



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências

Campus de Rosana

BEATRIZ LUISA ROSA GODINHO DE RESENDE

**MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO: SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS DE
VAPOR DE SÓDIO POR *LEDs* COMO ESTRATÉGIA DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NA USINA HIDRELÉTRICA PORTO PRIMAVERA**

Rosana - SP

2023

BEATRIZ LUISA ROSA GODINHO DE RESENDE

**MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO: SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS DE
VAPOR DE SÓDIO POR *LEDs* COMO ESTRATÉGIA DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NA USINA HIDRELÉTRICA PORTO PRIMAVERA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenadoria de Curso de
Engenharia de Energia do Campus
Experimental de Rosana, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos requisitos
para obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de Energia.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco Resende
da Silva

Rosana - SP

2023

R433m Resende, Beatriz Luisa Rosa Godinho de
Modernização da iluminação: Substituição de luminárias de vapor de sódio por LEDs como estratégia de eficiência energética na Usina Hidrelétrica Porto Primavera / Beatriz Luisa Rosa Godinho de Resende. -- Rosana, 2023
85 p.
Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientador: José Francisco Resende da Silva
1. LED. 2. Eficiência Energética. 3. Dialux Evo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



BEATRIZ LUISA ROSA GODINHO DE RESENDE

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. LEANDRO FERREIRA PINTO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ FRANCISCO RESENDE DA SILVA
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. KLEBER ROCHA DE OLIVEIRA
UNESP-Rosana

Prof. Dr^a. MARIA CLAUDIA C. DE OLIVEIRA BOTAN
UNESP-Rosana

Novembro de 2023

Dedico este trabalho de modo especial
aos meus amados avôs Manoel Rosa e Luiza Corrêa Rosa (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pois até aqui a tua mão me guiou e me sustentou. Agradeço à Virgem Maria, que sempre passou à frente, abrindo portas e porteiras, acalmando e serenando o meu coração.

Em especial, agradeço às quatro mulheres da minha vida com quem compartilho esse sonho:

À minha mãe, Claudia Maria Rosa, meu porto seguro, minha melhor amiga e maior incentivadora nesta vida. Com seu grande amor, sempre me protegeu e nunca hesitou em fazer esforços para que eu chegasse até aqui e realizasse esse sonho.

À minha segunda mãe, minha avó Luiza Corrêa Rosa (*in memoriam*), que sempre será a minha estrela guia nesta vida, sendo minha maior referência de amor, força, zelo, valores e fé. À minha madrinha Rosimeire Rosa, que sempre me transmitiu exemplos de coragem, amor e perseverança, apoiando-me em todos os momentos.

À minha irmã Constança Rosa, por todo o amor e apoio.

Agradeço também aos homens da minha vida:

Ao meu avô Manoel Rosa (*in memoriam*) por ter sido um pai para mim e por ser minha referência de amor, sabedoria, zelo e honestidade.

Ao meu padrinho Aguinaldo Rosa, por todo o amor e incentivo.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Francisco Resende, pelos ensinamentos e contribuições para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os grandes professores que tive a honra de ter como aluna. Obrigada a todos pela paciência, dedicação e por todos os ensinamentos profissionais e pessoais transmitidos, que levarei para a vida.

Agradeço ao meu amigo de estágio Matheus Conceição, que de bom coração contribuiu para a realização deste trabalho.

Aos meus queridos amigos, Amanda Midori, Noemy Ramires, Dênis Hernandes e Victor Ferreira, pelo apoio, companheirismo, conforto emocional e lealdade.

À Companhia Energética de São Paulo – CESP, por disponibilizar os dados necessários para a realização do estudo de caso, em especial aos meus colegas de trabalho das equipes de O&M e os meus gestores Alex Canônico e José Estevam Alcamim.

Aos colaboradores da FEC UNESP, pela dedicação e apoio ao longo de todos esses anos.

Agradeço o acesso ao ensino público de qualidade, que sempre fez parte da minha trajetória. Expresso minha gratidão também ao Programa de Auxílio Permanência Estudantil, que sempre me ajudou e foi de grande valia.

A todos a minha eterna gratidão!

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

Martin Luther King

RESUMO

Com o passar dos anos, usinas hidrelétricas, indústrias e residências têm adotado práticas mais eficientes e investido em eficiência energética. Isso envolve o uso de iluminação mais eficiente e durável para promover a economia de energia e a redução de custos. Embora algumas usinas hidrelétricas não sejam tarifadas pelo consumo interno devido à presença do serviço auxiliar, a redução desse consumo (em kWh) aprimora sua eficiência, uma vez que a energia não consumida pode ser comercializada, total ou parcialmente. O objetivo deste trabalho é analisar o sistema de iluminação da Usina Hidrelétrica Porto Primavera, avaliando a viabilidade da instalação de lâmpadas LED e determinando os parâmetros luminotécnicos e econômicos do projeto. A simulação realizada com o *software* Dialux Evo validou as diretrizes das normas ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, contribuindo para uma análise precisa do sistema de iluminação atual e proposto. Após essa análise, foi possível medir o fluxo luminoso do ambiente, permitindo a avaliação do desempenho do sistema atual de iluminação da usina. Dessa forma, propôs-se a substituição das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão por refletores de Diodos Emissores de Luz (*LEDs*), visando a redução no consumo de eletricidade, o aumento da eficiência energética e a melhoria da qualidade visual no ambiente de trabalho, de acordo com os parâmetros da NBR ISO/CIE 8995-1. Os resultados desse trabalho possibilitaram quantificar a energia economizada ao utilizar sistemas de iluminação mais eficientes, com uma redução de 58,52% no consumo anual de energia do sistema de iluminação da UHE Porto Primavera.

PALAVRAS-CHAVE: LED. Eficiência Energética. Hidrelétrica. Dialux Evo.

ABSTRACT

Over the years, hydroelectric power plants, industries, and residences have adopted more efficient practices and invested in energy efficiency. This involves the use of more efficient and durable lighting to promote energy savings and cost reduction. Although some hydroelectric power plants are not billed for internal consumption due to the presence of auxiliary services, reducing this consumption (in kWh) enhances their efficiency, as the unused energy can be fully or partially commercialized. The aim of this study is to analyze the lighting system of the Porto Primavera Hydroelectric Power Plant, assessing the feasibility of installing LED lamps and determining the lighting and economic parameters of the project. The simulation conducted with Dialux Evo software validated the guidelines of the ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 standards, contributing to a precise analysis of the current and proposed lighting systems. Following this analysis, it was possible to measure the luminous flux of the environment, allowing the evaluation of the performance of the current lighting system of the power plant. Thus, the proposal is to replace high-pressure sodium vapor lamps with Light Emitting Diode (LED) reflectors, aiming to reduce electricity consumption, increase energy efficiency, and improve visual quality in the work environment, following the parameters of the NBR ISO/CIE 8995-1. The results of this study enabled the quantification of energy saved by using more efficient lighting systems, with a 58.52% reduction in the annual energy consumption of the lighting system at the Porto Primavera Hydroelectric Power Plant.

KEYWORDS: LED. Energy Efficiency. Hydroelectric. Dialux Evo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - UHE Porto Primavera Divisa entre Rosana (SP) e Bataiporã (MS).....	21
Figura 2 - Diagrama do Serviço Auxiliar de Iluminação da UHE Porto Primavera	23
Figura 3 - Complexo Energético de energias renováveis CESP – UHE Porto Primavera, e suas respectivas potências instaladas.....	24
Figura 4 - (UFV 1) Painéis Rígidos na Eclusa	25
Figura 5 - (UFV 3) Painéis Flexíveis próximo a portaria.....	26
Figura 6 - Concentrador Cilíndrico Parabólicos.....	27
Figura 7 - Conjunto de Coletores Solares	27
Figura 8 - ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação da Energia) – (Esquerda) e Selo PROCEL (Direita).	31
Figura 9 - ENCE Para Lâmpada <i>LED</i>	32
Figura 10 - Lâmpada Incandescente.....	37
Figura 11 - Lâmpada Incandescente Halógena	38
Figura 12 - Lâmpada Fluorescente.	38
Figura 13 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	39
Figura 14 - Lâmpada Vapor Metálica.	40
Figura 15 - Lâmpada Mista.	40
Figura 16 - Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão.	41
Figura 17 - Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão.	42
Figura 18 - Bloco Autônomo e Placa LED de sinalização de Saida.	43
Figura 19 - Estrutura da lâmpada LED.....	44
Figura 20 - Lâmpada e Refletor com a tecnologia LED.	45
Figura 21 - Eco Ponto interno da UHE Porto Primavera.	46
Figura 22 - Conceitos Luminotécnicos.....	48
Figura 23 - Entorno imediato NBR 8995-1.....	49
Figura 24 - Luminância.	49
Figura 25 - Curva de Distribuição.	50
Figura 26 - Temperaturas de cor.	51
Figura 27 - Escala IRC.	52
Figura 28 - Comparação dos principais tipos de lâmpadas.	52
Figura 29 - Projeto Executivo da Casa de Força da UHE Porto Primavera, Revisão 2, THEMAG – (1988).	53

Figura 30 - Projeto Executivo da Casa de Força da UHE Porto Primavera, Autodesk – 2023.	54
Figura 31 - Tela inicial do Software Dialux Evo.	55
Figura 32 - Alicates Amperímetro Digital True-RMS – 325.....	56
Figura 33 - Luxímetro Digital.	57
Figura 34 - Refletor LED 200W Módulo DC com DPS 4x50 90 ° 5000k 150 LM/W Alumínio Auto volt Branca.....	58
Figura 35 - Bloco Autônomo LED para Iluminação de Emergência 20W - 2200lm 6500K Autovolt.....	59
Figura 36 - Iluminação interna da Casa de Força.....	63
Figura 37 - Malha de Iluminância no plano de uso de trabalho (esquerda) e Luxímetro medindo a iluminância no solo.....	64
Figura 38 - Pontos de distribuição da malha de iluminância.	65
Figura 39 - Planta da Casa de Força reduzida.	66
Figura 40 - Modelo 3D do Dialux Evo utilizando refletores LEDs na Casa de Força.....	67
Figura 41 - Modelo Ampliado da Simulação Dialux Evo.....	68
Figura 42 - Resultado da simulação das linhas isográficas na Casa de força.....	69
Figura 43 - Malha e linhas isográficas de pontos gerados pelo Software Dialux com a iluminância Led.....	70
Figura 44 - Área de Montagem.	71
Figura 45 - Iluminação de emergência da UHE Porto Primavera.	72
Figura 46 - Linha isográficas no cenário de iluminação de emergência.	73
Figura 47 - Curva Isográfica cenário de iluminação para sinalização de saída de emergência.	73
Figura 48 - Temperatura de Cor proposta iluminação Vapor de sódio de Alta Pressão.	75
Figura 49 - Temperatura de Cor proposta iluminação LED.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - NBR ISSO/CIE 8995-1	34
Tabela 2 - Intensidade Máxima Para Evitar o Ofuscamento.	36
Tabela 3 - Conforme NBR 8995-1	48
Tabela 4 - Dados do Amperímetro Fluke	56
Tabela 5 - Especificações técnicas do modelo de refletor <i>LED</i>	59
Tabela 6 - Bloco Autônomo de Emergência	59
Tabela 7 - Levantamento de Carga de Iluminação da potência AI's	60
Tabela 8 - Especificações Lâmpada Sódio Ovoide.	62
Tabela 9 - Reator externo para lâmpadas	62
Tabela 10 - Resultados da simulação de iluminação da Casa de Força.	69
Tabela 11 - Resultados da Area de Tarefa Visual.	71
Tabela 12 - Comparação de iluminância VS x LED.	74
Tabela 13 - Custo de Implantação da Solução Proposta.	76
Tabela 14 - Comparativo entre o Sistema Atual e o Proposto de Iluminação.	77
Tabela 15 - Planilha de Análise Financeira utilizando o cálculo matemático Valor Presente	78
Tabela 16 - Análise de manutenção e vida útil.	79

LISTA DE SÍMBOLOS

ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
AS	Serviço Auxiliar
AT	Alta Tensão
CFAI	Casa de Força Armário de Iluminação
CFDA	Casa de Força Distribuição Alternada
CFDC	Casa de Força Distribuição Contínua
CFDI	Casa de Força Distribuição de Iluminação
CFDP	Casa de Força Distribuição Principal
CSP	Energia Solar Concentrada
E01.MC.QO	Quadro de Distribuição de Iluminação e Tomadas
ENCEE	Etiqueta Nacional de Conservação da Energia
GAE	Grupo Auxiliar de Emergência
GD	Geração Distribuída
GD	Gerador a Diesel
I-REC	<i>International Rec Standard</i>
IL	Índice de Lucratividade
INMETRO	Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRC	Índice de Reprodução de Cor
K (Kelvin)	Temperatura de Cor em Kelvin
LED	Light Emitter Diode (diodo emissor de luz)
lm (Lúmen)	Unidade de medida do fluxo luminoso
lm/W (Lúmen por Watt)	Unidade usada para medir a eficiência luminosa
lx (Lux)	Unidade de medida da iluminância
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OPEX	<i>Operation Expenditure</i> (Despesas Operacionais)
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDef	Plano Decenal de Eficiência Energética
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia
PROPEE	Programa de Eficiência Energética
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural Cisalpina
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
SCA	Conjunto de Coletores Solares
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
TIR	Taxa Interna de Retorno
UG	Unidade Geradora
UHE	Usina Hidrelétrica
UFV	Usina Fotovoltaica
VPL	Valor Presente Líquido
W (Watt)	Unidade de Potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	19
2.1	GERAL	19
2.2	ESPECÍFICO	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	USINA HIDRELÉTRICA PORTO PRIMAVERA	20
3.1.1	Serviço Auxiliar	21
3.1.2	Usinas Fotovoltaicas	24
3.1.3	Usina Termossolar.....	26
3.2	MERCADO REGULATÓRIO DE ENERGIA	28
3.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	29
3.3.1	Lei da eficiência energética.....	29
3.3.2	Programa brasileiro de etiquetagem (PBE).....	30
3.3.3	Selo do Programa Nacional de Conservação de Energia elétrica (Procel) .	30
3.3.4	Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCEE).....	31
3.3.5	Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE) para Lâmpada <i>LED</i>	31
3.4	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	33
4	NORMATIZAÇÃO.....	33
4.1	ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1: Sistema de iluminação de Ambientes de trabalho.....	33
4.2	ABNT NBR 5413: Sistema de iluminação em ambientes internos e externos.....	35
4.3	ABNT NBR 10898: Sistema de Iluminação de Emergência	36
5	TIPOS DE LÂMPADAS.....	36
5.1	LÂMPADAS INCANDESCENTES	37

5.2	LÂMPADA INCANDESCENTES HALÓGENAS.....	37
5.3	LÂMPADAS FLUORESCENTES.....	38
5.4	LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO DE ALTA PRESSÃO	39
5.5	LÂMPADAS A VAPOR METÁLICAS	39
5.6	LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO.....	41
5.7	LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO	41
5.8	ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA	42
5.9	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DIODOS EMISSORES DE LUZ (<i>LED</i>).....	43
5.10	SISTEMA DE RECICLAGEM LED (LIGHT EMITTING DIODE).....	45
6	PARAMÊTROS LUMINOTÉCNICOS.....	46
6.1	FLUXO LUMINOSO (Φ):	47
6.2	INTENSIDADE LUMINOSA (I):.....	47
6.3	ILUMINÂNCIA [LUX] E:.....	47
6.4	ILUMINÂNCIA MANTIDA (EM) [LUX]:.....	47
6.5	ILUMINÂNCIA DO ENTORNO IMEDIATO.....	48
6.6	UNIFORMIDADE.....	49
6.7	LUMINÂNCIA [CD/M ²]: L	49
6.8	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO	50
6.9	TEMPERATURA DE COR	50
6.10	EFICIÊNCIA LUMINOSA	51
6.11	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC).....	51
6.12	VIDA ÚTIL	52
7	MÉTODOS E MATERIAL.....	53
7.1	APLICAÇÃO DO <i>SOFTWARES</i> DE ENGENHARIA	53
7.2	SOFTWARE DIALux EVO	54
7.3	COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM UMA USINA HIDRELÉTRICA.....	55

7.3.1	Coleta de dados da corrente elétrica.....	56
7.3.2	Identificação dos pontos de medição	56
7.3.3	Instalação de equipamento de medição	56
7.3.4	Levantamento da luminância na casa de força.....	57
7.3.5	Seleção dos Pontos de Medição	57
7.3.6	Medição de Luminosidade	57
7.4	CONTAGEM DE LÂMPADAS	57
7.4.1	Mapeamento de locais de iluminação	57
7.4.2	Contagem Manual das Lâmpadas	58
7.5	SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DA CASA DE FORÇA NO DIALUX EVO.....	58
8	DISCUSSÕES E RESULTADOS	60
8.1	IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO ATUAL DA ESTRUTURA ENERGÉTICA.....	60
8.2	A INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NA ARQUITETURA	61
8.3	CENÁRIO DE ILUMINAÇÃO ATUAL DA CASA DE FORÇA.....	61
8.3.1	Casa de Força	61
8.4	MALHA PARA VERIFICAÇÃO DETALHADA DE ILUMINÂNCIA	64
8.5	APLICAÇÃO E ANÁLISE DIALUX EVO: PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO POR ILUMINAÇÃO LED	66
8.5.1	Área de tarefa visual.....	69
8.6	SISTEMA ATUAL DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA	72
8.7	COMPARATIVO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL E PROPOSTO: LÂMPADAS LEDS X LÂMPADAS VAPOR DE SÓDIO.....	74
8.7.1	Temperatura de cor.....	75
8.8	COMPARATIVO FINANCEIRO DOS SISTEMAS DE ILUMINÇÃO ATUAL E O PROPOSTO.....	76

9	CONCLUSÃO	80
----------	------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o uso de energia elétrica é uma parte essencial da vida humana. O uso faz parte do nosso cotidiano sendo usado como fonte de luz, calor, energia e telecomunicações. O desenvolvimento do progresso tecnológico alcançado deve-se à energia elétrica, sem ela não teríamos acesso à internet, telefone, computador, metrô e diversos outros aparelhos que contribuem para o desempenho das modernas tecnologias (EPE, 2023).

No Brasil, a matriz elétrica é diversificada, com uma grande parcela de fontes renováveis, destacando-se a energia hídrica com a maior participação, representando 56,8% (BEN, 2022). A energia hidráulica é gerada a partir da força cinética das águas, através das usinas hidrelétricas. Os principais fatores que afetam a produção de energia hidrelétrica incluem a vazão do rio, a disponibilidade de água em um período específico e as variações no relevo, que podem ser naturais, como quedas d'água, ou resultar de intervenções humanas.

Na geração de energia elétrica em uma usina hidrelétrica, assim como qualquer indústria ou residência, se consome energia para seu abastecimento interno, esse consumo interno de energia é denominado de Serviço auxiliar (SA) ou sangria da máquina, ou seja, a energia gerada nas unidades geradoras (UG) alimentam os maquinários, motores, sistema de climatização, tomadas e iluminação, no entanto, mesmo essa energia não sendo tarifada apresenta um alto consumo de energia, e sendo assim é necessário, a aplicação da eficiência energética, para diminuir uma porcentagem desse alto consumo e custo de produção e manutenção.

Diante das considerações apresentadas, será realizado nesse trabalho, um estudo de modernização na iluminação da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) para substituição das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão por *Light Emitting Diodes* (LEDs) para o aumento da eficiência energética, qualidade de iluminação, e quantificar a energia economizada ao utilizar sistemas de iluminação mais eficientes.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Realizar uma análise de eficiência no consumo de energia elétrica do sistema de iluminação da Casa de Força da Usina Hidrelétrica Porto Primavera, com a intenção específica de propor a modernização do sistema de iluminação visando eficiência energética e redução dos custos de manutenção.

2.2 ESPECÍFICO

i) Proposta de substituição do sistema de iluminação a Vapor de Sódio de Alta Pressão por lâmpadas *LED*, visando a eficiência energética e a redução significativa do consumo no serviço auxiliar.

ii) Avaliação minuciosa do aumento da carga disponível (kWh) para comercialização, otimizando os benefícios financeiros resultantes da melhoria da eficiência.

iii) Utilização do *Software* Dialux EVO para simulações de construções e cálculos luminotécnicos.

vi) Investigação do impacto positivo da troca para lâmpadas *LED* no bem-estar visual dos ambientes de trabalho

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 USINA HIDRELÉTRICA PORTO PRIMAVERA

A construção da Usina Hidrelétrica "Engenheiro Sérgio Motta," mais conhecida como UHE Porto Primavera, teve início em 1980 e foi concluída em abril de 1998, sob a gestão da Companhia Energética de São Paulo.

Destacando-se como uma das maiores do país, a UHE Porto Primavera possui uma extensa barragem de 10.186,20 m, cobrindo um reservatório de 2.250 km². Sua potência instalada são 1.540 megawatts, impulsionada por 14 turbinas do tipo Kaplan, operando com um desnível de 18,95 m e gerando, em média, 900 megawatts.

Para além de sua relevante contribuição para a geração de energia, a usina adota uma abordagem abrangente, promovendo a gestão sustentável da flora e fauna. A área abriga a Reserva Particular do Patrimônio Natural Cisalpina (RPPN), preservando 3.850 hectares de ecossistema natural e protegendo mais de 259 espécies de fauna nativa. O viveiro de mudas nativas produz 1,5 milhão de mudas por ano, impulsionando a diversidade arbórea da Mata Atlântica e do Cerrado (AUREN, 2022).

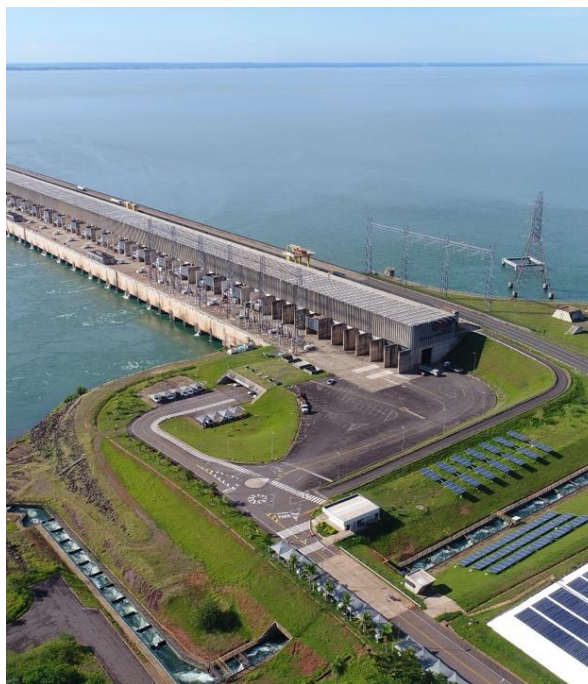
Além disso, a UHE Porto Primavera destaca-se como um complexo energético diversificado, integrando usinas solares e eólicas em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento

(P&D) da CESP. Essa iniciativa reforça seu compromisso com a vanguarda tecnológica e a promoção de práticas sustentáveis.

No cenário global, a usina também alcança reconhecimento ao posicionar-se como o segundo maior ativo do Brasil a emitir certificados I-REC (*International REC Standard*) em 2020. Essa certificação atesta seu comprometimento com a promoção de energia renovável e sustentável.

Dessa forma, a UHE Porto Primavera não apenas se destaca como uma potência na geração de energia, mas também como um exemplo de equilíbrio entre inovação, preservação ambiental e compromisso com a sustentabilidade. A Figura 1 apresenta a vista aérea da UHE Porto Primavera.

Figura 1 - UHE Porto Primavera Divisa entre Rosana (SP) e Bataiporã (MS)



Fonte: CESP (2022)

3.1.1 Serviço Auxiliar

As usinas hidrelétricas representam uma peça fundamental na geração de eletricidade por meio da energia hidráulica. Para assegurar um funcionamento seguro e eficiente, o Serviço Auxiliar (SA) desempenha um papel crucial, incorporando uma diversidade de equipamentos e circuitos. Estes desempenham funções vitais em todas as fases de operação e manutenção (O&M) da usina.

Dentre os diversos sistemas do Serviço Auxiliar, destaca-se o sistema de iluminação como um componente essencial. Ele desempenha múltiplas funções, incluindo a garantia da

segurança dos trabalhadores durante a realização de suas atividades, proporcionando uma iluminação adequada (BOQUIMPANI, 2019).

Na Usina Hidrelétrica (UHE) Porto Primavera, o serviço auxiliar é fornecido pela operação de 04 Unidades Geradoras (UG's) atualmente em funcionamento, especificamente nas UG's (1, 4, 10 e 13). No entanto, é importante destacar que a usina não depende exclusivamente da energia elétrica de fonte hídrica. Adicionalmente, o sistema está conectado aos projetos de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) do complexo energético de energias renováveis da CESP, como pode se observar na Figura 2. O complexo possui a integração de dois aerogeradores eólicos, armazenamento de energia por Hidrogênio com a capacidade de 200kWp, com o tempo de descarga de 4,5 h, e armazenamento de célula a combustível com a capacidade de armazenamento de 280 kWp, com o tempo de descarga da potência máxima de 1,5h. Além disso, o complexo possui geração de energia solar: a Usina Termossolar com a capacidade de geração de 500 kW e as usinas fotovoltaicas que foram instaladas em pontos estratégicos para o melhor aproveitamento da irradiação solar da região, sendo a maior geração de energia que compõe o sistema de P&D, possuindo a capacidade de instalação de 1050 kWp. Ademais, a UHE possui o sistema de Grupos Auxiliares de Emergência (GAE's) e o circuito 05, todas essas fontes e componentes citados estão apresentados na Figura 3.

O Grupo Auxiliar de Emergência (GAE) é composto pelo gerador de emergência de Gerador a Diesel (GD) 500 kVA localizado na Eclusa – E01.NA.GD, que é responsável como fonte de energia de reserva em caso de falha/emergência dos serviços auxiliares, conectado ao disjuntor desligado com operação automática no E01.MC.QO 1952-231. Além disso, a UHE também possui outro Gerador a Diesel (GD) de 1500 kVa, conectado ao Disjuntor 1952-234, no E01.CF.QO, no barramento I que é responsável por manter a UG-1 e UG -4 no Sistema Interligado Nacional (SIN) por um determinado tempo até que a falha seja corrigida. Subsequentemente, o Grupo Auxiliar de Emergência de Gerador a Diesel (GD) contendo 03 geradores de 450 kVa, sendo eles, responsáveis pelo fornecimento de energia às UG-10, e UG -13, conectados ao disjuntor 1952-235 conectadas no barramento II, e por fim, o Gerador a Diesel de Emergência (GD) de 300 kVa do vertedouro – E03.MC.GD, responsável por manter o sistema elétrico e mecânico em caso de falha.

O serviço auxiliar também possui o recurso do circuito 05 conectado à Subestação (138kV), cujo barramento I no disjuntor 1924-101 e II no disjuntor 1924-102, é conectado ao barramento III, que é considerado de emergência em caso de falha, de todas as gerações de energia elétrica citadas acima, ou proteções de rede em situações de falha/emergência como

Figura 3 - Complexo Energético de energias renováveis CESP – UHE Porto Primavera, e suas respectivas potências instaladas



Fonte: CESP (2016)

3.1.2 Usinas Fotovoltaicas

Os painéis fotovoltaicos incorporados no complexo da UHE integram o circuito interno da Casa de Força de Distribuição Principal (CF. DP) 13,8kVac/ 460Vac. A geração de energia proveniente das fontes solar e hídrica estão conectadas no circuito da Casa de Força de Distribuição Auxiliar (CF. DA) 13,8kVac/ 460Vac: com o propósito de justificar o aumento da energia assegurada, resultante da inclusão da geração fotovoltaica na usina hidrelétrica. Nesse contexto, o projeto também propõe uma alteração regulatória com o objetivo de obter o reconhecimento e a homologação de uma nova energia assegurada para cada usina hidrelétrica, levando em consideração a energia adicional gerada pelas novas fontes energéticas.

O projeto de P&D contempla a instalação de duas tecnologias de módulos fotovoltaicos: painéis rígidos monocristalinos (m-Si) e policristalinos (p-Si), além de painéis flexíveis de amorfo (a-Si) em solo. Essas instalações somam uma capacidade instalada fotovoltaica de 1050 kWp para o aumento de geração da Usina hidrelétrica Porto Primavera.

Usina Fotovoltaica 1- Rígidos (Início da operação em 09/12/2015)

- Apresentado na **Figura 4**
- 250 kWp - Silício monocristalinos (m-Si)

Usina Fotovoltaica 2- Rígidos (Início da operação em 10/03/2016)

- 50kWp - Painéis Policristalino (p-Si)

Usina Fotovoltaica 3 – Flexíveis (Início da operação 17/06/2016)

- Apresentado na **Figura 5**
- 250 kWp – Painéis Flexíveis Amorfo (a-Si).

Usina Fotovoltaica 4 – Flexíveis (Início da operação 17/06/2016)

- 25 kWp - Painéis Flexíveis Amorfo (a-Si)

Usina Fotovoltaica 5 – Rígidos (Início Operação em 01/01/2019)

- 400 kWp – Painéis Rígidos Monocristalino (m-Si) em talude.

Figura 4 - (UFV 1) Painéis Rígidos na Eclusa



Fonte: Próprio Autor (2023)

Figura 5 - (UFV 3) Painéis Flexíveis próximo a portaria



Fonte: Próprio Autor (2023)

3.1.3 Usina Termossolar

O projeto P&D da Termossolar na UHE Porto Primavera é pioneiro no Brasil. A usina de coletores cilíndricos-parabólicos tem uma capacidade nominal de 500 kW, destinada a fornecer energia para os Serviços Auxiliares (SA) integrando o circuito de Força de Distribuição Auxiliar (CF. DA) 13,8kVac/ 460Vac. Esta usina utiliza a radiação solar como fonte de calor para acionar uma turbina e gerar eletricidade. Os sistemas termo solares que empregam concentração de calor são conhecidos como Energia Solar Concentrada (CSP).

No CSP em questão, a radiação solar é concentrada por espelhos cilindro-parabólicos em uma linha focal, onde uma tubulação absorve essa energia na forma de calor e a transfere para um fluido térmico, conhecido como Fluido de Transferência de Calor (HTF) podendo atingir temperaturas próximas a 390°C. Esses concentradores são agrupados em linhas chamadas de Conjunto de Coletores Solares (SCA), que, por sua vez, são dispostas lado a lado na formação de um campo solar, conforme ilustrado na Figura 6 e Figura 7. Cada módulo SCA é instalado com seu eixo longitudinal preferencialmente na direção Norte-Sul, enquanto um

dispositivo de rastreamento - *tracker* - mantém o sistema sempre alinhado com os raios diretos do sol ao longo do dia, girando-o na direção Leste-Oeste.

Figura 6 - Concentrador Cilíndrico Parabólicos



Fonte: Próprio Autor (2023)

Figura 7 - Conjunto de Coletores Solares



Fonte: Próprio Autor (2023)

3.2 MERCADO REGULATÓRIO DE ENERGIA

Nos últimos anos, o Setor Elétrico Brasileiro vivenciou uma transformação significativa impulsionada pela expansão de novas matrizes energéticas renováveis. Este fenômeno foi resultado de incentivos financeiros e regulatórios, implementação de novas políticas públicas, investimentos substanciais em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), e a promoção da Geração Distribuída (GD). Tais mudanças impuseram um considerável desafio ao setor.

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) propôs a modernização do setor elétrico, introduzindo o conceito de *Smart Grid* por meio da Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012). Essa resolução trouxe inovações significativas, como a política de compensação de energia para micro e minigeração distribuída, a aplicação de tarifas diferenciadas conforme o horário de consumo e a regulamentação da medição eletrônica. De acordo com (BARROS, 2014), a adoção dessas políticas marcou as primeiras ações de flexibilização do tradicional modelo regulatório."

Os programas de P&D desempenharam um papel crucial na promoção da inovação no setor elétrico. Conforme a Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (ABRADEE, 2010), as distribuidoras passaram a destinar anualmente um percentual mínimo de 0,20% de sua receita operacional líquida para projetos de P&D na área de distribuição.

Atualmente, após 10 anos da resolução normativa 482/2012, foi estabelecido o marco legal para a micro e minigeração de energia por meio da Lei 14.300/22. De acordo com a ANEEL (2022), a lei permite que as unidades consumidoras já existentes e aquelas que protocolizarem solicitação de acesso até o final de 2022 continuem a usufruir dos benefícios concedidos pela ANEEL por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) até 2045. Adicionalmente, a lei estabeleceu as regras que serão aplicadas após 2045 e durante o período de transição. No entanto, observou-se que os projetos de P&D do complexo UHE não haviam solicitado previamente a conexão do sistema de energia à concessionária, nem passado pelo processo de homologação de conexão no sistema da distribuidora de energia. Isso é particularmente relevante, uma vez que esses projetos são categorizados como P&D pela ANEEL e não estão sujeitos a tarifas cobradas pela distribuidora.

A eficiência energética é um importante vetor no atendimento à demanda futura de energia, já que contribui para a segurança energética, competitividade econômica e redução de impactos ambientais. O aproveitamento de oportunidades para tal requer uma visão integrada tanto de fontes energéticas quanto dos agentes envolvidos (PROCEL, 2012).

O conceito de eficiência energética consiste na otimização da utilização de energia. Em outras palavras, busca-se atingir a realização do trabalho com o menor consumo possível de energia. É importante ressaltar que, devido às características das transformações de energia, inevitavelmente ocorrem perdas durante o processo.

Um equipamento classificado como eficiente energeticamente demonstrará a capacidade de converter a maior parte da energia consumida em trabalho, quando comparado a um equipamento não considerado eficiente (SAMPAIO, 2023; BOVOLETA, 2020).

3.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é um tema de relevância crescente na atualidade, impulsionado pela necessidade de preservar os recursos naturais e enfrentar desafios energéticos. Uma das iniciativas mais marcantes nesse contexto é a Lei da Eficiência Energética ou Lei nº 10.295, uma consequência direta da crise energética de 2001 e 2002. Ela dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Segundo (PROCEL, 2012) A Lei da Eficiência Energética estabeleceu que todas as máquinas e equipamentos que consomem energia – seja ela elétrica, derivada do petróleo, ou de outros insumos energéticos – fabricados ou comercializados no Brasil, devem ter um nível mínimo de eficiência energética. Esses níveis de eficiência energética foram definidos arbitrariamente pelo governo com base em indicadores técnicos.

3.3.1 Lei da eficiência energética

O Brasil traça uma jornada ambiciosa em direção à eficiência energética, ancorada no Plano Nacional de Energia (PNE). O PNE estabeleceu uma meta robusta: uma economia de 10% no consumo final de energia elétrica até 2030. Para alcançar esse desafio, surge o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia que direcionará esforços e delineará estratégias cruciais para o avanço da eficiência energética no país.

A legislação desempenha um papel vital nesse cenário, com a Lei nº. 10.295/2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, e o Decreto nº 4.059/2001, que a regulamenta. Este decreto também deu origem ao Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). Este comitê, incumbido de criar um programa de metas, desenha a rota para a evolução dos níveis a serem atingidos por cada equipamento regulamentado.

O artigo 1º da Lei de Eficiência Energética destaca a importância de alocar eficientemente os recursos energéticos e preservar o meio ambiente. O artigo 2º coloca nas mãos do Poder Executivo a responsabilidade de estabelecer os níveis máximos de consumo específicos de energia ou os mínimos de eficiência energética para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, baseando-se em indicadores técnicos específicos (BRASIL, 2001).

Essas peças legislativas não apenas delineiam responsabilidades, mas representam um compromisso nacional com a busca por práticas energéticas sustentáveis. O PNEf, aliado à Lei de Eficiência Energética, não é apenas um plano estratégico; é um compromisso com um futuro em que a eficiência energética é fundamental do desenvolvimento sustentável no Brasil.

3.3.2 Programa brasileiro de etiquetagem (PBE)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) teve origem em um diálogo com a sociedade brasileira sobre os métodos de preservação de energia. Seu objetivo principal é promover a otimização do consumo energético no Brasil, fornecendo informações aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto e incentivando escolhas mais conscientes durante a compra. Com a promulgação da Lei de Eficiência Energética, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) passou a implementar programas compulsórios de avaliação de conformidade na área de eficiência energética, deixando de lado abordagens voluntárias (GOMES, 2019; CASTRO, 2019).

O artigo 9º do decreto nº 4059 de 19 de dezembro de 2001, que regulamenta a lei de eficiência energética, reforça: “O Inmetro será responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação da conformidade das máquinas e aparelhos consumidores de energia a serem regulamentados” (BRASIL, 2001).

3.3.3 Selo do Programa Nacional de Conservação de Energia elétrica (Procel)

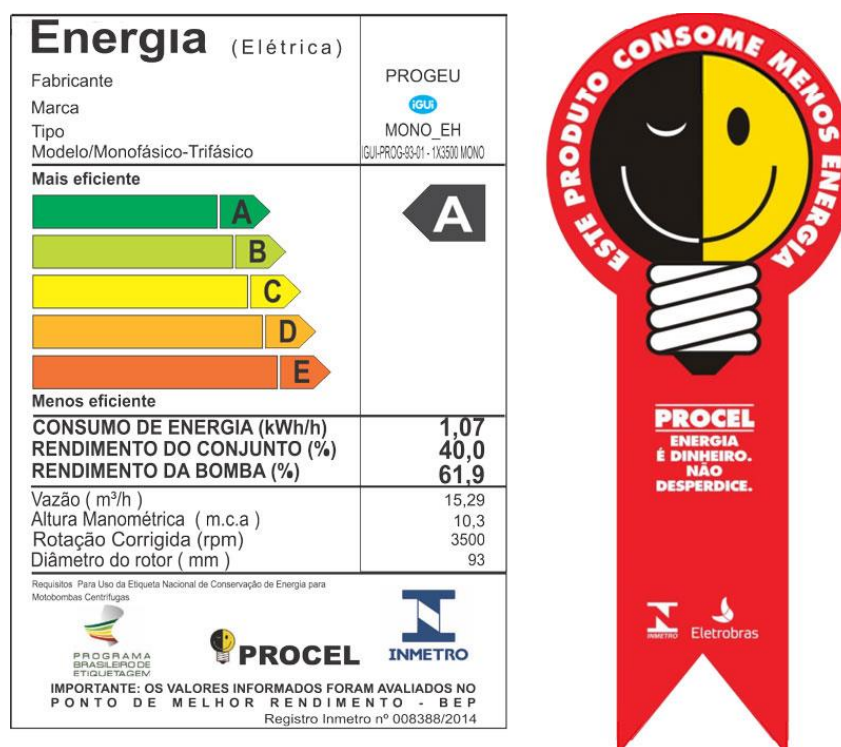
No ano de 1985 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Esse programa é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobras, cuja finalidade é promover o uso eficiente de energia e combater o seu desperdício. Em 1993, o PROCEL criou o Selo Procel de Economia de Energia. Essa ferramenta tem a função de permitir que o consumidor tenha conhecimento de equipamentos e eletrodomésticos disponíveis no mercado que são mais eficientes e por isso consomem uma quantidade menor de energia (MME, 2023).

3.3.4 Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCEE)

O ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação da Energia) concedido pelo Inmetro, desempenha um papel fundamental ao identificar equipamentos submetidos a testes laboratoriais. Essa identificação é realizada por meio de etiquetas que exibem faixas coloridas, proporcionando uma clara distinção entre os produtos. A categorização da eficiência energética desses produtos abrange uma escala que vai desde os mais eficientes, classificados como A, até os menos eficientes, classificados de C a G, variando conforme o tipo de produto em questão (DE OLIVEIRA, 2018).

Produtos que recebem a classificação A não apenas otimizam o uso de energia, mas também minimizam o impacto ambiental e oferecem uma operação mais econômica. Essa classificação tem um impacto significativo no orçamento do consumidor, proporcionando alívio financeiro ao longo do tempo (CARDOSO, 2018).

Figura 8 - ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação da Energia) – (Esquerda) e Selo PROCEL (Direita).



Fonte: INMETRO (2014)

3.3.5 Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE) para Lâmpada LED

A lâmpada LED agora possui Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE) em sua embalagem, estabelecendo uma distinção em relação às lâmpadas fluorescentes, pois não será submetida à escala de eficiência de A à E.

Segundo, (ABILUMI, 2023) aconselha os consumidores a verificarem diversos itens na embalagem, assegurando-se de que todas as informações estejam em português. Esses itens incluem o nome do fabricante, CNPJ e telefone do SAC, o selo do Inmetro, a potência em Watts, o fluxo luminoso em lúmens e a eficiência luminosa em lúmens por Watt(lm/W). Na seção de segurança, é obrigatório que a etiqueta contenha um número de registro junto ao selo da OCP (Organismo de Certificação de Produto), responsável pela certificação. Alguns fornecedores podem apresentar apenas algumas informações conforme indicado na figura 9, indicando uma certificação falsa. Caso isso ocorra, a certificação é fraudulenta.

Além disso, a lâmpada *LED* deve indicar sua equivalência em relação à fluorescente, assim como já ocorre com a incandescente na embalagem.

As classificações acima impulsionam a competitividade na indústria, incentivando a produção de equipamentos cada vez mais eficientes e econômicos, ao mesmo tempo que reduz a disparidade de informações entre compradores e vendedores.

Além disso, o programa de etiquetagem desempenha um papel significativo ao contribuir para as metas nacionais de economia de energia, conforme estabelecido no Plano Nacional de Eficiência Energética e no Plano Nacional de Energia (PNE 2030). Essas metas visam a alcançar uma redução de 10% no consumo de energia por meio de iniciativas de eficiência energética.

Figura 9 - ENCE Para Lâmpada LED



Fonte: Abilumi (2017)

3.4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A iluminação desempenha um papel significativo no consumo de energia, representando aproximadamente 23% no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos, e 1% no setor industrial (SANTOS, 2019). No contexto brasileiro, diversos estudos indicam a prevalência de práticas de iluminação ineficientes. Nesse cenário, a implementação de uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, aliada a hábitos sustentáveis em sua utilização, emerge como uma estratégia fundamental para a redução do consumo de energia elétrica (CARLINHOS, 2011; BENDER, 2012).

O sistema de iluminação no Brasil enfrenta desafios específicos, desde a diversidade de ambientes e necessidades até a busca pela eficiência energética. A adoção de tecnologias mais avançadas e práticas sustentáveis pode não apenas contribuir para a redução dos impactos ambientais, mas também para a otimização dos custos associados ao consumo de energia elétrica no país. Este cenário destaca a importância de explorar soluções inovadoras e promover conscientização sobre a eficiência energética no contexto do sistema de iluminação brasileiro (GHISI, 1998; MONTEIRO, 2022).

4 NORMATIZAÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a entidade responsável por desenvolver e atualizar as normas técnicas no Brasil. No que diz respeito à iluminação, algumas normas importantes abordam temas como eficiência energética, características de lâmpadas e luminárias, requisitos de segurança e procedimentos de ensaio. envolve a definição e implementação de padrões para abordar de maneira organizada uma atividade específica. Este processo inclui a participação de todos os envolvidos, considerando as condições funcionais e os requisitos de segurança.

4.1 ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Sistema de iluminação de Ambientes de trabalho

A NBR ISO/CIE 8995-1 representa uma norma técnica de grande importância no contexto brasileiro ao estabelecer diretrizes fundamentais para a iluminação de ambientes tanto internos quanto externos. Esta norma visa a atingir dois objetivos essenciais: garantir o conforto visual das pessoas que ocupam esses espaços e promover a eficiência energética. Seu impacto abrange uma ampla gama de setores, abarcando desde escritórios e indústrias até

estabelecimentos comerciais e demais locais onde a qualidade da iluminação possuem um desempenho eficiente e seguro das atividades realizadas (ABNT NBR 8995-1, 2013).

Ao estabelecer condições mínimas para uma iluminação adequada em ambientes de trabalho, a NBR ISO/CIE 8995-1 desempenha um papel crucial na promoção do bem-estar dos trabalhadores, ao mesmo tempo em que busca minimizar o consumo de energia. Essa norma representa um exemplo concreto de como a padronização técnica pode ser uma ferramenta valiosa para a promoção de ambientes de trabalho mais saudáveis e sustentáveis, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e o uso responsável dos recursos energéticos (BARDAL, 2022; DA SILVA, 2020). No presente projeto luminotécnico aplica-se a norma na Cota 240 da Casa de Força da UHE Porto Primavera, por se tratar de um ambiente de trabalho energizado e de Alta Tensão (AT), foi utilizado os padrões do ambiente “Sala de controle” descritos na tabela 1.

Tabela 1 - NBR ISO/CIE 8995-1

Tipo de Ambiente, Tarefa ou Atividade	$\overline{E_m}$ (lux)	UGR_L	R_a	Observações
Subestações				
Instalação de abastecimento de combustíveis	50	28	20	As cores de segurança devem ser reconhecíveis.
Casa de Caldeira	100	28	40	
Salas de Máquinas	200	25	80	Para montagem alta: ver também a seção 4.6.2
Salas Auxiliares: por exemplo: sala das bombas, sala dos capacitores, quadro de chave de distribuição etc.	200	25	60	
Salas de Controle	500	16	80	

Fonte: ABNT (2012)

4.2 ABNT NBR 5413: Sistema de iluminação em ambientes internos e externos

A NBR 5413, por sua vez, é outra norma técnica brasileira que estabelece os requisitos para o projeto de iluminação em ambientes internos e externos, de forma a garantir o conforto visual, a segurança e a eficiência energética (ABNT NBR 5413, 1992). Conforme o Quadro 1. Essa norma estabelece os valores mínimos de iluminância para diferentes tipos de ambientes, levando em consideração as atividades realizadas nesses locais e as características dos usuários.

Ambas as normas são muito importantes para garantir a qualidade da iluminação e conforto visual, em ambientes de trabalho e de lazer, bem como para reduzir o consumo de energia elétrica e os custos associados a ele. Além disso, o cumprimento dessas normas é obrigatório em muitos casos, especialmente em locais de trabalho, onde a iluminação adequada é essencial para a saúde e a segurança dos trabalhadores.

Quadro 1 – Iluminância conforme a NBR 5413

FAIXA	ILUMINÂNCIA (lux)	TIPO DE ATIVIDADE
A Iluminação geral para áreas usadas ininterruptamente ou com tarefas visuais simples	20	Áreas públicas com arredores escuros.
	30	
	50	
	50	Orientações simples para permanência curta.
	75	
	100	Recintos não utilizados para trabalho contínuo, depósitos.
	100	
	150	
	200	
B Iluminação geral para área de trabalho	200	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
	300	
	500	
	500	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	750	
	1000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
	1000	
	1500	
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis.	2000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de pequeno tamanho.
	3000	
	5000	
	5000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	7500	
	10000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.
	10000	
	15000	
	20000	

Fonte: ABNT NBR ISSO/CIE 5413BNT (1992)

4.3 ABNT NBR 10898: Sistema de Iluminação de Emergência

Na NBR 10898 são descritas as principais características que o sistema de iluminação de emergência deve ter, como: permitir o controle visual das áreas abandonadas para que seja possível localizar pessoas impedidas de locomoverem-se; proteger a segurança patrimonial e facilitar a localização de pessoas indesejadas pelo pessoal da intervenção; sinalizar, de forma inequívoca, as rotas de fuga utilizáveis, no momento do abandono de cada local; e ainda sinalizar o topo do prédio para a aviação civil e militar (ABNT NBR 1089-8, 2013). A intensidade da iluminação deve ser ajustada de forma a prevenir acidentes, garantir a evacuação segura das pessoas em perigo e facilitar o controle das áreas por equipes de socorro e combate ao incêndio. É essencial considerar a eventual penetração de fumaça nas rotas de abandono, e atender os padrões de intensidade máxima para evitar o ofuscamento, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Intensidade Máxima Para Evitar o Ofuscamento.

Altura do ponto de luz em relação ao nível do piso m ²	Intensidade máxima do ponto de luz cd	Iluminância ao nível do piso cd/m ²
2,0	100	25
2,5	400	64
3,0	900	100
3,5	1600	131
4,0	2500	156
4,5	3500	173
5,0	5000	200
NOTA - As unidades integram o Sistema Internacional de Unidades - SI, conforme a NBR 5456.		

Fonte: ABNT (2012)

5 TIPOS DE LÂMPADAS

Conforme (VIANA, 2012) os diferentes tipos de lâmpadas possuem vários fatores revelam-se preponderantes ao contemplar a área a ser iluminada. O modelo da lâmpada desempenha um papel crucial, onde lâmpadas compactas em espiral demonstram eficiência luminosa superior em relação às compactas tradicionais, em virtude de sua ampla superfície e

maior volume de gás. Paralelamente, o tipo de luminária também exerce influência significativa, ilustrada pela otimização da utilização da luz emitida mediante a incorporação de folhas de alumínio como refletores na porção interna da luminária.

5.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES

A iluminação incandescente resulta da incandescência de um fio percorrido por corrente elétrica, devido ao seu aquecimento, quando este é colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado. Considerando uma lâmpada incandescente de 200 W com um fluxo luminoso de cerca de 3.400 lm, sua eficiência luminosa é de aproximadamente 17 lm/W. Segundo (VIANA, 2012). Isso resulta em uma eficiência baixa, pois a maior parte da energia consumida é convertida em calor. Com a implementação da Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 1.007/2010, que estabeleceu padrões mínimos de eficiência energética, a fabricação dessas lâmpadas tornou-se inviável, efetivamente proibindo sua produção e comercialização no mercado brasileiro.

Figura 10 - Lâmpada Incandescente



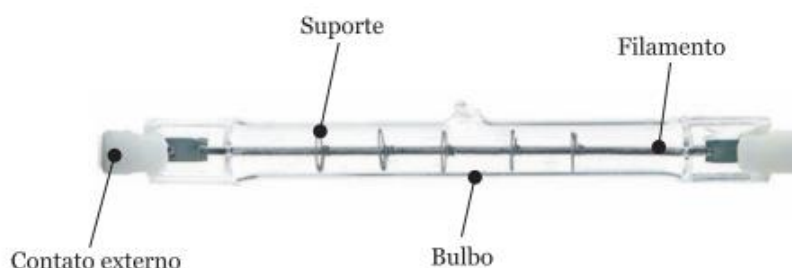
Fonte: VIANA (2012)

5.2 LÂMPADA INCANDESCENTES HALÓGENAS

Nas lâmpadas halógenas o fio interno mantém sua espessura constante, garantindo assim uma vida útil prolongada. Além disso, devido à transparência duradoura do bulbo, a luz é distribuída de maneira uniforme até que a lâmpada se apague, o que ocorre geralmente após 2.000 a 5.000 horas. Essa característica contrasta com as lâmpadas incandescentes

convencionais. Em uma lâmpada incandescente convencional, a elevada temperatura do filamento leva à evaporação das partículas de tungstênio. Essas partículas então se condensam nas superfícies internas do bulbo, resultando em seu escurecimento. Já nas lâmpadas halógenas, a temperatura no interior do bulbo é mantida em um nível suficientemente alto para prevenir a condensação do tungstênio evaporado.

Figura 11 - Lâmpada Incandescente Halógena

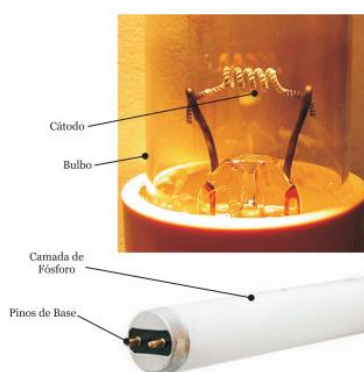


Fonte: VIANA (2012)

5.3 LÂMPADAS FLUORESCENTES

As Lâmpada fluorescentes podem ter eletrodos (cátodos) quentes, com ou sem pré-aquecimento. No caso do cátodo quente com pré-aquecimento, são necessários um reator e um starter. No caso do cátodo quente sem pré-aquecimento, um reator de construção especial é necessário. Este reator é composto por uma bobina de fio de cobre esmaltado e um núcleo de lâminas de material ferromagnético prensadas. Atualmente, existem reatores eletrônicos que oferecem maior eficiência energética, exigem menos manutenção e são mais leves e compactos.

Figura 12 - Lâmpada Fluorescente.



Fonte: VIANA (2012)

5.4 LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO DE ALTA PRESSÃO

Essas lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão têm um bulbo de vidro com um tubo de descarga de quartzo para suportar altas temperaturas. Contêm argônio e mercúrio, que, ao vaporizarem, geram luz. Possuem eletrodos de tungstênio e um eletrodo auxiliar com resistor de partida. Gás inerte no bulbo externo estabiliza a temperatura. Ao contrário das lâmpadas fluorescentes, operam em alta pressão, otimizando a emissão luminosa visível. O espectro inclui UV e cores visíveis, com pó fluorescente convertendo UV em luz visível, resultando em uma luz branca fria. Duram mais de 15.000 horas, com 30% de depreciação do fluxo luminoso, e têm eficiência luminosa de 55 lm/W para uma lâmpada de 400 W. Antigamente usadas em iluminação pública e industrial, foram substituídas por lâmpadas de vapor de sódio devido à sua baixa eficiência.

Figura 13 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão



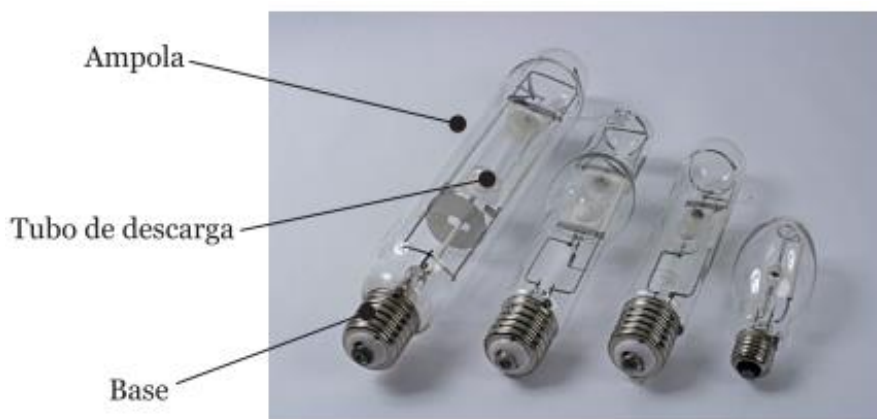
Fonte: VIANA (2012)

5.5 LÂMPADAS A VAPOR METÁLICAS

As lâmpadas de vapor metálico, similares às de vapor de mercúrio, diferenciam-se pela presença de iodetos metálicos, proporcionando maior desempenho e a capacidade de variar a coloração. Revestidas com alumina nas extremidades do tubo de descarga, evitam a condensação dos iodetos. Operam com um reator que gera picos de alta tensão para a ignição, podendo ter um eletrodo auxiliar ou um ignitor interno tipo starter. Duram cerca de 15.000 horas com 30% de depreciação luminosa e apresentam eficiência de 90 lm/W para uma lâmpada de 400 W com 36.000 lumens. Oferecem excelente reprodução de cores e eficiência, sendo

utilizadas em locais como lojas, estádios, aeroportos, indústrias e iluminação automotiva, com a vantagem de acender instantaneamente.

Figura 14 - Lâmpada Vapor Metálica.

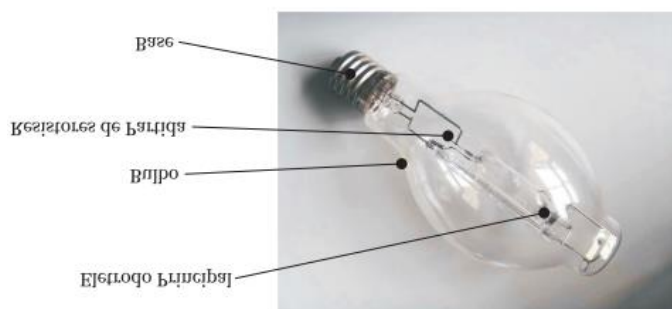


Fonte: VIANA (2012)

A lâmpada mista opera de maneira semelhante à lâmpada de vapor de mercúrio, mas dispensa o uso de reator, já que o filamento não apenas emite luz, mas também estabiliza a lâmpada. A luz emitida por essa lâmpada é difusa e branca, resultante da combinação da luz da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão e da tonalidade quente da incandescente, proporcionando uma agradável aparência. Com uma vida mediana superior a 6.000 horas e 30% de depreciação do fluxo luminoso, a eficiência luminosa para uma lâmpada de 250 W que produz 5.500 lúmens é de 22 lm/W, sendo mais eficiente apenas que a lâmpada incandescente.

Segundo (VIANA, 2012) as lâmpadas mistas devido à sua boa reprodução de cores, podem ser aplicadas em vias públicas, jardins, praças, estacionamentos, comércio em geral e na modernização de instalações com lâmpadas incandescentes. No entanto, devido à sua baixa eficiência luminosa, seu uso é limitado, especialmente em locais com pé direito inferior a 4 metros.

Figura 15 - Lâmpada Mista.



Fonte: VIANA (2012)

5.6 LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO

A lâmpada a vapor de sódio de alta pressão opera de forma semelhante às lâmpadas de descarga em geral, destacando-se pela necessidade de tensões elevadas para a partida, exigindo assim o uso de um ignitor. Leva cerca de 3 a 4 minutos para alcançar sua máxima luminosidade.

Com uma vida mediana superior a 24.000 horas e uma depreciação de 25% do fluxo luminoso, sua eficiência luminosa é de 120 lm/W, inferior à versão de baixa pressão.

Devido à sua propriedade de cor mais agradável, as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão têm diversas aplicações, sendo utilizadas em vias públicas, ferrovias, áreas de estacionamento e iluminação externa, além de ambientes industriais internos. Elas estão disponíveis em versões com bulbo oval, incluindo aquelas com camada difusora na parede interna, ou com bulbo tubular de cor clara. Recomenda-se a instalação em locais com pé direito superior a 4 metros.

Figura 16 - Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão.



Fonte: VIANA (2012)

5.7 LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO

A lâmpada vapor de sódio de baixa pressão têm um design que inclui um tubo de descarga em forma de U, com eletrodos em ambas as extremidades, contendo gás argônio e neônio em baixa pressão para facilitar a ignição. Elas também contêm sódio metálico, que se

vaporiza durante o funcionamento. O conjunto é protegido por um invólucro de vidro tubular com vácuo, revestido internamente com óxido de índio, atuando como um refletor infravermelho para manter a temperatura adequada do tubo de descarga.

O processo de partida começa com a descarga elétrica no gás neônio, resultando em um pequeno fluxo luminoso rosa e aumento de temperatura. Isso provoca a gradual vaporização do sódio. A lâmpada atinge seu estado normal de funcionamento em cerca de 15 minutos, emitindo uma luz amarela devido à descarga no vapor de sódio.

Conforme (VIANA, 2012) essas lâmpadas têm uma vida útil média de aproximadamente 15.000 horas, com uma depreciação de 30% do fluxo luminoso durante esse período. Sua eficiência luminosa é em torno de 200 lm/W, superando outras lâmpadas apresentadas anteriormente. No entanto, devido à natureza monocromática de sua luz, sua aplicação é limitada a locais onde não é necessário um alto índice de reprodução de cores.

Figura 17- Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão.



Fonte: VIANA (2012)

5.8 ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

A iluminação de emergência desempenha um papel crítico na preservação da segurança de indivíduos e na garantia da continuidade operacional de edifícios e instalações em cenários de crise. Esse sistema luminoso é meticulosamente concebido para entrar em funcionamento quando a energia principal se interrompe devido a eventos como cortes de eletricidade, incêndios ou outras emergências que resultem em falta de iluminação.

Para desempenhar seu papel, a iluminação de emergência necessita de um sistema de armazenamento de energia, que pode se basear em baterias internas ou em um banco de baterias conectado ao circuito de iluminação. Esta precaução garante que, mesmo na ausência de energia elétrica convencional, as luzes de emergência permaneçam acesas, proporcionando orientação e segurança às pessoas em áreas críticas.

A instalação dessas luminárias de emergência é geralmente regulamentada por leis e normas de segurança específicas (por exemplo, as normas técnicas NBR 10898 no Brasil). Portanto, a incorporação e manutenção adequadas desses dispositivos são mandatórias, visando a conformidade legal e a salvaguarda das vidas e do patrimônio em momentos de necessidade.

Figura 18 - Bloco Autônomo e Placa LED de sinalização de Saida.



Fonte: Fire Shield (2017)

5.9 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED)

As Lâmpadas *LED* são produtos eletroeletrônicos compostos de uma série de *LEDs* individualmente iguais, ligados em série ou paralelo, com alto fluxo luminoso, que geram luz visível e necessitam de um *driver* (fonte de energia) para seu funcionamento. Segundo (ABILUX, 2023) elas (lâmpadas *LEDs*) são substitutas diretas das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, portanto, possuem formatos similares e bases com rosca e soquetes idênticos aos modelos de tecnologias precursoras.

As iluminações *LED* (*Light Emitting Diode*) são uma tecnologia de iluminação que se tornou muito popular nas últimas décadas, devido à sua eficiência energética. Por consumirem muito menos energia do que as lâmpadas incandescentes ou fluorescentes compactas, o que resulta em economia de energia e redução de custos.

Segundo (PEDROSO, 2011) as lâmpadas leds apresentam uma vida útil muito mais longa do que as lâmpadas convencionais, o que significa que precisam ser substituídas com menos frequência, reduzindo ainda mais os custos e o impacto ambiental. Além disso, não emitem radiação infravermelha ou ultravioleta, o que ajuda a proteger os objetos iluminados e reduz o risco de danos à saúde.

A tecnologia permite ainda a criação utilizada em diversos ambientes, desde residências até indústrias e espaços públicos, criação de diferentes cores e intensidades de luz, o que pode ser útil em diferentes situações, como em ambientes de trabalho, onde é necessária uma iluminação mais clara, e em ambientes de lazer, onde uma iluminação mais suave pode ser mais apropriada.

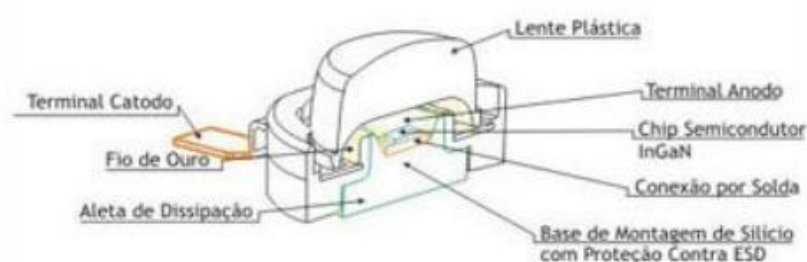
A conversão da energia elétrica em luz nos *LEDs* se distingue das lâmpadas convencionais, que geralmente utilizam filamentos metálicos ou descarga de gases. Nos *LEDs*, essa conversão acontece diretamente no material, destacando-se como um processo de estado sólido.

O funcionamento desse dispositivo é baseado em um chip semicondutor que tem a capacidade de gerar luz. Este chip, de natureza bipolar, controla a condução ou o bloqueio da corrente elétrica, o que, por sua vez, regula a emissão de luz ou sua ausência.

Os materiais semicondutores utilizados incluem Gálio (Ga), Arsênio (As), Índio (In), Fósforo (P), Alumínio (Al) e Nitrogênio (N). Quando esses elementos são combinados, eles emitem luz em diversas cores e com diferentes eficiências. Combinações específicas, como AlInGaP (fosforeto de alumínio-índio-gálio), produzem cores como vermelho e âmbar, enquanto InGaN (nitreto de índio-gálio) gera as cores azul, verde e ciano.

Em síntese, as soluções de iluminação *LED* representam uma contribuição significativa para a eficiência energética, diminuindo o consumo de energia, os gastos e o impacto ambiental. Além disso, elas oferecem benefícios adicionais em comparação com as lâmpadas convencionais.

Figura 19 - Estrutura da lâmpada LED



Fonte: VIANA (2012)

Figura 20 - Lâmpada e Refletor com a tecnologia LED.



Fonte: VIANA (2012)

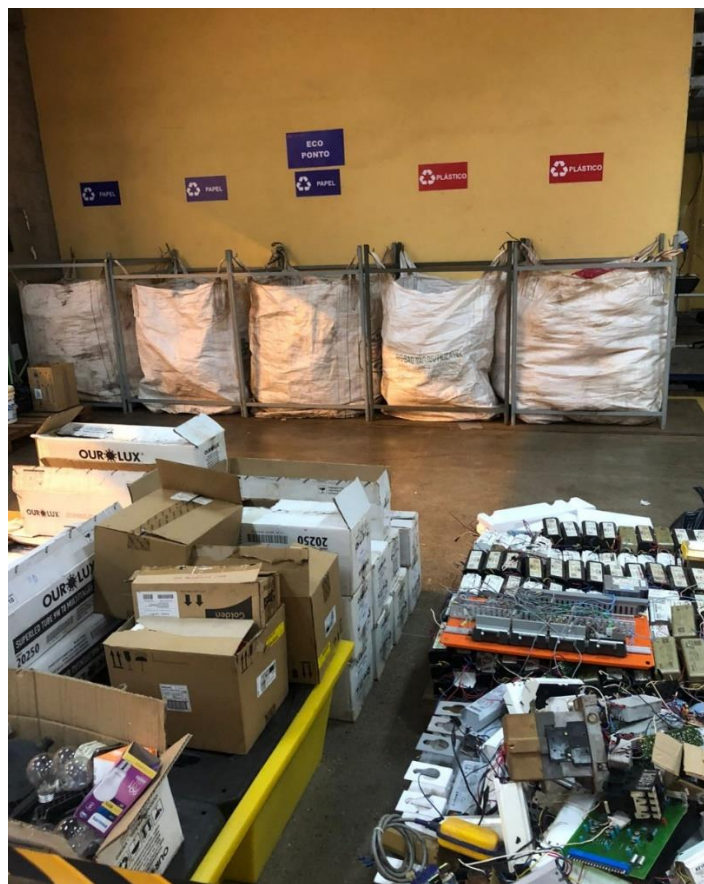
5.10 SISTEMA DE RECICLAGEM LED (LIGHT EMITTING DIODE)

Nos últimos anos, a tecnologia das lâmpadas *LED* tem observado uma ampla substituição das tradicionais lâmpadas fluorescentes e incandescentes. Devido à sua classificação como equipamentos eletroeletrônicos, existe a obrigatoriedade de submetê-las ao processo de logística reversa, conforme estipulado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, conforme disposto na Portaria Interministerial 1.007/10. Nesse contexto, é esperado que essas lâmpadas se integrem diretamente ao fluxo de reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE).

De acordo com um estudo recente realizado por (REBELLO, 2020) é relevante notar que, apesar de muitos estudos considerarem os resíduos de lâmpadas *LED* como predominantemente compostos por metais, uma análise gravimétrica revelou que a fração polimérica representa 37,0% de sua composição, tornando-se o componente mais abundante. No entanto, é importante destacar que há uma escassez de pesquisas abordando a reciclagem desses polímeros e seu potencial impacto na viabilidade global do processo, como mencionado por (ZHOU, 2020).

Com a inclusão das lâmpadas *LED* no fluxo de logística reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), a expectativa é que sejam encaminhadas para cooperativas ou empresas especializadas na reciclagem desse tipo de resíduo sólido. As cooperativas de materiais recicláveis desempenham um papel fundamental na economia circular, contribuindo nos aspectos sociais, econômicos e ambientais, além de proporcionar oportunidades de trabalho e renda para pessoas em situação de vulnerabilidade (SANTOS, 2020). Na Usina Hidrelétrica Porto Primavera, o processo envolve a separação, pesagem e destinação adequada das luminárias e reatores, junto aos demais materiais destinados no Ecoponto interno, e em seguida destinados para cooperativas locais.

Figura 21 - Eco Ponto interno da UHE Porto Primavera



Fonte: Próprio Autor

6 PARAMÊTROS LUMINOTÉCNICOS

A luminotécnica é o estudo da aplicação de iluminação artificial, tanto em espaços interiores como exteriores. Seu objetivo é garantir o conforto visual e a segurança das pessoas, além de melhorar a qualidade estética do ambiente. Luminotécnica, em ambientes de trabalho como subestações e usinas de energia, refere-se à aplicação de princípios de iluminação de forma a proporcionar ambientes seguros e eficientes. Isso envolve o projeto de sistemas de iluminação que garantem iluminação adequada para tarefas específicas, considerando condições de trabalho desafiadoras, como áreas com riscos elétricos. A luminotécnica nesse contexto busca garantir a visibilidade adequada, minimizar fadiga visual e promover a segurança dos trabalhadores, cumprindo normas de segurança e regulamentações específicas da área.

Os principais conceitos da luminotécnica são: Fluxo luminoso, Intensidade luminosa, Luminância, Eficiência luminosa, Temperatura de cor, IRC.

Alguns conceitos básicos serão apresentados a seguir:

6.1 FLUXO LUMINOSO (Φ):

Segundo (Sá ,2023) o fluxo luminoso refere-se à quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa, geralmente mensurado em lúmens (lm). Essa medida representa a saída luminosa de uma fonte e oferece uma avaliação direta da quantidade de luz visível que a fonte emite em todas as direções, conforme ilustrado na Figura 23. Quanto maior o valor do fluxo luminoso, mais intensa será a iluminação proporcionada pela fonte. Em resumo, o fluxo luminoso é uma descrição quantitativa da quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa.

6.2 INTENSIDADE LUMINOSA (I):

A intensidade luminosa se refere à quantidade de luz emitida em uma direção específica a partir de uma fonte de luz, medida em candelas (cd). Em outras palavras, é a potência da luz em uma direção determinada, indicando o brilho percebido em uma área específica, a figura 23, representa bem esse conceito. Quanto maior a intensidade luminosa em uma direção, mais brilhante será a luz nessa direção, independentemente de quanta luz a fonte emite no total (Sá, 2022).

6.3 ILUMINÂNCIA [LUX] E:

É a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide; ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A relação é dada entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância, ou ainda, entre o fluxo luminoso e a área da superfície (Sá, 2023).

6.4 ILUMINÂNCIA MANTIDA (EM) [LUX]:

Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especifique seja reduzida.

Escala: 20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000 luxes.

Figura 22 - Conceitos Luminotécnicos.

Fonte: Guia da Engenharia (2019)

6.5 ILUMINÂNCIA DO ENTORNO IMEDIATO

A iluminância do entorno imediato é uma medida da quantidade de luz que atinge uma superfície em uma determinada área. Ela é expressa em lux (lm/m^2) e reflete a luminosidade presente no ambiente. A iluminância do entorno imediato pode ser influenciada por vários fatores, como fontes de luz naturais (como o sol) e artificiais (como lâmpadas de rua), bem como elementos arquitetônicos e paisagísticos. A tabela 3 abaixo, demonstra os padrões de lux adequado na iluminância na área de tarefa e na iluminância no entorno imediato.

Tabela 3 - Conforme NBR 8995-1

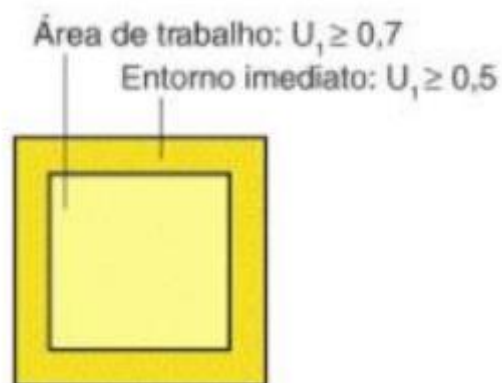
Iluminância da tarefa (lux)	Iluminância do entorno imediato (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: ABNT (2012)

6.6 UNIFORMIDADE

É a relação entre o valor mínimo e valor médio de iluminância. Onde os valores não devem ser inferiores a 0,7 na área de trabalho, e 0,5 no entorno imediato.

Figura 23 - Entorno imediato NBR 8995-1.

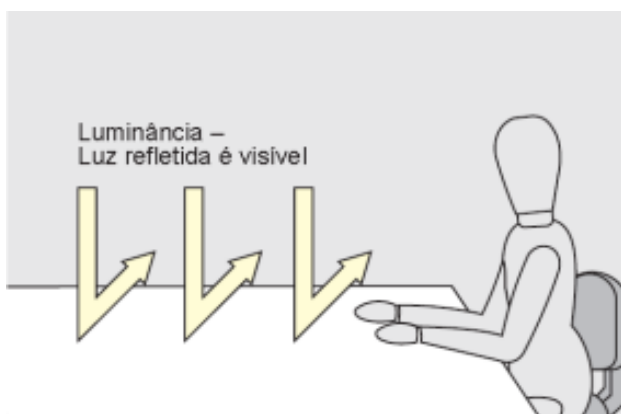


Fonte NBR 8995-1 (2013)

6.7 LUMINÂNCIA [CD/M²]: L

Luminância se refere à medida da intensidade luminosa de uma superfície iluminada, levando em consideração tanto o nível de iluminação quanto as propriedades de reflexão da superfície. É expressa em candelas por metro quadrado (cd/m^2) e representa a quantidade de luz que uma superfície reflete ou emite em relação à sua área, a figura 22 representa visualmente esse fenômeno. A luminância é um importante conceito em iluminação e design de iluminação, pois influencia diretamente a percepção visual e o conforto visual em um ambiente (Sá, 2022).

Figura 24 - Luminância.

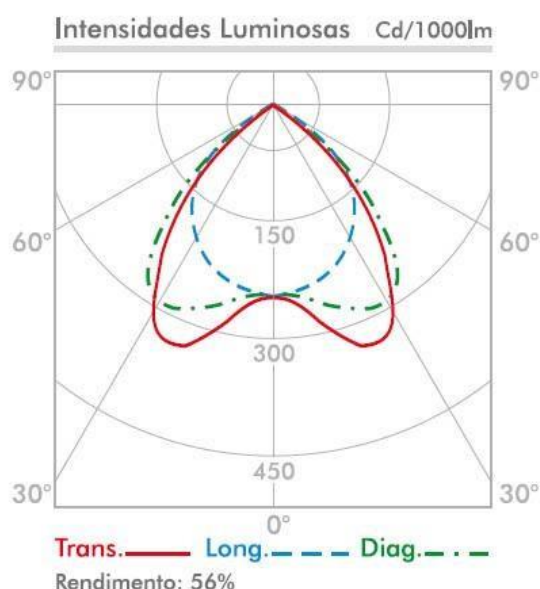


Fonte: OSRAM (2007)

6.8 CURVA DE DISTRIBUIÇÃO

A Curva de distribuição da luminância é crucial para criar um ambiente de trabalho harmonioso. Evitar luminâncias excessivamente altas previne o ofuscamento, enquanto contrastes moderados evitam a fadiga visual. Segundo (Viva, 2018) a intensidade luminosa é dada na forma de um diagrama polar, em candela por 1000 lúmens do fluxo nominal da lâmpada. Distribuição da luz da luminária geralmente se dá em três planos: eixo longitudinal da luminária (C0° - C180°), eixo transversal da luminária (plano C90° - C270°) e eixo diagonal (plano C45° - C225°).

Figura 25 - Curva de Distribuição.



Fonte: Viva Decora (2018)

6.9 TEMPERATURA DE COR

A temperatura da cor é uma medida que descreve a aparência de cor de uma fonte de luz. Ela é representada em kelvins (K) e indica se uma luz é mais quente (tons avermelhados) ou mais fria (tons azulados). Conforme (UNILUMI, 2023) os valores mais baixos, como 2700K, representam uma luz quente, semelhante à luz incandescente, enquanto valores mais altos, como 5000K, indicam uma luz mais fria, semelhante à luz do dia. A temperatura da cor influencia a atmosfera e a percepção em um ambiente, sendo uma consideração importante em design de iluminação e iluminação de interiores.

Figura 26 - Temperaturas de cor.



Fonte: LED Planet (2016)

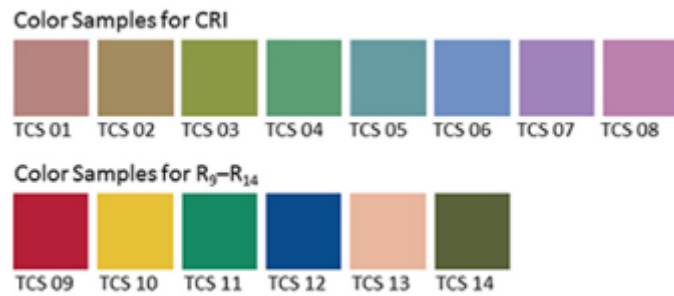
6.10 EFICIÊNCIA LUMINOSA

Conforme a definição de (SÁ, 2022) a eficiência luminosa é a medida da eficiência com que uma fonte de luz converte energia elétrica em luz visível. É expressa em lúmens por watt (lm/W) e indica o quão eficaz uma fonte de luz é na produção de luz em relação à quantidade de energia elétrica consumida. Quanto maior a eficiência luminosa, mais eficiente e econômica é a fonte de luz, pois produz mais luz com menos consumo de energia.

6.11 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é uma medida que avalia a capacidade de uma fonte de luz artificial em reproduzir as cores de forma precisa em comparação com uma fonte de luz natural, como a luz do sol. É expresso em uma escala de 0 a 100, sendo que um IRC mais alto indica uma reprodução de cores mais precisa. Segundo (VOITILLE, 2020) um alto nível de IRC é desejável em ambientes onde a precisão das cores é importante, como em lojas, estúdios de fotografia e espaços de arte, pois influencia como vemos as cores sob a luz dessa fonte. Valores de IRC na faixa de 75 a 100 são considerados excelentes; 65 a 75 são classificados como bons, 55 a 65 como moderados, e índices de 0 a 55 indicam uma reprodução de cores insatisfatória.

O valor do IRC é determinado pela medição do efeito cromático da fonte de luz sobre uma escala de 14 cores (R1-R14) padrão (Figura 27), sendo que o valor do IRC é derivado de uma média dos valores atribuídos a R1-R8. Embora os valores R9-R14 sejam medidos, eles não têm impacto na classificação IRC de um produto.

Figura 27 - Escala IRC.

Fonte: DOE (2012)

6.12 VIDA ÚTIL

A vida útil de uma lâmpada é o período estimado durante o qual a lâmpada continuará a emitir luz de forma adequada antes de atingir uma redução significativa no seu brilho. Geralmente, a vida útil é definida como o momento em que a lâmpada atinge 70% do seu brilho inicial. Isso é influenciado por fatores como o tipo de lâmpada, a qualidade da fabricação e o uso adequado. A vida útil é uma consideração importante ao escolher lâmpadas, pois afeta a frequência com que elas precisarão ser substituídas. A comparação da figura 28 abaixo, demonstra a vida útil entre os principais tipos de lâmpadas.

Figura 28 - Comparação dos principais tipos de lâmpadas.

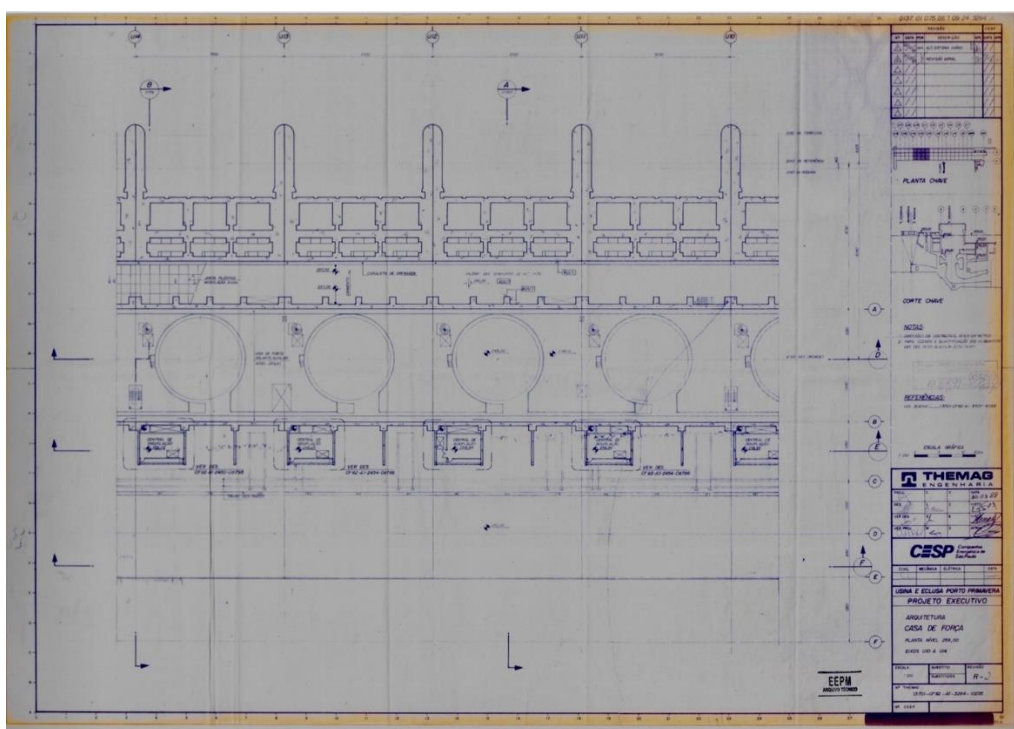
Fonte: NetScreen (2020)

7 MÉTODOS E MATERIAL

7.1 APLICAÇÃO DO SOFTWARES DE ENGENHARIA

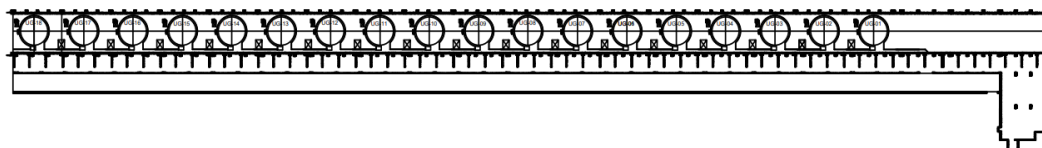
Para realizar a simulação foi utilizado o *software* Dialux Evo, sendo necessário para isso o projeto executivo da Casa de Força da Usina Hidrelétrica Porto Primavera, na sua 2ª Revisão de 30 de março de 1988, elaborado pela empresa THEMAG Engenharia, apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Na década de 80, os projetos eram desenhados manualmente, com o auxílio de instrumentos como esquadros, compassos e régua pelos projetistas. Posteriormente, foi necessário recriar o projeto da Casa de Força no AutoCAD (AUTODESK, 2023) um *software* amplamente utilizado em setores como arquitetura, engenharia, construção e indústrias manufatureiras para criar desenhos 2D e 3D precisos, o desenho é apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Dessa forma, tornou-se possível simular essas áreas no programa Dialux Evo.

Figura 29 - Projeto Executivo da Casa de Força da UHE Porto Primavera, Revisão 2, THEMAG – (1988).



Fonte: THEMAG (1998)

Figura 30 - Projeto Executivo da Casa de Força da UHE Porto Primavera, Autodesk – 2023



Fonte: Próprio Autor

7.2 SOFTWARE DIALux EVO

O DIALux EVO é uma poderosa ferramenta de design de iluminação que se tornou referência na indústria da iluminação arquitetônica. Desenvolvido pela empresa alemã DIAL GmbH, o DIALux EVO é uma evolução do seu antecessor, o DIALux 4, e oferece uma ampla gama de recursos e funcionalidades para profissionais que trabalham no campo do design de iluminação.

Utilizando o Dialux Evo, foi possível realizar as simulações das instalações da UHE, iluminando a área de interesse, comparando a iluminação a vapor de sódio com a iluminação LED. O cálculo para o número de lâmpadas de ambos os tipos foi realizado. O procedimento de construção é conduzido por uma variedade de ferramentas que viabilizam a modelagem da estrutura no ambiente virtual. Isso engloba desde a definição de ambientes, andares, múltiplos pavimentos, até ruas e espaços externos. Esse processo se concretiza por meio da entrada de atributos específicos, incorporando também a inclusão de mobiliário e elementos urbanos a partir de um catálogo de objetos parametrizados.

Uma das características distintivas do DIALux EVO é a sua capacidade de criar visualizações realistas de projetos de iluminação em ambientes internos e externos. Os usuários podem importar modelos 3D de edifícios e espaços, adicionar luminárias de diferentes fabricantes e simular como a luz será distribuída no ambiente. Isso permite que os designers de iluminação avaliem o desempenho das luminárias, a uniformidade da iluminação e a eficiência energética de seus projetos.

O *software* oferece suporte para uma ampla variedade de tipos de luminárias, incluindo lâmpadas LED, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de descarga e muito mais. Os usuários podem selecionar luminárias a partir de uma vasta biblioteca de produtos ou adicionar suas próprias luminárias personalizadas.

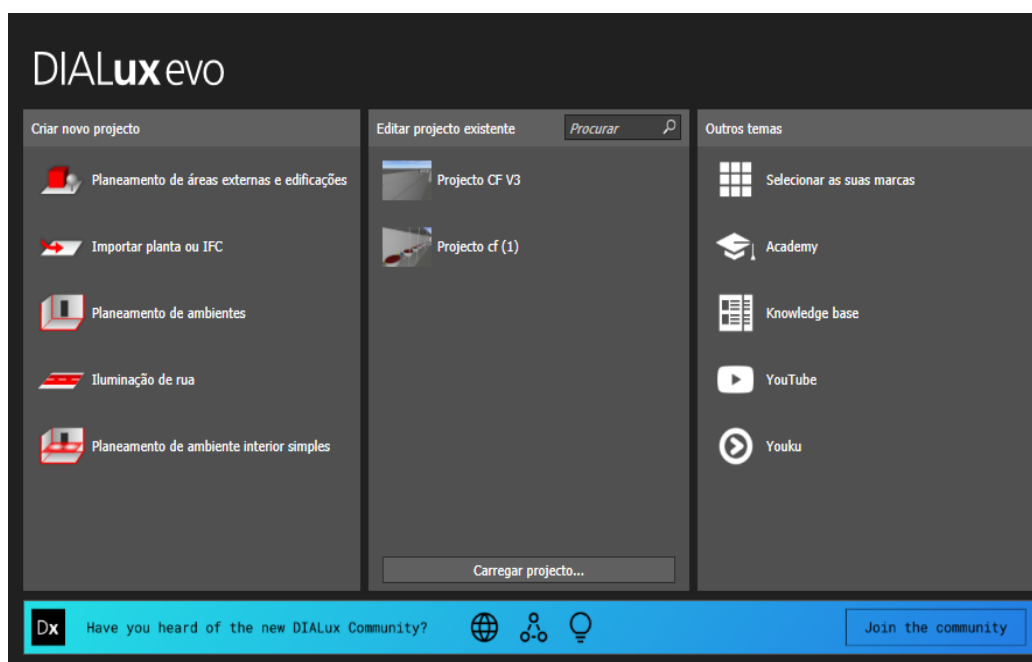
Além disso, o DIALux EVO permite calcular os níveis de iluminância em diferentes pontos do ambiente, ajudando os designers a garantirem que os padrões de iluminação

recomendados sejam atendidos. Isso é particularmente importante em aplicações como iluminação de escritórios, iluminação industrial, iluminação de varejo e iluminação pública.

A ferramenta também leva em consideração fatores como o controle de iluminação, e a integração de sistemas de gerenciamento de iluminação para otimizar a eficiência energética. Isso é essencial em um mundo onde a sustentabilidade e a redução do consumo de energia são cada vez mais importantes.

Em resumo, o DIALux EVO é uma ferramenta essencial de iluminação para criação de projetos eficientes, visualmente atraentes e conformes com os padrões de iluminação estabelecidos. Sua interface intuitiva e recursos avançados tornam-no uma escolha popular na indústria da iluminação, ajudando a transformar visões criativas em projetos de iluminação de alta qualidade.

Figura 31 - Tela inicial do Software Dialux Evo.



Fonte: Próprio Autor

7.3 COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM UMA USINA HIDRELÉTRICA

A presente seção descreve a metodologia adotada para a coleta de dados fundamentais na avaliação do sistema de iluminação em uma Usina Hidrelétrica (UHE). Este estudo visa investigar aspectos relacionados a potência consumida, luminosidade e a contagem de lâmpadas no ambiente da UHE, com o propósito de avaliar a eficiência e a adequação do sistema de iluminação existente.

7.3.1 Coleta de dados da corrente elétrica

A coleta de dados referente à potência elétrica empregada no sistema de iluminação da UHE Porto Primavera será conduzida de acordo com as seguintes etapas:

7.3.2 Identificação dos pontos de medição

Foram realizadas a medição da corrente elétrica nos painéis da Casa de Força Auxiliar de Iluminação (CF.AI) pelos técnicos de operação da UHE.

7.3.3 Instalação de equipamento de medição

Foi utilizado um dispositivo de medição de corrente elétrica, o Alicate Amperímetro Digital True-RMS – 325, nos painéis do AM. DI. Dessa forma, os dados foram coletados nos circuitos para garantir maior precisão, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o equipamento utilizado nas medições e a Tabela 4 apresenta os dados dele.

Figura 32 - Alicate Amperímetro Digital True-RMS – 325.



Fonte: Fluke (2023)

Tabela 4 - Dados do Amperímetro Fluke

Modelo	CA e CC	Tensão de CA e CC
Alicate Amperímetro Digital <i>True-RMS</i> – 325	400 A	600V

Fonte: Fluke (2023)

7.3.4 Levantamento da luminância na casa de força

A coleta de dados de luminância será realizada por meio da utilização de um luxímetro de alta precisão Modelo CAIJI Digital *Lux Meter* B0BGKD7MSH, representado na figura 33. O procedimento para a obtenção destes dados será conduzido da seguinte maneira:

Figura 33 - Luxímetro Digital.



Fonte: Página de Compras da Amazon (2023)

7.3.5 Seleção dos Pontos de Medição

Pontos representativos na UHE serão selecionados para a medição da luminosidade, levando em consideração áreas críticas que necessitem de iluminação adequada.

7.3.6 Medição de Luminosidade

As medições serão realizadas em diferentes alturas do nível do solo, sendo a primeira no nível do solo, bem como em condições de operação variáveis, de forma a garantir a representatividade dos dados coletados.

7.4 CONTAGEM DE LÂMPADAS

A contagem de lâmpadas no ambiente da UHE será realizada de maneira minuciosa, conforme as etapas descritas abaixo:

7.4.1 Mapeamento de locais de iluminação

Será conduzido um mapeamento detalhado das áreas e locais de iluminação da UHE.

7.4.2 Contagem Manual das Lâmpadas

Foi realizado a contagem manual das lâmpadas em cada área identificada, bem como sua altura em relação ao solo.

7.5 SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DA CASA DE FORÇA NO DIALUX EVO

Para conduzir a simulação, é necessário realizar uma modelagem abrangente da casa de força, incorporando tanto os equipamentos localizados no pátio quanto os componentes móveis da edificação, com o intuito de conferir à simulação o máximo de realismo. Com os objetos sólidos devidamente modelados, procede-se à disposição das luminárias nos locais predeterminados.

Contudo, é essencial que as luminárias e projetores a serem utilizados na simulação sejam importados com precisão. Isso é alcançado ao acessar o website do fabricante e realizar o download do arquivo IES específico para cada luminária. Os arquivos IES, cuidadosamente elaborados pelos fabricantes para cada modelo de luminária, contêm informações cruciais para a simulação de um projeto luminotécnico. Essas informações incluem o fluxo luminoso, a distribuição luminosa, a eficiência luminosa, o rendimento da luminária, bem como outros parâmetros relevantes. Após diversas análises e simulações com modelos de fornecedores diferentes a melhor iluminação escolhida foi o Refletor *LED* 200W e para iluminação de emergência Bloco Autônomo *LED* Emergência 10W – 1200 lm 6500 K, auto volt como pode se nas figuras e tabelas a seguir: Figura 34 e Figura 35 e especificações técnicas nas Tabela 5 e Tabela 6.

Figura 34 - Refletor LED 200W Módulo DC com DPS 4x50 90 ° 5000k 150 LM/W Alumínio Auto volt Branca.



Fonte: G-light (2023)

Tabela 5 - Especificações técnicas do modelo de refletor *LED*

Modelo	Potência(W)	Fluxo Luminoso(lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Refletor <i>LED</i> Módulo <i>DC/G – Light</i>	200	32000	160
Tensão(V)	Temperatura de cor (K)	Vida Útil (h)	Amperagem(A)
100-240	5000	102.000	(1127V) /0,96(220V)

Fonte: G- light (2023)

Figura 35 - Bloco Autônomo LED para Iluminação de Emergência 20W - 2200lm 6500K Autovolt.

Fonte: G-light (2023)

Tabela 6 - Bloco Autônomo de Emergência

Modelo	Fluxo Luminoso (lm)	Medidas (mm)
Bloco Autônomo <i>LED</i>	600	230x47x135
Potência(W)	Tensão(V)	Temperatura de Cor (K)
5	100-240	6500

Fonte: G light (2023)

Assim, com a modelagem dos objetos sólidos concluídos e as luminárias e projetores devidamente posicionados, é possível proceder à etapa de simulação. O *software* DIALux, utilizado para essa finalidade, apresenta os níveis de iluminação por meio de curvas isolux, considerando um plano de trabalho a uma altura padrão de 0,75 centímetros.

Subsequentemente, o DIALux também é empregado para simular o desempenho do novo sistema de iluminação, permitindo a avaliação de seu impacto no ambiente.

8 DISCUSSÕES E RESULTADOS

8.1 IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO ATUAL DA ESTRUTURA ENERGÉTICA

Foi realizado um estudo na Casa de Força, que abriga as unidades geradoras e equipamentos correlatos. A coleta de dados da potência de consumo de iluminação foi realizada nos 14 painéis da Casa de Força Distribuição de Iluminação e Tomadas (CF.AI). Após uma análise das operações e instalações da usina, procedeu-se à medição e levantamento do consumo de cargas nos painéis de iluminação.

Tabela 7 - Levantamento de Carga de Iluminação da potência AI's

Painel	Corrente Diurna(A)	Corrente Noturna(A)	Potência Diurna (kW)	Potência Noturna (kW)	Variação (%)
AI.01	51	72	19,4	27,4	29%
AI.02	63	79	24	30,1	20%
AI.03	61,5	79,4	23,4	30,3	23%
AI.04	63,4	80,6	24,2	30,7	21%
AI.05	64,8	80,9	24,7	30,8	20%
AI.06	61,1	78,2	23,3	29,8	22%
AI.07	62,4	79,3	23,8	30,2	21%
AI.08	61,9	78,8	23,6	30	21%
AI.09	61,5	78,6	23,4	30	22%
AI.10	63,8	79	24,3	30,1	19%
AI.11	63,7	80,3	24,3	30,6	21%
AI.12	61,3	77,7	23,3	29,6	21%
AI.13	62,4	78,6	23,8	29,9	21%
AI.14	62,7	80,9	23,9	30,8	23%
SOMA	864,3	1103,3	329,4	420,4	22%
Consumo Diurno(kWh)	3952,3	Consumo Noturno(kWh)	5045,1	Consumo Total (kWh)	8997,4

Fonte: Próprio Autor

Na Tabela 7 observa-se que o consumo diário de energia é de 8.997,4 kWh, dos quais 3.952 kWh correspondem ao período diurno e 5.045 kWh ao período noturno. O acréscimo de 30% no consumo noturno é atribuído à iluminação externa, que só é ativada durante a noite.

8.2 A INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NA ARQUITETURA

No início da construção da Usina Hidrelétrica Porto Primavera, não existia a normatização de iluminação ABNT/NBR para o dimensionamento de projetos luminotécnicos para atender os padrões das normas atuais. Após a análise do consumo de iluminação, foi possível medir a fluxo luminoso do ambiente. Essa avaliação permitiu a análise do desempenho dos equipamentos dos sistemas de iluminação da usina, e instalação. Propõe-se a substituição das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão por refletores de Diodos Emissores de Luz (*LEDs*), visando a redução no consumo de eletricidade, e o aumento da eficiência energética, e qualidade visual no ambiente de trabalho conforme a ABNT/NBR 8995-1.

8.3 CENÁRIO DE ILUMINAÇÃO ATUAL DA CASA DE FORÇA

8.3.1 Casa de Força

A Casa de Força possui uma área construída de 54.387 m², com 996 m de comprimento, 46 metros de largura e um pé direito de 40 metros. O sistema de iluminação interno possui 1172 lâmpadas instaladas, com uma distância de 1,80 m entre cada uma. O ponto de montagem está localizado a 39.000 m de altura, e a área do ponto de luz cobre 38.871 m². As lâmpadas utilizadas são do modelo Lâmpada Sódio Ovoide, fabricadas pela OuroLux, e os refletores é fabricada pela Demape. Para mais detalhes, consulte as tabelas 8 e 9, que apresentam, as especificações técnicas dessas lâmpadas e refletor.

Tabela 8 - Especificações Lâmpada Sódio Ovoide

Modelo	Lâmpada Sódio Ovoide
Tensão elétrica	Bivolt
Potência (W)	400
Fator de Potência	0,7
Base de conexão	E40
Fluxo Luz (lm)	47.200
Temperatura de Cor (K)	2000 (Branca Quente)
IRC mínimo	20
Feixe (Graus)	360
Cor Acabamento	Branco
Vida (horas)	24.000

Fonte: Ourolux (2022)

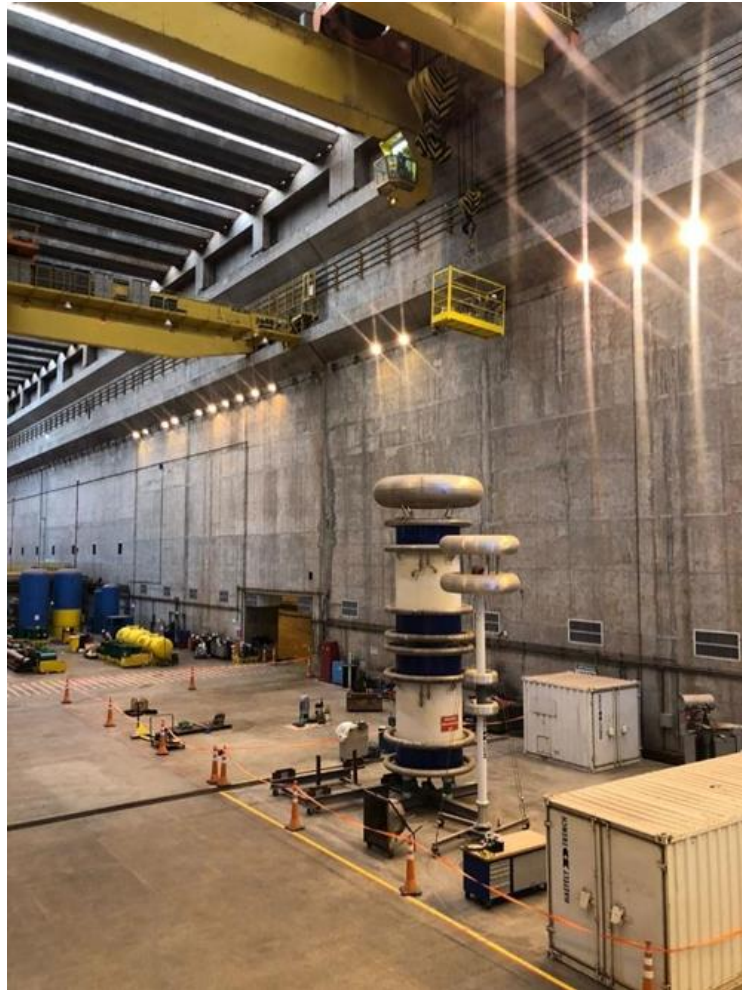
Tabela 9 - Reator externo para lâmpadas

Modelo	Reator externo para lâmpadas: Vapor de sódio alta pressão
Tensão Elétrica	220
Potência (W)	400
Frequência (Hz)	60
Corrente (A)	2.16

Fonte: Demape (2022)

A normatização técnica de iluminação aplicável à Casa de Força é estabelecida pela norma NBR/ABNT 8995-1 - Sistema de Iluminação em Ambientes de Trabalho em Área de Alta Tensão (AT), sendo recomendado 500 lux no ambiente de subestação e na sala de controle, conforme indicado na Tabela 1.

Figura 36 - Iluminação interna da Casa de Força.



Fonte: Próprio Auto

8.4 MALHA PARA VERIFICAÇÃO DETALHADA DE ILUMINÂNCIA

Foram realizadas as medições ao nível do solo ponto a ponto com o luxímetro para a malha de verificação de iluminância do sistema atual (vapor de sódio de alta pressão), para realizar a comparação com a malha de verificação de iluminância realizada pelo *Software* Dialux EVO para iluminação *LED*.

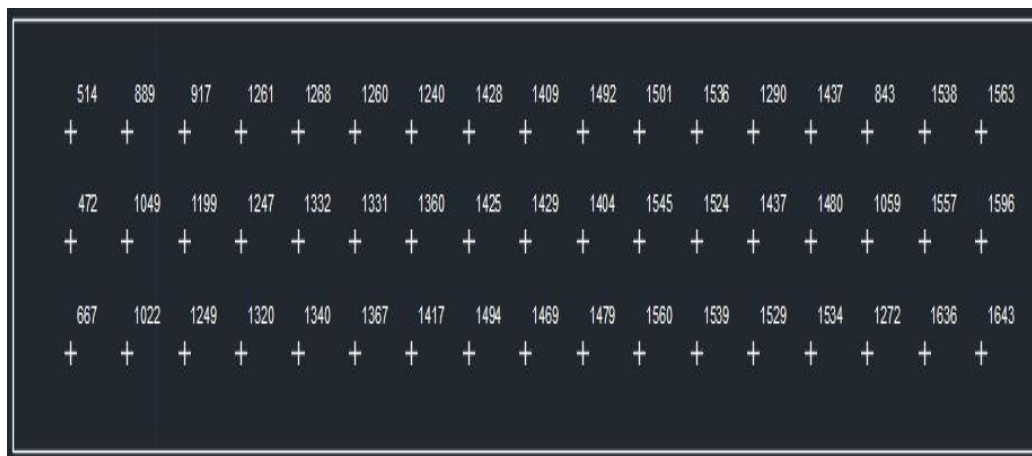
Figura 37 - Malha de Iluminância no plano de uso de trabalho (esquerda) e Luxímetro medindo a iluminância no solo



Fonte: Próprio autor

O método de ‘Malha para verificação’ é descrito conforme ABNT/NBR 8995-1.

As superfícies de referência retangulares são subdivididas em pequenos retângulos, aproximadamente quadrados, com os pontos de cálculo em seu centro. Foram coletados 51 ponto a ponto, de acordo com a norma ABNT/NBR 8995-1, com um espaçamento de grade de 0,50 m para áreas acima ≥ 24 pontos em uma região de estudo de 1x10 metros no plano de uso, a fim de calcular a iluminância média das lâmpadas a vapor, os valores obtidos constam na figura 38.

Figura 38 - Pontos de distribuição da malha de iluminância.

Fonte: Próprio autor

Para obter a média, foi utilizada a relação matemática, na qual os pontos medidos são representados pela letra P para a soma, e a letra n para a quantidade de pontos, dada pela equação (1).

$$\text{Iluminância média } (E_{méd}) = \frac{P1+P2+P3...+Pn}{n} \quad (1)$$

Desse modo a Iluminância média ($E_{méd}$) da iluminação a vapor de sódio a alta pressão é ($E_{méd}$)=1.392 lux, visto que ($E_{máx}$)= 1.643 lux e (E_{min}) = 472 luxes.

Outro critério necessário, na verificação da norma é o fator de uniformidade, que segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (2012) é a razão entre a iluminância mínima e média, em um plano específico. Sua determinação é dada pela equação (2).

Cálculo de uniformidade

$$U = \frac{E_{min}}{E_{méd}} \quad (2)$$

Tendo E_{min} = 472 luxes e $E_{méd}$ = 1.392 lux

$$U = \frac{472}{1392} = 0,33$$

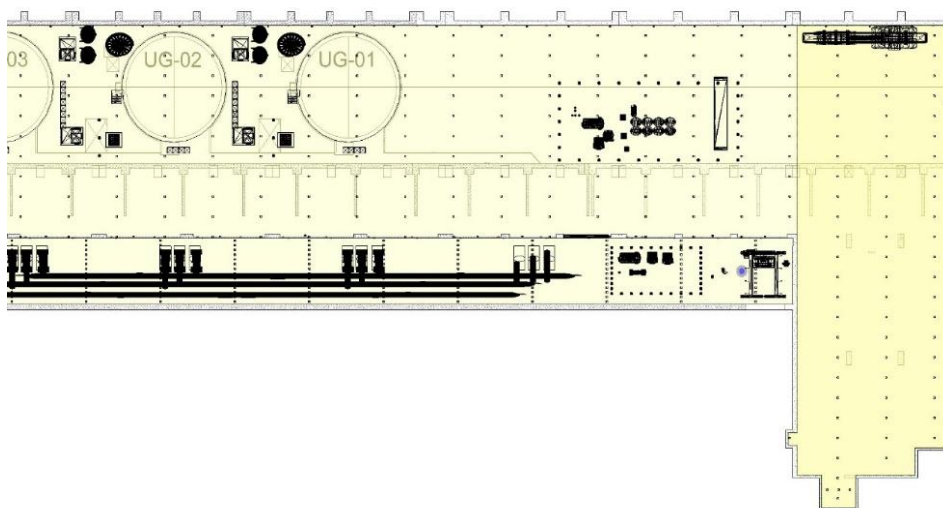
Ao analisar os pontos de distribuição de malha, constatou-se que a luminária de Vapor de Sódio de Alta Pressão apresenta uma uniformidade superior, conforme a norma NBR

ISO/CIE 8995-1, que recomenda uma uniformidade acima de $\geq 0,7$ para garantir uma iluminação mais uniforme possível na área.

8.5 APLICAÇÃO E ANÁLISE DIALUX EVO: PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO POR ILUMINAÇÃO LED

Após os cálculos realizados acima, é possível comparar as lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão com as lâmpadas *LED*. Essa comparação é fundamental para conduzir o estudo luminotécnico e atingir o nível de iluminação adequado. No caso da Casa de Força, esse nível foi estabelecido em 500 lux e avaliado por meio do *software* Dialux Evo.

Figura 39 - Planta da Casa de Força reduzida.



Fonte: Próprio autor

A simulação foi conduzida em uma escala reduzida de 5 vezes, considerando um modelo de 196m, para a Casa de Força da UHE Porto Primavera, devido às limitações de dimensões no AutoCAD. Nesse contexto, os valores calculados foram replicados. O processo de construção envolve o uso de ferramentas para modelar edificações no espaço virtual. Isso é feito inserindo atributos específicos, como mobiliário, provenientes de um catálogo de objetos parametrizados chamados de modelo 3DS.

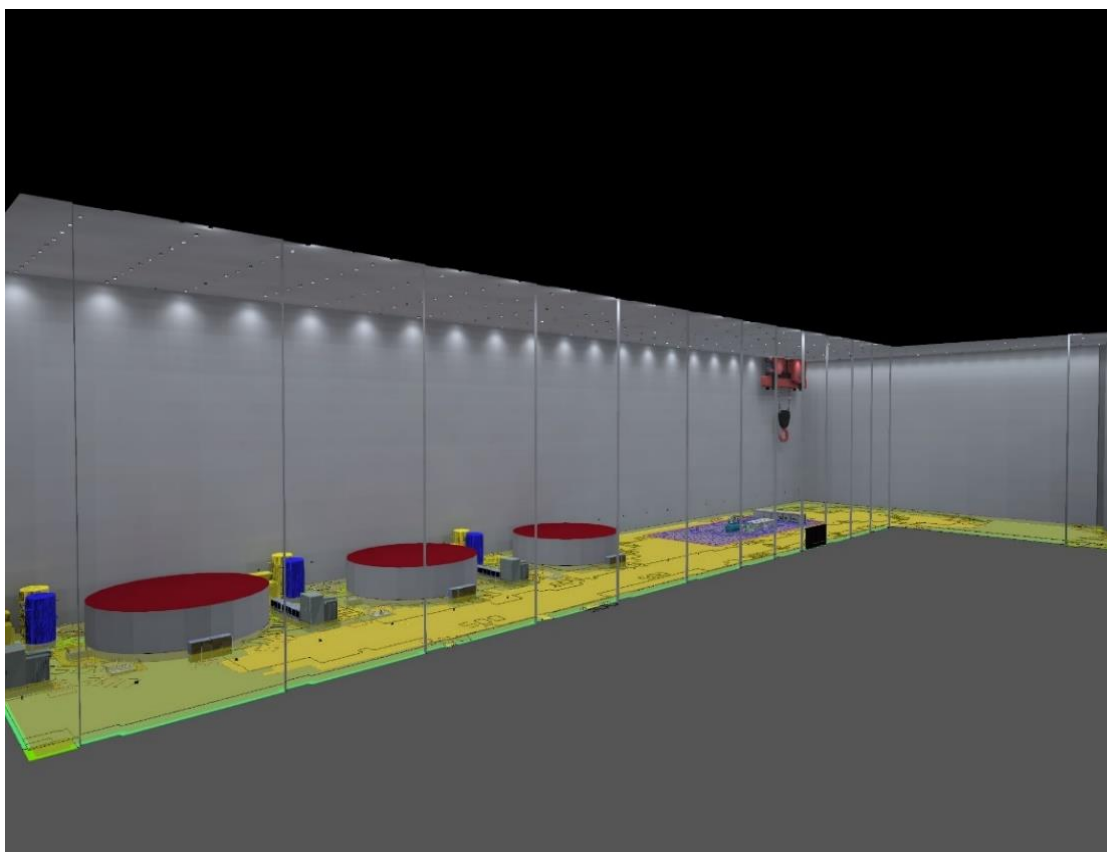
Após profunda análise o modelo de lâmpadas, o modelo escolhido para fazer a simulação é o Refletor *LED* 200W Módulo DC com DPS 4x50 90 ° 5000k 150 LM/, e para a iluminação de emergência Bloco Autônomo *LED* P/ Iluminação de Emergência 20W - 2200lm 6500K.

A etapa de objeto de cálculo consiste na definição de parâmetros relativos ao cálculo de iluminação. Isso significa pensar nas atribuições do modelo nos planos de uso, que podem ser

as superfícies ou o ambiente como um todo. Também envolve a definição das zonas marginais aos planos, ou seja, as distâncias em relação às paredes e outros elementos.

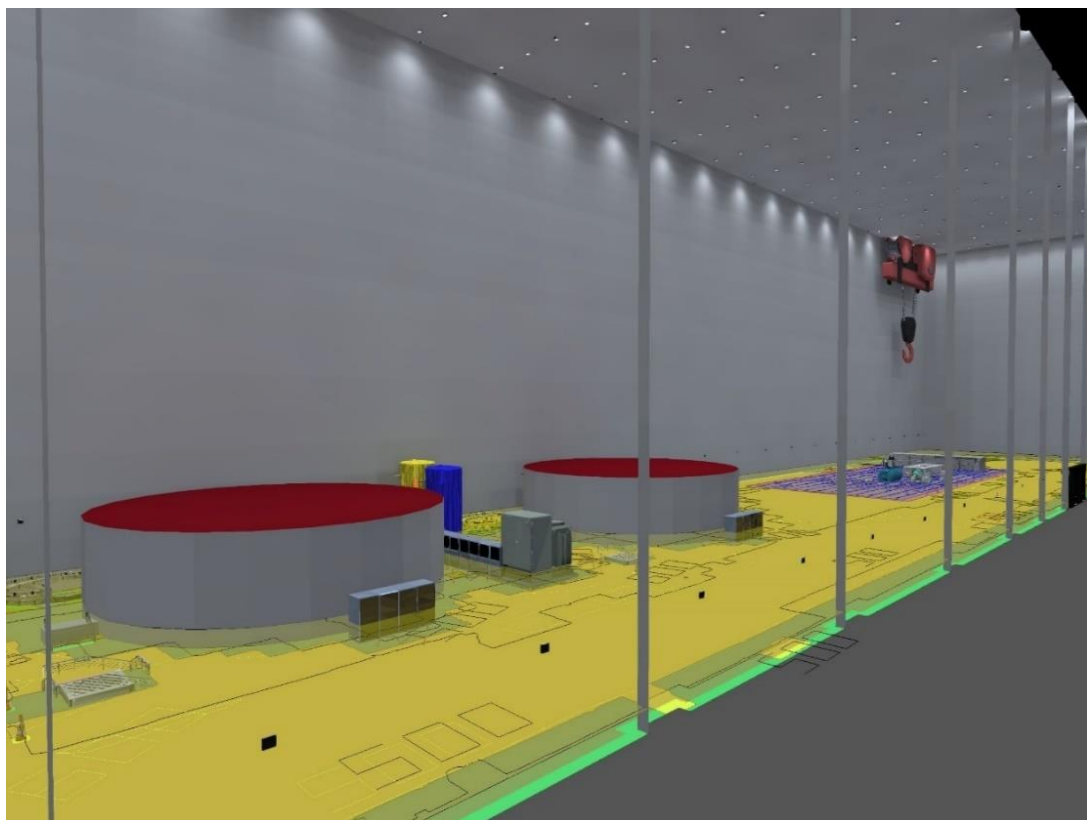
Com a arquitetura, o nível de iluminação e as luminárias definidos, foi possível começar a utilização do programa Dialux Evo, como se pode ver nas figuras 40 e 41 onde tem-se a simulação completa do ambiente junto luminárias de *LED* e os planos de cálculos.

Figura 40 - Modelo 3D do Dialux Evo utilizando refletores LEDs na Casa de Força.



Fonte: Próprio autor

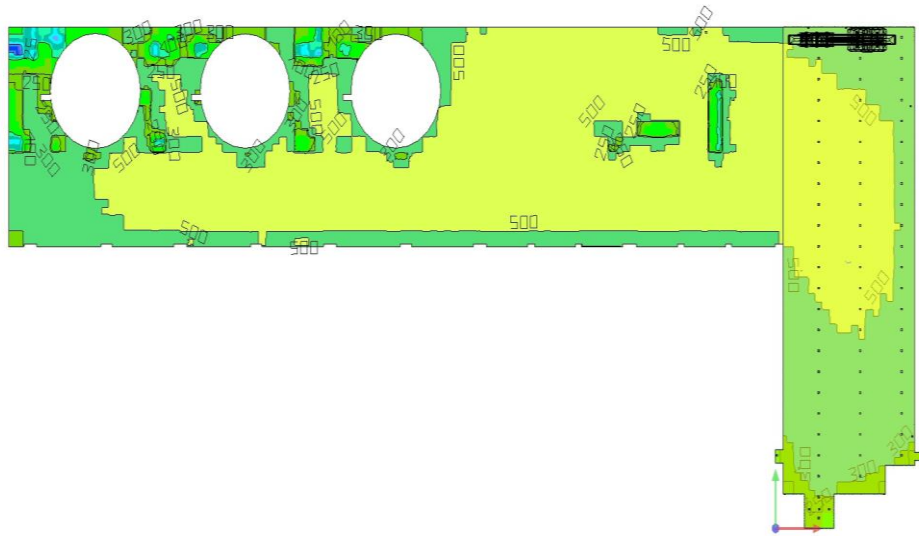
Figura 41 - Modelo Ampliado da Simulação Dialux Evo.



Fonte: Próprio autor

Após a conclusão da simulação da área de iluminação, o programa gera os resultados dos cálculos dos objetos. O *software* possibilita a configuração de diagramas que representam as iluminâncias obtidas no modelo em relação aos planos definidos. Esses diagramas podem ser apresentados por meio de gráficos de valores, linhas isográficas e escalas de cores. Observa-se que, após a simulação, os valores de iluminância (lux) refletida no solo atingiram o nível adequado de iluminação, conforme indicado pela ABNT NBR 8995-1 (2012), estabelecendo 500 lux para áreas de trabalho. As linhas isográficas que exibem valores inferiores ao padrão da norma de ≤ 500 lux são resultado da iluminância no entorno imediato, porém, ainda estão dentro dos limites normativos, conforme tabela

Figura 42 - Resultado da simulação das linhas isográficas na Casa de força.



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 42 encontra-se os resultados processados pelo o Dialux Evo. Desse modo os valores de Iluminância *LED* ponto a ponto na Casa de força são: ($E_{méd}$) = 525 lux (E_{max}) = 687 lux E_{min} = 44.3 lux. Ambos estão dentro do padrão.

Nota-se a que uniformidade foi de $U = 0.084$, não atingiu os valores estabelecidos pela norma, no entanto, as Lâmpadas *LEDs* tendem apresentar menor índice de uniformidade.

Tabela 10 - Resultados da simulação de iluminação da Casa de Força.

Níveis de uso						
Propriedades	E (Nominal)	E_{min}	E_{max}	$U_0 (g_1)$ (Nominal)	g_2	Índice
Plano de Uso - CF	525 lx	44.3 lx	687 lx	0.084	0.064	WP2
Potência luminosa perpendicular (adaptivo)	(≥ 500 lx)			(≥ 0.70)		
Altura: 0.750 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✗		

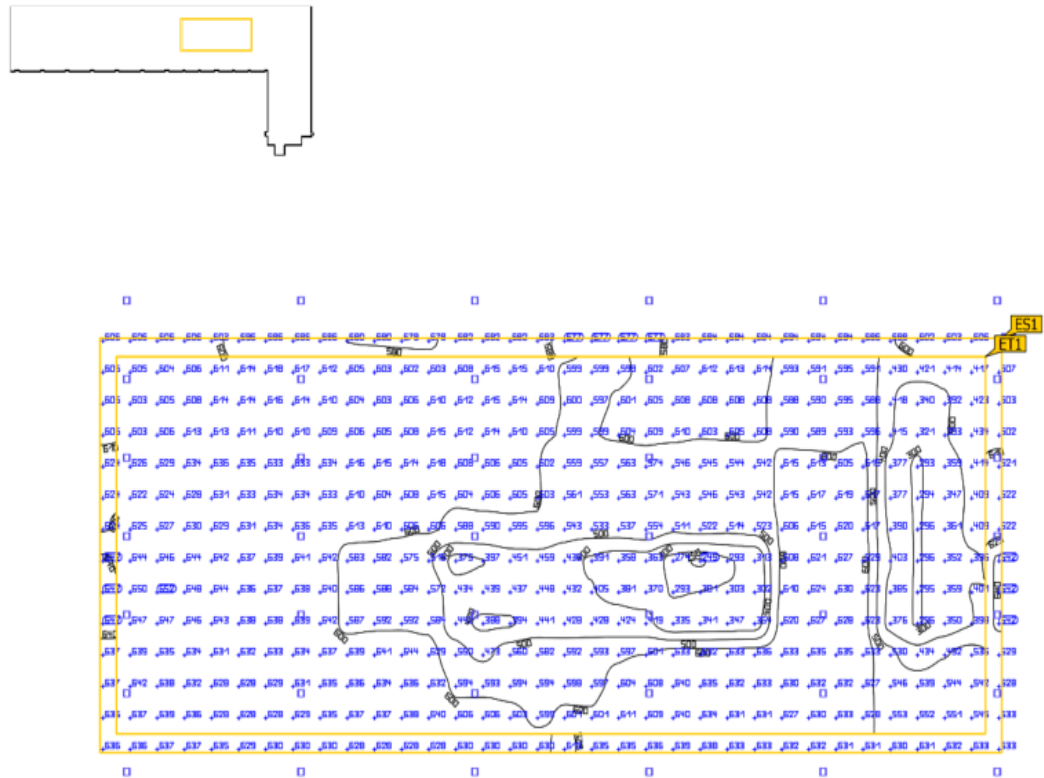
Fonte: Próprio Autor

8.5.1 Área de tarefa visual

Os critérios de iluminância para a área de montagem da Casa de Força, destinada à realização de pequenos serviços, são considerados aceitáveis. A altura da área de trabalho foi assumida em 0,75 cm, conforme a ABNT/8995-1. A área de montagem possui dimensões de 20x70 m. A iluminância média para cada tarefa está dentro dos valores recomendados pela norma ABNT NBR 8995-1 para garantir o conforto visual e a segurança do trabalhador. No

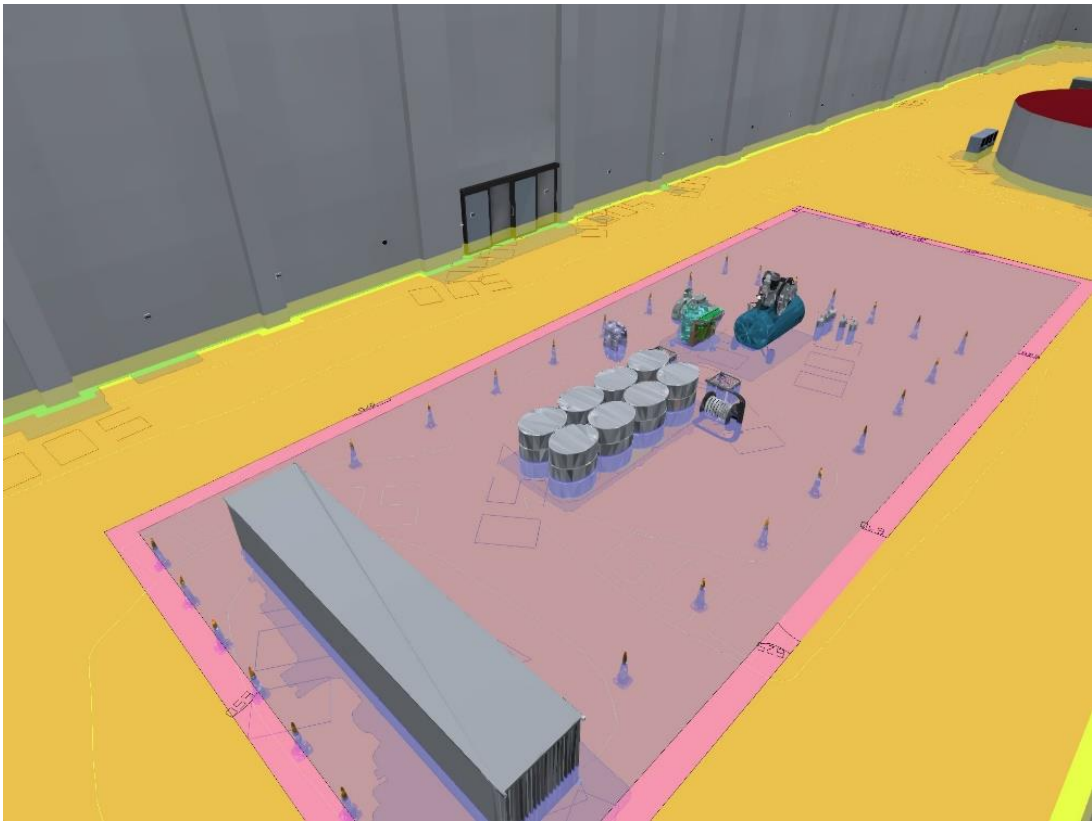
entanto, a presença de equipamentos ou objetos no solo justifica os valores de 300 lux, uma vez que pode causar sombreamento, resultando em níveis mais baixos de iluminância em alguns pontos do solo.

Figura 43 - Malha e linhas isográficas de pontos gerados pelo Software Dialux com a iluminância Led



Fonte: Próprio autor

Figura 44 - Área de Montagem.



Fonte: Próprio autor

Os valores da área de trabalho estão dentro da norma e os arredores apresentaram uniformidade conforme norma ABNT/NBR 8995-1.

Tabela 11 - Resultados da Area de Tarefa Visual.

Áreas da tarefa visual

Propriedades	E (Nominal)	E_{min}	E_{max}	$U_o (g_1)$ (Nominal)	g_2	Índice
Área da tarefa visual 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m, Arredores: 0.750 m	592 lx (≥ 500 lx) ✓	266 lx	684 lx	0.45 (≥ 0.70) ✗	0.39	ET1
Arredores 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	646 lx (≥ 300 lx) ✓	605 lx	676 lx	0.94 (≥ 0.40) ✓	0.89	ES1
Área de fundo 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.500 m	508 lx (≥ 100 lx) ✓	44.9 lx	672 lx	0.088 (≥ 0.10) ✗	0.067	EB1

Fonte: Próprio autor

8.6 SISTEMA ATUAL DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

O sistema atual de iluminação de emergência da UHE Porto Primavera é composto por blocos autônomos e armazenamento de energia conectados ao banco de baterias. As lâmpadas que compõem a iluminação de emergência são do tipo *LED* Bulbo 50W e as arandelas instaladas 2,20 m do solo, com uma distância de 7,5 m entre si, conforme ilustrado na figura 45 abaixo. Essa precaução visa assegurar que, mesmo na ausência de energia elétrica convencional, as luzes de emergência permaneçam acesas, proporcionando orientação e segurança em áreas críticas.

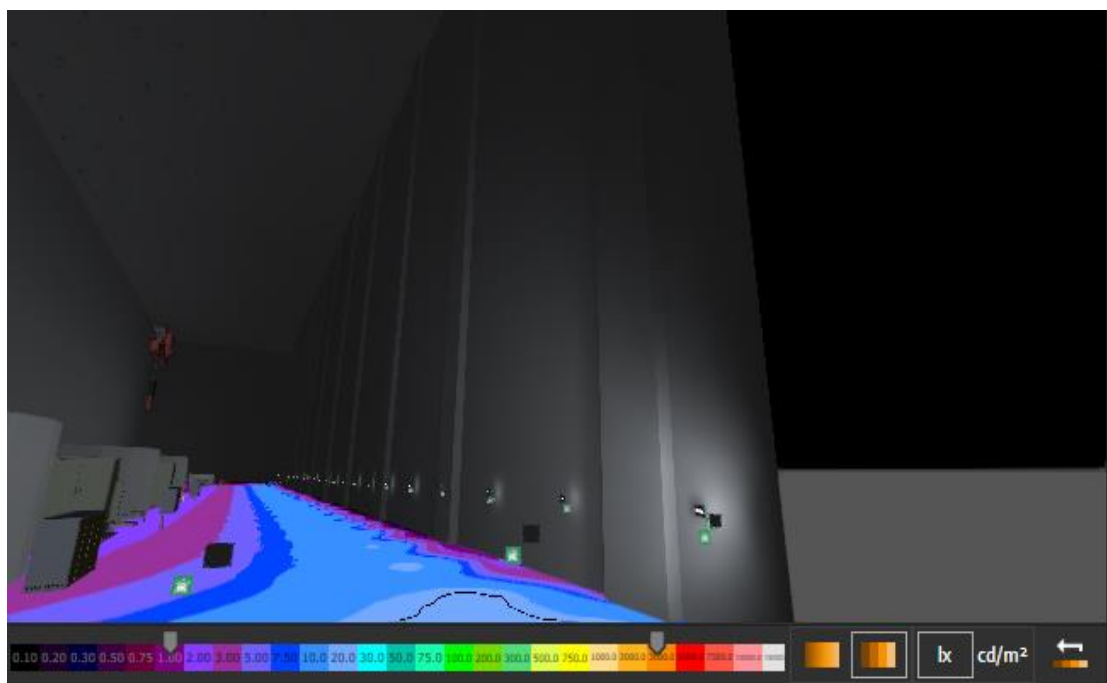
Figura 45 - Iluminação de emergência da UHE Porto Primavera.



Fonte: Próprio Autor

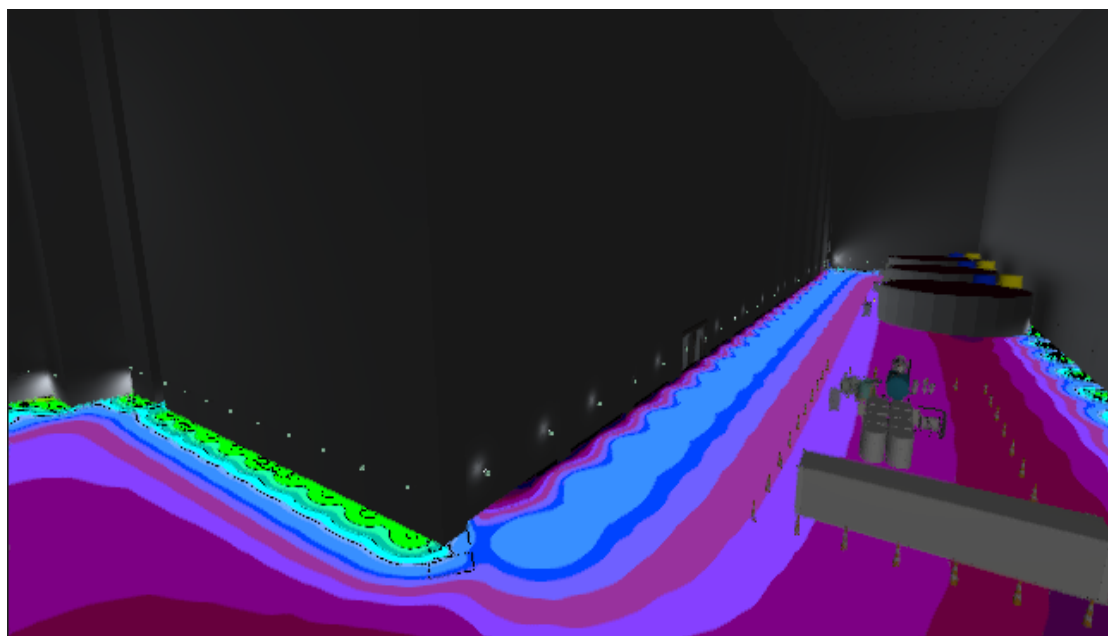
Para aprofundar o estudo deste trabalho, foi realizada uma simulação no Dialux Evo no modo de cenário noturno para validar as normas e comparar com as normas técnicas NBR 10898 de iluminação de emergência. Conclui-se que o sistema está dentro dos padrões, considerando a altura de até 2,5 m do solo, a distância de 7,5 m entre as luminárias e a iluminância ao nível do solo de 64 cd/m. Os resultados da simulação nas respectivas figuras 46 e 47.

Figura 46 - Linha isográficas no cenário de iluminação de emergência.



Fonte: Próprio Autor

Figura 47 - Curva Isográfica cenário de iluminação para sinalização de saída de emergência.



Fonte: Próprio Autor

8.7 COMPARATIVO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL E PROPOSTO: LÂMPADAS LEDS X LÂMPADAS VAPOR DE SÓDIO

A seguir na tabela 12 apresenta informações e resultados pertinentes as medições das luminárias comparando-as entre si.

Tabela 12 - Comparação de iluminância VS x LED.

	Vapor de Sódio de Alta Pressão	LED
Iluminância máxima (Emáx)	1.643	687
Iluminância mínima (Emín)	472	44.3
Iluminância média (Eméd)	1.392	525
Uniformidade (U)	0.33	0.084

Fonte: Próprio Autor

Após análise, percebe-se que a iluminância média (Eméd.) da lâmpada de Vapor de Sódio, em comparação com as lâmpadas de LED, é aproximadamente 165% superior ao valor recomendado para os locais de trabalho, conforme a norma ABNT/8995-1. Isso evidencia o sobredimensionamento da iluminância, resultando em um excesso no consumo de energia e comprometimento a saúde do trabalhador. Abaixo, destacam-se alguns danos que podem ser causados por esse sobredimensionamento de lux:

(PAIS, Aida,,Melo, Rui Bettencourt, 2011, p.02)

- i. Desconforto visual: O excesso de iluminação pode causar desconforto aos usuários, afetando a qualidade visual e a produtividade no ambiente de trabalho.
- ii. Fadiga Ocular: A intensidade excessiva de luz pode levar à fadiga ocular, resultando em cansaço e diminuição do desempenho visual ao longo do tempo.
- iii. Aumento da Temperatura do Ambiente: O sobredimensionamento contribui para o aumento da temperatura do ambiente, impactando negativamente no conforto térmico e até aumentando o consumo de energia de sistemas de refrigeração de ar.

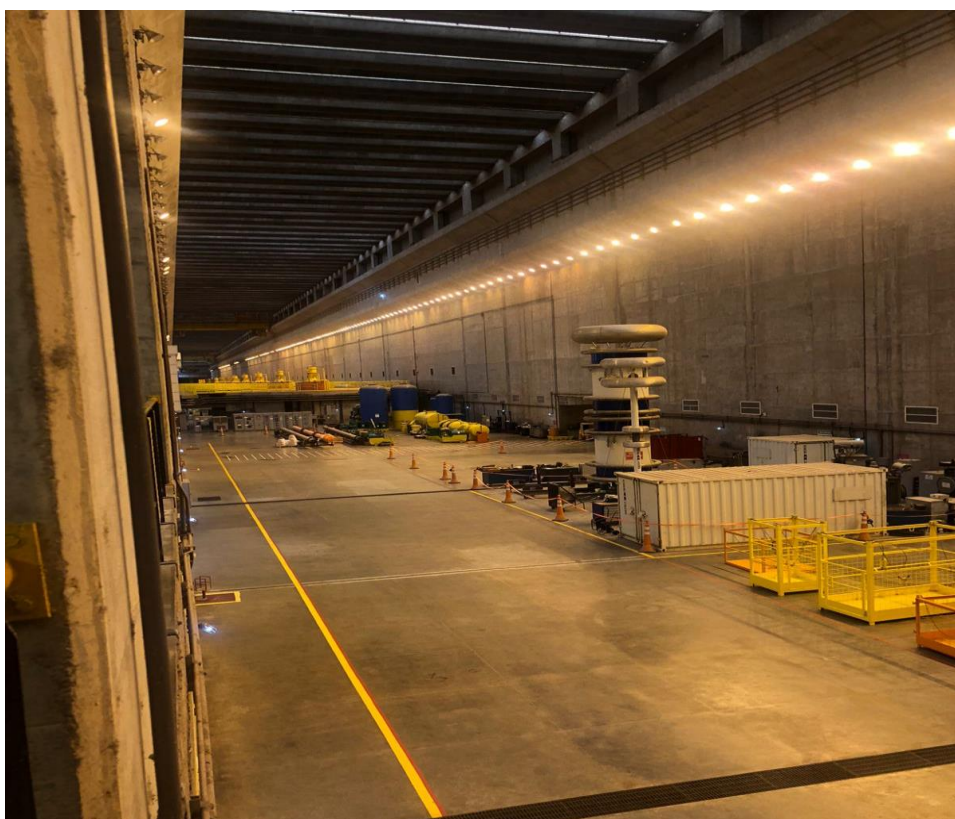
- iv. Aumento do consumo energético: O sobredimensionamento da iluminância não apenas impacta negativamente o conforto visual, mas também contribui para um aumento desnecessário nos custos de energia.
- v. Menor durabilidade das lâmpadas: O uso constante em níveis elevados de iluminância pode reduzir a vida útil das lâmpadas, aumentando os custos de manutenção.

Portanto, é crucial ajustar a iluminância de acordo com as diretrizes normativas da ABNT/NBR 8995-1 para garantir um ambiente de trabalho eficiente, sustentável e confortável.

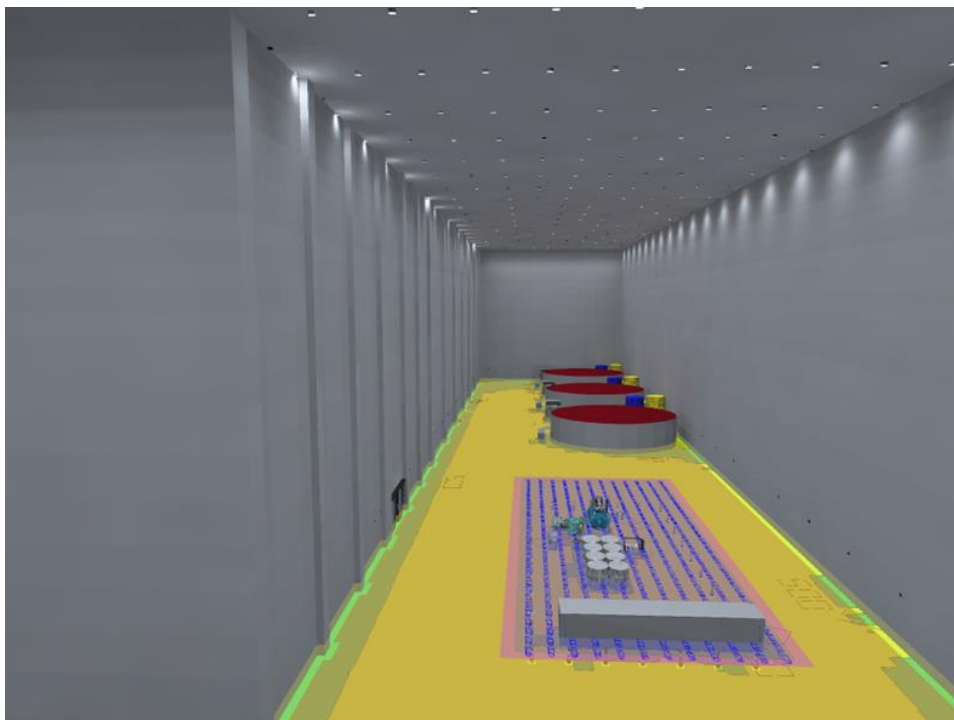
8.7.1 Temperatura de cor

Conforme a Figura 48, demonstra a iluminação a Vapor de Sódio de Alta Pressão com uma temperatura de cor de 2000 K (Branco quente), apresentando tons amarelados. Já na Figura 49, a temperatura de cor é de 5000 K, indicando uma luz mais fria, semelhante à luz do dia. A iluminação mais fria proporciona um maior conforto visual.

Figura 48 - Temperatura de Cor proposta iluminação Vapor de sódio de Alta Pressão.



Fonte: Próprio Autor

Figura 49 - Temperatura de Cor proposta iluminação *LED*

Fonte: Próprio Autor

8.8 COMPARATIVO FINANCEIRO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ATUAL E O PROPOSTO

O valor unitário das luminárias *LED* é de R\$: 940,00. O valor da mão de obra para a instalação das luminárias é de R\$ 48.700 o que representa, em média, R\$ 50,00 por luminária. O investimento necessário para a implementação de luminárias *LED* na usina é de aproximadamente R\$ 964.260,00.

Tabela 13 - Custo de Implantação da Solução Proposta.

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Refletor <i>LED</i> 200w	974	940	915.560
Mão de Obra	974	50,00	48.700
Total:	974	990	964.260,00

Fonte: Próprio Autor

Para uma análise financeira, é crucial compreender que o sistema de iluminação da UHE opera continuamente, 24 horas por dia, e a usina gera sua própria energia consumida, como mencionado no tópico 3.2. No entanto, para a análise comparativa do custo da energia, foi incluído no cálculo o custo médio de energia elétrica da Tarifa Elektro Residencial (TE), que é aproximadamente R\$ 0,3988/kWh. Dessa forma, é possível estabelecer uma comparação entre os custos anuais de energia elétrica dos dois sistemas de iluminação.

Tabela 14 - Comparativo entre o Sistema Atual e o Proposto de Iluminação.

Consumo de Energia	Nº	Potência (w)	Total (kWh)	Consumo Anual (R\$)
Vapor de Sódio	1174	400	469,6	4.057.344
LED	974	200	194,8	1.683.072
Diferença				2.374.272
Eficiência Energética				735.739

Fonte: Próprio Autor

Os custos com energia elétrica apresentariam uma redução significativa do consumo anual de cerca de 58,52% ao substituir o sistema de iluminação antigo por luminárias *LED*. Os gastos anuais diminuiriam de R\$ 4.057.344,00 para R\$ 1.683.072,00, resultando em uma economia de R\$ 2.374.272,00 anual.

Em relação à eficiência energética, ao comercializar o valor da energia economizada após a instalação do sistema *LED*, com base na Tarifa de Energia Elétrica Residencial (TE Elektro Residencial), o lucro arrecadado através da comercialização da energia seria de R\$ 735.739,00 anuais que corresponde a um lucro arrecadado mensal de R\$ 61.312,00.

Com os dados do investimento conhecidos para a implantação do novo sistema iluminação e a economia prevista, a viabilidade financeira desse investimento foi avaliada através do Valor Presente Líquido (VPL), que é uma técnica que envolve o cálculo do valor presente dos fluxos de caixa futuros, descontados pela taxa mínima de atratividade. O valor presente líquido pode ser calculado pela equação 3.

$$VPL = \left[\frac{PMT}{(1+i)} + \frac{PMT}{(1+i)^2} + \frac{PN+n}{(1+i)^n} \right] - PV \quad (3)$$

onde

PMT_1 . n são os fluxos de líquidos de caixa gerados pelo investimento;

PV é a saída de caixa necessária para a viabilização do projeto;

i é a taxa de atratividade utilizada para atualizar o fluxo de caixa

A análise financeira com o Valor Presente Líquido (VPL) é bastante direta. Após realizar os cálculos, se o VPL for negativo, o investimento não é considerado viável; por outro lado, se o VPL for maior ou igual a zero, o investimento é considerado viável. Outros parâmetros que complementam análise financeira VPL são:

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que faz com que o Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto seja igual a zero. Em termos simples, ela é a taxa que equilibra o

valor presente dos fluxos de caixa futuros com o investimento inicial. A TIR é calculada por meio da equação 4 apropriada para esse propósito:

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (4)$$

FC_t = Fluxo de caixa no período t;

VPL = 0

t = Período;

O IL, ou Índice de Lucratividade, também conhecido como Índice de Rentabilidade, é uma métrica que compara o valor presente dos fluxos de caixa positivos de um projeto com o investimento inicial. Quando o IL é maior que 1, isso indica que o projeto é lucrativo, uma vez que os ganhos superam os custos. Quanto maior o IL, mais atrativo é o projeto, pois os ganhos são mais substanciais em relação ao investimento inicial.

Com esses dados, foi possível desenvolver a Tabela 15, que demonstra o comparativo financeiro utilizando o cálculo matemático Valor Presente Líquido (VPL). Nessa tabela, foram determinados o VPL, TIR (Taxa Interna de Retorno), IL (Índice de Lucratividade) e *Payback*.

Tabela 15 - Planilha de Análise Financeira utilizando o cálculo matemático Valor Presente

		1º Ano (R\$)	2º Ano (R\$)	3º Ano (R\$)	4º Ano (R\$)	5º Ano (R\$)	6º Ano (R\$)	7º Ano (R\$)
Período 0								
Investimento Inicial (R\$)	-964.260	189.972	199.832	264.861	221.112	287.246	244.659	257.357
Saídas	-	-4.000	-4.208	-4.426	-4.656	-4.897	-5.151	-5.419
Soma Entradas e Saídas	-964.260	185.972	195.624	260.435	216.457	282.348	239.508	251.938
VPL	50.495	164.942	153.882	181.697	133.938	154.954	116.579	108.762
VPL Entradas	1.035.116	168.490	157.192	184.785	136.819	157.642	119.087	111.102
VPL Saídas	-984.621	-3.548	-3.310	-3.088	-2.881	-2.688	-2.507	-2.339
Cálculo <i>Payback</i>	-964.260	-799.318	-645.436	-463.738	-329.800	-174.846	-58.267	50.495
Taxa de Atratividade	13%	TIR	14%	IL	1,05	<i>Payback</i> (anos)	6,5	

Fonte: Próprio Autor

Para o cálculo do VPL do projeto, é necessário considerar o investimento inicial de R\$ -964.260,00 no ano 0. Os valores nos períodos futuros correspondem o fluxo de caixa dos

valores gastos ou pagos, sendo assim, será possível realizar a soma de todo o fluxo de caixa no futuro e transformar no presente.

A taxa de atratividade será estimada em 12,75%, com base na Taxa Selic, que é a taxa básica de juros utilizada pelo Banco Central do Brasil para controlar a inflação e servir como referência para outras taxas no país. O valor da inflação será de 5,19% ao ano, já corrigidos ao longo do período de 7 anos.

Com a soma total do valor do fluxo de caixa futuro, o VPL foi positivo em R\$ 50.495, evidenciando que o retorno financeiro superará o investimento. Se considerarmos esse valor como parte do investimento, somado ao valor do fluxo de caixa presente (984.260 + 50.495), o investimento total seria de R\$ 1.035.116, demonstrando a viabilidade financeira do projeto, com um *payback* superior ao investimento inicial. Além disso, um Índice de Lucratividade (IL) acima de 1 indica lucratividade, e o período de *payback* do projeto é de 6 anos e 5 meses, indicando que o investimento inicial será recuperado nesse intervalo.

Outro ponto relevante é que o atual sistema de iluminação, utilizando lâmpadas a vapor de sódio, possui uma vida útil de 24.000 horas, conforme a tabela 16, com garantia de 24 meses. A vida útil é definida como o momento em que a lâmpada atinge 70% do seu brilho inicial. Em contraste, as lâmpadas LED possuem uma vida útil de 102.000 horas, o que reduz os custos de manutenção em comparação com as lâmpadas de vapor de sódio. Estas exigem manutenção ou substituição a cada (2 anos e 7 meses) a 5 anos, fora da garantia. Isso resulta em economia nos gastos com manutenção, contribuindo para a diminuição do custo operacional (*OPEX*) anual.

Tabela 16 - Análise de manutenção e vida útil.

	LED	Vapor de Sódio de Alta Pressão
Total de Lâmpadas	974	1.174
Horas de uso	8.760	8.760
Valor por lâmpada (R\$)	940,00	40,00
Mão de obra	50,00	50,00
Vida Útil (Horas)	102.000	24.000
Vida Útil (Ano)	12	2,7
Garantia (meses)	24	24
Manutenção/ Substituição	Menos propensa a manutenção frequente.	Substituição entre 3 e 5 anos.

Fonte: Próprio Autor

Esses resultados são promissores e indicam que a implementação das luminárias *LED* na usina é uma escolha financeiramente vantajosa, visto que ela possui uma vida-útil duradoura.

9 CONCLUSÃO

Com este trabalho, foi possível quantificar a energia economizada ao utilizar sistemas de iluminação mais eficientes. No estudo de caso realizado, prevê uma redução de 58,52% no consumo anual de energia do sistema de iluminação da UHE Porto Primavera.

A simulação dos cálculos luminotécnicos no *software* Dialux comparou a iluminância entre LED e lâmpada a vapor de sódio em alta pressão. Notou-se que a vapor de sódio é 165% superior ao valor recomendado pela ABNT/NBR 8995-1 para locais de trabalho, podendo causar desconforto e fadiga visual. Além disso, ocorre consumo excessivo de energia e gastos com os custos de manutenções da lâmpada vapor de sódio, que apresentam menor vida útil em comparação com a lâmpada LED.

Na análise, foi calculado o *payback* via Valor Presente Líquido (VPL) do custo do investimento inicial do projeto. Verificou-se que o sistema de iluminação LED proposto para a Casa de Força apresenta viabilidade financeira, com o VPL resultante de R\$ 50.495 e somado com o valor do fluxo de caixa presente o valor do investimento de entrada é R\$ 1.035.116, demonstrando que o projeto apresenta viabilidade financeira, e um *payback* maior que investimento inicial. O Índice de Lucratividade é superior a 1, indicando rentabilidade, e o período de *payback* é 6 anos e 5 meses, indicando a recuperação do investimento nesse período.

O projeto luminotécnico não apenas proporcionou eficiência energética, reduzindo o consumo do serviço auxiliar, mas também aumentou a quantidade de energia disponível para comercialização. O lucro anual proveniente da comercialização de energia atingiu R\$ 735.739,00, correspondendo a um ganho mensal de R\$ 61.312,00. Esses aspectos econômicos e de qualidade de iluminação tornam o projeto financeiramente vantajoso e propício para um ambiente de trabalho eficiente e seguro.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de sensores de presença e interruptor paralelo, otimizando o consumo de energia ao permitir que o interruptor controle tanto a lâmpada quanto o sensor em duas posições. Isso evita gastos desnecessários quando a luz não é necessária, sem a necessidade das iluminações em galerias e corredores ficarem acesas durante 24 horas.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior, ABNT, 2013**. Disponível em: \<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vilmair/instalacoes-prediais-1/normas-e-tabelas-de-dimensionamento/NBR_ISO_CIE8995-1.pdf/view>. Acesso em: 2 jun. 2023.
- ABNT NBR ISO/CIE 1089-8: **Sistema de Iluminação de Emergência, Segunda Edição, 2013**. Disponível em: \<<https://www.normas.com.br/visualizar/artigo-tecnico/1888/nbr-10898-sistema-de-iluminacao-de-emergencia>>. Acesso em: 2 jun. 2023.
- ABNT NBR ISO/CIE 5413: **Iluminância de Interiores, ABNT, 1992**. Disponível em: \<ABNT NBR 5413 (iluminação De Interiores).pdf [x4e6y55o39n3] (idoc.pub)>. Acesso em: 3 jun. 2023.
- ABRADEE. **Visão geral do setor**. Disponível em: \<<https://abradee.org.br/visao-geral-do-setor/>>. 2011. Acesso em: 9 set. 2023.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: \<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren2012482.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- ANEEL. Lei nº 14.300, 6 de janeiro de 2022. **Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída**. Disponível em: \<<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/regulacao-do-novo-marco-legal-de-micro-e-minigeracao-distribuida-entra-em-consulta-publica>>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilumi). (2023). **Proibida no Brasil comercialização de lâmpadas LED sem certificação**. Disponível em: \<<https://www.abilumi.org.br/proibicao-lampadas-LED-sem-certificacao/>>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO (ABILUX). **Guia LED descomplicado**. 2023. Disponível em: \<https://www.abilux.com.br/docs/Abilux_Guia-LED-descomplicado.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- AUREN. **Relatório Anual e de Sustentabilidade 2022**. Disponível em: \<<https://ri.aurenenergia.com.br/governanca-corporativa/relatorio-anual-e-de-sustentabilidade/>>. Acesso em: 30 jun.2023.
- BARDAL, Matheus; SCHANHUK, Jean Carlos; SILVEIRA, Bianca Brekailo. **Condições ambientais de trabalho: iluminação**. Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586, v. 1, p. 52-65, 2022. Disponível em: \<<https://phantomstudio.com.br/index.php/RTE/article/view/2156>>. Acesso em: 3 jul.2023.
- BARROS, Luisa Valentim. **Avaliação de modelos de negócio para energia solar fotovoltaica no mercado de distribuição brasileiro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: \<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11092014-152117/pt-br.php>>. Acesso em: 15 jul.2023.

BENDER, Vitor Cristiano et al. **Metodologia de projeto eletrotérmico de LEDs aplicada ao desenvolvimento de sistemas de iluminação pública**. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8510>>. Acesso em: 2 ago.2023.

BOQUIMPANI, C. L. et al. **Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica**. Ambiente Construído, 19 (4),303–316.2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/b6xKHMSwZw6qWLTyfpfFgTs>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

BOVOLENTA, Priscila; BERTOLINI, Geysler Rogis F. **Energy efficiency applied em public lighting/a eficiência energética aplicada na iluminacao publica**. Revista Competitividade e Sustentabilidade, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2020. Acesso em: 17.jul.2023.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre política nacional de conservação e uso racional de energia**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 out. 2001. Seção 1, p. 1. BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11092014-152117/pt-br.php>>. Acesso em: 15 jul.2023.

BRASIL. Lei Nº 14.300 (2022). Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm>. Acesso em: 16 jul.2023.

CAIJI. (2023). **Medidor de luz portátil Luxmeter 0-200000 Lux**. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Medidor-port%C3%A1til-Luxmeter-0-200000-CAIJI/dp/B0BGKD7MSH>>. Acesso em: 8 de outubro de 2023.

CARDOSO, G. T. (2018). **Crítérios e desafios na etiquetagem de edifícios públicos: Investigação no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense - IFSul**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 17(2), 23-31. Acesso em: 19 jul.2023.

CARLINHOS, Andreia Mirão. **Utilização eficiente de sistemas de iluminação**. 2011. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2011. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/303717756.pdf>>. Acesso em: 2 ago.2023.

CASTRO, Adriana Alice Sekeff; CHAVES, Yuri Alencar; MARTINS, Gabriela de Medeiros Lopes. **Desempenho de uma habitação de interesse social pelo programa brasileiro de etiquetagem de edificação: estudo de caso em são luís do maranhão**. Encontro nacional de conforto no ambiente construído, v. 15, p. 2304-2313, 2019. Acesso em: 17.jul.2023.

DA SILVA FERNANDES, Ana Lucia Fernandes et al. **Análise dos níveis de iluminamento em salas de aula de uma universidade pública da região norte: uma aplicação da norma de higiene ocupacional (nho11)**. Revista de engenharia e tecnologia, v. 12, n. 2, 2020.

DE OLIVEIRA NETO, José Alexandre; DE MORAES, Carmelina Suquerê. **Casa eficiente em cuiabá-parâmetros de implantação da certificação do programa nacional de conservação de energia elétrica-procel**. TCC-Arquitetura, 2018. Disponível em:

\<<https://www.repositoriodigital.univag.com.br/index.php/arquit/article/view/704>>. Acesso em: 19.jul.2023.

DOE - The U.S Department of Energy (2012a). **National Energy Efficiency and Conservation Program.** [s/l], [s/d]. Disponível em: \<[https://www.bing.com/search?q=DOE++The+U.S+Department+of+Energy+\(2012a\).+National+Energy+Efficiency+and+Conservation+Program](https://www.bing.com/search?q=DOE++The+U.S+Department+of+Energy+(2012a).+National+Energy+Efficiency+and+Conservation+Program)>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021.** Disponível em: \<<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em 30.jun.2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Modernização do Setor Elétrico: Inserção de Novas Tecnologias.** Disponível em: \<<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/modernizacao-do-setor-eletrico/insercao-de-novas-tecnologias>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Fire Shield (2023). **Instalação de iluminação de emergência. Campinas. – SP.** Disponível em: \<Instalação de iluminação de emergência - proteção contra incêndio em Campinas e São Paulo (fireshield.com.br)>. Acesso em: 08 de agosto de 2023.

FLUKE. (2023). **Alicates Amperímetros Fluke 325.** Disponível em: \<<https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-325>>. Acesso em: 8 de outubro de 2023.

GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação.** Anais Enatac, v. 7, p. 401-409, 1998. Disponível em: \<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111902?show=full>>. Acesso em: 2 ago.2023.

GLIGHT. (2023). **Bloco Autônomo LED P/ Iluminação de Emergência 20W - 3000lm 6500K autovolt.** Disponível em: \<<https://www.glight.com.br/produto/845/bloco-autonomo-de-emergencia-LED/3635/bloco-autonomo-LED-p-iluminacao-de-emergencia-20w-3000lm-6500k-autovolt>>. Acesso em: 8 de outubro de 2023.

GLIGHT. (2023). **Refletor LED 200W Módulo DC com DPS 4x50-90 5000K 150lm/W Alumínio Autovolt Branca.** Disponível em: \<<https://www.glight.com.br/produto/826/refletores-modulares/3393/refletor-LED-200w-modulo-dc-com-dps-4x50-90-5000k-150lm-w-aluminio-autovolt-branca>>. Acesso em: 8 de outubro de 2023.

GOMES, Adjeferson Custódio et al. **Programa brasileiro de etiquetagem: breve panorama.** 2019 Disponível em: \<https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/artigos/artigo_425.pdf>. Acesso em: 18.jul.2023.

Guia da Engenharia. (2020). **Luminotécnica.** Disponível em: \<<https://www.guiadaengenharia.com/luminotecnica/>>. Acesso em: 24 jul.3023.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem (2023).** Disponível em: \<Programa Brasileiro de Etiquetagem — INMETRO (www.gov.br)>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

LORENZI, Thiago. **4 doenças causadas pela má iluminação no ambiente de trabalho.** SST Online. Disponível em: \<<https://www.sstonline.com.br/4-doencas-causadas-pela-ma-iluminacao-no-ambiente-de-trabalho/>>. Acesso em: 21 set.2023.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). 2023.** Disponível em: \<<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>>. Acesso em: 29 jul.2023.

MONTEIRO, Larissa et al. **Sistema de iluminação do CAD 3-análise pela INI-C para retrofit.** Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, v. 19, p. 1-11, 2022. Disponível em: \<https://www.researchgate.net/publication/366185537_Sistema_de_iluminacao_do_CAD_3_-_analise_pela_INI-C_para_retrofit_Lighting_system_CAD_3_-_INI-C_analysis_and_retrofit>. Acesso em: 2 ago.2023.

NetScreen 2020. **Consumo de energia fluorescente vs LED? NetScreen LED Technology.** Disponível em: \<<https://www.netscreen.pt/blog/iluminacao-fluorescente-led/>>. Acesso em: 21 jun.2023.

OSRAM Brasil. (2007). **Luminância.** Disponível em: \<<https://www.osram.com.br/cb/>>. Acesso em: 5 setembro de 2023.

PAIS, Aida; MELO, Rui Bettencourt. **Condições de iluminação em ambiente de escritório: influência no conforto visual Lighting conditions in an office environment: influence on visual comfort.** 2011. Tese de Doutorado. Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em Ergonomia na Segurança no Trabalho. Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Motricidade Humana. Disponível em: \<<https://core.ac.uk/download/pdf/70639208.pdf>>. Acesso em: 05 jul.2023

PEDROSO, Alessandro de Ramos. **Iluminação de exteriores utilizando tecnologia LED: estudo de caso.** 2011. Disponível em: \<<https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/120463>>. Acesso: 23 ago.2023.

PROCEL. **Lei de Eficiência Energética. 2014.** Disponível em: \<[lei.pdf \(procelinfo.com.br\)](http://procelinfo.com.br)>. Acesso em: 18.jul.2023.

REBELLO, R. Z.; LIMA, M. T. W. D. C.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. **Characterization of end-of-life LED lamps for the recovery of precious metals and rare earth elements. Resources, Conservation and Recycling,** v. 153, p. 1-7, 2020. Disponível em: \<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092134491930463X>>. Acesso em: 13 ago.2023.

SÁ, Rodrigo. **Projeto Luminotécnico com Dialux Evo conforme NBR 8995-1.** Udemy. Disponível em: \<<https://www.udemy.com/course/projeto-luminotecnico/learn/lecture/29122322#overview>>. Acesso em: 7.jun.2023.

SANTOS E. C. A.; SILVEIRA, T. A.; COLLING, A. V.; MORAES, C. A. M.; BREHM, F. A. **Recycling Processes for the Recovery of Metal from E-waste of the LED Industry.** In: KHAN, A.; INAMUDDIN; ASIRI, A. M. (Eds). *E-waste Recycling and Management – Present Scenarios and Environmental Issues.* 1 Ed. Springer Nature Switzerland AG. p. 159-177, 2020. Acesso em: 29 jul.2023.

SANTOS, E. C. A.; CAMACHO, A. L. D.; RAUBER, L. D.; MORAES, C. A. M. **Desmontagem e caracterização de Lâmpadas LED para Recuperação de Materiais**. In: TULLIO, L. (Org.). *Gestão de Resíduos Sólidos 2*. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. E-book. Disponível em: \<<https://www.atenaeditora.com.br/wpcontent/uploads/2019/03/E-book-Gest%C3%A3o-de-Res%C3%ADduosS%C3%B3lidos-2-2.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

UNILUMI. **O que é Temperatura de Cor?** .2023. Disponível em: \<<https://unilumi.com.br/glossario/o-que-e-temperatura-de-cor/>>. Acesso em: 03 jul.2023.

VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações. Campinas - SP: Elektro, 2012**. Disponível em: \<<https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/EficientizaçãoEnergética/LivroEficiênciaEnergetica.pdf>>. Acesso em: 02 de outubro de 2023.

Viva Decora. 2018. **Curva fotométrica**. Disponível em: \<<https://www.vivadecora.com.br/pro/curva-fotometrica/>>. Acesso em: 3 jun.2023.

VOITILLE, Nadine. **O que é Índice de Reprodução de Cores (IRC)? - Clique Arquitetura | Seu portal de Ideias e Soluções. 2020**. O que é Índice de Reprodução de Cores (IRC)? .2020. Disponível em: \<[https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/o-que-e-indice-de-reproducao-de-cores-\(irc\)?.html](https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/o-que-e-indice-de-reproducao-de-cores-(irc)?.html)>. Acesso em: 03 jul.2023.

ZHOU, J., ZHU, N., LIU, H., WU, P., ZHANG, X., ZHONG, Z. **Recovery of gallium from waste light emitting diodes by oxalic acidic leaching. Resources, Conservation & Recycling J.**, v. 146, p. 366-372, 2019.