

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

ANTONIO CAMPANHARO JUNIOR

**ADEQUAÇÃO LUMINOTÉCNICA EM TERMINAL
RODOVIÁRIO**

VITÓRIA
2024

ANTONIO CAMPANHARO JUNIOR

ADEQUAÇÃO LUMINOTÉCNICA EM TERMINAL RODOVIÁRIO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Antonio Campanharo Junior**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Marcos André Antunes.

VITÓRIA
2024

ANTONIO CAMPANHARO JUNIOR

ADEQUAÇÃO LUMINOTÉCNICA EM TERMINAL RODOVIÁRIO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Antonio Campanharo Junior**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 24 de *julho* de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Hélio Marcos André Antunes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Walbermark Marques dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Eng. Matheus Rangel Pimentel
Examinador

RESUMO

Projetos luminotécnicos adequados em ambientes comerciais desempenham um papel fundamental na criação de espaços confortáveis e principalmente funcionais. Um projeto luminotécnico bem planejado pode reduzir os riscos de acidentes e aumentar a percepção de segurança dos usuários. Este trabalho tem como objetivo apresentar um projeto luminotécnico para o Terminal Rodoviário de Guarapari, localizada no estado do Espírito Santo, com medições e verificações do modelo existente com base nas normas ABNT ISSO/CIE 8995-1. O projeto analisa como a iluminação pode influenciar diretamente na experiência dos passageiros e desempenho dos motoristas e funcionários do terminal rodoviário, principalmente na sensação de segurança durante a noite e em condições climáticas desfavoráveis, além de facilitar a orientação para circulação dentro do estabelecimento. Para simulação do modelo luminotécnico atual, foi utilizado o *software* DIALux Evo. Com base nos resultados computacionais, pode-se analisar a necessidade de adequações e simular propostas mais vantajosas, encontrando um cenário que atende a norma vigente e possui uma viabilidade econômica.

Palavras-chave: Iluminação, projeto luminotécnico, terminal rodoviário, DIALux Evo, LED.

ABSTRACT

Proper lighting projects in commercial environments play a crucial role in creating comfortable and primarily functional spaces. A well-planned lighting project can reduce the risk of accidents and enhance the users' perception of safety. This work aims to present a lighting project for the Guarapari Bus Terminal, located in the state of Espírito Santo, with measurements and checks of the existing model based on ABNT ISSO/CIE 8995-1 standards. The project analyzes how lighting can directly influence passenger experience and the performance of drivers and terminal staff, particularly in terms of safety perception during the night and under adverse weather conditions, as well as facilitating orientation within the facility. The current lighting model was simulated using DIALux Evo software. Based on the computational results, it is possible to assess the need for adjustments and simulate more advantageous proposals, finding a scenario that complies with current regulations and has economic viability.

Keywords: Lighting, lighting design, bus terminal, DIALux Evo, LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixada do Terminal Rodoviário de Guarapari.	15
Figura 2 – Espectro eletromagnético.	18
Figura 3 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas.	19
Figura 4 – Representação de uma curva de distribuição luminosa.	20
Figura 5 – Diferenças entre Iluminância, Fluxo Luminoso, Intensidade Luminosa e Curva de distribuição da luz.	21
Figura 6 – Temperaturas das cores das lâmpadas.	23
Figura 7 – Influência de diferentes IRC's para o mesmo objeto.	24
Figura 8 – Lâmpada incandescente.	25
Figura 9 – Lâmpada halógena.	26
Figura 10 – Lâmpada de luz mista.	28
Figura 11 – Lâmpada Fluorescente.	29
Figura 12 – Ligação do <i>starter</i>	30
Figura 13 – Ligação reator-transformador.	30
Figura 14 – Lâmpada a vapor de mercúrio.	32
Figura 15 – Lâmpada a Vapor de Sódio.	33
Figura 16 – Lâmpada a vapor metálico.	34
Figura 17 – Reator para lâmpadas de descarga.	36
Figura 18 - <i>Starter</i>	37
Figura 19 – Luxímetro Minipa MLM-1001.	40
Figura 20 – Uniformidade para área da tarefa e entorno imediato.	42
Figura 21 – Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência.	44
Figura 22 – Planta baixa rodoviária de Guarapari.	53
Figura 23 – Luminárias queimadas.	54
Figura 24 – Malha de pontos da área de compra e venda de passagens.	55
Figura 25 – Malha de pontos da área de embarque e desembarque.	55
Figura 26 – Medidas de iluminância para área de compra e venda de passagens.	56
Figura 27 – Medidas de iluminância para área de embarque e desembarque, parte 1.	56
Figura 28 – Medidas de iluminância para área de embarque e desembarque, parte 2.	56
Figura 29 – Vista interna da área de compra e venda de passagens.	58
Figura 30 – Vista interna da área de embarque e desembarque.	58

Figura 31 – Posição das luminárias para a primeira simulação na área de compra e venda de passagens.	59
Figura 32 – Posição das luminárias para a primeira simulação na área de embarque e desembarque.	59
Figura 33 – Pontos de iluminância para a primeira simulação na área de compra e venda de passagens.	60
Figura 34 – Pontos de iluminância para a primeira simulação na área de embarque e desembarque, parte 1.	60
Figura 35 – Pontos de iluminância para a primeira simulação na área de embarque e desembarque, parte 2.	60
Figura 36 – Posição das luminárias para segunda simulação na área de compra e venda de passagens.	61
Figura 37 – Pontos de iluminância para segunda simulação na área de compra e venda de passagens.	62
Figura 38 – Paredes na cor branca para área de compra e venda de passagens.	63
Figura 39 – Parede na cor branca para área de embarque e desembarque.	63
Figura 40 – Pontos de iluminância para a terceira simulação na área de compra e venda de passagens.	64
Figura 41 – Pontos de iluminância para a terceira simulação na área de embarque e desembarque, parte 1.	64
Figura 42 – Pontos de iluminância para a terceira simulação na área de embarque e desembarque, parte 2.	64
Figura 43 – Posição das luminárias para a quarta simulação na área de compra e venda de passagens.	65
Figura 44 – Posição das luminárias para a quarta simulação na área de embarque e desembarque.	66
Figura 45 – Pontos de iluminância para a quarta simulação na área de compra e venda de passagens.	66
Figura 46 – Pontos de iluminância para a quarta simulação na área de embarque e desembarque, parte 1.	66
Figura 47 – Pontos de iluminância para a quarta simulação na área de embarque e desembarque, parte 2.	66
Figura 48 – Posição das luminárias para a quinta simulação na área de compra e venda de passagens.	68

Figura 49 – Posição das luminárias para a quinta simulação na área de embarque e desembarque.	68
Figura 50 – Pontos de iluminância para a quinta simulação na área de compra e venda de passagens.	68
Figura 51 – Pontos de iluminância para a quinta simulação na área de embarque e desembarque, parte 1.	69
Figura 52 – Pontos de iluminância para a quinta simulação na área de embarque e desembarque, parte 2.	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Retorno de investimento.....	73
------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência luminosa das lâmpadas.	22
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da Lâmpada Halógena de Tungstênio.....	27
Tabela 3 – Tabela de iluminância média no entorno imediato.	41
Tabela 4 – Requisitos mínimos para as áreas definidas, conforme norma ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1.....	48
Tabela 5 – Dimensões das áreas da tarefa.	49
Tabela 6 – Relação entre comprimento e largura dos espaços.	49
Tabela 7 – Dados técnicos luminárias DL252 da Philips.	54
Tabela 8 – Dimensões das áreas, malha e quantidade de pontos.....	55
Tabela 9 – Iluminâncias e uniformidade medidas no terminal rodoviário.	56
Tabela 10 – Dados técnicos das luminárias simuladas.	57
Tabela 11 – Resultados da primeira simulação.	60
Tabela 12 – Resultados da segunda simulação.....	62
Tabela 13 – Resultados da terceira simulação.....	65
Tabela 14 – Resultados da quarta simulação.....	67
Tabela 15 – Resultados da quinta simulação.....	69
Tabela 16 – Tarifa grupo A, subgrupo A4 e modalidade tarifária verde, com impostos.	70
Tabela 17 – Consumo e demanda anuais atual e proposto do terminal rodoviário.	70
Tabela 18 – Comparativo dos custos anuais atual e proposto.	71
Tabela 19 – Custos de implementação do cenário proposto.....	72
Tabela 20 – Cálculo do VPL do investimento.....	72
Tabela 21 – Cálculo da TIR do investimento.	73
Tabela 22 – Especificação técnica do luxímetro MLM-1001 da Minipa.	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cores
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
TCC	Temperatura de Cor Correlata
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

cd	Candelas
E	Iluminância
Em	Iluminância média
I	Intensidade Luminosa
K	Kelvin
L	Luminância
lm	Lúmen
m	Metro
P	Potência Consumida em Watts
S	Área da Superfície
U	Uniformidade
UGR_L	Índice de Ofuscamento Unificado
V	Volts
W	Watts
Φ	Fluxo Luminoso
ω	Esterradiano
Θ	Ângulo de Incidência do Fluxo Luminoso
ρ	Coefficiente de reflexão
η	Eficiência Luminosa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivo Geral	17
1.3	Objetivos Específicos	17
1.4	Organização do Trabalho	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Conceitos de Iluminação	18
2.1.1	Luz	18
2.1.2	Fluxo Luminoso (Φ)	19
2.1.3	Intensidade Luminosa (I).....	19
2.1.4	Curva de Distribuição Luminosa (CDL)	20
2.1.5	Iluminância (E)	20
2.1.6	Luminância (L)	21
2.1.7	Eficiência Luminosa (η).....	22
2.1.8	Temperatura de Cor Correlata (TCC).....	23
2.1.9	Índice de Reprodução de Cores (IRC).....	23
2.1.10	Refletância	24
2.1.11	Emitância	24
2.2	Equipamentos de iluminação	24
2.2.1	Tipos de Lâmpadas	24
2.2.2	Lâmpadas Incandescentes.....	25
2.2.3	Lâmpadas Halógenas de Tungstênio	26
2.2.4	Lâmpadas de Luz Mista.....	27
2.2.5	Lâmpadas de Descarga	28
2.2.6	Lâmpadas Fluorescentes	28
2.2.7	Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	31
2.2.8	Lâmpadas a Vapor de Sódio	32
2.2.9	Lâmpadas a Vapor Metálico	33
2.2.10	Diodos Emissores de Luz (LED).....	34
2.3	Dispositivos de Controle	35
2.3.1	Reatores	35

2.3.2	<i>Starters</i>	36
2.3.3	Ignitores	37
2.3.4	<i>Drivers</i>	38
2.4	Equipamentos de Medição	39
2.4.1	Luxímetro	39
2.5	ABNT NBR ISO/CIE 8995-1	40
2.5.1	Área da Tarefa e Entorno Imediato	40
2.5.2	Iluminâncias no Entorno Imediato	41
2.5.3	Uniformidade.....	41
2.5.4	Ofuscamento.....	42
2.5.5	Procedimentos de Verificação	43
2.5.5.1	Iluminância Média (<i>Em</i>).....	43
2.5.5.2	Índice de Ofuscamento Unificado (<i>UGRL</i>).....	44
2.5.5.3	Índice de Reprodução de Cor (IRC).....	45
2.6	Ferramentas para análise de viabilidade econômica.....	45
2.6.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	45
2.6.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	45
2.6.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	46
2.6.4	<i>Payback</i> descontado	47
2.7	Considerações finais	47
3	METODOLOGIA PARA ADEQUAÇÃO LUMINOTÉCNICA	48
3.1	Requisitos mínimos de iluminação.....	48
3.2	Malha de cálculo	48
3.3	Medição dos pontos	49
3.4	Cálculo da Iluminância média e Uniformidade	50
3.5	Simulações no DIALux Evo	50
3.6	Análise de viabilidade econômica.....	51
3.7	Considerações finais	51
4	ESTUDO DE CASO.....	52
4.1	Sistema atual	52
4.2	Simulações	57
4.2.1	Primeiro cenário	59

4.2.2 Segundo Cenário.....	61
4.2.3 Terceiro cenário	62
4.2.4 Quarto cenário	65
4.2.5 Quinto cenário	67
4.3 Viabilidade econômica	69
4.3.1 Gastos com energia.....	70
4.3.2 Gastos com implementação	71
4.3.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	72
4.3.4 Valor Presente Líquido (VPL).....	72
4.3.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)	72
4.3.6 <i>Payback</i> Descontado.....	73
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	74
5.1 Conclusão	74
5.2 Trabalhos futuros	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO A – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO LUXÍMETRO MLM-1001.....	79

1 INTRODUÇÃO

A luz é essencial para moldar a atmosfera e a funcionalidade de espaços públicos, exercendo um impacto direto na segurança, eficácia e percepção dos usuários (Buller Bertuzzi, 2020). Dentro desse contexto, os terminais rodoviários se destacam como ambientes que demandam uma atenção especial à sua iluminação, pois a qualidade da luz desempenha um papel crítico na orientação, segurança e conforto dos passageiros, motoristas e funcionários (PROCEL, 2011).

Além disso, uma iluminação eficaz pode aprimorar a visibilidade das placas de sinalização, horários de ônibus e áreas de espera, contribuindo para uma experiência mais suave e agradável para os usuários. Adicionalmente, a iluminação desempenha um papel significativo na identidade visual e estética do terminal, influenciando a primeira impressão que os passageiros têm do local.

A discussão sobre adequações de projetos luminotécnicos em terminais rodoviários surge em meio a um crescente reconhecimento da importância da iluminação apropriada em espaços públicos. Com o passar do tempo, esses terminais deixaram de ser simples pontos de embarque e desembarque, transformando-se em complexos centros comerciais que oferecem uma variedade de serviços aos usuários. É possível observar, na Figura 1, que o Terminal Rodoviário de Guarapari, conhecido como RodoShopping, possui as características citadas anteriormente, possuindo 22 lojas e 9 guichês para compra e venda de passagens. Nesse contexto, a eficácia e o planejamento cuidadoso da iluminação tornaram-se cruciais para assegurar uma experiência segura, confortável e eficiente para os passageiros.

Figura 1 - Faixada do Terminal Rodoviário de Guarapari.



Fonte: SÉCULO DIÁRIO (2018).

Entretanto, apesar do reconhecimento da relevância da iluminação nos terminais rodoviários, frequentemente nos deparamos com projetos luminotécnicos deficientes, que não atendem às necessidades das normas vigentes. Restrições orçamentárias, falta de especialização técnica e uma ênfase inadequada em aspectos estéticos das luminárias podem influenciar negativamente o processo de concepção luminotécnica, resultando na implementação de soluções inadequadas que comprometem a segurança, o conforto e a eficiência operacional e energética do terminal. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar o impacto de projetos luminotécnicos inadequados no Terminal Rodoviário de Guarapari. A escolha desse tema se justifica pela necessidade de compreender os desafios enfrentados na concepção e implementação de sistemas de iluminação em espaços públicos tão importantes, além de propor soluções que visem melhorar a qualidade da iluminação e, conseqüentemente, a segurança e o conforto dos usuários.

1.1 Justificativa

A relevância do trabalho de adequação luminotécnica em locais públicos é substancialmente respaldada por estudos prévios que evidenciam a influência direta da iluminação na segurança, conforto e eficiência operacional desses espaços. Pesquisas anteriores, como as realizadas por FERREIRA (2019) e SOBREIRA (2017), destacaram a importância de uma iluminação adequada para diferentes ambientes, promovendo a percepção de segurança e conforto dos usuários.

Embora esses trabalhos forneçam estudos valiosos, há uma notável lacuna na literatura acadêmica quando se trata de soluções específicas para contextos particulares, como terminais rodoviários, a única norma que cita este tipo de local é a ABNT NBR 5413 que foi descontinuada em 2013. Atualmente a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 é a norma vigente sobre iluminação de ambientes internos, mas não é possível obter informações de iluminância adequada para o tema proposto.

A falta de pesquisas abordando esses cenários específicos dificulta ainda mais a identificação de melhores práticas e estratégias de iluminação adequadas para esses ambientes. Essas dificuldades destacam a necessidade urgente de estudos adicionais e mais abrangentes sobre a adequação luminotécnica em terminais rodoviários, visando preencher as lacunas existentes na literatura, de modo a oferecer diretrizes mais precisas e eficazes para o projeto e implementação de sistemas de iluminação nessas áreas.

Nesse sentido, a pesquisa proposta pode contribuir significativamente para o avanço do conhecimento sobre o objeto em questão. Além disso, ao identificar e abordar as limitações existentes nas pesquisas anteriores, esta pesquisa pode fornecer materiais valiosos para futuros estudos e intervenções práticas na área da iluminação em terminais rodoviários, contribuindo assim para a melhoria contínua da qualidade desses ambientes e para a promoção de experiências mais seguras e satisfatórias para os usuários.

1.2 Objetivo Geral

Readequar o sistema de iluminação do Terminal Rodoviário de Guarapari localizado no Espírito Santo.

1.3 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja realizado, foram definidos objetivos específicos listados abaixo, descritos abaixo:

- Comparar as medições realizadas com a simulação do projeto atual no *software* DIALux Evo;
- Propor e simular novos projetos para readequação da iluminação do local com luminárias mais eficientes;
- Definir solução com bases nas simulações e fazer uma avaliação de viabilidade econômica.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho foi desenvolvido em 4 capítulos para facilitar o entendimento, etapas e resultados, sendo organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1: apresenta uma introdução breve que contextualiza o tema, justifica a escolha do assunto e apresenta os objetivos do trabalho;
- Capítulo 2: apresenta o referencial teórico utilizado para o trabalho;
- Capítulo 3: apresenta a metodologia utilizada;
- Capítulo 4: apresenta o estudo de caso;
- Capítulo 5: apresenta as conclusões finais do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

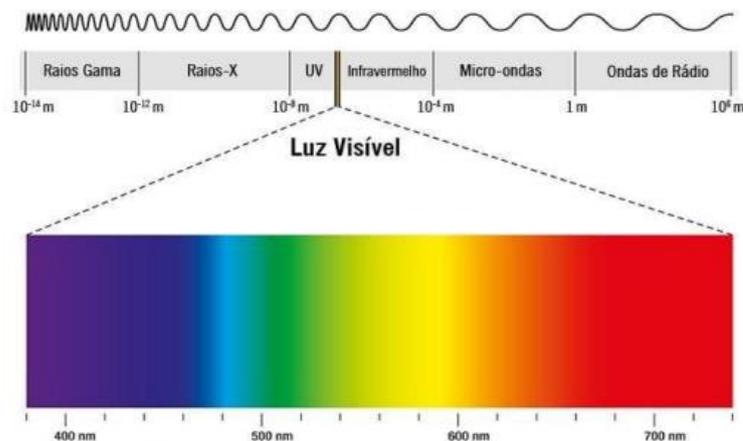
Neste capítulo, são demonstrados alguns conceitos fundamentais para elaboração do projeto, como: conceitos de iluminação, equipamentos de iluminação, equipamentos de medição e a base normativa para propiciar uma iluminação adequada e eficiente.

2.1 Conceitos de Iluminação

2.1.1 Luz

O olho humano é sensível a alguns comprimentos de onda oriundas de ondas eletromagnéticas vindas de uma fonte de radiação, portanto, luz é uma radiação eletromagnética (OSRAM, 2013). A parte da radiação que é visível pelo olho humano possui comprimentos de onda na faixa entre 380 nm e 760 nm (GUERRINI, 2008). A Figura 2 demonstra os comprimentos de onda dos diferentes tipos de radiações eletromagnéticas.

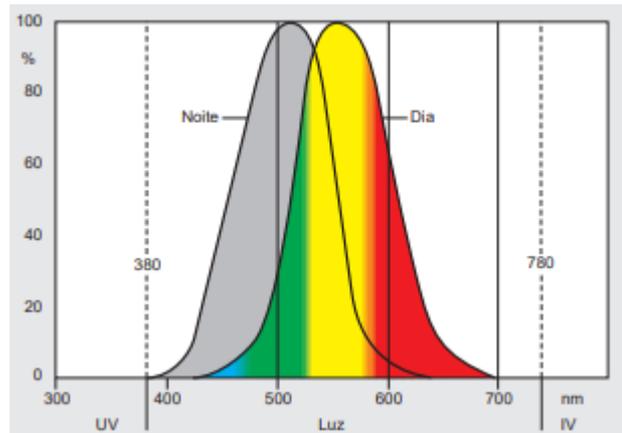
Figura 2 – Espectro eletromagnético.



Fonte: ITAIM Iluminação (2016).

A percepção de luz pelo olho humano não é variada apenas pelo comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade. Analisando a Figura 3 pode-se observar tal afirmação. Radiações com menores comprimentos de onda, como violeta e azul, geram maior intensidade de sensação luminosa ao olho humano quando há pouca luz, enquanto as radiações de maior comprimento de onda, como laranja e vermelho, se comportam ao contrário.

Figura 3 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas.



Fonte: OSRAM (2013).

2.1.2 Fluxo Luminoso (Φ)

O fluxo luminoso é definido como a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte em tensão nominal de funcionamento, emitida por um tempo e avaliada de acordo com a sensação luminosa produzida. Pode ser recebida diretamente de uma fonte de luz primária ou indiretamente devido uma reflexão. Sua grandeza é medida em lúmens (lm) (GUERRINI, 2008).

2.1.3 Intensidade Luminosa (I)

Uma fonte luminosa não irradia luz uniformemente, portanto é necessário medir os lúmens em cada direção. Essas direções são representadas por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa (GUEDES et al., 2023). A Intensidade Luminosa (I) é dada pelo fluxo luminoso (Φ) por esterradiano (ω), sendo tal grandeza medida em candelas (cd) (GUERRINI, 2008). A Equação 1 representa esta definição.

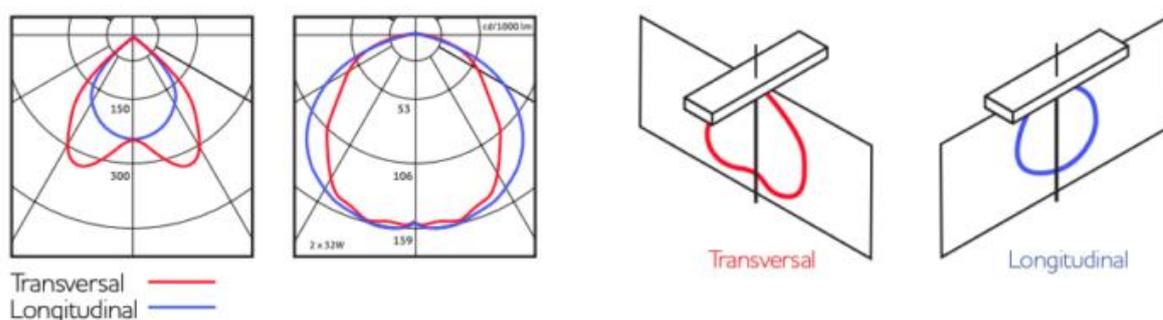
$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (1)$$

As avaliações da luminosidade são realizadas nos laboratórios dos fabricantes de luminárias para determinar as características de dispersão da luz e fornecer informações aos consumidores (ROMANI, 2013).

2.1.4 Curva de Distribuição Luminosa (CDL)

A representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada em um plano é chamada de curva de distribuição luminosa (OSRAM, 2013). Em um diagrama polar, a luminária ou lâmpada é reduzida a um ponto no centro do diagrama, seus vetores são plotados no plano e suas extremidades ligadas entre si, formando uma curva, conforme pode-se observar na Figura 4.

Figura 4 – Representação de uma curva de distribuição luminosa.



Fonte: NOVVALIGHT (2020).

2.1.5 Iluminância (E)

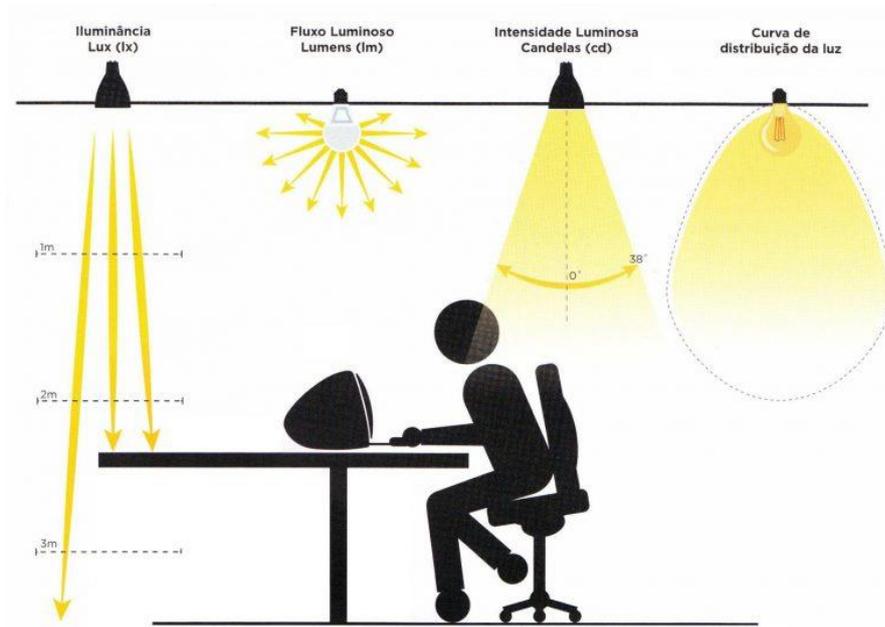
Também conhecida como nível de iluminação, a iluminância é definida como o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou então como a densidade superficial de um fluxo luminoso recebido (MOREIRA, 1999), ou seja, a quantidade de luz que incide em uma determinada área. Essa grandeza não é visível e pode ser medida com auxílio de uma luxímetro, sua unidade de medida é o lux (MAMEDE, 2017).

Como a iluminância é o fluxo luminoso que incide em uma área (COTRIM, 2009) e esse fluxo não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão, portanto a iluminância em ambientes geralmente é definida em termos de iluminância média, medida sempre na altura do plano de trabalho, que pode variar entre 0,75 m e 1 m de altura. A definição matemática de iluminância é demonstrada pela Equação 2, em que S representa a área da superfície.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2)$$

A Figura 5 demonstra a diferença entre os quatro conceitos falados anteriormente: fluxo luminoso, intensidade luminosa, curva de distribuição luminosa e iluminância.

Figura 5 – Diferenças entre Iluminância, Fluxo Luminoso, Intensidade Luminosa e Curva de distribuição da luz.



Fonte: POWERLUME (2019).

2.1.6 Luminância (L)

Dentre todas as grandezas mencionadas anteriormente, nenhuma é visível, ou seja, os raios de luz não podem ser vistos. A partir do momento que esses raios são refletidos em uma superfície, estes passam a ser sentidos pelo olho humano como forma de claridade, tal sensação é chamada de luminância (OSRAM, 2013).

A luminância depende tanto do nível de iluminamento, quanto das características de reflexão das superfícies, portanto sua representação matemática pode ser descrita pela Equação 3, em que θ represente o ângulo de incidência do fluxo luminoso.

$$L = \frac{I}{S \cos \theta} \quad (3)$$

Há casos em que é difícil medir a intensidade luminosa que provém de corpos não radiantes, portanto pode-se recorrer a outra fórmula adicionada de um coeficiente de reflexão (ρ). Tal representação matemática é mostrada pela Equação 4.

$$L = \frac{E\rho}{S \cos \theta} \quad (4)$$

Devido às variações na forma como os objetos refletem a luz, é compreensível porque uma mesma iluminância pode resultar em diferentes luminâncias. É importante ressaltar que o coeficiente de reflexão representa a proporção entre a luz refletida e a luz incidente em uma superfície. Este coeficiente é comumente apresentado em tabelas, onde os valores dependem das cores e dos materiais empregados (OSRAM, 2013). A unidade de medida padrão para Luminância é dada em cd/m².

2.1.7 Eficiência Luminosa (η)

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte e a potência elétrica por ela absorvida (MOREIRA, 1999), ou seja, quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A eficiência luminosa pode ser determinada pela Equação 5, em que P é a potência consumida em watts.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (5)$$

Quanto maior for a eficiência da lâmpada, maior será a quantidade de lúmens gerada em relação a potência consumida. A Tabela 1 mostra a eficiência luminosa para cada tipo de lâmpada.

Tabela 1 – Eficiência luminosa das lâmpadas.

Tipos de Lâmpadas	Eficiência Luminosa (luméns/W)
Incandescente	10 a 15
Halogêneas	15 a 25
Mista	20 a 35
Vapor de Mercúrio	45 a 55
Leds	35 a 70
Fluorescentes Comum	55 a 75
Fluorescentes Compacta	50 a 80
Multivapores Metálicos	65 a 90
Fluorescentes econômicas	75 a 90
Vapor de Sódio	80 a 140

Fonte: MAMEDE FILHO (2017).

2.1.8 Temperatura de Cor Correlata (TCC)

A temperatura de cor correlata expressa a aparência de cor de uma luz, representada pela unidade de medida Kelvin (K). Esta representação está relacionada à temperatura que teria um corpo negro ao ser aquecido quando emitisse a cor (MAMEDE, 2017). Um corpo metálico quando aquecido, passa desde vermelho até o branco e quanto mais claro for o branco, maior é a temperatura de cor correlata (aproximadamente 6500K), ou seja, lâmpadas amareladas possuem uma temperatura de cor mais quente, enquanto as lâmpadas mais brancas até as azuladas possuem uma temperatura de cor mais fria (OSRAM, 2013). É importante ressaltar que a cor da luz em nada interfere na eficiência energética da lâmpada, não sendo válida a sensação de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada.

Figura 6 – Temperaturas das cores das lâmpadas.



Fonte: ENGPLANILHAS (2020).

2.1.9 Índice de Reprodução de Cores (IRC)

As cores de objetos sob a influência de luz natural nem sempre tem o mesmo aspecto quando influenciados por cores artificiais, nem mesmo quando as fontes de luz tiverem a mesma tonalidade (OSRAM, 2013). Estas variações nas cores podem ser medidas pelo índice de reprodução de cores, que variam de 0 a 100. O IRC é a medida entre a cor real do objeto quando submetida a luz solar e a uma outra fonte de luz (MOREIRA, 1999).

Quanto mais alto for o IRC de uma lâmpada, mais fidedigna será a cor apresentada pelo objeto (ARAÚJO et al., 2022). A Figura 7 apresenta as cores do objeto sob efeito de diferentes tipos de IRC.

Figura 7 – Influência de diferentes IRC's para o mesmo objeto.



Fonte: FATORNOBRE (2021).

2.1.10 Refletância

A refletância pode ser definida como a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma dada superfície e o fluxo luminoso incidente sobre ela (MAMEDE, 2017). É amplamente reconhecido na literatura que objetos refletem a luz de forma variada, sendo essa variação entre diferentes objetos é um fenômeno bem estabelecido, demonstrando a importância de compreender as propriedades de reflexão da luz ao projetar e analisar sistemas de iluminação.

2.1.11 Emitância

A emitância é definida como a quantidade de fluxo luminoso emitido por uma fonte superficial por unidade de área, expressa em lúmen por metro quadrado (lm/m^2) (MAMEDE, 2017). Este conceito é fundamental na medição e na análise da intensidade luminosa de uma fonte de luz, fornecendo uma medida quantitativa da luminosidade percebida em uma determinada área.

2.2 Equipamentos de iluminação

2.2.1 Tipos de Lâmpadas

No estudo da utilização das lâmpadas elétricas, é comum classificá-las com diferentes critérios. Em relação ao processo de emissão de luz, as lâmpadas podem ser divididas em três categorias principais: lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga e lâmpadas LED. Essa classificação reflete as diferentes tecnologias e mecanismos subjacentes à geração de luz em cada tipo de lâmpada.

Além disso, as lâmpadas elétricas também podem ser classificadas com base em seu desempenho, levando em consideração aspectos como vida útil, rendimento luminoso e índice

de reprodução de cores. Esses critérios são essenciais para avaliar a eficácia e a adequação das lâmpadas em diferentes contextos de iluminação (MAMEDE, 2017).

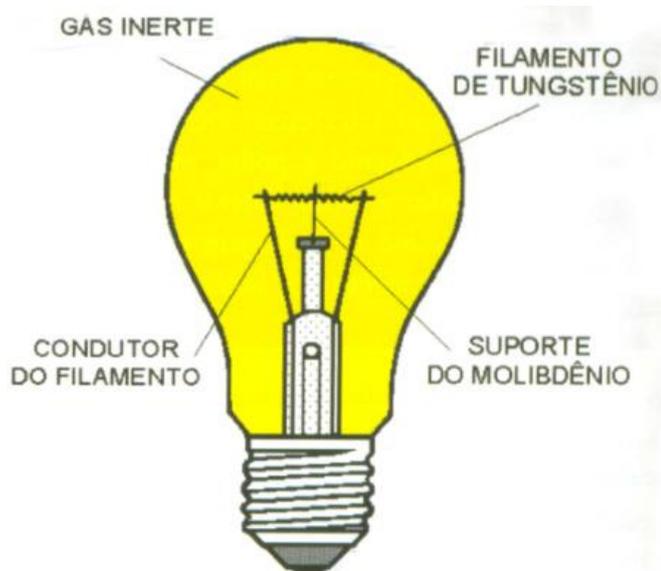
2.2.2 Lâmpadas Incandescentes

Estas lâmpadas são compostas por um filamento de tungstênio enrolado, que se torna incandescente com a passagem de corrente elétrica, dentro de um bulbo de vidro preenchido com um gás inerte, como nitrogênio, evitando a oxidação do filamento.

Apesar de terem um custo inicial reduzido, as lâmpadas incandescentes enfrentam limitações de eficiência luminosa, vida útil e custos de manutenção elevados, resultando em sua reduzida aplicação em projetos luminotécnicos. São mais comumente utilizadas em ambientes administrativos e aplicações específicas devido às suas características restritas.

O rendimento das lâmpadas incandescentes aumenta com a potência, sendo mais eficientes em baixas tensões, mas sua vida útil é afetada por sobretensões. As fábricas brasileiras cessaram em 2014 a produção de lâmpadas incandescentes em favor de modelos mais eficientes, como as lâmpadas dióicas, que pertencem à mesma família e são frequentemente utilizadas na decoração de ambientes e vitrines (MAMEDE, 2017). A Figura 8 demonstra as características construtivas de uma lâmpada incandescente.

Figura 8 – Lâmpada incandescente.



Fonte: QUALIDADEONLINE (2011).

2.2.3 Lâmpadas Halógenas de Tungstênio

A lâmpada halógena de tungstênio, ilustrada na Figura 9, é uma variação especial das lâmpadas incandescentes convencionais. Neste tipo particular de iluminação, um filamento de tungstênio é inserido em um tubo de quartzo, no qual uma quantidade específica de iodo é introduzida. Durante o funcionamento desse tipo de lâmpada, ocorre a evaporação do tungstênio do filamento, e este se combina com o gás presente no interior do tubo, formando o iodeto de tungstênio. Uma característica notável desse processo é que, devido às temperaturas elevadas, parte do tungstênio é depositado novamente no filamento, o que resulta em um ciclo contínuo conhecido como ciclo do iodo (MAMEDE, 2017).

Figura 9 – Lâmpada halógena.



Fonte: MAMEDE (2017).

Esta característica de construção permite uma maior durabilidade e eficiência luminosa, pois com temperaturas mais elevadas no seu filamento, aumenta sua incandescência, possibilitando a construção de lâmpadas de luz intensa e dimensões reduzidas. A Tabela 2 apresenta as principais vantagens e desvantagens do uso das lâmpadas halógenas de tungstênio.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da Lâmpada Halógena de Tungstênio.

Lâmpada Halógena de Tungstênio	
Vantagens	Desvantagens
IRC =100, similar à luz da lâmpada incandescente ou solar	Elevado consumo: lâmpadas fluorescentes compactas ou lâmpadas LED, quando as substituem em aplicação, apresentam melhor eficiência
Temperatura de cor entre 2800K e 3100K	Baixa durabilidade, comparadas com tecnologias de iluminação, como o LED
Variedade de formatos, que permite amplo campo de aplicações	Elevado aquecimento, podendo este ser um problema conforme o local de instalação
Lâmpadas compactas e de elevada intensidade luminosa	Muitas vezes, as lâmpadas necessitam de um transformador, porque não funcionam na mesma tensão da rede

Fonte: G20BRASIL (2016).

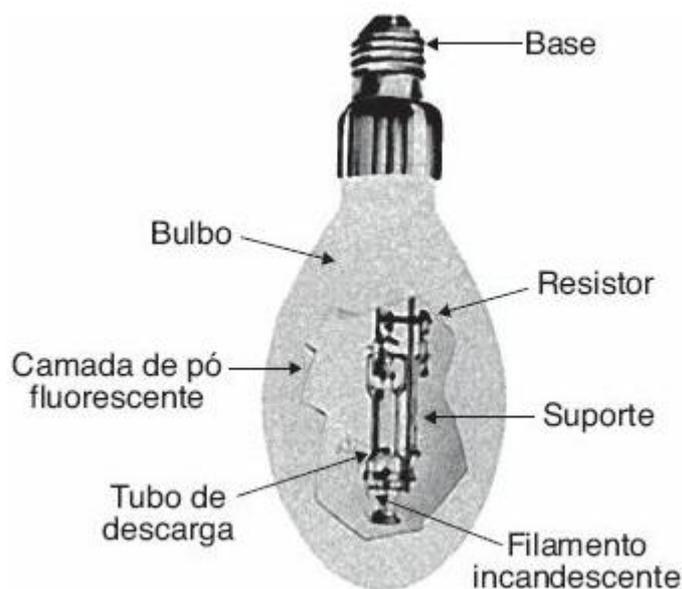
2.2.4 Lâmpadas de Luz Mista

As lâmpadas de luz mista possuem uma estrutura que consiste em um tubo de descarga contendo vapor de mercúrio, que é conectado em série a um filamento de tungstênio. Esses componentes são encapsulados por um bulbo de formato ovoide, cujas paredes internas são revestidas por uma camada de fosfato de ítrio vanadato. Essas lâmpadas compartilham características fundamentais com as lâmpadas incandescentes. O filamento desempenha o papel tanto de uma fonte de luz de tonalidade quente quanto de um dispositivo para controlar o fluxo de corrente (MAMEDE, 2017).

Quanto às especificações comerciais, as lâmpadas de luz mista estão disponíveis em potências variando de 160 a 500 W. Elas conseguem combinar a alta eficiência das lâmpadas de descarga com os benefícios da excelente reprodução de cores, características das lâmpadas de filamento de tungstênio (MAMEDE, 2017).

No que diz respeito às características técnicas, a vida útil dessas lâmpadas é estimada em 6.000 horas, enquanto sua eficiência luminosa média é de 22 lumens por watt. A Figura 10 mostra os principais componentes de uma lâmpada de luz mista.

Figura 10 – Lâmpada de luz mista.



Fonte: MAMEDE (2017).

2.2.5 Lâmpadas de Descarga

As lâmpadas de descarga exploram a descarga elétrica em um gás ou vapor para produzir luz. Elas encontram aplicação em uma ampla gama de setores, incluindo iluminação pública, espaços de grande dimensão, ambientes industriais e até mesmo residências. Reconhecidas por sua eficiência energética e longa durabilidade, essas lâmpadas se tornaram uma escolha popular para aqueles que desejam economia e uma fonte de luz confiável (UNILUMI, 2023).

Além disso, a vida útil das lâmpadas de descarga varia consideravelmente de acordo com o tipo, abrangendo desde 7.500 horas para lâmpadas fluorescentes até 24.000 horas para lâmpadas a vapor de sódio. Apesar do custo inicial geralmente elevado, essas lâmpadas tendem a apresentar um custo de manutenção relativamente reduzido ao longo de sua vida útil. Serão detalhadamente explorados os tipos mais comuns de lâmpadas de descarga a seguir (MAMEDE, 2017).

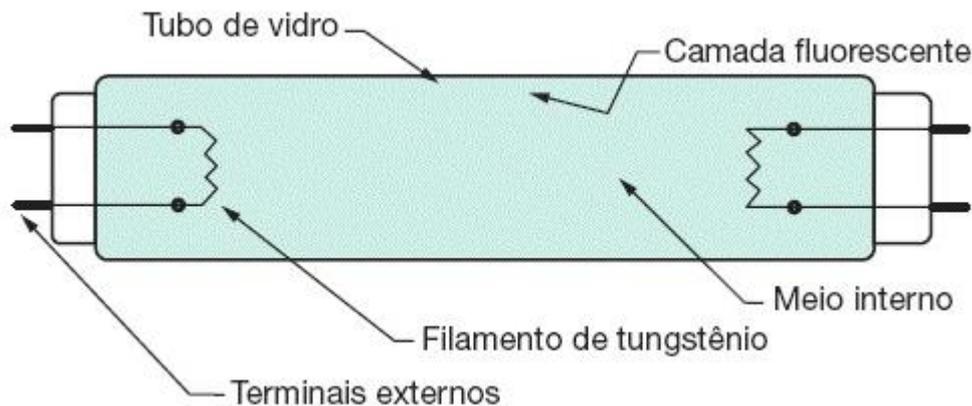
As lâmpadas de descarga deixarão de ser produzidas ainda no ano de 2024, por questões ambientais.

2.2.6 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes funcionam com base no fenômeno da fluorescência. Elas são compostas por um longo cilindro de vidro revestido internamente por uma camada de fósforo

de diferentes tipos. No interior do tubo de vidro, há um gás inerte de baixa pressão, como argônio e vapor de mercúrio. Quando uma corrente elétrica é aplicada, os eletrodos de tungstênio nas extremidades do tubo geram um arco elétrico, ionizando o gás e vaporizando o mercúrio. Esse processo gera luz ultravioleta, que atinge o revestimento de fósforo, transformando-a em luz visível (MAMEDE, 2017). A Figura 11 mostra o aspecto externo das lâmpadas fluorescentes.

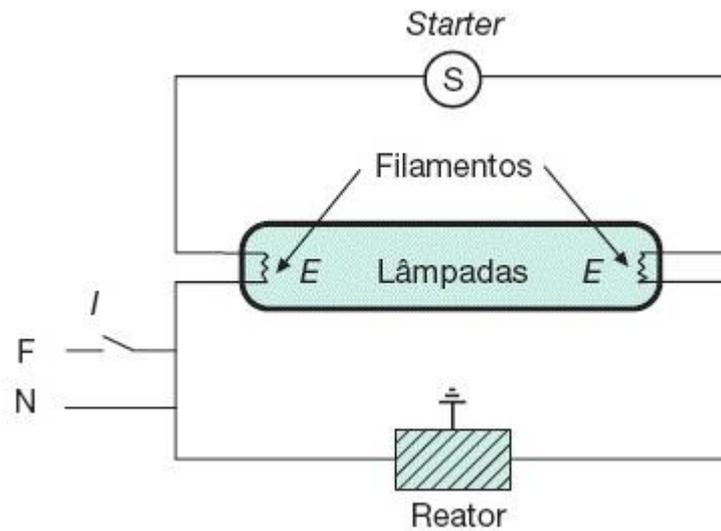
Figura 11 – Lâmpada Fluorescente.



Fonte: MAMEDE (2017).

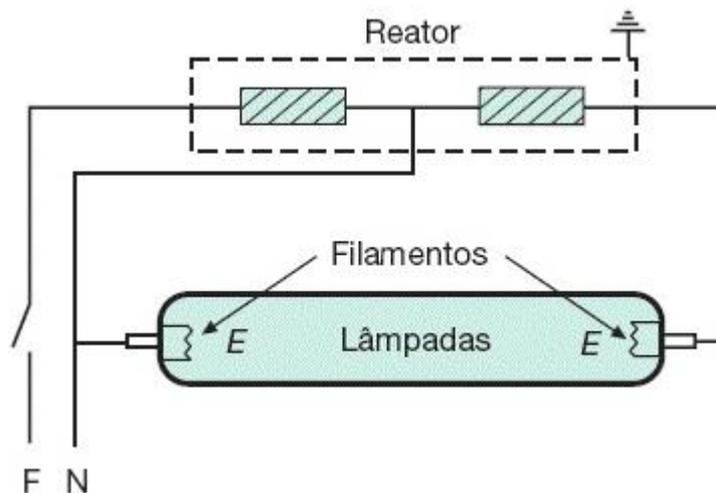
As lâmpadas fluorescentes apresentam uma eficiência luminosa significativamente maior do que as lâmpadas incandescentes, com uma média entre 40 e 80 lumens por watt. Além disso, têm uma vida útil mais longa, variando de 7500 a 12.000 horas. Essas lâmpadas são classificadas com base no diâmetro do tubo, com os modelos T8 e T5 sendo os mais eficientes e populares atualmente (MAMEDE, 2017)

Uma característica importante das lâmpadas fluorescentes é a necessidade de um reator (reatância série) para controlar o fluxo de corrente. Nas lâmpadas menores, o reator é utilizado apenas para limitar a corrente, enquanto nas maiores, é necessário também um transformador para elevar a tensão. Existem diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes, incluindo as de catodo quente preaquecido, de catodo sem preaquecimento e de catodo frio, cada uma com suas próprias aplicações e características de funcionamento (MAMEDE, 2017). As Figuras 12 e 13, demonstram respectivamente as características de ligação das lâmpadas fluorescentes com reatores em série e transformadores mais reatores em série.

Figura 12 – Ligação do *starter*.

Fonte: MAMEDE (2017).

Figura 13 – Ligação reator-transformador.



Fonte: MAMEDE (2017).

Apesar de suas vantagens em termos de eficiência energética e durabilidade, as lâmpadas fluorescentes contêm mercúrio em sua composição, o que pode representar um risco ambiental no momento do descarte. No entanto, são uma opção amplamente utilizada em diversos ambientes, incluindo residências, escritórios, comércios e indústrias, devido à sua capacidade de fornecer uma iluminação eficiente e de qualidade (SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2018).

Em resumo, as lâmpadas fluorescentes são uma escolha popular para iluminação devido à sua eficiência energética, longa vida útil e qualidade de luz. Seu funcionamento baseado na

fluorescência as torna uma opção versátil e amplamente utilizada em uma variedade de aplicações.

2.2.7 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

As lâmpadas a vapor de mercúrio são compostas por um pequeno tubo de quartzo, contendo eletrodos principais e um eletrodo auxiliar, geralmente conectados em série com uma resistência de valor elevado. No interior do tubo, algumas gotas de mercúrio são colocadas, juntamente com um gás inerte como argônio, facilitando a formação da descarga inicial (MAMEDE, 2017).

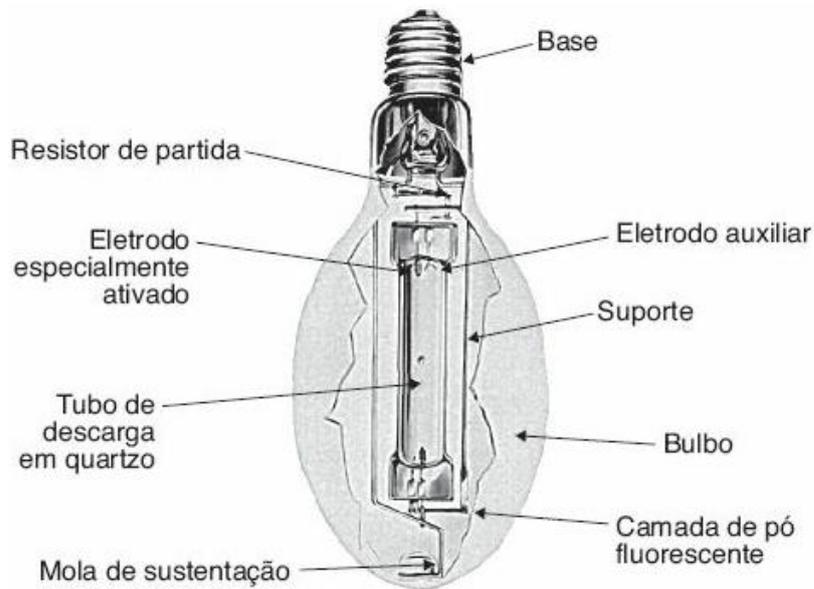
Quando uma tensão é aplicada nos terminais da lâmpada, cria-se um campo elétrico entre os eletrodos, resultando na formação de um arco elétrico e na ionização do gás. Esse processo provoca a vaporização do mercúrio e a transformação de sua estrutura atômica, emitindo luz (MOREIRA, 1999).

Essas lâmpadas têm uma alta eficiência luminosa, variando em média de 55 lumens/watt, e uma vida útil de aproximadamente 18.000 horas. No entanto, apresentam uma desvantagem em sua eficiência ao longo da vida útil, caindo para cerca de 35 lumens/watt. Além disso, quando desligadas, requerem um tempo de 5 a 10 minutos para serem reacendidas, devido às condições mínimas necessárias para a reionização do mercúrio (MAMEDE, 2017).

Uma característica importante das lâmpadas a vapor de mercúrio é a capacidade do bulbo externo de absorver radiações potencialmente perigosas emitidas do interior do tubo de arco. Esse bulbo é revestido internamente por substâncias fluorescentes, como o vanadato de ítrio, que podem afetar a reprodução de cores (MOREIRA, 1999).

Esse tipo de lâmpada desempenha um papel significativo na iluminação, oferecendo eficiência e longa vida útil, embora tenha suas limitações em relação à reprodução de cores, ao tempo de reacendimento e são extremamente tóxicas, poluindo o meio ambiente. A Figura 14 demonstra os componentes de uma lâmpada a vapor de mercúrio.

Figura 14 – Lâmpada a vapor de mercúrio.



Fonte: MAMEDE (2017).

2.2.8 Lâmpadas a Vapor de Sódio

As lâmpadas a vapor de sódio representam uma tecnologia amplamente utilizada na iluminação devido à sua eficiência luminosa e longa vida útil. Este tipo de lâmpada utiliza um plasma de vapor de sódio para produzir luz e é fabricado em dois tipos principais: lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão e lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão.

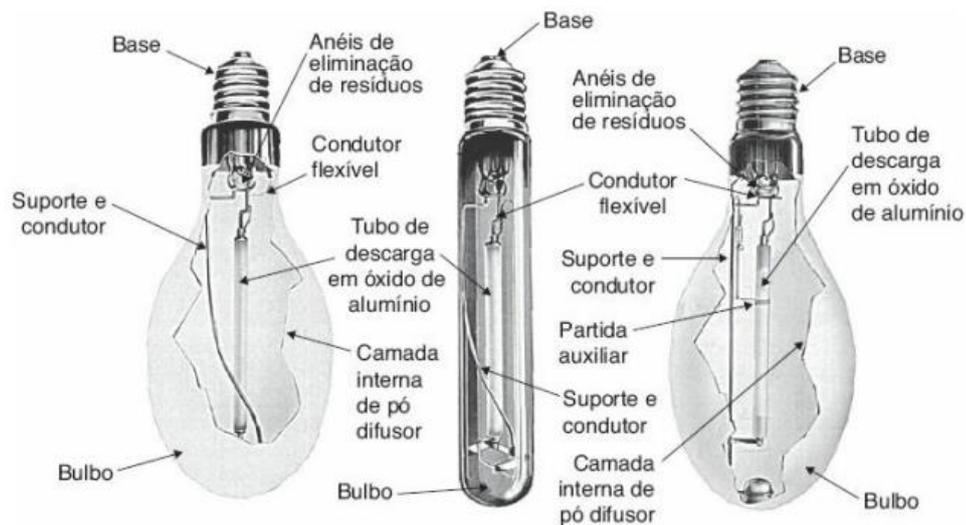
A lâmpada a vapor de sódio a baixa pressão é construída com um tubo especial de vidro em forma de U, colocado dentro de uma ampola tubular de vidro para proteção mecânica e isolamento térmico. Os eletrodos de filamento são fixados nas extremidades do tubo de descarga, e sobre eles é depositado um material especial emissor de elétrons. No interior do tubo de descarga, é injetada uma quantidade de gás neon para facilitar o acendimento, juntamente com uma quantidade de sódio que se condensa e deposita em pequenas cavidades do tubo quando a lâmpada se resfria. Estas lâmpadas emitem uma radiação quase monocromática (luz amarela), possuem alta eficiência luminosa e uma vida útil elevada (MAMEDE, 2017).

A lâmpada a vapor de sódio de alta pressão é constituída por um tubo de descarga contendo um excesso de sódio que se vaporiza durante o período de acendimento em condições de saturação. Utilizam gás inerte, como o xenônio, em alta pressão, para obter uma baixa tensão de ignição. Ao contrário das lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão, estas apresentam um espectro

visível contínuo, o que permite uma razoável reprodução de cor, tornando-as adequadas para uso em instalações industriais onde não é necessária uma fidelidade de cor. Possuem uma eficiência luminosa ligeiramente menor do que as lâmpadas de baixa pressão e um índice de reprodução de cor mais alto (MAMEDE, 2017).

Em resumo, as lâmpadas a vapor de sódio, tanto de baixa quanto alta pressão, são reconhecidas por sua eficiência luminosa e longa vida útil, sendo aplicadas em uma variedade de contextos, desde iluminação pública até aplicações industriais e agrícolas. A Figura 15 demonstra os componentes de uma lâmpada a vapor de sódio.

Figura 15 – Lâmpada a Vapor de Sódio.



Fonte: MAMEDE (2017).

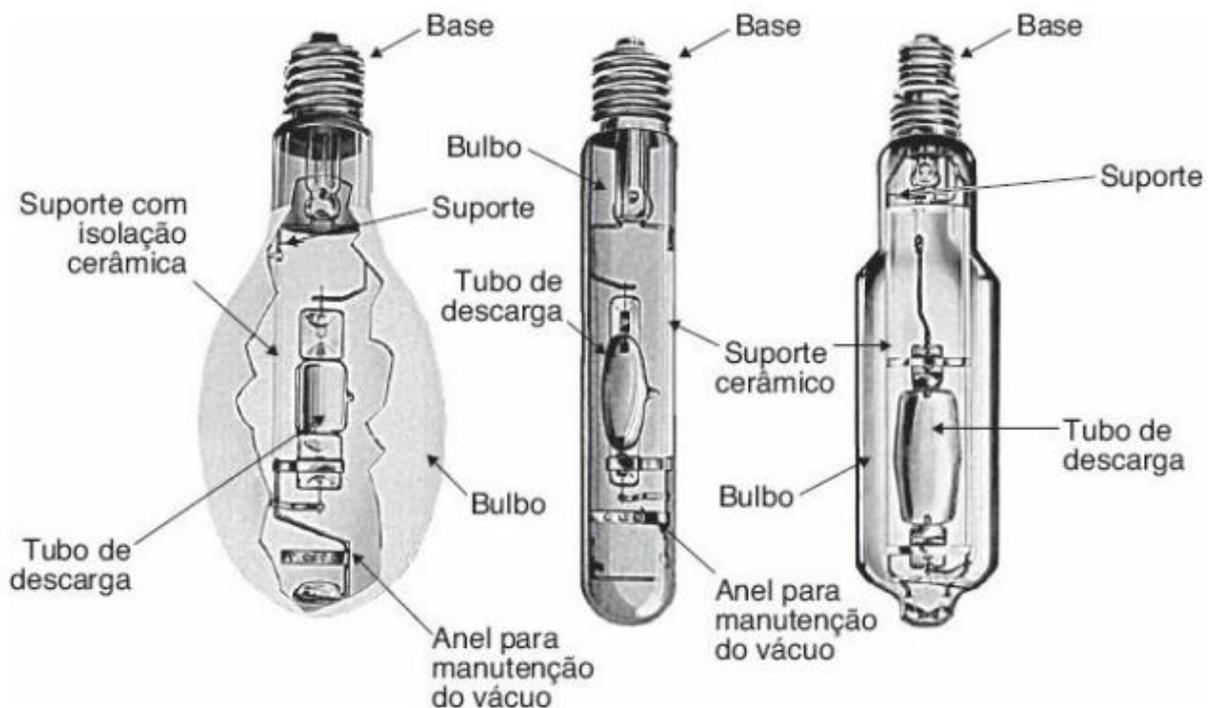
2.2.9 Lâmpadas a Vapor Metálico

As lâmpadas a vapor metálico surgiram como uma evolução das lâmpadas de vapor de mercúrio, incorporando uma mistura de metais como índio, tálio e sódio em seu tubo de descarga. Essa combinação de metais proporciona uma melhoria significativa na reprodução de cores e eficiência luminosa, tornando as lâmpadas a vapor metálico uma opção atraente para uma variedade de aplicações de iluminação (MAMEDE, 2017).

O funcionamento das lâmpadas a vapor metálico envolve a criação de um arco elétrico entre os eletrodos dentro do tubo de quartzo, onde a mistura de metais está contida. Esse arco elétrico aquece as substâncias emissoras de luz, resultando na ionização do gás e na formação do vapor metálico na lâmpada. A interação entre os elétrons e os átomos do vapor metálico produz a luz visível emitida pela lâmpada (MOREIRA, 1999).

As lâmpadas a vapor metálico geralmente apresentam uma eficiência luminosa média de 98 lumens/watt, o que as torna uma opção eficiente em termos energéticos. Em comparação com outras tecnologias de iluminação, as lâmpadas a vapor metálico oferecem uma reprodução de cores muito maior, resultando em uma iluminação de alta qualidade e detalhada. As lâmpadas a vapor metálico têm uma vida útil média de aproximadamente 24.000 horas, garantindo uma longa durabilidade e reduzindo a necessidade de substituições frequentes (MAMEDE, 2017). As lâmpadas a vapor metálico representam uma solução avançada e eficiente para iluminação em uma variedade de aplicações. Com sua reprodução de cores superior, eficiência luminosa e longa vida útil, essas lâmpadas são uma escolha popular para iluminar espaços públicos, esportivos e industriais. Observar as normas e exigências aplicáveis é essencial para garantir o uso adequado e seguro das lâmpadas a vapor metálico. A Figura 16 demonstra os componentes da lâmpada a vapor metálico.

Figura 16 – Lâmpada a vapor metálico.



Fonte: MAMEDE (2017).

2.2.10 Diodos Emissores de Luz (LED)

Os diodos emissores de luz (LEDs) são dispositivos semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Essa tecnologia tem ganhado espaço no mercado devido à sua eficiência

energética e à ausência de substâncias tóxicas em sua composição (CAVALIN; CERVELIN, 2011).

Os LEDs representam uma inovação significativa na iluminação, sendo descobertos na década de 1960 e inicialmente utilizados para sinalização. Com o avanço tecnológico, os LEDs possibilitaram a combinação de cores e o desenvolvimento de LEDs brancos, destacando-se por sua longa vida útil, tamanho reduzido e alta eficiência luminosa (ROMANI, 2013).

Funcionam por meio da passagem de corrente elétrica por um material semicondutor, gerando luz por meio da eletroluminescência. Esses dispositivos dispensam filamentos e descarga elétrica, praticamente eliminando a necessidade de manutenção devido à sua durabilidade. Além disso, os LEDs estão sendo continuamente aprimorados, dobrando seu fluxo luminoso e expandindo suas aplicações, inclusive como substitutos para lâmpadas compactas e fluorescentes tubulares (SOUSA, 2014).

No contexto brasileiro, a popularização e o contínuo desenvolvimento da tecnologia LED tem contribuído para sua crescente adoção em diversas aplicações de iluminação geral e decorativa. Com uma vida útil média superior a 50.000 horas, temperatura de cor variando entre 2760 K e 10.000 K e um IRC em torno de 90, os LEDs oferecem uma alternativa eficiente e sustentável para as necessidades de iluminação contemporâneas (FOLSTER et al., 2016).

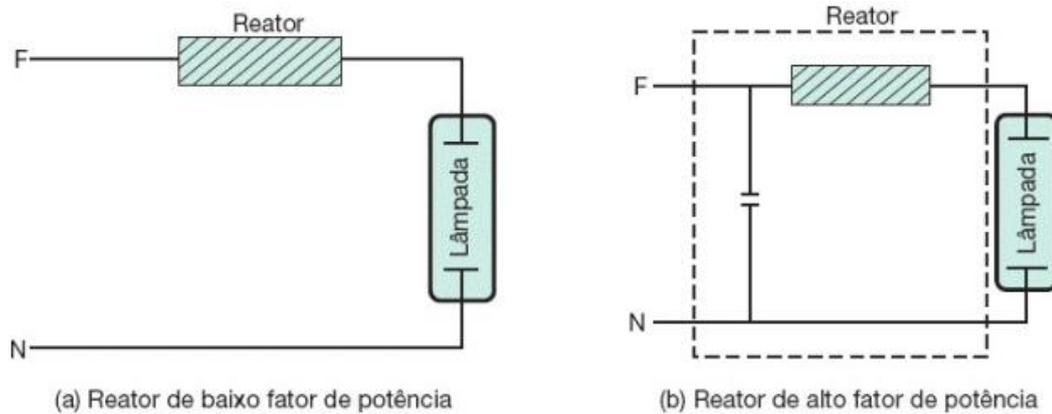
2.3 Dispositivos de Controle

2.3.1 Reatores

Os reatores são dispositivos essenciais no circuito das lâmpadas de descarga, desempenhando o papel de estabilizar a corrente elétrica em um nível apropriado para o funcionamento adequado dessas lâmpadas. São componentes fundamentais do sistema de iluminação, atuando como reatância série no circuito das lâmpadas.

Existem dois tipos principais de reatores: os eletromagnéticos e os eletrônicos. Os reatores eletromagnéticos são constituídos por uma bobina enrolada sobre um núcleo de ferro, e operam com fatores de potência entre 0,40 e 0,60. No entanto, é possível melhorar esse fator de potência adicionando-se um capacitor em paralelo ao reator, conforme ilustrado na Figura 17. Já os reatores eletrônicos são mais avançados, compostos por três blocos funcionais: a fonte, o inversor e o circuito de partida e estabilização. Eles oferecem diversas vantagens em relação aos reatores eletromagnéticos, incluindo redução das oscilações das lâmpadas, eliminação do efeito estroboscópico, operação com alto fator de potência, entre outras (MAMEDE, 2017).

Figura 17 – Reator para lâmpadas de descarga.



Fonte: MAMEDE (2017).

É importante ressaltar que os reatores desempenham um papel crucial na eficiência e no desempenho do sistema de iluminação, e a escolha entre reatores eletromagnéticos e eletrônicos deve considerar as necessidades específicas de cada aplicação, levando em conta fatores como custo, eficiência energética e durabilidade.

2.3.2 Starters

Starters são dispositivos essenciais no funcionamento de lâmpadas de descarga, como as lâmpadas fluorescentes, mas não são utilizados em iluminação pública. São constituídos por um pequeno tubo de vidro que contém dois eletrodos imersos em gás inerte, responsável pela formação inicial do arco que permite estabelecer um contato direto entre os eletrodos. Um dos eletrodos é composto por uma lâmina bimetálica que retorna ao estado inicial após um curto período (MAMEDE, 2017).

A operação do *starter* ocorre da seguinte forma: ao acionar o interruptor, um arco é produzido no dispositivo de partida entre as lâminas, o que resulta no estabelecimento do contato elétrico entre elas. Isso permite que a corrente elétrica percorra o circuito, aquecendo os eletrodos da lâmpada e emitindo elétrons. Após um curto intervalo de tempo, o contato entre as lâminas é desfeito devido à variação de corrente, o que provoca o aparecimento da força eletromotriz de elevado valor na indutância do reator. Isso, por sua vez, causa um arco entre os eletrodos da lâmpada e o acendimento dela (MAMEDE, 2017).

O reator então assume o papel de estabilizador de corrente, limitando a tensão ao valor requerido. Um capacitor acoplado ao circuito do *starter* é responsável por diminuir a

interferência sobre os aparelhos de rádio e comunicação durante o processo de acendimento da lâmpada (MAMEDE, 2017).

Esses dispositivos desempenham um papel crucial no funcionamento adequado das lâmpadas de descarga, garantindo um processo de partida eficiente e estável. A Figura 18 demonstra os componentes e o aspecto externo do starter.

Figura 18 - Starter.



Fonte: MAMEDE (2017).

2.3.3 Ignitores

Ignitores são dispositivos essenciais para o funcionamento adequado de lâmpadas a vapor metálico e vapor de sódio. Estes componentes têm a função de gerar uma série de pulsos de alta tensão, variando entre 1 e 5 kV, necessários para iniciar a descarga dessas lâmpadas (MAMEDE, 2017).

As lâmpadas a vapor de sódio e vapor metálico requerem uma tensão inicial superior à fornecida pela rede elétrica comum. Embora os reatores sejam responsáveis por gerar essa tensão, os ignitores são componentes adicionais necessários para fornecer o nível de tensão exigido na partida das lâmpadas (MAMEDE, 2017).

Existem três tipos principais de ignitores:

1. Ignitor de derivação: Este tipo de ignitor possui três terminais e utiliza o reator como um transformador de impulso. Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados sobre o reator, que amplifica os pulsos e os aplica sobre os terminais da lâmpada. Esses ignitores requerem que o reator e o ignitor estejam próximos e afastados da lâmpada;

2. Ignitor em série: Também possui três terminais, mas o capacitor se descarrega através de um dispositivo controlador. Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados às espiras do transformador, que amplifica os pulsos conforme necessário. Este tipo de ignitor funciona independentemente do reator instalado e deve estar próximo à lâmpada para evitar a redução da intensidade dos pulsos;
3. Ignitor em paralelo: Este tipo de ignitor possui apenas dois terminais e fornece energia armazenada no capacitor à lâmpada através de um circuito de disparo. Este tipo de ignitor é usado apenas com alguns tipos de lâmpadas e pode gerar pulsos de tensão consideravelmente altos, entre 600 e 1.200 V (MAMEDE, 2017).

Os ignitores desempenham um papel crucial na partida e no funcionamento estável das lâmpadas a vapor, garantindo que elas iniciem corretamente e operem de maneira eficiente.

2.3.4 Drivers

Os *drivers* para LEDs são dispositivos essenciais que fornecem a corrente elétrica necessária para o funcionamento dos LEDs, garantindo seu desempenho adequado e longevidade. Diferentemente das lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, os LEDs requerem uma fonte de alimentação que controle a corrente e a tensão, já que operam em corrente contínua e são sensíveis a variações na alimentação elétrica (LEDYI, 2022).

Os principais objetivos dos *drivers* para LEDs são:

- Regulação da Corrente: Garantir que os LEDs recebam uma corrente constante, essencial para evitar sobrecarga e prolongar a vida útil dos LEDs.
- Controle de Tensão: Manter a tensão adequada para operação eficiente dos LEDs.
- Proteção: Proteger contra sobrecarga, curto-circuito, e sobretensão, assegurando a segurança e a durabilidade dos LEDs.

Os *drivers* para LEDs desempenham um papel crucial na eficiência e na operação dos sistemas de iluminação. Com o avanço das tecnologias e a crescente demanda por soluções de iluminação inteligente, a evolução dos drivers para LEDs é essencial para atender às necessidades contemporâneas e futuras dos ambientes internos. A pesquisa e o desenvolvimento contínuos nessa área garantirão que os sistemas de iluminação se tornem cada vez mais adaptáveis, eficientes e integrados com as novas tecnologias.

2.4 Equipamentos de Medição

2.4.1 Luxímetro

O luxímetro é um instrumento utilizado para medir a luminosidade em ambientes internos, fornecendo uma medida quantitativa da iluminação presente. Trata-se de um dispositivo portátil, o que facilita sua utilização em diversos locais. Funciona por meio de um sensor que detecta a intensidade da iluminação em lúmens por metro quadrado (lux), sendo o lux a unidade de medida internacional de luminescência.

Ao utilizar um luxímetro, é importante ajustar corretamente a escala de leitura do aparelho para obter resultados precisos. Além disso, é essencial encontrar um local adequado para realizar a medição, garantindo que não haja sombras que possam interferir no sensor. O sensor deve ser posicionado de forma paralela à superfície que está sendo analisada, como uma mesa ou bancada, para garantir resultados confiáveis.

Caso não seja possível apoiar o sensor horizontalmente em um local fixo, a medição pode ser feita a uma altura de 75 cm em relação ao piso, em um plano horizontal. No entanto, é importante garantir que o sensor esteja nivelado para evitar resultados imprecisos devido a angulações.

Em resumo, o luxímetro é uma ferramenta essencial para medir e controlar a iluminação em ambientes internos, garantindo um nível confortável de luminosidade para os ocupantes do espaço. A Figura 19 apresenta o luxímetro a ser utilizado neste projeto, com suas especificações técnicas no Anexo A.

Figura 19 – Luxímetro Minipa MLM-1001.



Fonte: MINIPA (2024).

2.5 ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

A ABNT NBR ISO 8995-1 estabelece os requisitos mínimos para a iluminação em ambientes de trabalho internos, com o objetivo de proporcionar condições visuais adequadas para a realização eficiente das tarefas, garantindo conforto e segurança aos trabalhadores durante todo o período de trabalho. Ela foi desenvolvida pela Comissão de Estudo CE-03:034 do Comitê Brasileiro de Eletricidade (COBEI), em substituição às normas anteriores ABNT NBR 5413 e ABNT NBR 5382 (LITELEDS, 2022)

A ABNT NBR ISO 8995-1 aborda diversos aspectos relacionados à iluminação, incluindo critérios quantitativos e qualitativos para controle de ofuscamento, índice de reprodução de cor e atendimento aos níveis de luminância recomendados. Além disso, ela considera as novas tecnologias em iluminação, como as luminárias de LED, e incorpora requisitos ergonômicos estabelecidos pela NR 17.

Por meio da ABNT NBR ISO 8995-1, busca-se garantir que os ambientes de trabalho ofereçam condições visuais adequadas para que os profissionais desempenhem suas atividades de maneira eficiente e segura, contribuindo para o bem-estar e a produtividade dos trabalhadores.

2.5.1 Área da Tarefa e Entorno Imediato

A área da tarefa é definida como a parte específica do local de trabalho onde uma determinada atividade visual é realizada. Elementos como o tamanho dos objetos, contraste de fundo, luminância dos objetos e tempo de exposição determinam o desempenho visual necessário para

essa tarefa. Quando não é possível determinar a área exata da tarefa, a área onde o trabalho pode ocorrer é considerada como a área da tarefa (ANBT, 2013).

O entorno imediato, por sua vez, é definido como a área ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão. Recomenda-se que essa área tenha pelo menos 0,5 metros de largura. Essa proximidade é importante para garantir uma transição suave entre a área da tarefa e seu entorno, evitando contrastes abruptos que possam causar fadiga visual ou desconforto (ABNT, 2013).

2.5.2 Iluminâncias no Entorno Imediato

As iluminâncias no entorno imediato devem ser relacionadas à iluminância da área de tarefa, visando proporcionar uma distribuição equilibrada da luminância no campo de visão do trabalhador. Isso é essencial para evitar mudanças drásticas nas iluminâncias ao redor da área de tarefa, o que poderia resultar em esforço visual estressante e desconforto (ABNT, 2013).

Embora as iluminâncias no entorno imediato possam ser inferiores à iluminância da área de tarefa, elas não podem ser menores que os valores mínimos especificados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de iluminância média no entorno imediato.

Iluminância da tarefa lux	Iluminância do entorno imediato lux
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área da tarefa

Fonte: ABNT (2013).

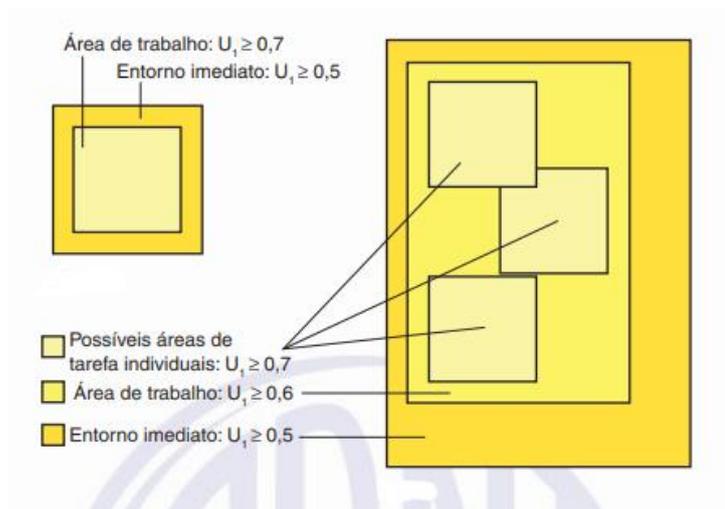
2.5.3 Uniformidade

A uniformidade da iluminância é definida como a razão entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância em uma determinada área, não podendo ser inferior a 0,7 para área da tarefa e 0,5 para o entorno imediato. Isso garante que mesmo nas áreas ao redor da tarefa, onde a iluminância pode ser ligeiramente menor, ainda haja uma distribuição uniforme da luz para evitar desconforto visual (ABNT, 2013).

Quando a localização da área da tarefa não pode ser definida precisamente ou a atividade realizada envolve um número de tarefas diferentes, recomenda-se que as áreas das tarefas sejam

combinadas para formar uma área maior. A uniformidade desta área deve ser maior ou igual a 0,6 (ABNT, 2013). A Figura 20 demonstra os conceitos falados anteriormente.

Figura 20 – Uniformidade para área da tarefa e entorno imediato.



Fonte: ABNT (2013).

2.5.4 Ofuscamento

O ofuscamento é definido como a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, podendo variar desde um desconforto visual até uma incapacidade temporária de enxergar corretamente. Pode ocorrer de duas maneiras principais: como um ofuscamento desconfortável, que é uma sensação irritante ou perturbadora causada por fontes de luz brilhantes, como luminárias ou janelas; e como um ofuscamento inabilitador, que pode prejudicar significativamente a capacidade do indivíduo de ver adequadamente, podendo resultar em erros, fadiga e até mesmo acidentes (ABNT, 2013).

O ofuscamento pode ser causado não apenas por fontes de luz diretas, mas também por reflexões em superfícies especulares, como vidros ou superfícies metálicas, conhecidas como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido. Este fenômeno pode ser especialmente problemático em ambientes com iluminação exterior, onde a luz solar refletida em superfícies brilhantes pode causar ofuscamento inabilitador (ABNT, 2013).

Para minimizar os efeitos do ofuscamento, é essencial limitar a intensidade da luz emitida por fontes luminosas e controlar as reflexões em superfícies especulares. Isso pode ser alcançado através do uso de dispositivos de controle de luminosidade, como persianas, difusores ou filtros, e pela disposição cuidadosa das luminárias e janelas.

2.5.5 Procedimentos de Verificação

2.5.5.1 Iluminância Média ($\overline{E_m}$)

A iluminância é um aspecto fundamental no projeto e na avaliação de ambientes, especialmente em espaços de trabalho, educação, saúde e lazer. A garantia de níveis adequados de iluminação é essencial para o conforto visual e o desempenho das atividades realizadas nessas áreas.

O procedimento de verificação de iluminância consiste em três pontos principais:

1. Pontos de medição: A iluminância deve ser medida em pontos específicos em áreas relevantes. As leituras não podem ser inferiores aos valores calculados para o ponto em questão.
2. Iluminância média: A iluminância média deve ser calculada usando os mesmos valores medidos na mesma rede de pontos usada no cálculo do projeto. Além disso, o valor calculado não pode ser inferior ao especificado para a tarefa em questão.
3. Medições repetidas: Se forem realizadas medições repetidas, é necessário usar os mesmos pontos de medição para garantir consistência nos resultados.

Segundo a norma, para verificação das medições é necessário confeccionar a malha de cálculo para determinar as iluminâncias e uniformidades. O tamanho da malha pode ser definido pela Equação 6.

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad (6)$$

Onde:

- p é o tamanho da malha, expresso em metros (m);
- d é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m);

O número de pontos (n) é então estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação d para p (Equação 7).

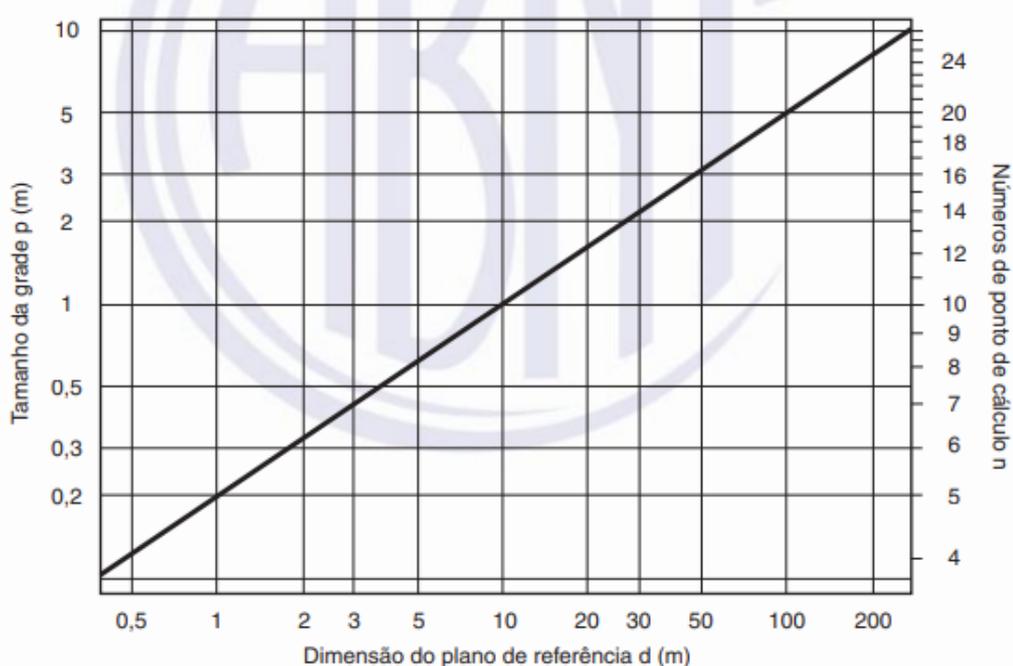
$$n = \frac{d}{p} \quad (7)$$

Os pontos serão pequenos retângulos aproximadamente quadrados, com os pontos de cálculo localizados em seus centros. A iluminância média é então calculada como a média aritmética

desses pontos. O tamanho da malha e o número de pontos são determinados com base na maior dimensão da área de referência, caso a relação de comprimento *versus* largura estiver entre 0,5 e 2, caso contrário a menor dimensão deve ser tomada como base para o estabelecimento do espaçamento entre os pontos da malha (ABNT, 2013).

Para superfícies não retangulares, como aquelas limitadas por polígonos irregulares, o dimensionamento da malha é realizado de maneira semelhante, usando um retângulo circunscrito e dimensionado adequadamente. Já para superfícies do tipo faixa, o dimensionamento da malha é baseado na dimensão da faixa em seu ponto mais largo, com considerações adicionais para garantir uma distribuição adequada dos pontos de cálculo. A Figura 21 demonstra a relação do tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência (ABNT, 2013).

Figura 21 – Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência.



Fonte: ABNT (2013).

2.5.5.2 Índice de Ofuscamento Unificado (UGR_L)

Os fabricantes de luminárias devem fornecer dados autênticos sobre o índice de ofuscamento unificado, conforme obtido pelo método tabular com um espaçamento de 1:1 em relação à altura (ABNT, 2013).

É de suma importância a comparação do *layout* da instalação e o acabamento das superfícies com as especificações do projeto. Isso sugere a necessidade de garantir que a instalação real do

sistema de iluminação corresponda às expectativas estabelecidas durante o processo de projeto (ABNT, 2013).

2.5.5.3 Índice de Reprodução de Cor (IRC)

É de responsabilidade dos fabricantes de lâmpadas em fornecer dados sobre o IRC para as lâmpadas utilizadas em um projeto específico. Portanto, ao selecionar e especificar lâmpadas para um projeto de iluminação, é essencial escolher lâmpadas que atendam aos requisitos mínimos. Essas medidas contribuem para garantir uma iluminação de qualidade e adequada às necessidades do ambiente e dos usuários (ABNT, 2013).

2.6 Ferramentas para análise de viabilidade econômica

2.6.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A taxa mínima de atratividade (TMA) é essencial para determinar a viabilidade econômica de projetos e investimentos. É a taxa de retorno mínima que um investidor ou empresa espera obter para considerar um investimento como atrativo. Em outras palavras, um projeto só é considerado rentável se oferecer uma taxa de retorno igual ou superior à TMA. Caso contrário, não justifica a alocação de capital nesse projeto específico (SOUZA et al., 2004).

A TMA é determinada com base no custo de capital da empresa ou nas taxas de mercado para investimentos comparáveis, refletindo o custo de oportunidade do capital investido. Isso significa que representa o retorno que poderia ser obtido em alternativas de risco similar (SOUZA et al., 2004).

2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é uma medida financeira que representa a diferença entre o valor presente das entradas de caixa (receitas) e o valor presente das saídas de caixa (custos e investimentos), descontados pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Essa taxa de desconto reflete o custo de capital da empresa ou o retorno mínimo exigido pelos investidores (SOUZA et al., 1997). A Equação 08, apresenta como o VPL é calculado.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_n}{(1+i)^t} \quad (08)$$

Onde:

- t = período (anos ou meses);
- n = tempo total do projeto (anos ou meses);
- i = Taxa Mínima de Atratividade (TMA);
- FC = fluxo de caixa por período.

Interpretação do VPL:

- $VPL > 0$: Indica que o investimento é economicamente atrativo, pois as entradas de caixa descontadas são maiores que as saídas de caixa descontadas.
- $VPL = 0$: O projeto é indiferente em termos econômicos, significando que as entradas de caixa são exatamente iguais às saídas de caixa em valor presente líquido.
- $VPL < 0$: Sinaliza que o investimento não é economicamente atrativo, pois as saídas de caixa descontadas são maiores que as entradas de caixa descontadas.

2.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma métrica financeira utilizada na análise de investimentos que representa a taxa de retorno esperada de um projeto de investimento. É calculada como a taxa de desconto que iguala o valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa de um projeto a zero (SOUZA et al., 1997). A Equação 09 apresenta como o TIR é calculado.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_n}{(1 + TIR)^t} = zero \quad (09)$$

Onde:

- t = período (anos ou meses);
- n = tempo total do projeto (anos ou meses);
- TIR = Taxa Interna de Retorno;
- FC = fluxo de caixa por período.

Interpretação da TIR:

- $TIR > TMA$: Indica que o investimento é economicamente atrativo;

- $TIR = TMA$: O projeto é indiferente em termos econômicos;
- $TIR < TMA$: Sinaliza que o investimento não é economicamente atrativo.

2.6.4 *Payback* descontado

O *Payback* Descontado calcula o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, considerando o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados por uma taxa de desconto específica, geralmente a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Em outras palavras, ao invés de simplesmente somar os fluxos de caixa futuros até recuperar o investimento inicial, como no *Payback* simples, o *Payback* Descontado leva em conta o custo de oportunidade do capital ao descontar esses fluxos de caixa (SOUZA et al., 1997).

2.7 Considerações finais

Neste capítulo, foram apresentados os principais conceitos relacionados a iluminação, que servirão como base para adequação da iluminação no local proposto, bem como os equipamentos utilizados para iluminação de ambientes. Foi apresentado o equipamento necessário para realização da medição da iluminância, conceito fundamental para verificação da conformidade com a norma. Foram apresentados os principais conceitos exigidos pela norma vigente, demonstrando quais ferramentas podem ser utilizadas na verificação da iluminação no local. Por fim, foram apresentadas as principais ferramentas utilizadas para análise de viabilidade econômica de um projeto.

3 METODOLOGIA PARA ADEQUAÇÃO LUMINOTÉCNICA

Neste capítulo, é demonstrada a metodologia utilizada para adequação luminotécnica do terminal rodoviário, como: os requisitos mínimos de iluminação exigidos pela norma, a malha de cálculo utilizada, a metodologia aplicada para medição da iluminância, as simulações dos cenários propostos e a viabilidade econômica da aplicação da adequação.

3.1 Requisitos mínimos de iluminação

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 não apresenta requisitos mínimos específicos para terminais rodoviários, portanto, foram utilizados os requisitos mínimos para o ambiente de aeroportos, pois possuem esses dois locais em comum. A Tabela 4 demonstra os requisitos mínimos adotados para os dois locais, sendo \overline{E}_m a iluminância média, UGR_L o índice de ofuscamento unificado e IRC o índice de reprodução de cores.

Tabela 4 – Requisitos mínimos para as áreas definidas, conforme norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.

Tipo de ambiente tarefa ou atividade	\overline{E}_m (lux)	UGR_L	IRC
Saguões de embarque e desembarque, áreas de entrega da bagagem	200	22	80
Saguão de compra de passagens e grandes espaços abertos para circulação de multidões	200	28	40

Fonte: Próprio autor.

Segundo a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, uma uniformidade planejada menor ou igual a 0,6 é o suficiente para garantir que uma uniformidade mínima de 0,7 seja observada nos locais de trabalho individuais, portanto, para os dois locais será considerada uma uniformidade mínima de 0,6.

3.2 Malha de cálculo

Para verificar se a iluminância média dos ambientes propostos atendem a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, foi necessário o cálculo do número de pontos necessários para medição de iluminância. Como os dois ambientes analisados não são retangulares, ou seja, são superfícies limitadas por polígonos irregulares, o tamanho da malha foi determinada através de um retângulo circunscrito e dimensionado, sendo considerado apenas os pontos de cálculo dentro

dos limites dos polígonos das superfícies de referência (ABNT, 2013). A Tabela 5 demonstra as medidas de comprimento e largura das duas áreas da tarefa.

Tabela 5 – Dimensões das áreas da tarefa.

Área	Descrição	Comprimento (m)	Largura (m)
1	Compra e venda de passagens	70,8	26,05
2	Embarque e desembarque	54,3	5

Fonte: Próprio autor.

Como os dois ambientes possuem diversas áreas da tarefa, uma faixa marginal de 0,5 m será considerada para cada um dos locais. Quando a superfície de referência tiver uma relação de comprimento *versus* a largura em 0,5 e 2, o tamanho da malha e o número de pontos podem ser determinados com base na maior dimensão da área de referência, caso essa definição não seja atendida, a menor dimensão deverá ser tomada como base. (ABNT, 2013). Mostra-se na Tabela 6 esta relação para os dois locais.

Tabela 6 – Relação entre comprimento e largura dos espaços.

Área	Descrição	Comprimento <i>versus</i> Largura
1	Compra e venda de passagens	2,72
2	Embarque e desembarque	10,86

Fonte: Próprio autor.

A relação de comprimento e largura nos dois casos não está no intervalo entre 0,5 e 2, portanto, para os dois locais foram considerados para cálculo da malha de medição a menor dimensão. Para o cálculo da malha foi utilizada a Equação (6), para o tamanho da malha, e a Equação (7), para determinar a quantidade de pontos da malha.

3.3 Medição dos pontos

Após o cálculo da malha, foram realizadas as medições dos pontos utilizando um luxímetro de modelo MLM-1001 da Minipa, calibrado em 04 de abril de 2024 pela empresa Onix Metrologia, com validade de um ano. O MLM-1001 é um mini-luxímetro digital que é amplamente utilizado em projetos de iluminação, com escala de 0 até 199.999 lux.

As medições foram realizadas após as 23:00 horas, momento em que o terminal rodoviário não possuía mais pessoas e foram utilizadas roupas escuras para evitar reflexões que gerassem dados inadequados. A metodologia aplicada para medição dos pontos pode ser descrita abaixo:

1. Cobertura do sensor para que aparecesse a medição de zero lux no visor;
2. Alinhamento com a altura de 0,75 m para medição;
3. Seleccionada a função MAX do sensor para que apenas a iluminância máxima fosse medida;
4. Retirada a cobertura do sensor para iniciar a medição;
5. Aguardado o tempo mínimo de 10 segundos para estabilização da medição;
6. Anotação da iluminância do ponto em uma prancheta.

3.4 Cálculo da Iluminância média e Uniformidade

Com todos os pontos medidos e anotados, fez-se necessário o cálculo da iluminância média e da uniformidade atual do terminal. Para o cálculo da iluminância média, foi utilizada a Equação 10 e para uniformidade a Equação 11. Em que, \overline{E}_m é a iluminância média e E_{min} a iluminância mínima medida.

$$\overline{E}_m(lux) = \frac{\sum \text{Iluminância de cada ponto da malha}}{\text{Número de pontos da malha}} \quad (10)$$

$$U = \frac{\overline{E}_m}{E_{min}} \quad (11)$$

3.5 Simulações no DIALux Evo

DIALux Evo é uma ferramenta avançada de *design* de iluminação desenvolvida pela empresa alemã DIAL GmbH. Este *software* é amplamente utilizado por profissionais da área de iluminação, incluindo arquitetos, designers de iluminação e engenheiros, para simular e projetar sistemas de iluminação eficientes e esteticamente agradáveis (MAGALHÃES, 2015). Existem outros *softwares* para projetos de iluminação, como o AGI32 e Relux, mas o DIALux Evo proporciona diversas vantagens ao designer de iluminação, incluindo a capacidade de utilizar luminárias de fabricantes de destaque e renomados, bem como a possibilidade de criar modelos do ambiente em 2D e 3D. Isso permite ao designer observar como a luz se comporta no espaço projetado (MELO, 2015).

Neste trabalho o programa foi utilizado para simular alguns casos, descritos abaixo:

- Simulação do sistema atual para verificação das medições;

- Simulação do sistema com a reposição de luminárias queimadas;
- Simulação do sistema com a troca da cor das paredes do terminal;
- Simulação do sistema com a substituição de luminárias de mesma potência, mas com fluxo luminoso maior;
- Simulação do sistema com a substituição de luminárias com maior potência e fluxo luminoso maior, mas com a diminuição da quantidade para análise de viabilidade econômica.

3.6 Análise de viabilidade econômica

Partindo da última simulação, foi feito o estudo de viabilidade econômica da adequação luminotécnica do terminal, dependendo de alguns fatores para escolha ou não do projeto. Com a adequação do sistema de iluminação, foi mensurado o quanto o terminal economizaria durante os anos com energia e com esse valor, foram aplicadas algumas ferramentas para verificação como:

- TMA (Taxa mínima de atratividade);
- VPL (Valor presente líquido);
- TIR (Taxa interna de retorno);
- *Payback* descontado.

3.7 Considerações finais

Neste capítulo, foram apresentadas as metodologias utilizadas para elaboração do projeto. Para os requisitos mínimos, foram adotados os mesmos utilizados na área de aeroportos, tendo em vista que a norma não apresenta dados para terminais rodoviários. Para malha de cálculo, foram apresentadas as considerações utilizadas seguindo as recomendações da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, bem como o passo a passo para realização das medições para preenchimento da malha. Foram listadas as simulações que foram aplicadas para verificação dos possíveis cenários para adequação a norma e as ferramentas utilizadas para análise de viabilidade econômica do projeto.

4 ESTUDO DE CASO

O terminal rodoviário de Guarapari fica localizado na cidade de Guarapari no estado do Espírito Santo. A rodoviária foi inaugurada em 2015 e é conhecida como RodoShopping Guarapari, destacando-se por ser a primeira rodoviária do Brasil completamente climatizada. Ela abriga mais de 20 lojas de diversos segmentos, uma lanchonete do *McDonald's* e possui nove guichês para emissão de bilhetes.

O terminal conta com 12 plataformas de embarque e desembarque, atendendo tanto linhas municipais quanto interestaduais. Durante a alta temporada, a rodoviária recebe um fluxo significativo de passageiros, estimando-se cerca de 200 mil pessoas, em contraste com aproximadamente 10 mil na baixa temporada.

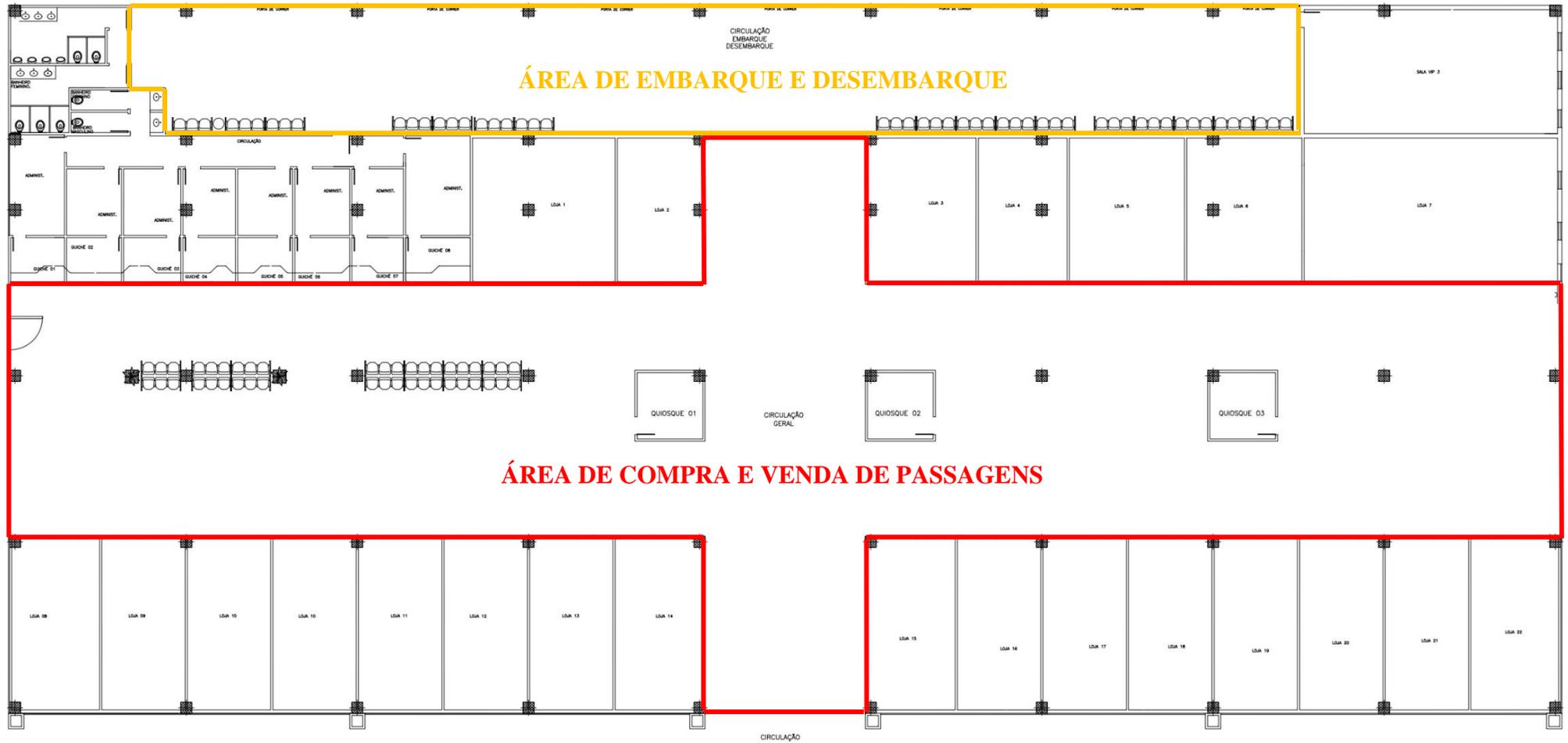
A localização estratégica da rodoviária e suas instalações modernas têm contribuído para o aumento do turismo na cidade de Guarapari, principal destino turístico do Espírito Santo. A infraestrutura adequada para atender muitos passageiros e as comodidades oferecidas têm potencializado o desenvolvimento econômico local.

Devido a limitação de autorização por parte da administradora do terminal, este trabalho foi desenvolvido em dois locais específicos, área de compra e venda de passagens e embarque e desembarque.

4.1 Sistema atual

A rodoviária de Guarapari possui um comprimento de 70,8 m e uma largura de 32 m, e a planta baixa da rodoviária é mostrada na Figura 22. Devido à falta de autorização pela administradora e empresas parceiras, o projeto de adequação limitou-se apenas as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque. O pé direito dos locais analisados é de 5 m.

Figura 22 – Planta baixa rodoviária de Guarapari.



Fonte: Rodoviária de Guarapari.

Conforme projeto, a área de compra e venda de passagens está disposta com 88 luminárias e a área de embarque e desembarque conta com 29 luminárias, totalizando 117 luminárias. Todas as luminárias são de LED e modelo DL252 G2, da Philips. Em inspeção realizada em abril de 2024, verificou-se que 6 lâmpadas da área de compra e venda de passagens estavam queimadas, como ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Luminárias queimadas.



Fonte: Próprio autor.

A Tabela 7 mostra as especificações das luminárias com base no catálogo do fabricante, considerando as perdas do *driver*.

Tabela 7 – Dados técnicos luminárias DL252 da Philips.

Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	UGR_L	IRC	Vida Útil (h)
24	2000	20	80	25000

Fonte: Philips.

Pode-se observar pela Tabela 7, que as 117 luminárias somadas, possuem uma carga de 2,81 kW. Analisando as Tabelas 4 e 7, a luminária atual atende a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 para os parâmetros de IRC e UGR_L nos dois locais. Para verificação da iluminância média, fez-se o dimensionamento das malhas de medição conforme descrito no item 6.2 do texto. Utilizando a menor dimensão para as duas áreas, aplicaram-se as Equações 6 e 7 para

determinar o tamanho da malha e o número de pontos, respectivamente. Por fim, multiplicaram-se a quantidade de pontos para as duas medidas e foram considerados os pontos apenas para as áreas delimitadas. A Tabela 8 apresenta os valores calculados para dimensão da malha (p), quantidade de pontos para comprimento (nC) e largura (nL) e número total de pontos.

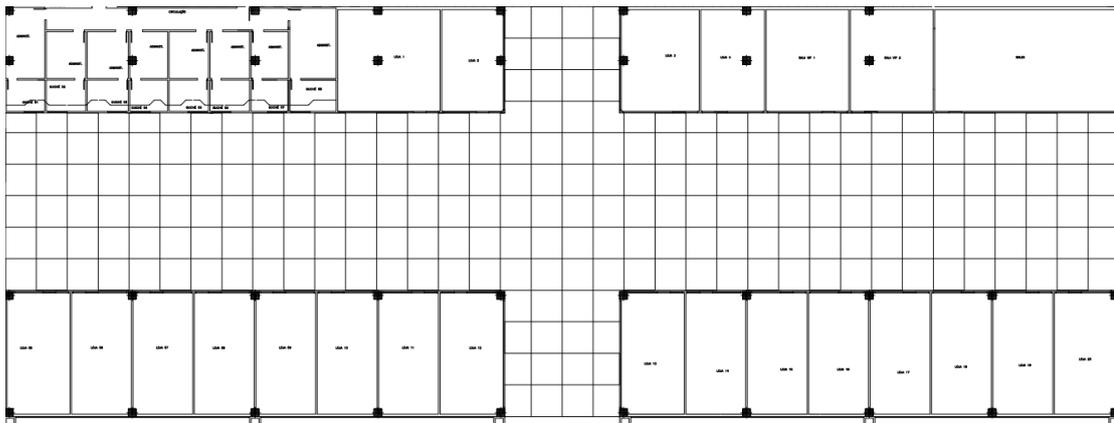
Tabela 8 – Dimensões das áreas, malha e quantidade de pontos.

Área	C (m)	L (m)	p (m)	nC	nL	Total de pontos
Compra e venda de passagens	70,8	26,05	1,95	36	13	244
Embarque e desembarque	54,3	5	0,62	88	8	695

Fonte: Próprio autor.

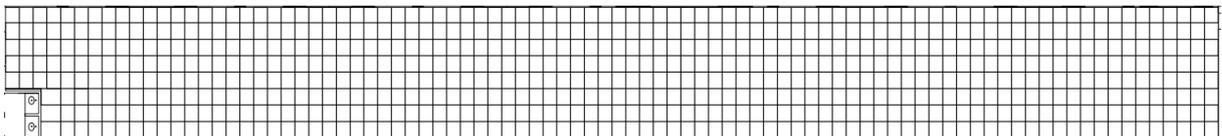
A partir dos cálculos realizados, a malha de pontos para medição foi ilustrada na planta baixa para os dois locais. As Figuras 24 e 25 apresentam as ilustrações das malhas da área de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente.

Figura 24 – Malha de pontos da área de compra e venda de passagens.



Fonte: Próprio autor.

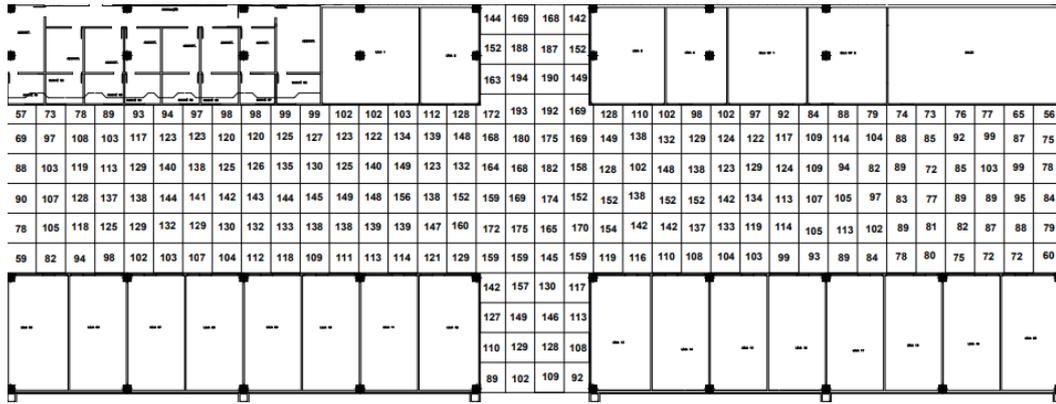
Figura 25 – Malha de pontos da área de embarque e desembarque.



Fonte: Próprio autor.

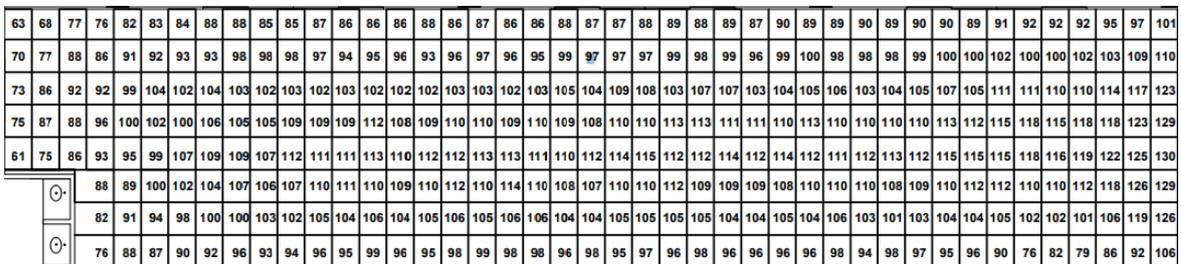
Com as medidas de iluminâncias coletadas conforme metodologia descrita no item 6.3, os pontos foram preenchidos nas plantas baixas e podem ser observadas nas Figuras 26, 27 e 28 para a área de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente. Para melhor visualização, a área de embarque e desembarque foi separada em duas figuras.

Figura 26 – Medidas de iluminância para área de compra e venda de passagens.



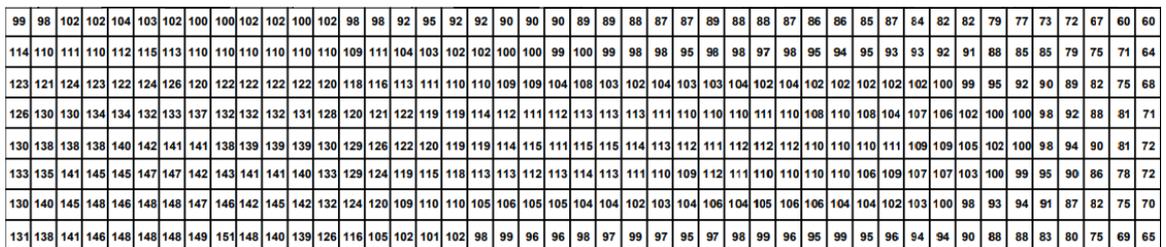
Fonte: Próprio autor.

Figura 27 – Medidas de iluminância para área de embarque e desembarque, parte 1.



Fonte: Próprio autor.

Figura 28 – Medidas de iluminância para área de embarque e desembarque, parte 2.



Fonte: Próprio autor.

A partir dessas medições, utilizando a metodologia descrita no item 6.4 do texto, fizeram-se os cálculos de iluminância média e uniformidade para as duas áreas estudadas. A Tabela 9 apresenta os valores de iluminância mínima ($E_{mín}$), iluminância máxima ($E_{máx}$), iluminância média ($\overline{E_m}$) e o fator de uniformidade (U).

Tabela 9 – Iluminâncias e uniformidade medidas no terminal rodoviário.

Áreas	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$\overline{E_m}$ (lux)	U
Compra e venda de passagens	56	195	120	0,47
Embarque e desembarque	60	151	105	0,57

Fonte: Próprio autor.

Observando a Tabela 9 é possível notar que nas duas áreas os valores de iluminância média e uniformidade não atenderam a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, levando em consideração os valores mostrados na Tabela 4.

4.2 Simulações

As simulações para os dois ambientes foram realizadas no *software* DIALux EVO versão 12.0. O DIALux EVO permite a simulação de ambientes internos e externos, contando com catálogos de produtos de diversas marcas. As luminárias utilizadas na simulação foram as de LED, modelo DL252 G2, RC461B e RC048B, todas da marca Philips. A Tabela 10, mostra os dados luminotécnicos para cada luminária, considerando as perdas do *driver*.

Tabela 10 – Dados técnicos das luminárias simuladas.

Luminárias	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	UGR_L	IRC	Vida Útil (h)
DL252 G2	24	2000	20	80	25000
RC461B	24	2800	22	80	50000
RC048B	36	3800	20	80	50000

Fonte: Philips.

É possível observar que as três luminárias atendem aos requisitos da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 para os itens de UGR_L e IRC. Para verificação das iluminâncias mantidas e uniformidade, os seguintes cenários foram simulados:

- Primeiro cenário: foram inseridas as 82 luminárias DL252 G2 para área de compra e venda de passagens e 29 luminárias DL252 G2 para área de embarque e desembarque, para que fossem comparados os resultados da medição e os resultados simulados;
- Segundo cenário: foram inseridas as 88 luminárias DL252 G2 para área de compra e venda de passagens e 29 luminárias DL252 G2 para área de embarque e desembarque, com o intuito de verificar o impacto da reposição das luminárias queimadas;
- Terceiro cenário: foram alteradas as cores das paredes das duas áreas para branca, para verificar o impacto na iluminância média dos locais.
- Quarto cenário: foram inseridas as 88 luminárias RC461B para área de compra e venda de passagens e 29 luminárias RC461B para área de embarque e desembarque, com o intuito de verificar os impactos ao aumentar o fluxo luminoso das luminárias.

- Quinto cenário: foram inseridas as 44 luminárias RC048B para área de compra e venda de passagens e 17 luminárias RC048B para área de embarque e desembarque, com o intuito de atender os requisitos mínimos da norma, buscando uma solução viável economicamente.

As Figuras 29 e 30, apresentam os dois locais em 3D no *software*. Para ser mais próximo possível do real, foram inseridas as mobílias existentes em suas devidas localizações e as cores das paredes, tetos e solos.

Figura 29 – Vista interna da área de compra e venda de passagens.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Figura 30 – Vista interna da área de embarque e desembarque.

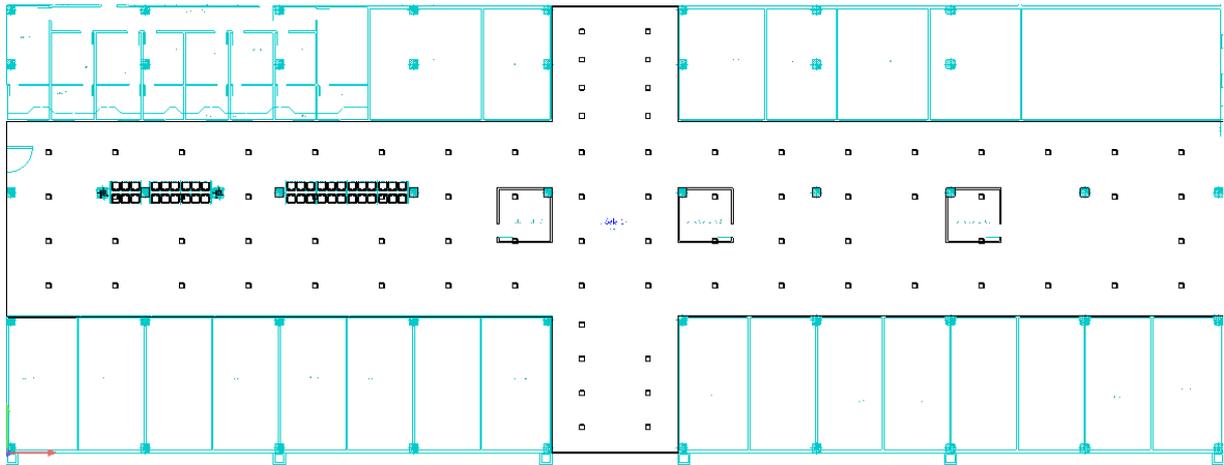


Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

4.2.1 Primeiro cenário

Para a primeira simulação, as luminárias foram posicionadas conforme o cenário atual da rodoviária, retirando da simulação as 6 luminárias queimadas na área de compra e venda de passagens. As Figuras 31 e 32 apresentam o posicionamento das luminárias simuladas para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente.

Figura 31 – Posição das luminárias para a primeira simulação na área de compra e venda de passagens.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Figura 32 – Posição das luminárias para a primeira simulação na área de embarque e desembarque.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

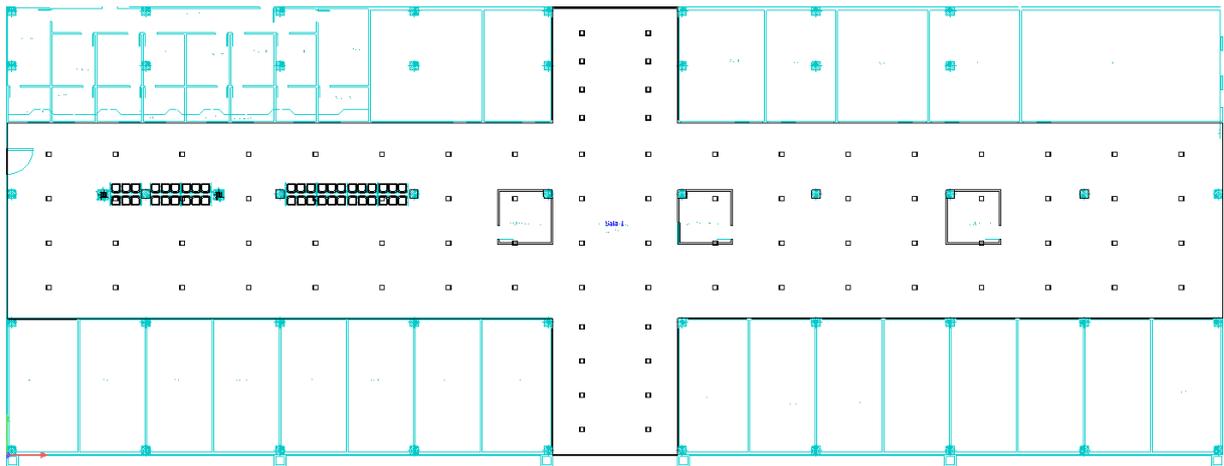
Mostram-se nas Figuras 33, 34 e 35 os pontos de iluminância simulados pelo *software*.

Com os dados obtidos na Tabela 11, pode-se observar que os valores medidos foram bem próximos dos valores simulados, obtendo uma diferença para iluminância média medida de 5% e 4% para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente, mostrando que os cuidados tomados no momento da medição foram cruciais para obterem-se dados fidedignos.

4.2.2 Segundo Cenário

Para a segunda simulação, foram inseridas as 6 luminárias queimadas para verificação da melhoria nos dados para área de compra e venda de passagens. Como não houve alteração nas luminárias da área de embarque e desembarque, esse cenário não inclui a simulação desta área. A Figura 36 mostra o posicionamento das luminárias simuladas na área de compra e venda de passagens.

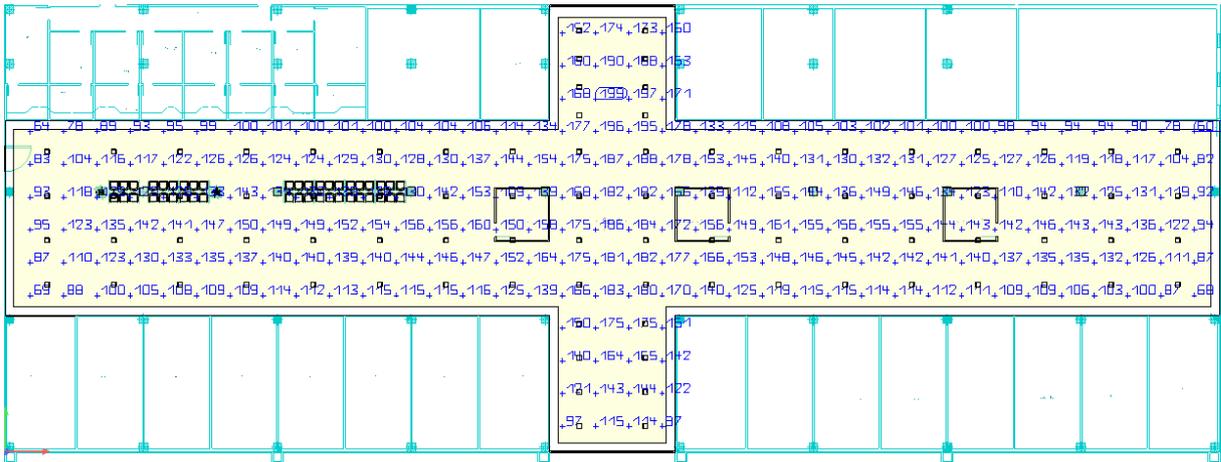
Figura 36 – Posição das luminárias para segunda simulação na área de compra e venda de passagens.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Mostra-se na Figura 37 os pontos de iluminância simulados pelo *software*.

Figura 37 – Pontos de iluminância para segunda simulação na área de compra e venda de passageiros.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

A Tabela 12 apresenta os valores de iluminância mínima ($E_{mín}$), iluminância máxima ($E_{máx}$), iluminância média ($\overline{E_m}$) e o fator de uniformidade (U), para a área de compra e venda de passageiros.

Tabela 12 – Resultados da segunda simulação.

Áreas	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$\overline{E_m}$ (lux)	U
Compra e venda de passageiros	54	200	135	0,40

Fonte: Próprio autor.

Observa-se pela Tabela 12 um aumento de aproximadamente 6% para iluminância média e 2,5% para o fator de uniformidade. Pode-se concluir que mesmo com a substituição das luminárias queimadas, o cenário não atende os requisitos mínimos da norma.

4.2.3 Terceiro cenário

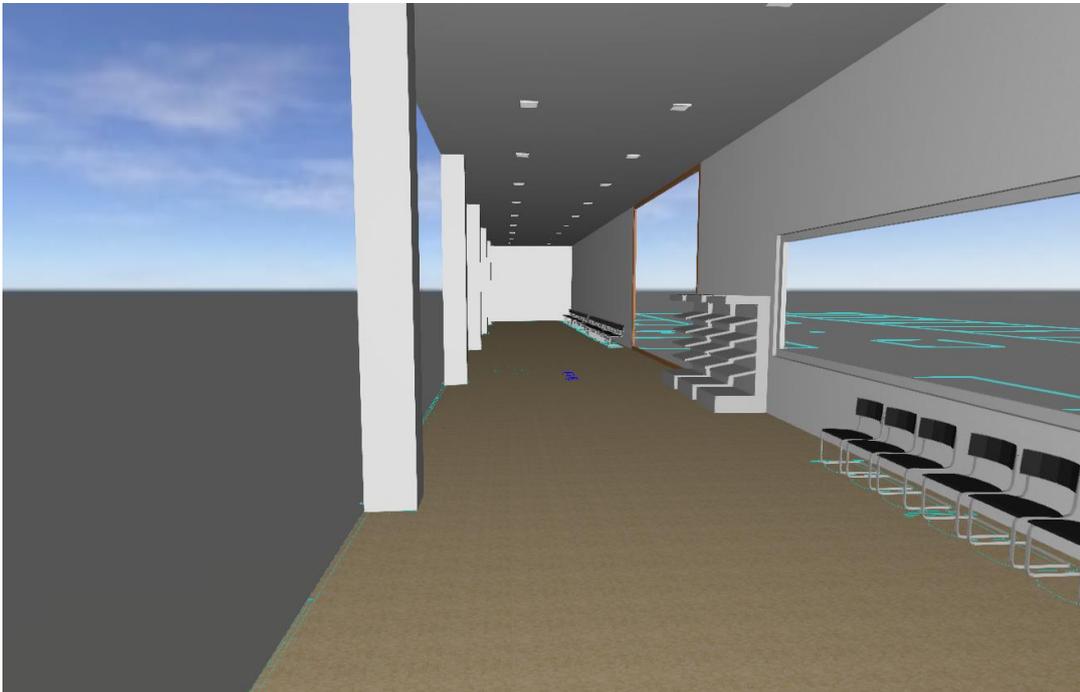
Para o terceiro cenário, foi proposta a troca das cores das paredes do terminal rodoviário para branca. Esta estratégia visa aumentar a iluminância média e o fator de uniformidade das áreas devido a maior reflexão da luz nesta cor de parede. As Figuras 38 e 39 mostram as paredes trocadas para cor branca nas áreas de compra e venda de passageiros e embarque e desembarque, respectivamente.

Figura 38 – Paredes na cor branca para área de compra e venda de passagens.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Figura 39 – Parede na cor branca para área de embarque e desembarque.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Mostram-se nas Figura 40, 41 e 42 os pontos de iluminância simulados pelo *software*.

Tabela 13 – Resultados da terceira simulação.

Áreas	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	\bar{E}_m (lux)	U
Compra e venda de passagens	102	244	174	0,59
Embarque e desembarque	74	180	125	0,59

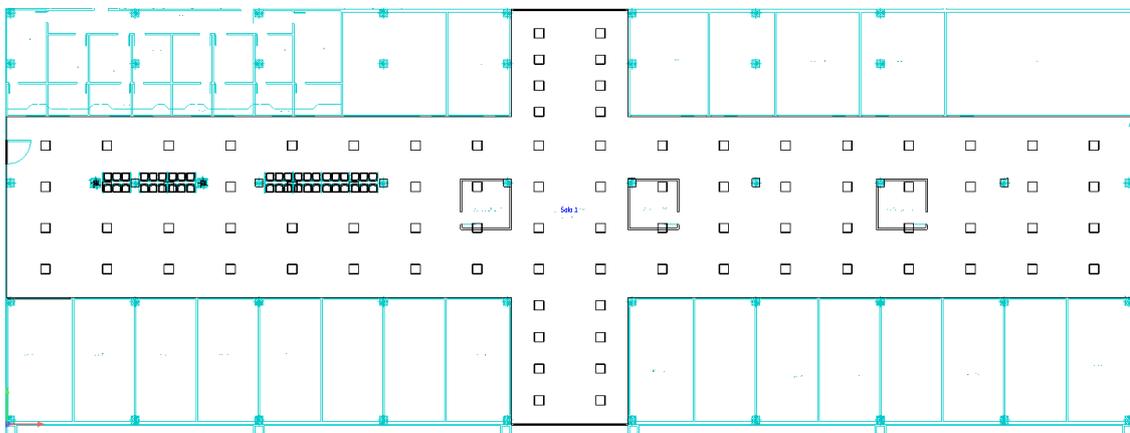
Fonte: Próprio autor.

Observa-se pela Tabela 13 um aumento considerável para as duas áreas estudadas, apresentando um aumento de 27% e 13% para as iluminâncias médias das áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente. Nota-se que as uniformidades para este cenário chegaram bem próximo ao mínimo requerido de 0,6. Mesmo com esses ganhos nesta simulação, os requisitos mínimos para iluminância e uniformidade não foram atendidos.

4.2.4 Quarto cenário

No quarto cenário, todas as luminárias DL252 G2 foram substituídas pelas luminárias RC461B, ambas da Philips. Neste caso, foram mantidas as quantidades atuais do terminal rodoviário, contando com 88 luminárias para área de compra e venda de passagens e 29 luminárias para área de embarque e desembarque, apresentando a mesma carga do cenário atual. As luminárias RC461B contam com um fluxo luminoso de 2800 lúmens, cerca de 30% a mais que as luminárias atuais. O intuito da simulação é verificar o impacto que esse aumento no fluxo luminoso gera nos parâmetros de iluminância média e fator de uniformidade dos locais. As Figuras 43 e 44 mostram as simulações para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente.

Figura 43 – Posição das luminárias para a quarta simulação na área de compra e venda de passagens.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

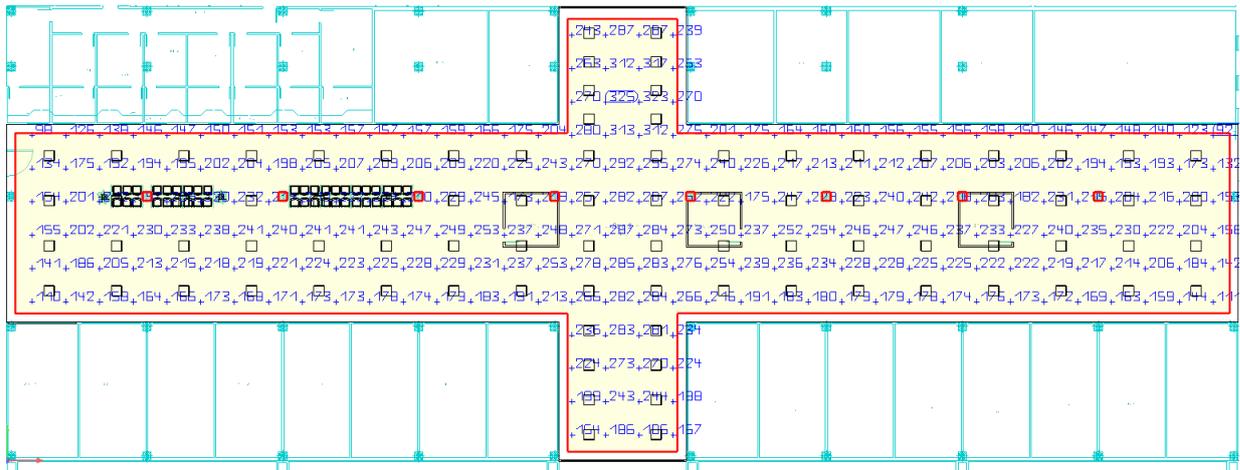
Figura 44 – Posição das luminárias para a quarta simulação na área de embarque e desembarque.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

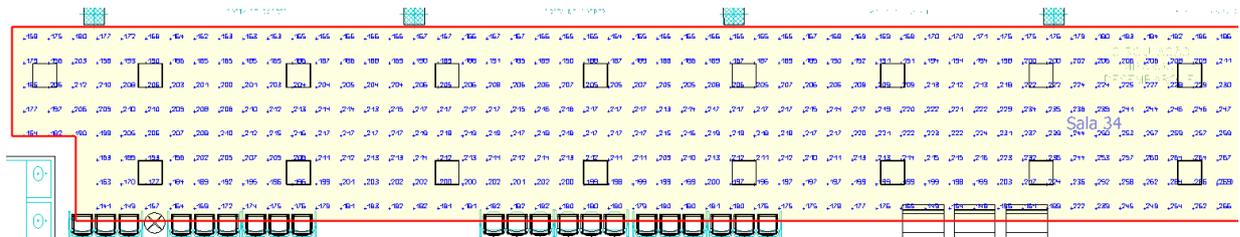
Mostram-se nas Figuras 45, 46 e 47 os pontos de iluminância simulados pelo software.

Figura 45 – Pontos de iluminância para a quarta simulação na área de compra e venda de passagens.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Figura 46 – Pontos de iluminância para a quarta simulação na área de embarque e desembarque, parte 1.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Figura 47 – Pontos de iluminância para a quarta simulação na área de embarque e desembarque, parte 2.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

A Tabela 14 apresenta os valores de iluminância mínima ($E_{mín}$), iluminância máxima ($E_{máx}$), iluminância média (\overline{E}_m) e o fator de uniformidade (U), para os dois locais simulados.

Tabela 14 – Resultados da quarta simulação.

Áreas	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	\overline{E}_m (lux)	U
Compra e venda de passagens	102	270	201	0,51
Embarque e desembarque	79	329	216	0,37

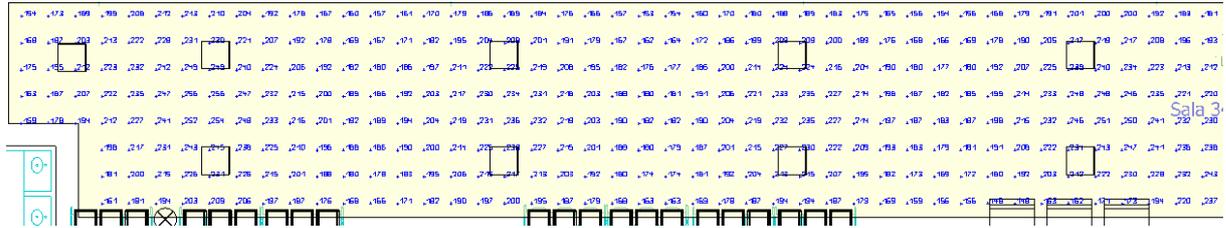
Fonte: Próprio autor.

Com os dados obtidos na Tabela 14, pode-se observar que para os dois locais os níveis de iluminância média atenderam a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, com um aumento, em relação ao segundo cenário, de 33% para área de compra e venda de passagens e 50 % para área de embarque e desembarque, mas não chegaram ao valor mínimo para o fator de uniformidade. Tal fato, se dá principalmente pela alocação das luminárias. No caso da área de compra e venda de passagens, 24 luminárias estão posicionadas no centro do local, proporcionando uma iluminância muito maior em relação ao restante, já para área de embarque e desembarque, onde as luminárias são mais bem distribuídas, o fator de uniformidade chega próximo ao valor mínimo exigido.

4.2.5 Quinto cenário

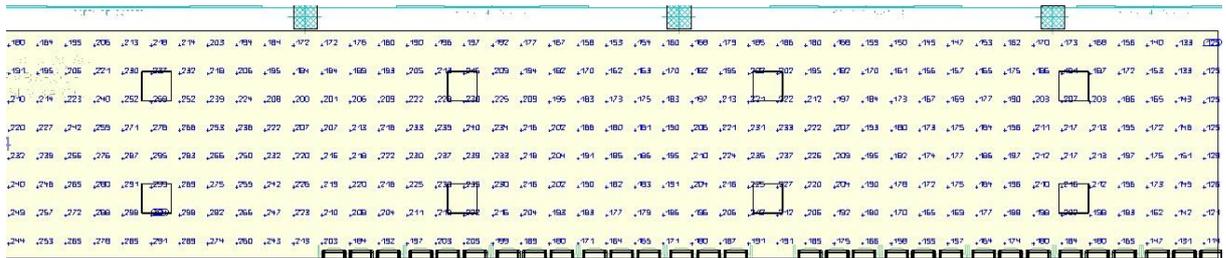
Visando atender as especificações mínimas da norma e trazer uma viabilidade econômica no projeto, a quinta simulação conta com a substituição das luminárias DL252 G2 pelas luminárias RC048B, ambas da Philips. Por possuir um fluxo luminoso de 3800 lúmens e uma potência maior em relação as luminárias atuais (36 W), foi possível diminuir a quantidade de luminárias para apenas 61 luminárias, sendo 44 luminárias para área de compra e venda de passagens e 17 para área de embarque e desembarque, diminuindo o valor da carga para 2,20 kW. Como a quantidade de luminárias diminuiu, um novo posicionamento foi feito, levando em consideração a uniformidade da distribuição, com a distância do centro das luminárias para a parede igual a metade das distâncias entre os centros das luminárias no eixo x e y (MAMEDE, 2017). As Figuras 48 e 49 mostram o posicionamento das luminárias simuladas para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente.

Figura 51 – Pontos de iluminância para a quinta simulação na área de embarque e desembarque, parte 1.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

Figura 52 – Pontos de iluminância para a quinta simulação na área de embarque e desembarque, parte 2.



Fonte: Captura de tela do DIALux EVO.

A Tabela 15 apresenta os valores de iluminância mínima ($E_{mín}$), iluminância máxima ($E_{máx}$), iluminância média (\overline{E}_m) e o fator de uniformidade (U), para os dois locais simulados

Tabela 15 – Resultados da quinta simulação.

Áreas	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	\overline{E}_m (lux)	U
Compra e venda de passageiros	128	320	210	0,61
Embarque e desembarque	125	300	201	0,62

Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados da Tabela 15, pode-se observar que os valores de iluminância média e fator de uniformidade foram atendidos para as duas áreas. Em relação a iluminância média do segundo cenário, a área de compra e venda de passageiros obteve um aumento de 36%, enquanto a área de embarque e desembarque 46%.

4.3 Viabilidade econômica

Considerando os modelos apresentados anteriormente, foi feita uma análise da viabilidade econômica da implementação da proposta de substituição da iluminação atual. O cenário proposto para análise de viabilidade econômica foi a quinta simulação apresentada anteriormente. A metodologia aplicada consiste em avaliar o custo anual com energia que o

terminal tem com o cenário atual e comparar com o custo anual do cenário proposto. Nesta análise, entraram os custos com materiais e mão de obra necessária para implementação.

4.3.1 Gastos com energia

O terminal rodoviário de Guarapari, conta com uma alimentação de 13,8 kV proveniente da EDP, se enquadrando no tipo de atendimento do grupo A, subgrupo A4 e modalidade tarifária verde. O faturamento do cliente do grupo A é baseado na aplicação de uma tarifação binômia, composta por duas grandezas: consumo (kWh) e demanda (kW). A Tabela 16, demonstra a tarifa vigente, pela EDP, para o ano de 2024 no atendimento e modalidade tarifária do terminal rodoviário, com impostos.

Tabela 16 – Tarifa grupo A, subgrupo A4 e modalidade tarifária verde, com impostos.

R\$/kW	TUSD		Ponta		Fora Ponta	
	Ponta	Fora Ponta	TE	TUSD + TE	TE	TUSD + TE
	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
40,19325	1,61618	0,15446	0,58387	2,20006	0,37020	0,52466

Fonte: EDP Espírito Santo.

O cenário atual da rodoviária conta com 117 luminárias DL252 G2 da Philips de 24 W, já o cenário proposto, conta com 61 luminárias RC048B da Philips com 26 W, valores considerados com as perdas do *driver*. O terminal rodoviário funciona todos os dias do ano das 6:00h às 23:00h, totalizando 17h por dia de consumo. A Tabela 17, demonstra o consumo anual atual e do cenário proposto, para os horários de ponta e fora ponta, bem como a demanda anual para o sistema de iluminação das duas áreas analisadas no trabalho.

Tabela 17 – Consumo e demanda anuais atual e proposto do terminal rodoviário.

Atual			Proposto		
Ponta (kWh)	Fora Ponta (kWh)	Demanda (kW)	Ponta (kWh)	Fora Ponta (kWh)	Demanda (kW)
3074,76	14348,88	33,70	2404,62	11221,56	26,35

Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados apresentados pelas Tabelas 16 e 17, pode-se estimar os custos anuais com energia elétrica para cada cenário, como mostrado na Tabela 18.

Tabela 18 – Comparativo dos custos anuais atual e proposto.

Custo Atual (R\$/ano)	Custo Proposto (R\$/ano)	Economia (R\$/ano)
15647,39	12237,06	3410,33

Fonte: Próprio autor.

Anualmente acontece o reajuste de energia elétrica, chamado de reajuste tarifário anual, segundo dados obtidos no site da EDP, a média do reajuste nos anos de 2019 a 2023 foi de 5,6%, portanto, este reajuste será utilizado para o cálculo do gasto com energia elétrica com o passar dos anos.

4.3.2 Gastos com implementação

Para o levantamento dos gastos com a implementação do cenário proposto, foram considerados os custos de aquisição das luminárias, das placas de *drywall* do teto do terminal e o custo da mão de obra especializada para substituição e instalação do novo sistema.

A luminária RC048B, pode ser encontrada no mercado brasileiro pelo valor de R\$ 179,00 e as placas de *drywall* 120 cm x 180 cm, por R\$ 35,90. A luminária RC048B possui dimensão de 62 cm x 62 cm e a luminária DL252 G2 possui dimensão de 30 cm x 30 cm, neste caso, as placas de *drywall* que possuem as luminárias existentes, podem ser reaproveitadas para instalação das novas luminárias, portanto, será necessária a aquisição de 56 placas, devido a diminuição do número de luminárias no sistema proposto.

Para estimativa do custo com mão de obra especializada, foi consultada a empresa ESP Engenharia, que realiza serviços de elétrica de pequeno e grande porte. Como a rodoviária funciona todos os dias do ano, o horário para substituição das luminárias será das 23:00h às 06:00h, mesclando durante os dias de implantação o funcionamento das novas luminárias com as luminárias antigas, até a substituição total. O custo diário de um eletricista para instalação do projeto, com os adicionais noturno e periculosidade, é de R\$ 114,16, sendo necessária a utilização de dois eletricistas durante 15 dias úteis. Nos primeiros 10 dias úteis, as luminárias da área de compra e venda de passagens, serão substituídas, seguidas pelas luminárias da área de embarque e desembarque para os 5 dias úteis restantes. A Tabela 19, demonstra os gastos da implementação do cenário proposto.

Tabela 19 – Custos de implementação do cenário proposto.

	Custo (R\$)
Luminárias RC048B	10919,00
Placas <i>drywall</i>	2010,40
Mão de Obra Especializada	3424,91
Total	16354,31

Fonte: Próprio autor.

4.3.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Por se tratar de um indicador muito importante na economia brasileira, que determina a taxa de juros, qualquer investimento abaixo da SELIC passa a não ser tão interessante, portanto, neste trabalho foi utilizada esta taxa como TMA, que atualmente é de 10,5% ao ano.

4.3.4 Valor Presente Líquido (VPL)

Levando em consideração que as luminárias RC048B da Philips possuem uma vida útil de 50000 horas, o tempo total do projeto pode ser definido como a vida útil das luminárias representada em anos. O terminal rodoviário funciona durante 17h por dia durante todos os dias do ano, portanto, o tempo de vida útil das luminárias em anos e consequentemente o tempo total do projeto é de 8 anos. A Tabela 20 apresenta os resultados do VPL para o cenário proposto neste projeto, considerando um período de 8 anos, à 10,5%.

Tabela 20 – Cálculo do VPL do investimento.

	VPL
Cenário proposto	R\$ 4364,62

Fonte: Próprio autor.

É possível verificar que o VPL para o cenário proposto foi positivo, portanto, o investimento é economicamente atrativo.

4.3.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Tabela 21 apresenta os resultados da TIR para o cenário proposto neste projeto, considerando um período de 8 anos.

Tabela 21 – Cálculo da TIR do investimento.

	TIR
Cenário proposto	18%

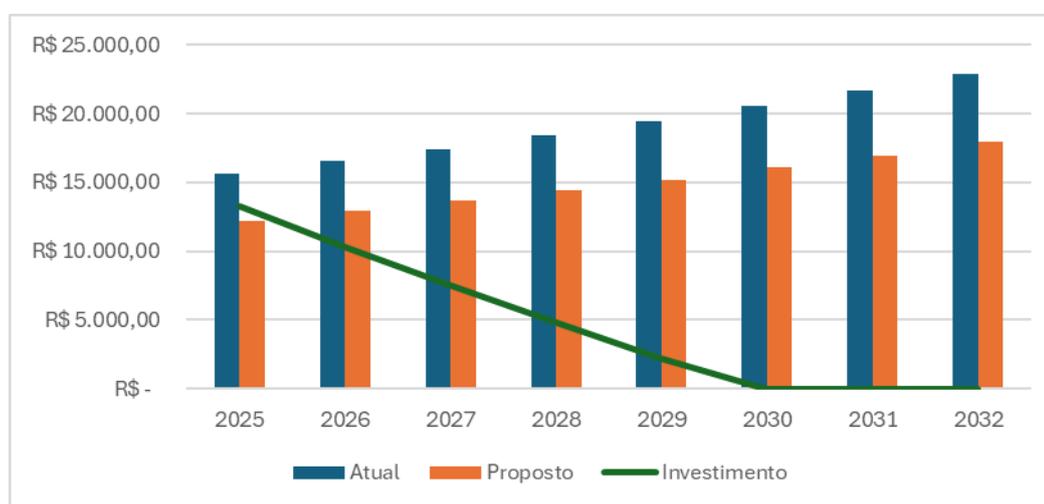
Fonte: Próprio autor.

É possível verificar que a TIR para o cenário proposto foi maior que a TMA, portanto, o investimento é economicamente atrativo.

4.3.6 Payback Descontado

O Gráfico 1 apresenta o retorno de investimento do cenário proposto.

Gráfico 1 – Retorno de investimento.



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 1 apresenta os gastos com energia no sistema atual e proposto do terminal rodoviário, sendo aplicado ao longo dos anos o reajuste tarifário anual de 5,6%. Pode-se observar que em aproximadamente 6 anos, o investimento feito na aquisição do novo sistema, será pago e passará a gerar lucro para o terminal rodoviário nos últimos dois anos de vida útil do novo sistema de iluminação.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusão

O objetivo principal deste trabalho foi propor uma análise do cenário atual do terminal rodoviário da cidade de Guarapari e avaliar o seu atendimento aos requisitos mínimos da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, utilizando os métodos propostos por ela. Tal iniciativa é motivada pela frequente reclamação dos usuários do terminal em relação a iluminação interna. Foram discutidos assuntos relacionados aos conceitos básicos de luminotécnica, equipamentos de iluminação, equipamentos de medição e a norma vigente na elaboração de projetos e verificação de sistemas de iluminação. A principal metodologia utilizada foi a simulação de diferentes cenários para verificação da conformidade com a norma.

O primeiro cenário simulado mostrou que os valores medidos foram satisfatórios, tendo em vista que houve uma diferença de menos que 4% e 3%, nos valores de iluminância média, para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente.

A segunda simulação mostrou que mesmo com a reposição das luminárias queimadas, os níveis de iluminância média para a área de compra e venda de passagens não foi atendida, chegando a alavancar o nível em 6%, em relação ao primeiro cenário, mostrando que as luminárias DL252 G2 da Philips não atendem os requisitos mínimos da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.

A terceira simulação mostrou que a simples mudança de cores das paredes aumenta consideravelmente os níveis de iluminância dos locais. O cenário atual do terminal conta com paredes marrom escuro para área de compra de passagens e bege para área de embarque e desembarque, o que diminui a eficiência luminosa das luminárias. Apresentando um aumento, em iluminância média, de 27% e 13%, em relação ao segundo cenário, para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque respectivamente, tais níveis ainda não foram satisfatórios para cumprimento da norma.

A quarta e quinta simulação apresentaram níveis de iluminância média em conformidade com a norma. No quarto cenário, as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque apresentaram ganhos de 33% e 50% respectivamente, em relação ao segundo cenário, mas não conseguiram atingir o fator de uniformidade mínimo de 0,6. A quinta simulação apresentou um aumento de 36% e 46%, em iluminância média para o segundo cenário, para as áreas de compra e venda de passagens e embarque e desembarque, respectivamente. Com a diminuição e realocação das luminárias, para a quinta simulação, os

níveis de fator de uniformidade foram atendidos, além de trazerem uma economia no consumo de energia, tendo em vista, que a demanda em kW do terminal, em relação a iluminação destes locais, diminuiu de 2,81 kW, com as 117 luminárias DL252 G2, para 2,20 kW, com as 61 luminárias RC048B.

Por fim, foi analisada a viabilidade econômica do quinto cenário proposto, utilizando ferramentas essenciais para aceitação do projeto. Com a diminuição das luminárias e consequentemente o consumo, foi possível observar uma economia de R\$ 3410,33 no gasto com energia elétrica anual. Ao longo da vida útil das luminárias RC048B, foi possível comprovar uma economia de R\$ 4364,62 em um período de 8 anos, apresentando um retorno de investimento em aproximadamente 6 anos, tornando-se um projeto viável. Além de apresentar uma TIR superior a TMA, onde o projeto proposto irá gerar um retorno anual de 18%.

5.2 Trabalhos futuros

Como mencionado nos objetivos, este trabalho propôs uma adequação do sistema de iluminação do terminal rodoviário de Guarapari, recomenda-se para trabalhos futuros a utilização de um local que pudesse ser analisado como um todo, tendo em vista as limitações impostas na elaboração deste trabalho. Realizar também medições com diferentes tipos de instrumentos para verificar os impactos. Por fim, utilizar *softwares* de projetos de iluminação diferentes, para apresentar as principais diferenças entre eles.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Wellington Rocha, et al. **Projeto luminotécnico no contexto de eficiência energética – estudo de caso**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382: Verificação de iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, p. 4. 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, p. 13. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO/CIE 8995-1: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, p. 54. 2013.

BULLER BERTUZZI, Felipe. **A influência da iluminação pública na segurança urbana noturna**. Paisag. Ambiente: Ensaios, São Paulo, ano 2021, v. 32, n. 48, p. 1-13, 21 set. 2020. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/download/174975/176102/517467>. Acesso em: 12 dez. 2023.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais: Conforme Norma NBR 5410:2004**. 21 edição. São Paulo: Érica, 2011.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16 ed. (atualização e revisão de L. S. Costa). Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ENGPLANILHAS. **Temperatura de cor e lúmen de lâmpadas: como escolher o ideal**. 2020. Disponível em: <https://engplanilhas.com.br/temperatura-de-cor-e-lumen-de-lampadas-como-escolher-o-ideal/>. Acesso em: 03 fev. 2024.

FATORNOBRE. **Iluminação Externa: O que você precisa saber**. 2021. Disponível em: <https://fatornobre.com.br/iluminacao-externa-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 03 fev. 2024.

FERREIRA, Lorenna da Silva. **Estudo da iluminação artificial em ambientes hospitalares: projeto luminotécnico do hospital municipal de Paulo Afonso**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal da Bahia, Paulo Afonso, 2019.

FOLSTER, Leandro; MADRUGA, Gabriel; FERREIRA, Fernanda; STEFENON, Stéfano. **Estudo Sobre a Eficiência no Sistema de Iluminação em Salas de Aula (UNIPLAC)**. Revista Espacios, Vol. 37, Nº 21, p. 24, 03, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n21/16372124.html>. Acesso em: 25 jul. 2024.

G20BRASIL. **O que são lâmpadas halógenas?** 2016. Disponível em: <https://www.g20brasil.com.br/o-que-sao-lampadas-halogenas/>. Acesso em: 03 fev. 2024.

GUEDES, JEMIMA; DA SILVA FERREIRA, Lorena; DOS SANTOS PEREIRA, Jadiel. **Estudo luminotécnico em um trecho da avenida fraga maia em Feira de Santana – BA.** Scientia: Revista Científica Multidisciplinar, v. 8, n. 1, p. 112-136, 2023. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/15352/11031>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GUERRINI, Délio Pereira. **Iluminação - Teoria e Projeto.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

INMETRO. **Lâmpada LED - cartilha.** 2016

ITAIM Iluminação. **Catálogo LED 2016-2017,** 2016.

LEDYI. **Um guia completo para drivers de LED.** 2022. Disponível em: <https://www.ledylighting.com/pt/a-complete-guide-to-led-drivers/>. Acesso em: 14 jul. 2024.

LITELEDS. **O que diz a norma ABNT NBR ISO 8995?** 2022. Disponível em: <https://www.liteleds.com.br/o-que-diz-a-norma-abnt-nbr-iso-8995/>. Acesso em: 04 fev. 2024.

MAGALHÃES, Lúcio Antônio Pereira. **Análise técnica da utilização de luminárias com tecnologia LED em sistemas de iluminação de aeroportos.** 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Regulação da Indústria de Energia) – Departamento de Engenharia Elétrica, UNIFACS, Salvador, 2015.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MELO, Yuri Ribeiro da Cruz. **Utilização de software avançado para projetos de iluminação.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

MOREIRA, V. A. **Iluminação Elétrica.** 1999. 1 ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.

NOVVALIGHT. **Saiba a importância da curva fotométrica em projetos luminotécnicos.** 2020. Disponível em: <https://novvalight.com.br/blog/tecnologia-led/importancia-da-curva-fotometrica-em-projetos-luminotecnicos/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

OSRAM. **Manual luminotécnico prático.** 2013. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/manual-luminotecnico-pratico.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

POWERLUMEN. **Lúmen, Candela e Lux, conceitos básicos.** 2020. Disponível em: <https://www.powerlume.com.br/lumen-candela-e-lux-conceitos-basicos/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

PROCEL. **Manual de iluminação.** Rio de Janeiro: PROCEL/ELETOBRAS, 2002. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4527075/mod_resource/content/1/Manual_Iluminacao.pdf Acesso em: 12 dez. 2023.

QUALIDADEONLINE. **As lâmpadas incandescentes vão sair do mercado em 2016.** 2011. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2011/02/15/as-lampadas-incandescentes-vaio-sair-do-mercado-em-2016/>. Acesso em: 03 fev. 2024.

ROMANI, Tula Kirst. **Iluminação em Centros Cirúrgicos em Cuiabá: Estudo de Caso.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

SÉCULO DIÁRIO. **Moradores rejeitam decisão que obriga uso do Rodoshopping em Guarapari** 2018. Disponível em <https://www.seculodiario.com.br/cidades/moradores-rejeitam-decisao-que-obriga-uso-do-rodoshopping-em-guarapari>. Acesso em: 03 jan. 2024

SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 23., 2018, Cruz Alta. **Anais [...].** Cruz Alta: Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, 2018. 9 p. Tema: Lâmpadas Domésticas.

SOBREIRA, Sandro Geraldo Alves. **Eficiência energética aplicada a iluminação.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SOUSA, Pedro Ivo C. **A Eficiência Energética e o Compromisso do Bem-estar e Segurança em Instituições Hospitalares.** Dissertação de mestrado, Universidade do Porto em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Portugal, 2014.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

UNILUMI. **O que é Lâmpada de Descarga?** 2023. Disponível em: <https://unilumi.com.br/glossario/o-que-e-lampada-de-descarga/>. Acesso em: 04 fev. 2024.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO LUXÍMETRO MLM-1001

A Tabela 22 apresenta a especificação técnica do luxímetro utilizado no projeto.

Tabela 22 – Especificação técnica do luxímetro MLM-1001 da Minipa.

Faixa de Medida	0 a 199,999 LUX
Sensor	Fotodiodo de Silício
Tempo de Resposta	0,5 s
Precisão Básica	20% + 8D
Alimentação	3x1,5V AAA
Dimensões (mm)	160x50x28/118

Fonte: MINIPA (2024).