h54min	11h54min	11h54min
Dias de utilização do sistema (dia/ano)	365	365	365
Funcionamento (h/ano)	4343,5	4343,5	4343,5
Nm (meses)	12	12	12
Nd (dias)	365	365	365
Nh (horas)	11,9	11,9	11,9
Energia Consumida (MWh/ano)	109,8	28,01	19,54

Fonte: Produção Autor

Tabela 19 – Resultados esperados

Sistema Proposto		
	LED 70W	LED 90W
Tipo de lâmpada		
Potência da lâmpada (W)	70	90
Quantidade	359	63
Potência instalada (W)	25130	5670
Tempo de utilização do sistema (h/dia)	11h54min	11h54min
Dias de utilização do sistema (dia/ano)	365	365
Funcionamento (h/ano)	4343,5	4343,5
Nm (meses)	12	12
Nd (dias)	365	365
Nh (horas)	11,9	11,9
Energia Consumida (MWh/ano)	109,11	24,63
Resultados Esperados		
Energia economizada (MWh/ano)		23,61
Energia economizada (%)		15%

Fonte: Produção Autor

O cálculo do RCB é descrito a seguir. Algumas considerações importantes devem ser feitas:

- Não se tem demanda contratada.
- Para o cálculo do FRC_u foi considerado uma taxa de juros de 8% conforme PDE.
- Os preços das lâmpadas foram definidos através de contato com empresa que presta serviço na área de eficiência energética.
 - De acordo com o PEE da CELESC de 2015, deverá ser utilizado o funcionamento das lâmpadas de 8h/dia. No entanto, através de contato com a concessionária da região, foi constatado que o período de funcionamento é de 11h54min.

A Tabela 20 define o custo total, afim de se obter o CAT.

Tabela 20 – Custo total em equipamentos

Equip	Custo (R\$)	Qtd	Custo Total (R\$)	Vida útil (anos)	FRCu	Custo anualizados
LED 70W	R\$292,76	359	R\$105100,84	11,41	0,1361	R\$30,37
LED 90W	R\$521,14	63	R\$32831,82	5,708	0,09638	R\$11,95
Total equipamentos			CET = 137932,66		CAT = R\$42,32	

Fonte: Produção Autor

Gastos como mão de obra é estimado em R\$5000,00, considerando dois profissionais para efetuar a troca dos equipamentos. Demais gastos não serão contabilizados, visto que o projeto não foi executado. Assim, o custo total será:

$$CT = R\$142932,66$$

Os custos tarifários foram obtidos através de consulta à concessionária da região. A cidade se enquadra na modalidade convencional, onde não há diferença entre preço no horário de ponta e fora de ponta. A Tabela 21 mostra os valores de tarifas convencionais para cada grupo. Neste caso, o subgrupo utilizado na cidade é B4b – Iluminação Pública – Bulbo da lâmpada.

Tabela 21- Tarifas

Tarifa Convencional – Grupo B (sem tributos)		
Subgrupos	Classificação	Energia R\$/kWh
B1	Residencial Normal	0,4314200
	Residencial Baixa Renda até 30kWh	0,1473255
	Residencial Baixa Renda de 31 a 100kWh	0,2525580
	Residencial Baixa Renda de 101 a 220kWh	0,3788370
	Residencial Baixa Renda acima de 220kWh	0,4209300
B2	Rural, não cooperativa	0,3019900
	Cooperativa de Eletrificação	0,3019900
	Serviço Público de Irrigação	0,2588500
B3	Água, Esgoto e Saneamento	0,3667070
	Demais Classes	0,4314200
B4a	Iluminação Pública – Rede de Distribuição	0,2372800
B4b	Iluminação Pública – Bulbo da Lâmpada	0,258850

Fonte: [14]

Para os cálculos de CEE e CED, é importante ressaltar, novamente, que não há demanda contratada no local, o cálculo do custo de energia é feito utilizando apenas a potência instalada. Sendo assim, o termo CED será desconsiderado a partir de então.

A ANEEL sugere que seja utilizado um fator de carga de 0,7 e um valor de k de 0,15, assim, utilizando a Tabela do Anexo A, foram obtidos os valores de LE1, LE2, LE3, LE4, necessários para o cálculo de LE_p e LE_{fp}, dados nas equações (5) e (6), respectivamente.

Tabela 22 - Custos de Energia

C	Custo unitário da energia	R\$/kWh	0,258850
Fc	Fator de carga	1	0,7
LEp	Constante de perda de energia na ponta	1	0,3368
LEfp	Constante de perda de energia fora de ponta	1	2,012
LE1	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos	1	0,38516
LE2	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos	1	0,2691
LE3	Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos	1	2,29381
LE4	Constante de perda de energia no posto de fora ponta de períodos úmidos	1	1,61977

Fonte: Produção Autor

Dessa forma, é possível calcular o valor do Custo Evitado de Energia, CEE, através da equação (4):

$$CEE = 0,258850$$

Logo, foi possível calcular o RCB do projeto, mostrado na Tabela 23 a seguir.

Tabela 23 - RCB

Energia Economizada	23,41MWh/ano	Custo unitário energia	R\$0,258850	Benefício energia	R\$6059,68
Benefício Anualizado Total					R\$6059,68
Custo Anualizado Total					R\$42,32
RCB <i>ex ante</i>					0,01

Fonte: Produção Autor

O resultado de 0,01 é muito satisfatório, já que se encontra bem abaixo do limite estipulado pela ANEEL de 0,8, e indica que o projeto é extremamente viável para ser executado.

Após determinar o cálculo para RCB, é possível ter uma estimativa de quanto de economia esse projeto poderá gerar e quanto de investimento deverá ser feito.

3.3 Projeto eficiência luminotécnica

O projeto de eficiência luminotécnica tem como finalidade atender a norma de iluminação pública NBR5101 e realizar um projeto de eficiência energética na área de luminotécnica, com RCB aceitável para os parâmetros da ANEEL.

Foi feita a medição dos níveis de iluminamento das estradas da cidade, utilizando um Luxímetro da marca Politerm modelo LD-150, conforme mostra a Figura 11. Os valores medidos são mostrados no Apêndice A. A medição foi feita em todas as luminárias presentes, medidas em 0m e em 1,50m a partir do solo.

A malha de inspeção foi feita de acordo com a norma, e os resultados se encontram no posteriormente.

Figura 11 - Luxímetro



Fonte: [15]

Para realização do projeto de iluminação pública foi utilizado o software DIALux. Tal ferramenta é de grande serventia para projetos lumintécnicos, visto que avalia os parâmetros de iluminação de acordo com a norma.

Como já visto anteriormente nas Tabela 11 e 12 referente à Norma 5101, tem-se classe de iluminação V4 e V5 pertinente ao local, já que se tem no local apenas Vias Coletoras e Vias Locais, com tráfego médio ou leve.

A Tabela 24 a seguir mostra os valores de iluminância média mínima para as classes de iluminação V4 e V5, que serão utilizadas .

Tabela 24 - Iluminância mínima

Classe de iluminação	Iluminância média $E_{MED, MIN}$ (lux)	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{MIN}/E_{MED}$
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: Produção Autor com base em [6]

Outros parâmetros como luminância média, uniformidade global, uniformidade longitudinal, incremento linear, são relevantes para o estudo, já que serão avaliados no DIALux.

Tabela 25 - Classes de iluminação utilizadas

Classe de iluminação	$L_{med} \geq$	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI%	SR
V4	0,75	0,40	0,60	15	-
V5	0,50	0,40	0,60	15	-

L_{med} : luminância média; U_o : uniformidade global; U_L : uniformidade longitudinal; TI: incremento linear.

Fonte: Produção Autor com base em [6]

Foi constatado na prática, que os valores de iluminância estão praticamente todos de acordo com a Norma 5101. Ainda assim, foram feitas simulações no software com o cenário real e com o cenário proposto.

A distância entre os postes é de 35m e a altura é de 8m.

No Apêndice B tem os resultados completos gerados no DIALux, tanto para a situação atual quanto para proposta.

Para situação atual:

Lâmpada vapor de sódio 70W, tem-se:

Tabela 26 - Resultados DIALux Vapor de Sódio 70W

	$L_{med} \geq$ [cd/m ²]	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI%	SR

Valores requeridos de acordo com a classe	0,75	0,40	0,60	15	-
Valor real de acordo com cálculo	0,30	0,25	0,52	12	-
Realizada/Não realizada	-	-	-	✓	

Fonte: Produção Autor com base nos resultados do DIALux

Lâmpada vapor de sódio 150W, tem-se:

Tabela 27 - Resultados DIALux Vapor de Sódio 150W

	$L_{med} \geq [cd/m^2]$	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI%	SR
Valores requeridos de acordo com a classe	0,75	0,40	0,60	15	-
Valor real de acordo com cálculo	0,68	0,44	0,62	17	
Realizada/Não realizada	-	✓	-	-	

Fonte: Produção Autor com base nos resultados do DIALux

Lâmpada vapor de sódio 250W, tem-se:

Tabela 28 - Resultados DIALux Vapor de Sódio 250W

	$L_{med} \geq [cd/m^2]$	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI% \leq	SR
Valores requeridos de acordo com a classe	0,75	0,40	0,60	6	-
Valor real de acordo com cálculo	1,37	0,18	0,46	15	-
Realizada/Não realizada	✓	-	✓	✓	

Fonte: Produção Autor com base nos resultados do DIALux

A seguir, tem-se os resultados obtidos através do software e, também, experimentalmente.

Tabela 29 - Resultados DIALux e experimentalmente

Resultados obtidos no DIALux			
Tipo de lâmpada atual	$E_{MÉD}$ (lux)	E_{MIN} (lux)	E_{MAX} (lux)
Vapor de sódio 70W	4,79	1,11	18,8
Vapor de sódio 150W	9,50	4,12	23,0
Vapour de sódio 250W	22,5	3,59	89,3

Resultados obtidos experimentalmente			
Tipo de lâmpada atual	$E_{MÉD}$ (lux)	E_{MIN} (lux)	E_{MAX} (lux)
Vapor de sódio 70W	11,87	5,00	28,0
Vapor de sódio 150W	20,47	10,0	42,0
Vapour de sódio 250W	48,94	9,00	95,0

Fonte: Produção Autor

A discrepância entre os resultados obtidos via software e experimentalmente, deve-se a fatores como:

- Calibração no aparelho luxímetro;
- Diferença na marca da lâmpada.

Para a simulação computacional do sistema proposto serão as mesmas da proposta do projeto anterior. As luminárias escolhidas para a troca é da marca Siteco (pertencente ao grupo Osram), LED 70W e LED 90W da marca Osram. As Figuras 12 e 13 mostram a luminária escolhida. A solução proposta é de se utilizar LED 70W para classe de iluminação V5 e LED 90W para classe de iluminação V4. Foram consideradas duas Avenidas (Av. Antônio Atanásio e Av. Atlântica) como Via coletora e as demais ruas como Via local.

Figura 12 - Luminária LED 70W proposta utilizada no projeto



Fonte: [26]

Figura 13 - Luminária LED 90W proposta utilizada no projeto



Fonte: [27]

As Tabelas 30 e 31 são mostrados os resultados para o sistema proposto. É válido ressaltar que para a classe V5 a luminância média deve ser maior ou igual a 0,50. Também, tem-se que o fator U_L (uniformidade longitudinal) no software é gerado como maior ou igual, porém na norma 5101 é considerado menor ou igual.

Tabela 30 - Simulação para LED 70W

	$L_{med} \geq [cd/m^2]$	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI%	SR
Valores requeridos de acordo com a classe	0,50	0,40	0,60	15	-
Valor real de acordo com cálculo	0,51	0,49	0,64	15	-
Realizada/Não realizada	✓	✓	-	✓	

Fonte: Produção Autor com base no resultado do DIALux

Tabela 31 - Simulação para LED 90W

	$L_{med} \geq [cd/m^2]$	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI%	SR
Valores requeridos de acordo com a classe	0,75	0,40	0,60	15	-
Valor real de acordo com cálculo	1,94	0,40	0,82	15	-
Realizada/Não realizada	✓	✓	-	✓	

Fonte: Produção Autor com base no resultado do DIALux

Levando em consideração a classe da via para pedestre P4, com pouco uso de pedestres para via coletora, tem-se como resultado de iluminância:

Tabela 32 - Resultado de iluminância para via local

$E_{MÉD}$ (lux)	E_{MIN} (lux)	E_{MAX} (lux)
7,19	3,51	13,6

Fonte: Produção Autor com base no resultado do DIALux

Tabela 33 - Resultado de iluminância para via coletora

$E_{MÉD}$ (lux)	E_{MIN} (lux)	E_{MAX} (lux)
34,4	17,4	52,6

Fonte: Produção Autor com base no resultado do DIALux

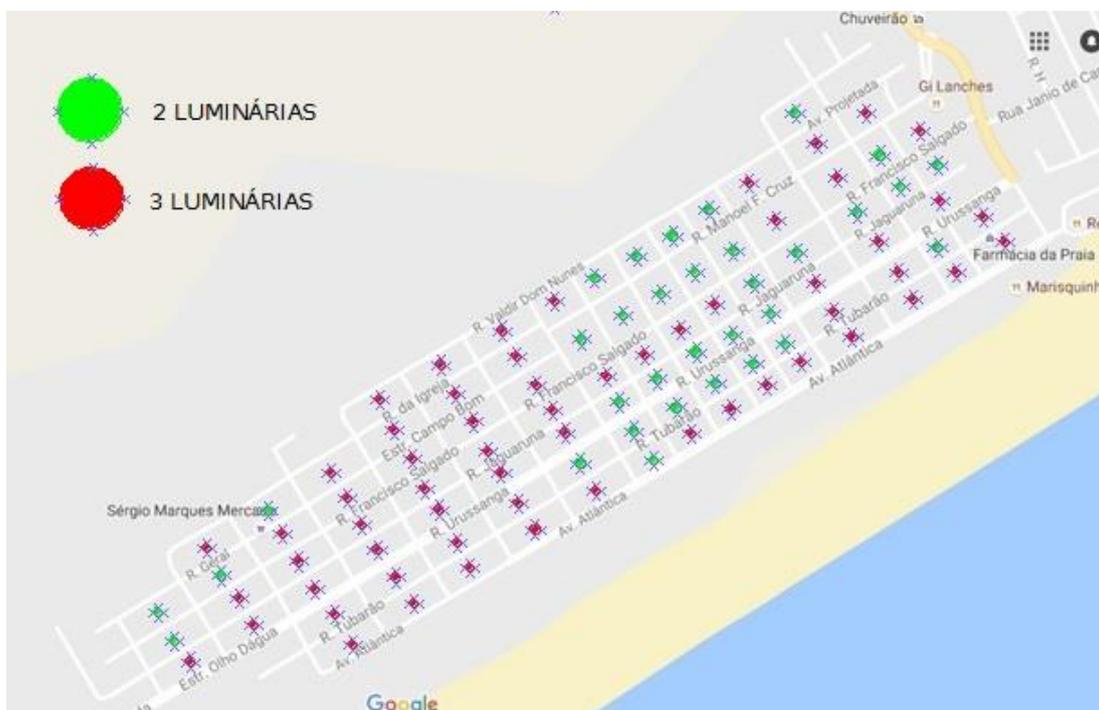
Os resultados descritos nas Tabelas 32 e 33, são obtidos através de simulação. Os resultados experimentais, que foram medidos através de luxímetro, foram feitos conforme indica a norma, no item de inspeção, já citado no capítulo 2.

É importante mencionar que existem dois tipos de distribuição das luminárias nas cidades:

- 2 luminárias por quadra;
- 3 luminárias por quadra.

A Figura 14 mostra no mapa da região os locais onde se tem duas ou três luminárias por quadra.

Figura 14 - Tipos de distribuição de luminárias



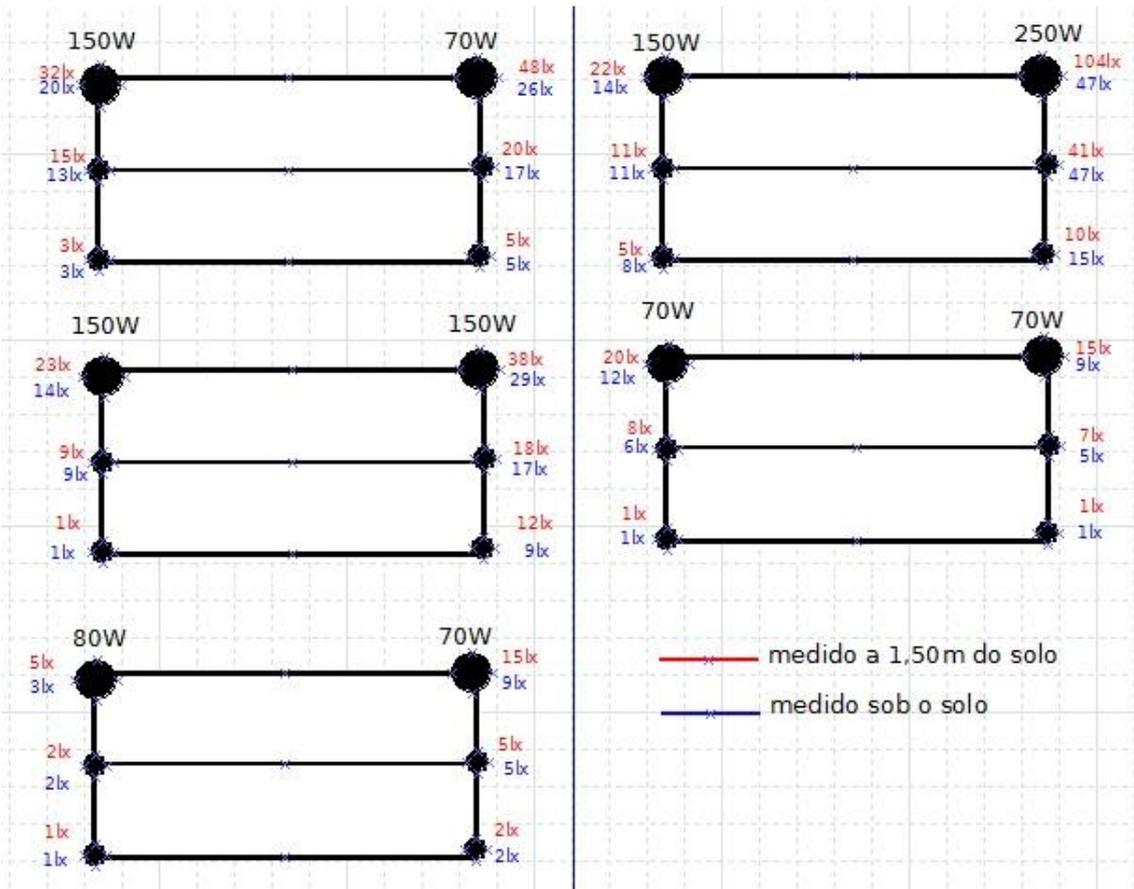
Fonte: Produção Autor através do Software DIA

Foram feitas medições em 10 quadras

- Cinco para distribuição com 2 luminárias
- Cinco para distribuição com 3 luminárias.

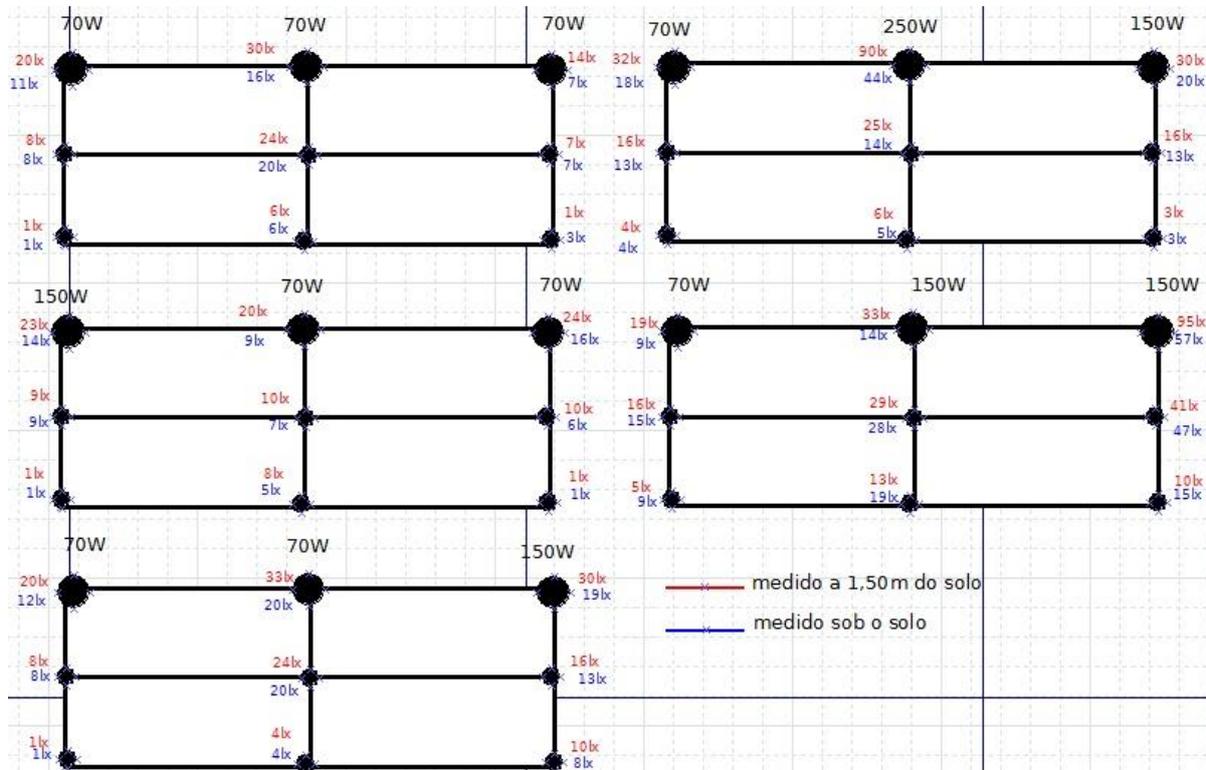
As Figuras 15 e 16 a seguir mostram os resultados das malhas de inspeção.

Figura 15 - Malha inspeção para 2 luminárias



Fonte: Produção Autor através do Software DIA

Figura 16 - Malha inspeção para 3 luminárias



Fonte: Produção Autor através do Software DIA

A Tabela 35 a seguir mostra o resultado do sistema atual e do sistema proposto, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 34 - Resultado esperado

Sistema atual				
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	TOTAL
Tipo de lâmpada	70W – vapor de sódio	150 W – Vapor de sódio	250 W – Vapor de sódio	
Potência (lâmpada +	77W	165 W	275W	
Quantidade	$qa_i = 361$	$qa_i = 43$	$qa_i = 18$	
Potência instalada (kW)	27,8	7,09	4,95	
Funcionamento (h/ano)	4343,5	4343,5	4343,5	
Energia Consumida (MWh/ano)	120,8	30,8	21,5	$Ea = 172,8$

Sistema proposto			
Tipo de lâmpada	Sistema 1	Sistema 2	TOTAL
Potência (lâmpada +	70	90	
Quantidade	359	63	
Potência instalada (W)	25130	5670	
Funcionamento (h/ano)	4343,5	4343,5	
Energia Consumida (MWh/ano)	109,15	24,63	$Ep = 133,78$
	Sistema 1		Total
Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$ $= 39,02$		
Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$ $= 22,6\%$		$EE\% = 22,6\%$

Fonte: Produção autor com base em [1]

4 Conclusão

Embora a iluminação pública não seja uma condição extremamente necessária para a sociedade, ela tem caráter fundamental no convívio dos seres humanos, pois atua na segurança pública, prevenindo a criminalidade e também permite desfrutar o espaço público, facilita circulação de pedestres e automóveis, embeleza áreas urbanas, entre outras vantagens.

Ao realizar esse estudo de caso, buscou-se analisar o sistema de iluminação presente na cidade, a fim de garantir confiabilidade do cálculo de economia de energia.

Foram coletados níveis de iluminância do local, Bal. Arroio Corrente, consumo de energia, quantidade e modelo das luminárias, tempo de funcionamento. O foco foi um estudo inicial das trocas de luminária, a fim de se obter o mesmo ou melhores resultados, sem necessidade de mudar sistema, apenas efetuando a troca de luminária. Dessa forma, foram identificados quais modelos de lâmpadas seriam mais adequadas para substituição em termos de consumo de energia e eficiência luminosa.

O presente trabalho tomou como base o PROPEE, porém, como o projeto não foi implementado fisicamente, alguns módulos foram desconsiderados.

Com base nos objetivos relatados anteriormente, concluiu-se que o projeto é viável para aplicação, gerando economia de energia de em torno de 23% ao ano.

4.1 Trabalhos futuros

Em termos de viabilidade, o estudo foi positivo. Para a prática, será necessário um estudo mais aprofundado em relação ao PROPEE, às normas da CELESC e Norma 5101 de Iluminação Pública.

5 REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Org.). Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE 2013. Brasília: ANEEL, 2013.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Org.). Parte I – Energia no Brasil e no mundo. Disponível em:
< http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf>. Acesso 11 outubro 2016.

[3] RESULTADO PROCEL 2016 (Org.). Disponível em:
< http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2016/docs/rel_procel2016_web.pdf>. Acesso 05 outubro 2016.

[4] MANUAL DE ILUMINAÇÃO (Org.). Disponível em:
http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf. Acesso 20 outubro 2016

[5] RODRIGUES, Pierre. Manual de iluminação eficiente. 1.ed. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002. Disponível em:
<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BB2BAF2D9-B05C-4080-BF1A-CD72478FE1B5%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso 28 outubro 2016.

[6] ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS (Org.). NBR 5101 - Iluminação Pública.

[7] ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS (Org.). NBR 15129 – Luminárias Públicas

[8] PEE CELESC 2016. Chamada Pública. Disponível em:
<http://site.celesc.com.br/peecelesc/images/arquivos/ChamadaPublica2015/Edital_CHAMADA_PUBLICA_PEE_CELESC_001-2015_vers%C3%A3o_final.pdf>. Acesso 21 novembro 2016.

[9] NASCIMENTO, Leandro. Trabalho de Conclusão de Curso – Projeto de Eficiência Energética com Ênfase em Luminotécnica, Aplicado no CCT – UDESC. Joinville, 2015.

[10] ASCURRA, Rodrigo Esteves. Dissertação – Eficiência Elétrica em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED: Um Estudo de Caso. Cuiabá, MT, 2013.

[11] MME – Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas.

<http://www.siteco.com/asset/int_en/en/PDF/782492/5XA591411A08P.pdf>. Acesso 20 novembro 2016.

[27] DATASHEET LUMINÁRIA LED 90W – Osram. Disponível em:

<https://www.ledker.hu/uploads/documents/webshop_product/3362/992082bf15daf7b56223c00740a0c06c.pdf>. Acesso 20 novembro 2016.

[28] ANEEL – Resolução Normativa N°414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso 12 dezembro 2016.

[29] Tipos de Lâmpadas. Disponível em:

< http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/Fontes_Lumin.pdf >. Acesso 12 dezembro 2016.

APÊNDICE A – DADOS DE ILUMINÂNCIA COLETADOS

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

Qtd	Iluminância – 1,50m	Iluminância 0m	Potência da lâmpada
1	14	8	70
2	26	16	150
3	25	15	70
4	41	24	70
5	-	-	150
6	16	10	150
7	27	16	150
8	21	13	150
9	15	7	70
10	23	13	150
11	30	19	150
12	31	19	70
13	-	-	70
14	18	11	70
15	29	17	150
16	42	23	150
17	24	14	150
18	19	12	70
19	-	-	70
20	160	95	250
21	22	13	70
22	-	-	150
23	23	15	70
24	24	10	150
25	59	35	150
26	21	10	70
27	21	12	70
28	23	11	70
29	25	11	70
30	24	12	70
31	-	-	70
32	49	28	150
33	26	14	70
34	24	11	70
35	66	42	150
36	31	15	150
37	21	13	70
38	18	9	70
39	19	12	70
40	21	11	70
41	24	13	70
42	25	14	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

43	23	16	70
44	24	11	70
45	21	16	70
46	22	13	70
47	20	9	70
48	14	7	80
49	35	18	150
50	13	7	80
51	22	10	70
52	53	25	150
53	60	29	150
54	54	22	150
55	99	48	250
56	23	15	70
57	40	18	150
58	21	9	70
59	18	8	70
60	23	16	70
61	26	14	70
62	29	15	70
63	14	8	80
64	24	16	70
65	43	13	150
66	50	28	150
67	59	26	150
68	-	-	70
69	-	-	70
70	-	-	70
71	25	19	70
72	16	8	80
73	36	19	150
74	26	14	70
75	19	9	70
76	-	-	150
77	-	-	70
78	15	9	70
79	29	13	70
80	-	-	70
81	-	-	70
82	13	6	70
83	28	16	70
84	14	7	70
85	28	13	70
86	29	15	70
87	23	16	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

88	29	18	70
89	43	16	150
90	47	19	150
91	57	25	150
92	60	26	150
93	58	29	150
94	-	-	70
95	28	16	70
96	45	20	150
97	58	28	150
98	22	12	70
99	59	28	150
100	42	20	150
101	22	12	70
102	45	22	150
103	22	10	70
104	24	9	70
105	49	23	150
106	31	11	70
107	26	14	70
108	27	15	70
109	29	16	70
110	30	18	70
111	14	6	80
112	60	29	150
113	17	7	80
114	31	19	70
115	32	20	70
116	29	14	70
117	27	13	70
118	-	-	70
119	26	13	70
120	24	12	70
121	25	11	70
122	25	10	70
123	31	28	70
124	33	27	70
125	41	20	70
126	29	13	70
127	19	14	70
128	17	10	70
129	22	11	70
130	23	13	70
131	24	14	70
132	25	18	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

133	18	9	70
134	48	22	70
135	14	8	80
136	23	16	70
137	26	18	70
138	27	14	70
139	28	14	70
140	48	26	70
141	66	30	250
142	16	8	70
143	19	11	70
144	20	12	70
145	17	11	70
146	18	10	70
147	15	7	70
148	30	17	70
149	27	14	70
150	14	9	70
151	19	10	70
152	18	9	70
153	20	13	70
154	20	14	70
155	21	10	70
156	23	9	70
157	31	13	70
158	29	10	70
159	27	11	70
160	26	13	70
161	25	14	250
162	24	10	70
163	23	17	70
164	26	16	70
165	23	10	70
166	22	11	70
167	20	15	70
168	19	10	70
169	37	19	70
170	33	17	70
171	22	10	70
172	26	13	70
173	16	9	250
174	15	7	70
175	16	10	70
176	18	9	70
177	15	9	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

178	22	11	70
179	23	11	70
180	30	14	70
181	19	16	70
182	20	14	70
183	14	7	70
184	30	18	70
185	35	17	70
186	20	11	70
187	22	12	70
188	19	11	70
189	14	8	70
190	20	11	70
191	12	13	70
192	15	14	70
193	150	64	250
194	22	15	70
195	21	14	70
196	18	14	70
197	16	7	70
198	17	8	70
199	32	18	70
200	14	9	70
201	34	18	70
202	18	9	70
203	32	18	70
204	32	19	70
205	-	-	70
206	160	90	250
207	24	15	70
208	26	16	70
209	22	15	70
210	18	10	70
211	18	11	70
212	19	14	70
213	17	11	70
214	13	9	70
215	-	-	70
216	17	14	70
217	17	12	70
218	18	10	70
219	19	10	70
220	26	13	70
221	23	11	70
222	24	12	250

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

223	20	12	70
224	-	-	70
225	14	6	70
226	19	14	70
227	16	8	70
228	29	19	70
229	30	16	70
230	19	5	70
231	12	9	70
232	24	15	70
233	19	14	70
234	36	19	70
235	17	10	70
236	19	11	70
237	15	7	70
238	14	8	70
239	22	10	70
240	20	12	70
241	16	10	70
242	-	-	70
243	20		70
244	-	-	70
245	12	8	70
246	13	8	70
247	14	9	70
248	19	10	70
249	18	12	250
250	25	13	250
251	14	10	70
252	26	13	70
253	25	12	70
254	24	10	70
255	14	8	70
256	13	7	70
257	-	-	70
258	21	14	70
259	16	9	70
260	17	10	70
261	22	11	70
262	120	70	250
263	17	14	70
264	18	9	70
265	-	-	70
266	22	11	70
267	12	8	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

268	21	10	70
269	31	16	250
270	10	7	70
271	19	11	70
272	12	9	70
273	14	7	70
274	15	8	70
275	13	9	70
276	-	-	70
277	-	-	70
278	19	10	70
279	17	14	70
280	13	7	70
281	29	15	70
282	22	13	70
283	19	14	70
284	14	7	70
285	15	6	70
286	16	9	70
287	18	8	70
288	22	11	70
289	13	7	70
290	155	62	250
291	16	8	70
292	16	9	70
293	17	7	70
294	18	10	70
295	19	11	70
296	34	15	70
297	16	14	70
298	18	15	70
299	28	14	70
300	14	7	70
301	19	8	70
302	13	9	70
303	12	6	70
304	19	10	70
305	22	11	70
306	21	14	70
307	13	8	70
308	-	-	70
309	17	10	70
310	17	12	70
311	26	13	70
312	23	10	150

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

313	19	9	70
314	25	15	150
315	17	11	70
316	100	60	250
317	20	8	70
318	15	7	70
319	15	8	70
320	19	9	70
321	17	10	70
322	13	9	70
323	12	6	70
324	-	-	70
325	26	13	150
326	13	10	70
327	14	7	70
328	19	8	70
329	21	14	70
330	28	15	150
331	25	12	150
332	13	8	70
333	14	7	70
334	15	9	70
335	120	65	250
336	136	74	250
337	150	82	250
338	19	10	70
339	22	10	70
340	23	9	70
341	159	65	250
342	25	12	70
343	26	12	70
344	27	13	70
345	24	9	70
346	23	8	70
347	22	9	70
348	20	11	70
349	19	10	70
350	14	7	70
351	16	9	70
352	18	8	70
353	18	9	70
354	19	10	70
355	20	11	70
356	21	12	70
357	23	14	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

358	25	15	70
359	26	17	70
360	27	14	70
361	28	13	70
362	27	12	70
363	24	11	70
364	21	11	70
365	22	15	70
366	23	13	70
367	26	14	70
368	28	16	70
369	29	18	70
370	30	17	70
371	28	11	70
372	28	12	70
373	27	11	70
374	21	9	70
375	22	10	70
376	20	15	70
377	18	13	70
378	17	11	70
379	17	12	70
380	16	14	70
381	15	9	70
382	18	8	70
383	19	10	70
384	20	11	70
385	21	12	70
386	22	13	70
387	23	14	70
388	14	9	70
389	16	8	70
390	15	6	70
391	18	9	70
392	19	11	70
393	20	13	70
394	21	13	70
395	22	12	70
396	22	14	70
397	23	13	70
398	23	10	70
399	25	15	70
400	26	17	70
401	27	16	70
402	28	18	70

Tabela 1 - Iluminâncias (continua)

403	24	14	70
404	22	15	70
405	23	11	70
406	17	10	70
407	16	7	70
408	18	11	70
409	14	7	70
410	13	8	70
411	12	8	70
412	17	10	70
413	18	7	70
414	19	11	70
415	17	12	70
416	17	13	70
417	20	14	70
418	22	11	70
419	21	12	70
420	23	14	70
421	24	10	70
422	24	13	70

APENDICE B – RESULTADOS DIALUX

Vapor de sódio 70W

Projecto_TCC

03/11/2016

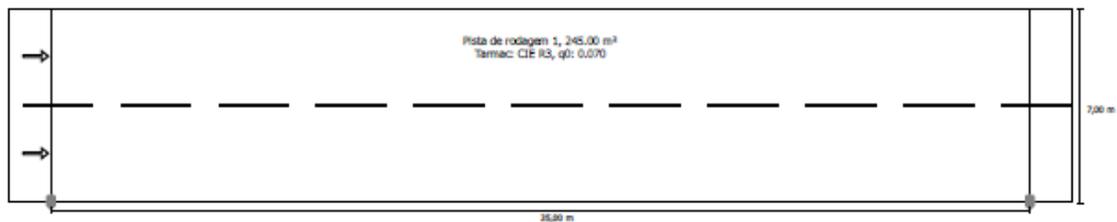
DIALux

Alternativa 1 (Lâmpada 70W) / Planning data

Alternativa 1 (Lâmpada 70W)

Planning in acc. with EN 13201:2015

Street Profile



Maintenance factor: 0.67

Power density indicators

Operating Hours 4000 h, 100%, 70.0 W

Valuation field	Surface	EAvg
Pista de rodagem 1	245.00 m ²	4.79 lx
Result for power density indicator	0.060 W/lxm ²	

Pista de rodagem 1 (M4)

Horizontal illuminance [lx]

6.300	3.71	2.64	1.91	1.64	1.42	1.11	1.11	1.42	1.64	1.91	2.64	3.71
4.900	6.37	3.93	2.72	2.30	2.03	1.74	1.74	2.03	2.30	2.72	3.93	6.37
3.500	10.4	5.70	3.78	3.15	2.77	2.33	2.33	2.77	3.15	3.78	5.70	10.4
2.100	15.7	7.92	4.98	4.07	3.38	2.79	2.79	3.38	4.07	4.98	7.93	15.7
0.700	18.8	9.59	5.81	4.52	3.59	2.93	2.93	3.59	4.52	5.81	9.59	18.8
m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542

Grid: 12 x 5 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
4.79	1.11	18.8	0.232	0.059

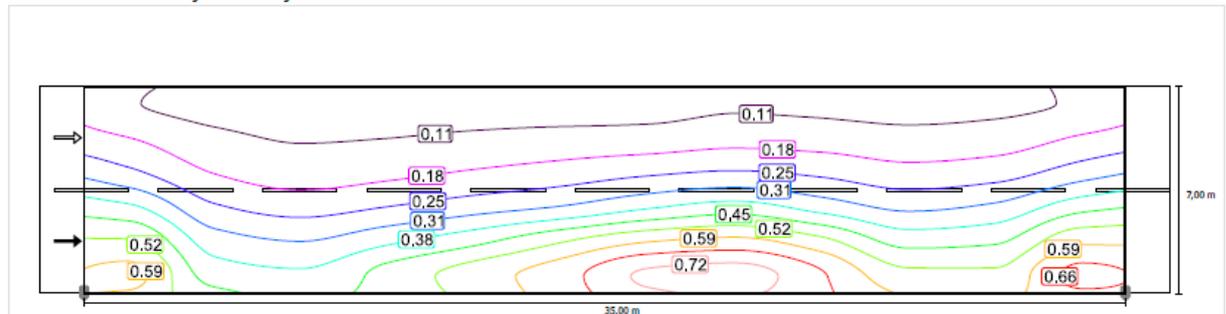
Pista de rodagem 1 (M4)

Maintenance factor: 0.67
Grid: 12 x 6 Points

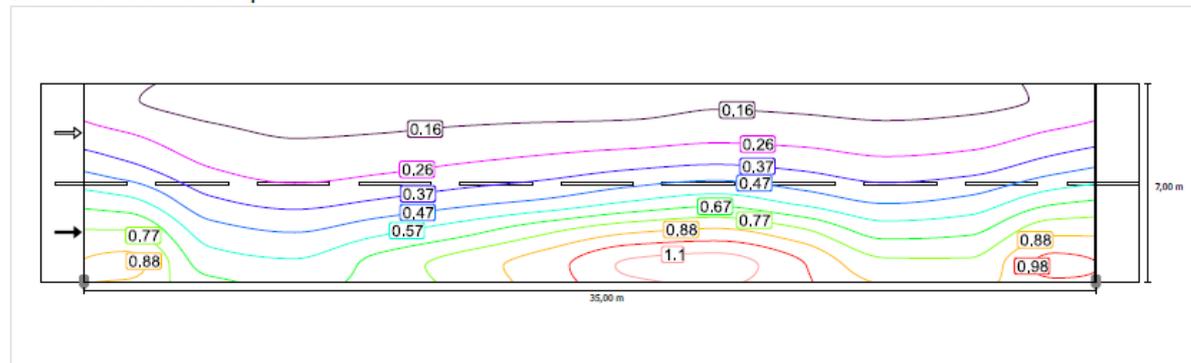
	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	EIR
Actual value according to calculation	0.30	0.25	0.52	12	0.35
Required values according to class	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.30
Fulfilled/Not fulfilled	✗	✗	✗	✓	✓

Observer 1

Luminance with dry roadway



Luminance with new lamp



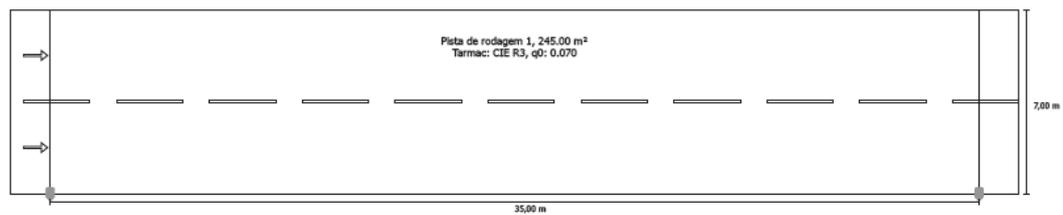
Scale: 1 : 200

Vapor de sódio 150W

Alternativa 3 (Lâmpada 150W)

Planning in acc. with EN 13201:2015

Street Profile



Maintenance factor: 0.67

Power density indicators

Operating Hours 4000 h, 100%, 150.0 W

Valuation field	Surface	EAvg
Pista de rodagem 1	245.00 m ²	9.50 lx
Result for power density indicator	0.064 W/lx·m ²	

Pista de rodagem 1 (M4)

Horizontal illuminance [lx]

6.300	10.9	9.44	8.44	8.18	5.00	4.12	4.12	5.00	8.19	8.44	9.44	10.9
4.900	13.8	10.5	9.75	8.68	5.42	4.72	4.72	5.43	8.68	9.75	10.5	13.8
3.500	17.4	12.5	10.3	7.59	5.53	4.96	4.96	5.53	7.59	10.3	12.5	17.4
2.100	21.0	14.2	10.2	6.75	5.58	5.01	5.01	5.58	6.76	10.2	14.2	21.0
0.700	23.0	15.1	10.1	6.21	5.49	4.99	5.00	5.49	6.22	10.1	15.1	23.0
m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542

Grid: 12 x 5 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
9.50	4.12	23.0	0.434	0.179

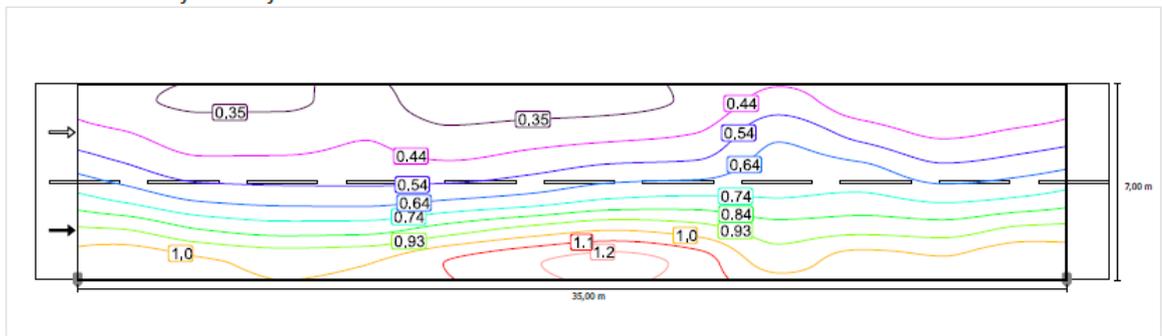
Pista de rodagem 1 (M4)

Maintenance factor: 0.67
Grid: 12 x 6 Points

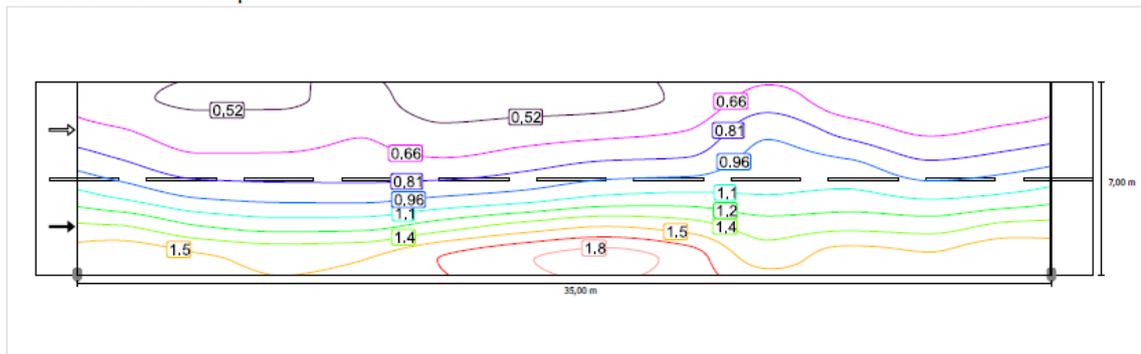
	Lm [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	EIR
Actual value according to calculation	0.68	0.44	0.62	17	0.70
Required values according to class	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.30
Fulfilled/Not fulfilled	✗	✓	✓	✗	✓

Observer 1

Luminance with dry roadway



Luminance with new lamp



Scale: 1 : 200

Vapor de sódio 250W

Projecto_TCC

03/11/2016

DIALux

Alternativa 4 (Lâmpada 250W) / Planning data

Alternativa 4 (Lâmpada 250W)

Planning in acc. with EN 13201:2015

Street Profile



Maintenance factor: 0.67

Power density indicators

Operating Hours 4000 h, 100%, 250.0 W

Valuation field	Surface	E Avg
Pista de rodagem 1	245.00 m ²	22.5 lx
Result for power density indicator	0.045 W/lx m ²	

Pista de rodagem 1 (M4)

Horizontal illuminance [lx]

6.300	18.5	12.6	9.02	6.46	4.61	3.59	3.59	4.61	6.46	9.02	12.6	18.5
4.900	28.4	18.3	12.6	9.15	6.75	6.32	6.32	6.75	9.15	12.6	18.3	28.4
3.500	46.5	28.2	17.9	12.7	10.7	9.83	9.83	10.7	12.7	17.9	28.2	46.5
2.100	72.2	42.8	24.2	17.3	15.6	13.2	13.2	15.6	17.3	24.2	42.8	72.2
0.700	89.3	55.4	29.8	19.8	17.9	15.2	15.2	17.9	19.8	29.8	55.4	89.3
m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542

Grid: 12 x 5 Points

E Avg [lx]	E Min [lx]	E Max [lx]	g1	g2
22.5	3.59	89.3	0.159	0.040

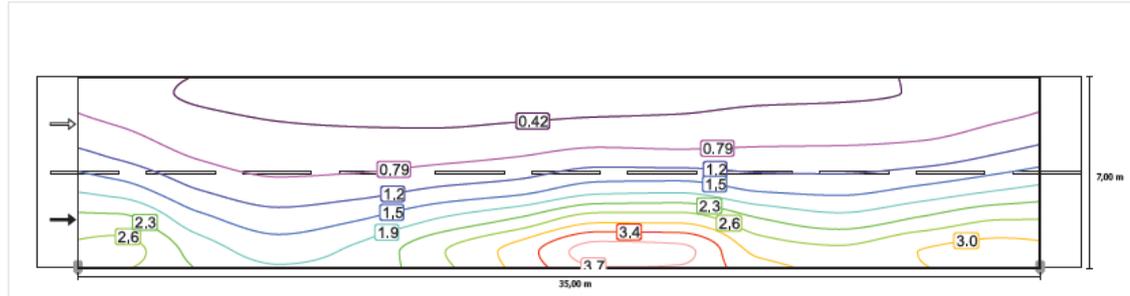
Pista de rodagem 1 (M4)

Maintenance factor: 0.67
Grid: 12 x 6 Points

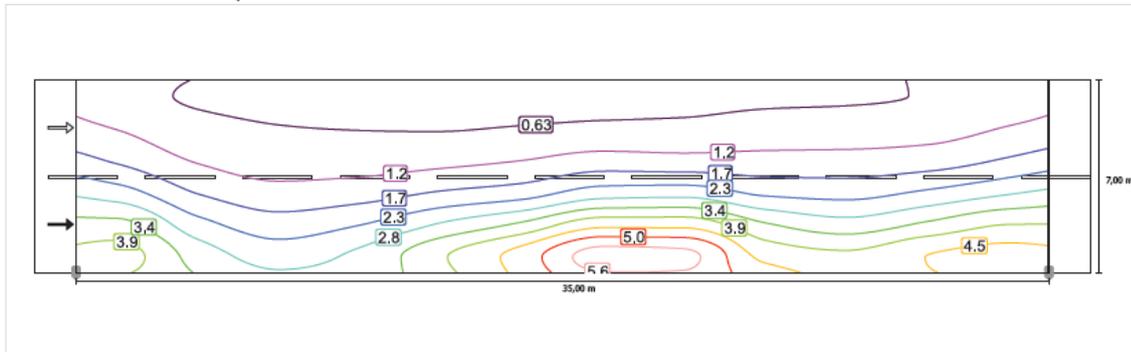
	Lm [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	EIR
Actual value according to calculation	1.37	0.18	0.46	15	0.39
Required values according to class	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.30
Fulfilled/Not fulfilled	✓	✗	✗	✓	✓

Observer 1

Luminance with dry roadway



Luminance with new lamp



Scale: 1 : 200

LED 70W

Projecto_TCC

03/11/2016

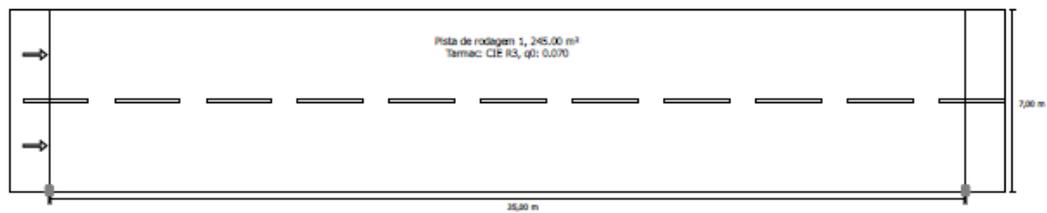
DIALux

Alternativa 12 (SITECO 70W) / Planning data

Alternativa 12 (SITECO 70W)

Planning in acc. with EN 13201:2015

Street Profile



Maintenance factor: 0.67

Power density indicators

Operating Hours 4000 h, 100%, 70.0 W

Valuation field	Surface	EAvg
Pista de rodagem 1	245.00 m ²	7.19 lx
Result for power density indicator	0.040 W/lx·m ²	

Pista de rodagem 1 (M4)

Horizontal illuminance [lx]

6.300	8.85	8.66	6.93	5.51	4.50	3.69	3.69	4.50	5.51	6.93	8.66	8.86
4.900	10.5	9.68	7.62	6.23	4.72	3.65	3.65	4.72	6.23	7.62	9.69	10.5
3.500	11.4	9.80	8.20	6.51	4.75	3.61	3.61	4.75	6.51	8.21	9.80	11.4
2.100	12.0	9.69	8.48	6.55	4.46	3.71	3.71	4.46	6.55	8.48	9.69	12.0
0.700	13.6	9.95	8.78	6.01	4.16	3.51	3.51	4.16	6.01	8.78	9.96	13.6
m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542

Grid: 12 x 5 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
7.19	3.51	13.6	0.489	0.258

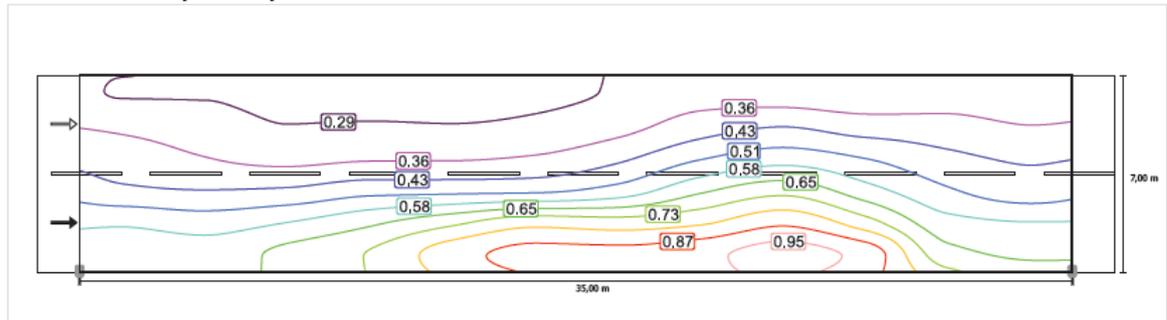
Pista de rodagem 1 (M4)

Maintenance factor: 0.67
Grid: 12 x 6 Points

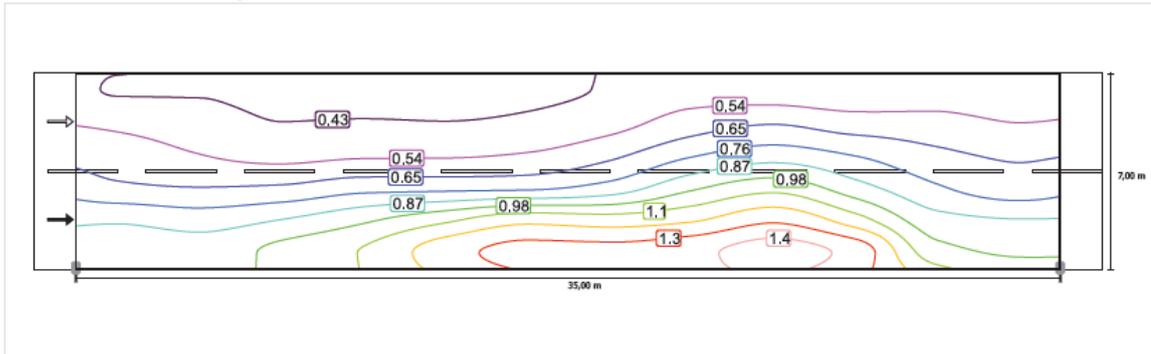
	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	EIR
Actual value according to calculation	0.51	0.49	0.64	15	0.65
Required values according to class	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.30
Fulfilled/Not fulfilled	✗	✓	✓	✓	✓

Observer 1

Luminance with dry roadway



Luminance with new lamp



Scale: 1 : 200

LED 90W

Projecto_TCC

03/11/2016

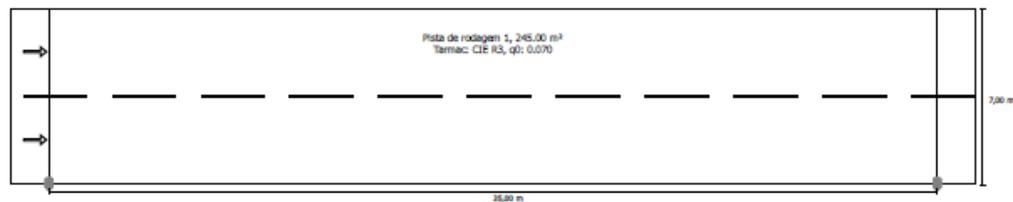
DIALux

Alternativa 19 (OSRAM 90W) / Planning data

Alternativa 19 (OSRAM 90W)

Planning in acc. with EN 13201:2015

Street Profile



Maintenance factor: 0.67

Power density indicators

Operating Hours 4000 h, 100%, 90.0 W

Valuation field	Surface	EAvg
Pista de rodagem 1	245.00 m ²	34.4 lx
Result for power density indicator	0.011 W/lx·m ²	

EN 13201:2015-5 does not include the case for planning with multiple luminaire arrangements. The calculation of the output values is done therefore only for the luminaire arrangement whose pole distance determines the length of the valuation fields.

Pista de rodagem 1 (M4)

Horizontal illuminance [lx]

6.300	25.7	22.8	19.7	19.2	20.2	20.2	18.7	17.4	18.9	22.3	24.7	24.7
4.900	35.2	31.8	27.7	27.2	28.1	27.5	25.9	24.6	26.8	31.0	33.9	34.1
3.500	42.1	38.5	35.3	34.1	34.2	33.0	31.5	31.2	33.9	38.0	40.5	41.1
2.100	49.0	43.4	40.0	38.5	39.8	38.2	35.8	35.6	38.3	43.8	46.6	47.3
0.700	52.6	45.6	42.3	40.1	42.0	40.3	37.4	37.5	40.0	46.5	49.5	50.5
m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542

Grid: 12 x 5 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
34.4	17.4	52.6	0.507	0.331

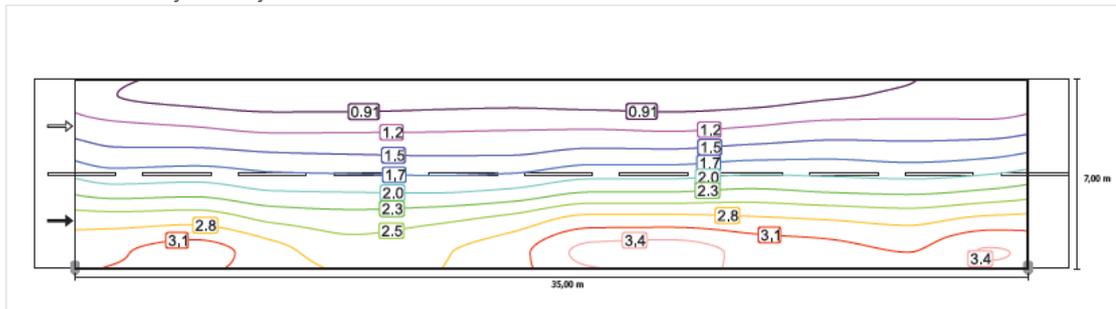
Pista de rodagem 1 (M4)

Maintenance factor: 0.67
Grid: 12 x 6 Points

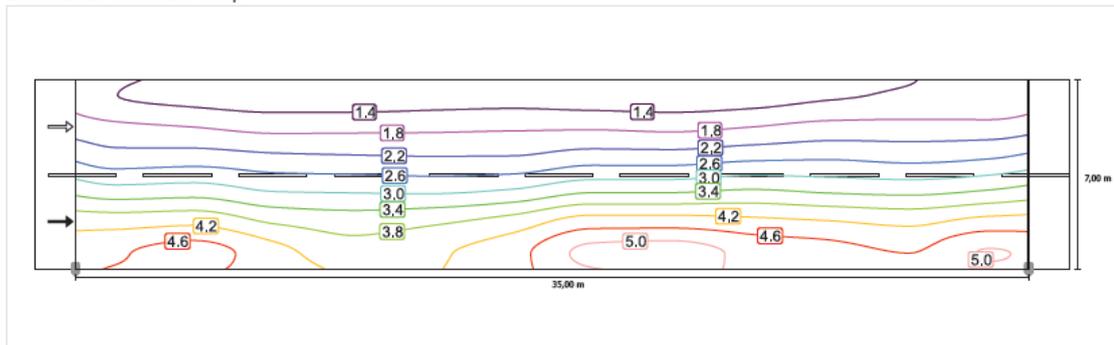
	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	EIR
Actual value according to calculation	1.94	0.40	0.82	6	0.41
Required values according to class	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.30
Fulfilled/Not fulfilled	✓	✓	✓	✓	✓

Observer 1

Luminance with dry roadway



Luminance with new lamp



Scale: 1 : 200

ANEXO A

Tabela 1 – Coeficientes para $k=0,15$.

Fator de Carga	<i>LP</i>	<i>LE1</i>	<i>LE2</i>	<i>LE3</i>	<i>LE4</i>
0,30	0,2500	0,27315	0,19121	0,35166	0,24832
0,35	0,2809	0,28494	0,19946	0,52026	0,36738
0,40	0,3136	0,29727	0,20809	0,71014	0,50146
0,45	0,3481	0,31014	0,21710	0,92130	0,65057
0,50	0,3844	0,32355	0,22649	1,15375	0,81472
0,55	0,4225	0,33750	0,23625	1,40748	0,99389
0,60	0,4624	0,35199	0,24639	1,68249	1,18808
0,65	0,5041	0,36950	0,25865	1,97632	1,39557
0,70	0,5476	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977