

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Gustavo Felipe Klauck Kern

**AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO INTERNA DE UMA ESCOLA DE ENSINO
FUNDAMENTAL E MÉDIO DE DOURADOS-MS: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO
A NORMA ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013**

DOURADOS/MS

2017

GUSTAVO FELIPE KLAUCK KERN

**AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO INTERNA DE UMA ESCOLA DE ENSINO
FUNDAMENTAL E MÉDIO DE DOURADOS-MS: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO
A NORMA ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia, da Universidade Federal da Grande Dourados, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima

DOURADOS/MS

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

K39a Kern, Gustavo Felipe Klauck
AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO INTERNA DE UMA ESCOLA DE
ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO DE DOURADOS-MS: ESTUDO DE
CASO UTILIZANDO A NORMA ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 /
Gustavo Felipe Klauck Kern -- Dourados: UFGD, 2017.
97f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Aureo Cezar de Lima

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de
Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Análise de iluminação. 2. Simulação DIALUX. 3. Iluminação LED.
4. Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

Gustavo Felipe Klauck Kern

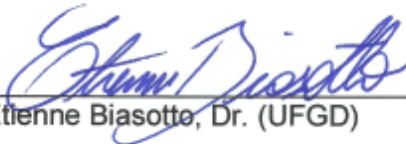
**AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO INTERNA DE UMA ESCOLA DE ENSINO
FUNDAMENTAL E MÉDIO DE DOURAOS-MS: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO
A NORMA ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal da Grande Dourados,
como requisito parcial para a obtenção de
título de Engenheiro de Energia.

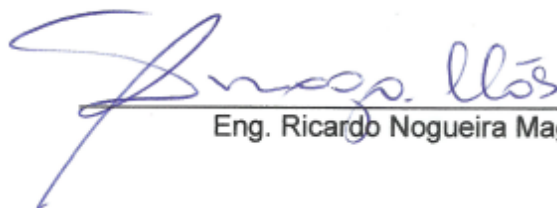
Aprovado em 06 de setembro de 2017.



Aureo Cezar de Lima, Dr. (UFGD)
(Presidente / Orientador)



Etienne Biasotto, Dr. (UFGD)



Eng. Ricardo Nogueira Magalhães, Msc.

Dourados/MS

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo suporte e incentivo durante toda a duração da vida acadêmica, sem vocês não teria conseguido chegar até aqui.

Aos meus amigos e colegas que, durante o período de graduação, pela partilha de conhecimentos, não só acadêmicos, como de vida.

Ao orientador, professor Dr. Aureo Cezar de Lima, pela orientação, paciência e ensinamentos.

À escola, por ter disponibilizado suas salas de aula para realizar este trabalho e pela colaboração com tudo que foi necessário para sua execução.

E a todos professores, cujos ensinamentos me engrandeceram para que pudesse me tornar quem sou hoje.

RESUMO

A iluminação é imprescindível para a realização de atividades e pode causar impactos tanto positivos quanto negativos à saúde humana. De acordo com o ambiente e a atividade a ser executada, diferentes intensidades luminosas podem ser recomendadas. Este trabalho teve como objetivos analisar a iluminação das salas de aula de uma escola de ensino fundamental e médio da cidade de Dourados-MS, para então, verificar a conformidade de acordo com a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1; propor um projeto luminotécnico para melhoria da eficiência energética na iluminação e simular a iluminação das salas de aula para os projetos propostos, utilizando-se o software DIALUX. As medidas de iluminância foram feitas para o caso de pouca iluminação natural de duas salas, obtendo-se, na primeira, 215 lux e, na segunda, 213 lux para iluminância média medida e uniformidades de 0,47 e 0,59, respectivamente. O cálculo luminotécnico foi feito para tempos de horas de operação diferentes para luminárias LED. O projeto LED25, possui 25.000 horas de operação e, o projeto LED50, 50.000 horas. Para comparação entre o sistema atual de iluminação e os de LED propostos, ajustou-se a quantidade de lâmpadas atuais do sistema de iluminação. Comparando-se ao sistema atual ajustado, através do sistema LED25, pode-se economizar 13.445 kWh/ano de energia e R\$10.485,86 em valores anuais. Para o sistema LED50, obteve-se economia em consumo de 11.780 kWh/ano e R\$ 9.188,21 em valores anuais. Através dos cálculos de viabilidade econômica, observou-se que os dois projetos LED são economicamente viáveis. O projeto LED25 possui 6,1 anos para retorno de investimento enquanto que o LED50 10,1 anos.

Palavras-chave: Análise de iluminação, Simulação DIALUX, Iluminação LED, Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.

ABSTRACT

Lighting is imperative to carry out activities and can have both positive and negative impacts on human health. Depending on the environment and activity to be performed, different luminous intensities may be recommended. The objective of this study was to analyze the lighting in the classrooms of a school located in the city of Dourados-MS, in order to verify compliance in accordance with ABNT NBR ISO/CIE 8995-1; To propose a lighting project to improve the energy efficiency in lighting and to simulate the lighting of the classrooms for the proposed projects, using DIALUX software. The illuminance measurements were done considering the case of low Natural light input for two rooms, in which, resulted in 215 lux and 213 lux for measured average illuminance and uniformities of 0.47 and 0.59, respectively. The lighting design was done for two different operating hours for LED luminaires, LED25 design for 25,000 hours of operation and LED50 design for 50,000 hours. For comparison between the current lighting system and the proposed LEDs, the number of current lamps in the current lighting system had to be adjusted. Compared to the current lighting system adjusted, through the LED25 system, it is possible to save 13,445 kWh/year of energy and R\$ 10,485.86 in annual invoice values. For the LED50 system, savings were achieved in consumption of 11,780 kWh/year and R\$ 9,188.21 in annual invoice amounts. Through the calculations of economic feasibility, it was observed that the two LED projects are economically viable. The LED25 project has 6.1 years for return on investment while the LED50 has 10.1 years.

Keywords: Lighting analysis, DIALUX simulation, LED, ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do consumo de eletricidade no Brasil de 2010 à 2020, por classe (%)	16
Figura 2 – Espectro de ondas eletromagnéticas	18
Figura 3 – Sensibilidade dos três tipos de cones no olho humano	19
Figura 4 – Reflexão e Refração de raio de luz	20
Figura 5 – Fluxo luminoso proveniente de uma lâmpada	21
Figura 6 – Curva de distribuição luminosa para luminária Lumicenter CAA06-E132	22
Figura 7 – Exemplo ilustrativo da variação da iluminância com o distanciamento da fonte luminosa	22
Figura 8 – Exemplo da relação entre os conceitos luminotécnicos	23
Figura 9 – Classificação das tonalidades de cor de fontes luminosas	24
Figura 10 – Objeto iluminado sob diferentes temperaturas de cor: a) $T = 3000\text{ K}$, b) 4000 K , c) 5600 K	25
Figura 11 – Classificação de fontes de luz artificial	26
Figura 12 – Lâmpada incandescente comum	27
Figura 13 – Lâmpadas fluorescentes: a) Tubular b) Compacta espiral	28
Figura 14 – Lâmpada de vapor de sódio	29
Figura 15 – Lâmpada tubular LED	30
Figura 16 – Altura entre luminária e olho para cálculo do UGR	34
Figura 17 – Tabela de índices UGR para a luminária LED ITAIM da linha 3006 BLLBA 31 W para a razão de espaçamento de luminárias/altura de montagem acima dos olhos de observador de 0,25	35
Figura 18 – Exemplo de separação de circuito de luminárias paralelas às aberturas	40
Figura 19 – Foto do decibelímetro multifunções HOMIS 425-A	43
Figura 20 – Representação das variáveis para cálculo da altura do pé direito de trabalho	45
Figura 21 – Exemplo de tabela de fator de utilização	46
Figura 22 – Malhas de cálculo e pontos de medição para as salas 1°C e 65°C	54
Figura 23 – Iluminâncias na sala 1°C da EFM avaliadas em julho de 2017	55
Figura 24 – Curvas isolux das iluminâncias medidas na sala 1°C realizadas em julho de 2017	56
Figura 25 – Iluminâncias na sala 65°C da EFM avaliadas em julho de 2017	57
Figura 26. Curvas isolux das iluminâncias medidas na sala 65°C realizadas em julho de 2017	58
Figura 27 – Luminária LED 3006 PREMIUM da ITAIM iluminação	59

Figura 28 – Curvas de distribuição luminosa para a luminária LED 3006 PREMIUM da ITAIM ILUMINAÇÃO.	60
Figura 29 – Comportamento da manutenção de lúmens para luminárias LED com diferentes taxas de depreciação de lúmens e vidas úteis L70, L80 e L90 para 50.000 horas de operação.....	64
Figura 30 – Distribuição de iluminâncias do ajuste das quantidades de lâmpadas fluorescentes para se adequar à iluminância média mantida descrita pela Norma.	67
Figura 31 – Relação do número de dias úteis por mês para o ano letivo.	69
Figura 32 – Comparação entre os consumos anuais de energia elétrica entre o sistema atual de iluminação ajustado e os sistemas LED50 e LED25 propostos.....	70
Figura 33 – Preços médios de energia elétrica para a EFM no período de um ano.	71
Figura 34 – Valores de consumo de energia elétrica anuais para o sistema de iluminação atual, LED50 e LED25.	72
Figura 35 – Curva de retorno financeiro do investimento de iluminação LED para 50.000 horas de operação.....	76
Figura 36 – Curva de retorno financeiro do investimento de iluminação LED para 25.000 horas de operação.....	78
Figura 37 – Visão de uma sala de aula o Grupo 1 desenhada no software DIALux.	81
Figura 38 – Medidas de iluminância simuladas no DIALux para o grupo 1 de salas de aula, para a) fluxos luminosos iniciais e b) fluxos luminosos reduzidos em 15%.	82
Figura 39 – Visão de uma sala de aula do grupo 2 desenhada no software DIALux.....	83
Figura 40 – Medidas de iluminância simuladas no DIALux para o grupo 2 de salas de aula, para a) fluxos luminosos iniciais e b) fluxos luminosos reduzidos em 15%.	84
Figura 41 – Visão de uma sala de aula do grupo 3 desenhada no DIALux.	85
Figura 42 – Medidas de iluminância simuladas no DIALux para o grupo 3 de salas de aula, para a) fluxos luminosos iniciais e b) fluxos luminosos reduzidos em 15%.....	85
Figura 43 – Desenho da Escola EFM feita no DIALux.	86
Figura 44 – Simulação de iluminação natural para uma sala de aula, para o dia 02/09/2017 às 09:00.....	87
Figura 45 – Simulação de iluminação natural para uma sala de aula, para o dia 02/09/2017 às 14:00.....	88
Figura 46 – Divisão de circuitos de acionamento de luminárias para obtenção do pré-requisito de nível B de eficiência energética de iluminação, exemplo para a sala 1C.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de iluminância mantida definidos pela Norma 8995.....	32
Tabela 2 – Iluminâncias mantidas no entorno imediato.....	33
Tabela 3 – Pré-requisitos para as classificações “A”, “B” e “C” de eficiência energética.	39
Tabela 4 – Limite máximo aceitável de DPIL de acordo com o nível de eficiência pretendido, para o método das atividades.	41
Tabela 5 – Valores de refletâncias.....	46
Tabela 6 – Condição para atratividade de um investimento.	51
Tabela 7 – Dimensões das salas analisadas.	53
Tabela 8 – Tamanho de malha de medição e número de pontos de medida para as duas salas de aula analisadas.....	53
Tabela 9 – Especificações da luminária LED 3006 PREMIUM 31 W da ITAIM ILUMINAÇÃO.	59
Tabela 10 – Fatores de utilização para luminárias da linha LED 3006 BLLBA 31 W da ITAIM iluminação.	60
Tabela 11 – Valores de altura de pé direito de trabalho para os grupos de sala de aula.....	61
Tabela 12 – Valores de índices de ambiente para os grupos de sala de aula.....	62
Tabela 13 – Valores de fator de utilização para os grupos de sala de aula.....	62
Tabela 14 – Quantidade de luminárias necessárias para iluminar os três grupos de salas de aula, para os projetos com 50.000 e 25.000 horas de operação.....	65
Tabela 15 – Valores de altura de montagem de luminária acima dos olhos do observador "H" e razões das dimensões do ambiente por “H”.....	66
Tabela 16 –Valores dos índices de ofuscamento unificado para os três grupos de salas de aula, avaliados através do método tabular.....	66
Tabela 17 – Especificações do sistema de iluminação, para os três grupos de salas de aula.	67
Tabela 18 – Comparação de potências instaladas entre os sistemas de iluminação atual ajustado e os de LEDs propostos.	68
Tabela 19 – Horários de utilização do sistema de iluminação nas salas de aula.....	68
Tabela 20 – Quantidade de horas por dia de uso do sistema de iluminação.....	68
Tabela 21 – Valores das faturas e consumos totais de energia elétrica mensais.....	71
Tabela 22 – Comparação das reduções dos valores anuais de consumo de energia para os projetos de iluminação propostos LED50 e LED25.	72
Tabela 23 – Custo total das luminárias LED para os projetos LED50 e LED25.....	72
Tabela 24 – Vida útil para o projeto de iluminação das salas de aula do ensino fundamental e do primeiro ano do ensino médio.	73

Tabela 25 – Número de anos necessários para troca das lâmpadas fluorescentes compactas FOXLUX 65W para o ensino fundamental e para o ensino médio.	73
Tabela 26 – Intervalo em anos para efetuar a troca das lâmpadas fluorescentes do sistema atual de iluminação, considerando-se a vida útil da proposta do sistema LED.....	74
Tabela 27 – Valores de investimentos totais para os projetos LED25 e LED50.	75
Tabela 28 – Detalhamento do fluxo de caixa no período de 22 anos, benefício líquido anual, valor presente e valor presente acumulado após a implementação da proposta de iluminação LED com 50.000 horas de operação.....	75
Tabela 29 – Comparação entre TIR e TMA para a proposta de projeto com iluminação LED com 50.000 horas de operação	77
Tabela 30 – Detalhamento do fluxo de caixa no período de 11 anos, benefício líquido anual, valor presente e valor presente acumulado após a implementação da proposta de iluminação LED com 25.000 horas de operação.....	77
Tabela 31 – Comparação entre TIR e TMA para a proposta de projeto com iluminação LED com 50.000 horas de operação.	79
Tabela 32 – Comparação entre os resultados de viabilidade econômica para os projetos de iluminação LED50 e LED25.	79
Tabela 33 – Dimensões dos ambientes e valores das áreas iluminadas para as salas de aula.....	89
Tabela 34 – Limites de potência instalada para as salas de aula, considerando-se os níveis de classificação.	89

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BL	Benefício Líquido (R\$)
CIE	Comissão internacional de iluminação
DPIL	Densidade de potência de iluminação
EFM	Escola de ensino fundamental e médio
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IRC	Índice de reprodução de cores
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
K	Índice do ambiente
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LED25	Projeto LED com 25.000 horas de operação
LED50	Projeto LED com 50.000 horas de operação
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Eficiência Energética
RGB	Cores Vermelha, verde e azul (do inglês, <i>Red, Green and Blue</i>)
SL	Economia através da não substituição de lâmpadas (R\$)
Tc	Temperatura de cor correlata
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
U	Fator de utilização da luminária
UGR	Índice de ofuscamento unificado
VPA	Valor presente acumulado
VPL	Valor presente líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 LUZ VISÍVEL	18
2.2 ABSORÇÃO.....	19
2.3 REFLEXÃO E REFRAÇÃO.....	20
2.4 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	21
2.4.1 Fluxo Luminoso.....	21
2.4.2 Intensidade luminosa	21
2.4.3 Iluminância.....	22
2.4.4 Luminância.....	23
2.4.5 Refletância	23
2.5 LÂMPADAS.....	24
2.5.1 Temperatura de cor correlata.....	24
2.5.2 Índice de reprodução de cor	25
2.5.3 Vida útil e vida mediana	25
2.5.4 Tipos de lâmpadas.....	26
2.5.4.1 Lâmpadas incandescentes.....	26
2.5.4.2 Lâmpadas de Descarga	28
2.5.4.3 Lâmpadas LED.....	29
3. NORMA ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013	31
3.1 TERMOS E DEFINIÇÕES	31
3.2 CRITÉRIOS DE PROJETO DE ILUMINAÇÃO.....	32
3.2.1 Iluminância.....	32
3.2.2 Iluminâncias no entorno imediato	32
3.2.3 Uniformidade.....	33
3.2.4 Ofuscamento.....	33
3.2.5 Aparência da cor.....	35
3.2.6 Índice de Reprodução de cor.....	36
3.2.7 Iluminação natural.....	36
3.2.8 Considerações sobre energia	36
3.3 MALHA DE CÁLCULO PARA PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	36
3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	38
3.5 RTQ-C ILUMINAÇÃO: AVALIAÇÃO DE SALAS DE AULA	38
3.5.1 Classificações	39
3.5.2 Procedimento para determinação da eficiência	40
3.5.2.1 Método da área do edifício	41
3.5.2.2 Método das atividades.....	41

4. METODOLOGIA.....	43
4.1 COLETA DE DADOS.....	43
4.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	44
4.2.1 <i>Índice do ambiente</i>	44
4.2.2 <i>Refletâncias</i>	46
4.2.3 <i>Fator de Utilização</i>	46
4.2.4 <i>Fator de manutenção ou fator de perdas luminosas</i>	47
4.2.5 <i>Cálculo do número de luminárias</i>	48
4.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	48
4.4 PREÇO MÉDIO.....	49
4.5 VALOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	49
4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	50
4.7 SIMULAÇÃO DIALUX.....	52
5. RESULTADOS.....	53
5.1 ILUMINAÇÃO ATUAL.....	53
5.1.1 <i>Iluminâncias medidas</i>	53
5.2 PROPOSTA DE ILUMINAÇÃO COM LUMINÁRIAS LED.....	58
5.2.1 <i>Cálculo luminotécnico</i>	61
5.2.1.1 Fator do ambiente.....	61
5.2.1.2 Fator de utilização.....	62
5.2.1.3 Fator de manutenção.....	62
5.2.1.4 Cálculo do número de luminárias.....	64
5.2.1.5 Ofuscamento.....	65
5.2.2 <i>Análise do consumo de energia do sistema de iluminação</i>	66
5.2.3 <i>Análise de viabilidade econômica</i>	70
5.2.3.1 Tempo de vida útil do projeto.....	73
5.2.3.2 Análise financeira.....	74
5.2.4 <i>Resultados de simulações feitas no DIALux</i>	80
5.2.4.1 Simulação de iluminação natural em uma sala de aula.....	86
5.2.5 <i>Classificação da eficiência energética do sistema de iluminação</i>	89
6. CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

1. INTRODUÇÃO

A iluminação é imprescindível para o bem-estar e para a realização de atividades e, a exposição à luz, pode causar impactos tanto positivos quanto negativos à saúde humana. Pode-se citar como fatores impactantes à saúde humana a permanência em ambientes com baixos níveis de iluminação ou a alteração dos hábitos humanos de trabalho e descanso, que ocasionam o uso prolongado de iluminação artificial (MARTAU, 2009).

O metabolismo e os ritmos diários das pessoas são regulados através das variações do sol, ao longo do dia e das estações. As luzes natural e artificial se diferem com relação à percepção visual e fisiológica e, em estudos realizados, se buscam investigar as respostas do organismo humano aos diversos tipos de luz artificial e natural relacionando-os aos estados físicos de alerta, repouso, produtividade, bem-estar, na saúde humana (BARBOSA, 2010).

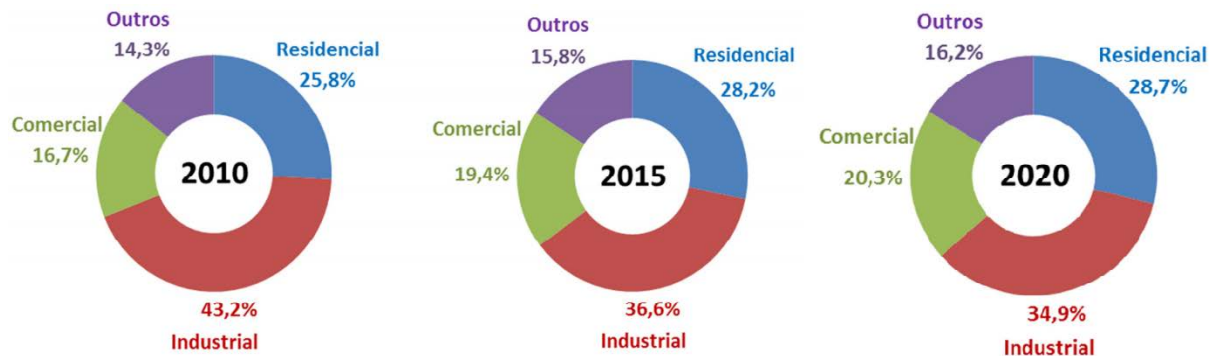
Condições de ambientes adequadamente iluminados são fundamentais para que o cérebro possa processar e se relacionar com o ambiente. Quanto melhores as condições de iluminação, as tarefas podem ser realizadas mais facilmente e rapidamente, com menos esforço para os olhos (LUCENA, 2015).

De acordo com o ambiente e a atividade a ser executada, diferentes intensidades luminosas podem ser recomendadas. No Brasil, a Norma vigente para iluminação de interiores é a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, a qual especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalhos internos e condições para que as pessoas desempenhem suas tarefas com eficiência, conforto e segurança.

Para uma iluminação adequada, não basta apenas atender aos requisitos de iluminância da Norma. Dependendo da atividade a ser executada, diferentes temperaturas de cor e diferentes tipos de lâmpadas e luminárias podem ser utilizadas. Outro fator a ser levado em consideração é a quantidade de eletricidade utilizada para iluminar o ambiente.

De acordo com EPE (2016), o consumo de energia elétrica da classe comercial aumentou 1,2% de 2014 para 2015, subindo para 90.893 GWh, estando atrás apenas das classes industrial (168.854 GWh) e residencial (131.295 GWh). Em projeções feitas pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, observou-se aumento de consumo de energia elétrica nos próximos anos, como pode ser observado na Figura 1 (EPE, 2015).

Figura 1 – Estrutura do consumo de eletricidade no Brasil de 2010 à 2020, por classe (%).



Fonte: Adaptado de EPE, 2016.

Como pode ser observado na Figura 1, as projeções mostram um aumento de consumo de eletricidade, do ano de 2015 para 2020, para o setor comercial de 19,4% para 20,3%, aumento de 28,2% para 28,7% no setor residencial e uma queda de 36,6% para 34,9% no setor industrial.

A eficiência energética pode ser uma ação a ser tomada no sentido de reduzir o consumo e a demanda de energia elétrica. Conseqüentemente, pode ser obtida a redução dos valores das contas de energia dos consumidores, sem reduzir a produtividade. Isso pode ser alcançado através da gestão energética, em que, dentre os planos de ação, podem ser citados o uso racional da energia e a troca de equipamentos por outros mais eficientes.

Referindo-se aos sistemas de iluminação, pode ser feita a análise luminotécnica do local e, com os resultados, avaliar a forma de como o ambiente está sendo iluminado, ou seja, se há falta de iluminação, excesso ou se a iluminação está em conformidade com as Normas vigentes. A partir disso, pode ser feita uma análise da troca do sistema de iluminação atual por um mais eficiente.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Escola de ensino fundamental e médio (EFM) estudada no trabalho é uma escola que presta serviços à população douradense há anos. Atualmente há na escola 1.298 alunos matriculados e seu horário de funcionamento é de segunda a sexta das 06h55min às 12h15min e das 12h55min às 18h15min. Em reunião feita na escola, foi demonstrado pela diretoria o interesse em verificar como está a iluminação das salas

de aula e verificar a conformidade segundo a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

Além da verificação de conformidade da iluminação com a Norma, o estudo para a troca do sistema atual de iluminação por um mais eficiente justifica-se pela economia com gastos em energia elétrica e diminuição com gastos de manutenção, já que novas tecnologias apresentam vida útil maior e melhor eficiência luminosa, sendo possível iluminar o ambiente gastando menos energia e menos em manutenção dos equipamentos.

1.2 OBJETIVOS

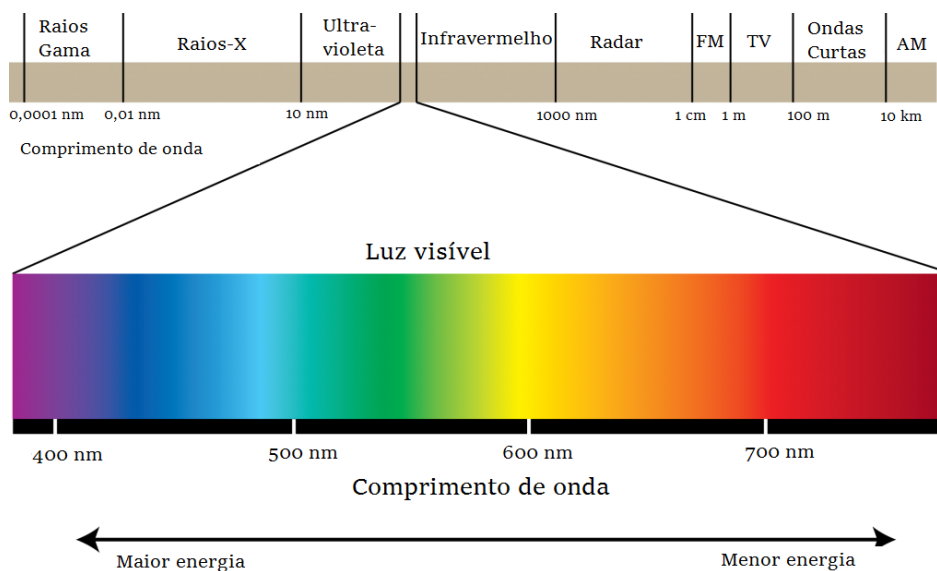
Os objetivos deste trabalho são analisar a iluminação das salas de aula da EFM, verificar a conformidade de acordo com a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, propor um projeto luminotécnico para melhoria da eficiência energética na iluminação e simular a iluminação das salas de aula para o projeto proposto, utilizando-se o software DIALux.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LUZ VISÍVEL

A luz visível é perceptível pelos olhos humanos em uma faixa limitada do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético pode ser dividido em diferentes regiões, compostas por faixas de comprimentos de onda diferentes, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Espectro de ondas eletromagnéticas.

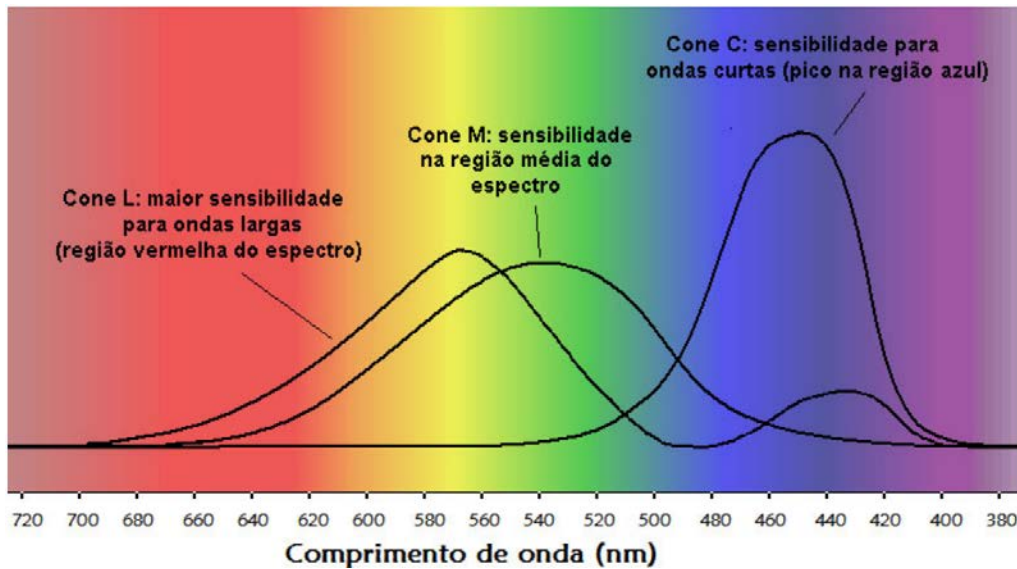


Fonte: Traduzido e adaptado de READY, 2013.

Define-se radiação visível, ou luz visível, como sendo a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual, estando compreendida numa determinada faixa de comprimento de onda, que para os seres humanos, é entre 380 nm e 780 nm. O desenvolvimento tecnológico para a criação da luz artificial foi possível a partir da determinação dos comprimentos da luz visível (BONA, 2010).

Para enxergar cores, são necessários 3 tipos de células da retina chamadas de cones. Cada um dos cones, possuem substâncias fotorreceptoras com picos de sensibilidade em regiões diferentes do espectro visível, como pode ser observado na Figura 3 (SCARINCI e MARINELI, 2014).

Figura 3 – Sensibilidade dos três tipos de cones no olho humano.



Fonte: SCARINCI e MARCINELI, 2014.

Cada tipo de cone possui substâncias químicas diferentes, e essas substâncias sofrem transformações químicas em faixas de frequência específicas. O cérebro recebe as informações elétricas dos 3 tipos de cones e as interpreta em uma cor.

Por exemplo, se a luz no comprimento de onda do amarelo (570 nm) atingir a retina, os cones são sensibilizados e o cérebro reconhece a cor como sendo amarela. Porém, se a retina for iluminada em comprimentos de onda do verde e vermelho, e em intensidades que causem o mesmo estímulo em cada cone, pode-se ter a mesma sensação visual da cor amarela. Devido a isso, é conhecido que a adição das luzes vermelha e verde, resultam na cor amarela (SCARINCI e MARINELI, 2014).

A cor branca é conseguida quando se recebe estímulo em toda a faixa visível da luz, que pode ocorrer com a luz que vem do Sol, de uma lâmpada incandescente ou quando estímulos são recebidos nas 3 frequências primárias (verde, vermelho e azul, em proporções adequadas) ou RGB - *do inglês Red, Green and Blue* (SCARINCI e MARINELI, 2014).

2.2 ABSORÇÃO

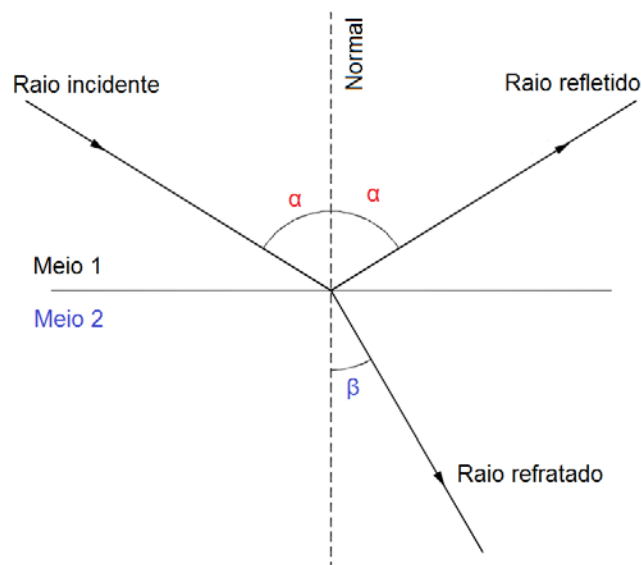
O fenômeno da absorção acontece quando a onda mecânica ou eletromagnética atinge a superfície e é parcialmente ou completamente absorvida. No caso da luz, sua absorção por uma superfície influencia as cores que sensibilizam os olhos. Ao incidir-se luz branca em um objeto, e este absorver a luz na faixa do

vermelho, a cor percebida pelo olho será a composição resultante do espectro refletido e reemitido. Portanto, a cor da luz percebida pelo olho, seria a cor ciano (SCARINCI e MARINELI, 2014).

2.3 REFLEXÃO E REFRAÇÃO

Quando um feixe de luz passa de um meio transparente para outro, parte da luz é transmitida e parte é refletida, como pode ser observado na Figura 4. A intensidade de luz refletida ou refratada vai depender dos índices de refração dos meios, assim como do ângulo de incidência α (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Figura 4 – Reflexão e Refração de raio de luz.



Fonte: próprio autor.

O fenômeno da reflexão pode acontecer de maneiras diferentes, dependendo das condições da superfície. Superfícies rugosas, tendem a refletir os raios de luz de forma difusa, espalhada, enquanto superfícies lisas de forma especular, ou de forma mais uniforme.

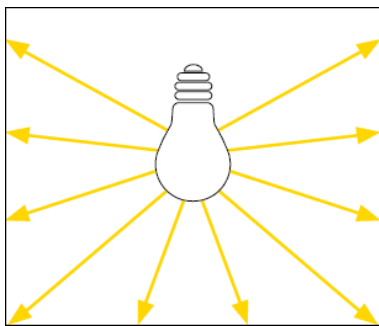
2.4 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

2.4.1 Fluxo Luminoso

A energia luminosa, é obtida da transformação de outro tipo de energia. O fluxo radiante é definido como sendo a energia radiante emitida por uma fonte luminosa por unidade de tempo. O fluxo luminoso é definido como sendo a parcela de fluxo radiante que produz sensação luminosa no olho humano, em outras palavras, a quantidade total de luz emitida por uma lâmpada em sua tensão nominal de funcionamento, cuja unidade é o lúmen (lm) (MOURA, 2015).

O fluxo luminoso representa a potência luminosa da radiação total emitida em todas as direções por segundo, sob a forma de luz. Na Figura 5 pode se observar o fluxo luminoso proveniente de uma lâmpada.

Figura 5 – Fluxo luminoso proveniente de uma lâmpada.



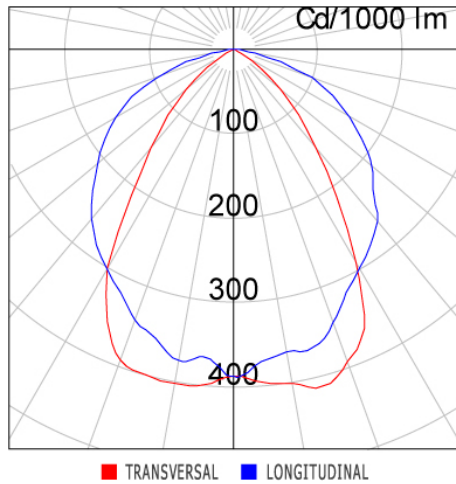
Fonte: LXLED, 2015.

2.4.2 Intensidade luminosa

A intensidade luminosa é definida como sendo o fluxo luminoso irradiado em um ângulo sólido, ou simplesmente, em uma dada direção. A representação gráfica da intensidade luminosa é designada por uma curva de distribuição luminosa (CDL). A unidade da intensidade luminosa é o candela (cd) (SILVA, 2011).

As luminárias necessitam de, pelo menos, duas curvas para se conhecer a sua distribuição fotométrica completa. Esta distribuição é definida nos planos C0/180 e C90/270, ou simplesmente planos transversal e longitudinal da luminária (SILVA, 2011). Na Figura 6, pode ser observada a CDL para a luminária Lumicenter CAA06-E132.

Figura 6 – Curva de distribuição luminosa para luminária Lumicenter CAA06-E132.

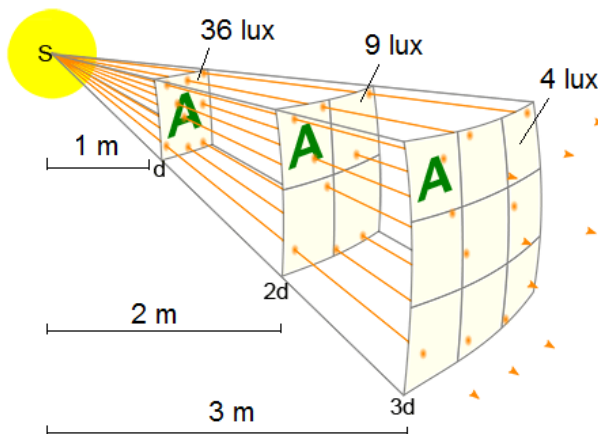


Fonte: LUMICENTER, 2017.

2.4.3 Iluminância

Nível de iluminação ou iluminância é o fluxo luminoso que incide sobre determinada área de uma superfície. A iluminância é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte luminosa e a sua unidade é o lux (SILVA, 2011). Na Figura 7, pode ser observada a variação da iluminância com a distância. A 1 m de distância da fonte luminosa, observa-se a iluminância de 36 lux e, ao se distanciar 2 m da fonte luminosa, a iluminância divide-se por 4, observando-se o valor de 9 lux.

Figura 7 – Exemplo ilustrativo da variação da iluminância com o distanciamento da fonte luminosa.



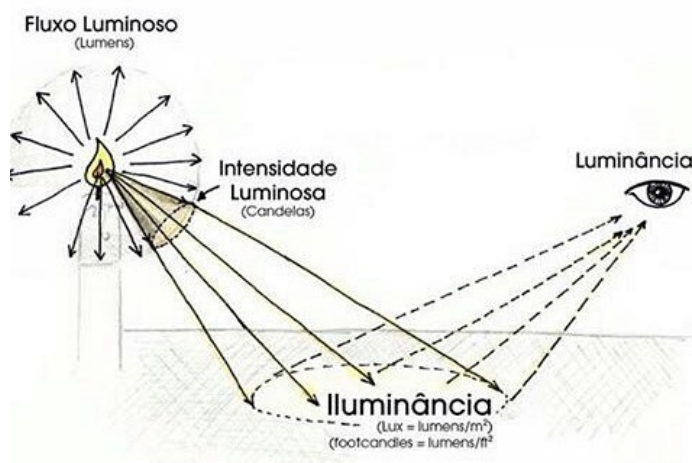
Fonte: Adaptado de BUTLER, 2017.

2.4.4 Luminância

A luminância pode ser definida como a intensidade luminosa emitida ou refletida por uma superfície iluminada em direção ao olho humano (SALOMÃO, 2010). Enquanto a iluminância indica a quantidade de fluxo luminoso que atinge a superfície, a luminância descreve o brilho ou sensação de claridade produzida por uma superfície refletora (SILVA, 2011).

Na Figura 8 podemos observar a relação entre os conceitos luminotécnicos do fluxo luminoso, iluminância e luminância.

Figura 8 – Exemplo da relação entre os conceitos luminotécnicos.



Fonte: SAFETY, 2016.

2.4.5 Refletância

A refletância é definida como o quociente da taxa de radiação refletida por uma superfície pela taxa de radiação incidente sobre esta mesma superfície (CB3E, 2015), ou seja, qual porcentagem da radiação luminosa que chega à superfície, é de fato refletida por ela.

Superfícies de cores diferentes podem apresentar refletâncias diferentes. Segundo CASTRO, LABAKI, *et al.* (2003), cujo estudo analisou refletância de cores de tintas comerciais, dentre as tonalidades de tintas acrílico analisadas, o menor valor observado foi de 34% para a cor Alecrim, enquanto o maior valor foi de 75% para a cor Branca. Portanto, ambientes com cores diferentes em suas superfícies – piso, paredes e teto, terão iluminações finais diferentes, já que refletem quantidades diferentes de luz.



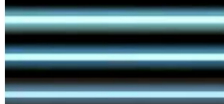
2.5 LÂMPADAS

As lâmpadas podem ser produzidas em diversas tecnologias diferentes e possuem várias características que as definem e podem lhes dar diferentes aplicações. Para a escolha das lâmpadas ideais para cada aplicação, é necessário o entendimento de alguns conceitos.

2.5.1 Temperatura de cor correlata

A temperatura de cor correlata (T_c) expressa o aspecto da cor de luz emitida por uma fonte luminosa. Cada tonalidade de cor corresponde a um espectro de comprimentos de onda. Quanto maior for a temperatura de cor, mais clara se torna a tonalidade de cor da luz branca (SILVA, 2011). As tonalidades de cor das fontes luminosas são distinguidas em três grupos, como pode ser observado na Figura 9.

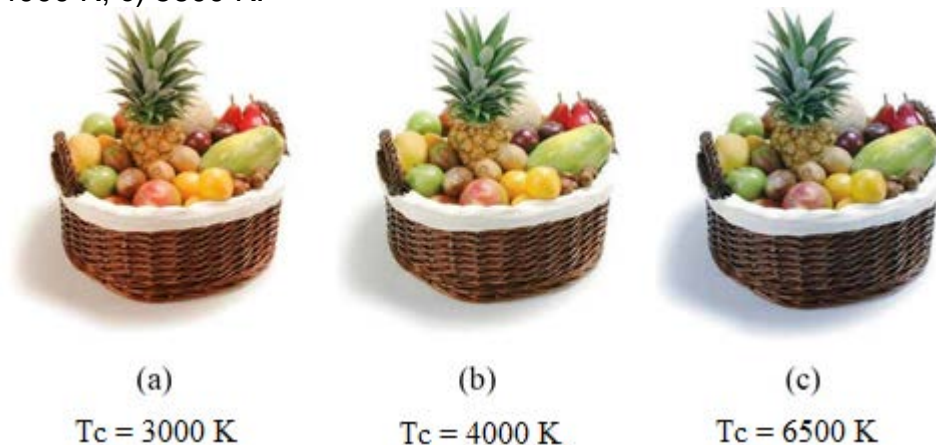
Figura 9 – Classificação das tonalidades de cor de fontes luminosas.

Luz branca quente	$T_c < 3\,300\text{ K}$	 2500 K 2700 K 3000 K
Luz branca neutra	$3\,300\text{ K} < T_c < 5\,300\text{ K}$	 4000 K 4500 K
Luz branca fria	$T_c > 5\,300\text{ K}$	 5600 K 6500 K 8000 K

Fonte: SILVA, 2011.

A cor transmite um efeito psicofísico nos seres humanos. A luz branca quente proporciona tranquilidade, conforto e intimidade a ambientes, sendo indicada para restaurantes, salas de estar e quartos. Já a luz branca neutra, acaba por transmitir vitalidade e concentração, sendo indicada para ambientes produtivos e de consumo, tais como, restaurantes fast-food, centros comerciais, cozinhas e instalações sanitárias (SILVA, 2011). Por fim, a luz branca fria é indicada para ambientes onde se pretende ter a sensação de um ambiente mais limpo ou mais fresco como, por exemplo, hospitais. Na Figura 10 pode ser observada a diferença de iluminação quando estão sob fontes de luz com temperaturas de cor diferentes.

Figura 10 – Objeto iluminado sob diferentes temperaturas de cor: a) $T = 3000\text{ K}$, b) 4000 K , c) 5600 K .



Fonte: Adaptado de SILVA, 2011.

2.5.2 Índice de reprodução de cor

O índice de reprodução de cor (IRC) representa correspondência entre a cor real do objeto e sua aparência quando submetida à fonte de luz. As lâmpadas com maior índice de reprodução de cor podem chegar até 100% de fidelidade, se comparadas à luz do sol. Quanto maior for o valor do IRC, menor a distorção das cores dos objetos (SALOMÃO, 2010). A escolha das lâmpadas de acordo com os valores das grandezas IRC e T_c é importante, pois influenciam a beleza e o conforto luminoso no ambiente.

2.5.3 Vida útil e vida mediana

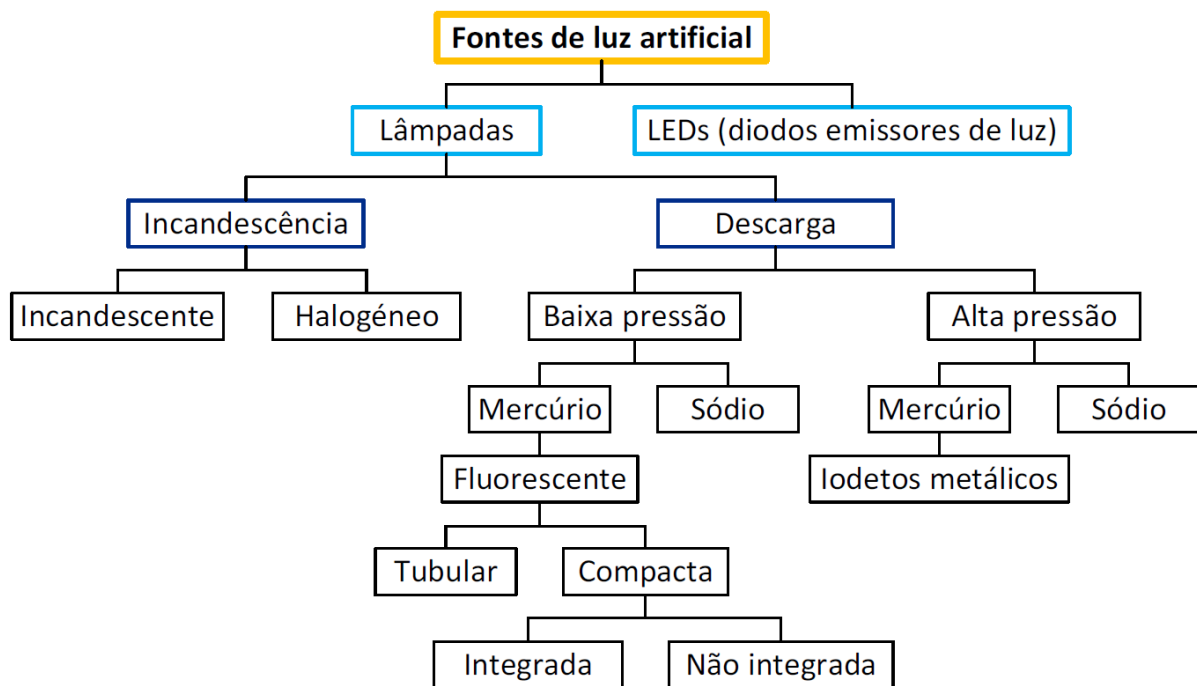
O fluxo luminoso proporcionado por uma lâmpada tende a reduzir com o número de horas de uso e com o número de operações (liga – desliga). A vida útil de uma lâmpada, é o tempo médio em horas em que ela funciona até perder parte de seu fluxo luminoso nominal, devido a desgaste de componentes (SALOMÃO, 2010). Vida útil L70 significa que, após 50.000 de operação, o fluxo luminoso será de 70% do inicial.

Já a vida mediana de um equipamento, é o ensaio estatístico que diz quanto tempo leva para que 50% dos equipamentos testados cheguem aos seus limites e parem de funcionar e, portanto, quanto tempo leva para que 50% dos equipamentos permaneçam funcionando (SALOMÃO, 2010).

2.5.4 Tipos de lâmpadas

As lâmpadas podem ser classificadas em função do processo tecnológico de geração de luz, como pode ser observado na Figura 11. As lâmpadas incandescentes produzem luz através do aquecimento de um filamento até a emissão iluminação. As lâmpadas de descarga são aquelas que geram luz através da excitação de vapores metálicos e os LEDs são dispositivos semicondutores que emitem luz quando é aplicada uma diferença de potencial elétrica em seus terminais (SILVA, 2011).

Figura 11 – Classificação de fontes de luz artificial.



Fonte: SILVA, 2011.

2.5.4.1 Lâmpadas incandescentes

Lâmpadas incandescentes são dispositivos que transformam energia elétrica em energia luminosa e térmica através do efeito joule. Esta transformação acontece através da passagem de corrente elétrica pelo filamento da lâmpada, fazendo com que este torne-se incandescente (ROMANI, 2013).

a) Incandescente comum

As lâmpadas incandescentes comuns foram os primeiros dispositivos práticos a serem utilizados para produzir iluminação através da eletricidade. São compostas

de um filamento, que é envolto em um gás inerte dentro de um bulbo de vidro. Possuem temperatura de cor correlata por volta de 2700 K, alto índice de reprodução de cor e eficiência por volta de 13 lm/W (ROMANI, 2013).

De acordo com CEMIRIM (2017), devido a sua baixa eficiência luminosa – boa parte das radiações produzidas estão na faixa do infravermelho, produzindo em média 5% de radiação luminosa e 95% de calor, as lâmpadas fluorescentes foram aos poucos parando de ser utilizadas.

No Brasil, as lâmpadas incandescentes deixaram de ser circuladas no mercado interno a partir do dia 30 de junho de 2016. A regra foi estabelecida para importação e comercialização de lâmpadas incandescentes de uso geral no território brasileiro, visando assim ampliar o uso de lâmpadas mais eficientes (BRASIL, 2016). Na Figura 12 pode se observar uma lâmpada incandescente comum.

Figura 12 – Lâmpada incandescente comum.



Fonte: IMIGRANTE.COM, 2015.

b) Halógena

As lâmpadas incandescentes halógenas possuem o mesmo princípio de funcionamento das lâmpadas comuns, a diferença está no meio em que o filamento está imerso. Neste tipo de lâmpadas, o filamento está imerso em gases inertes e pequena quantidade de gás halógeno. Além disso, as lâmpadas halógenas possuem alto IRC, temperatura de cor correlata entre 2800 K e 3100 K, além de possuírem vida útil superior as incandescentes comuns (CEMIRIM, 2017).

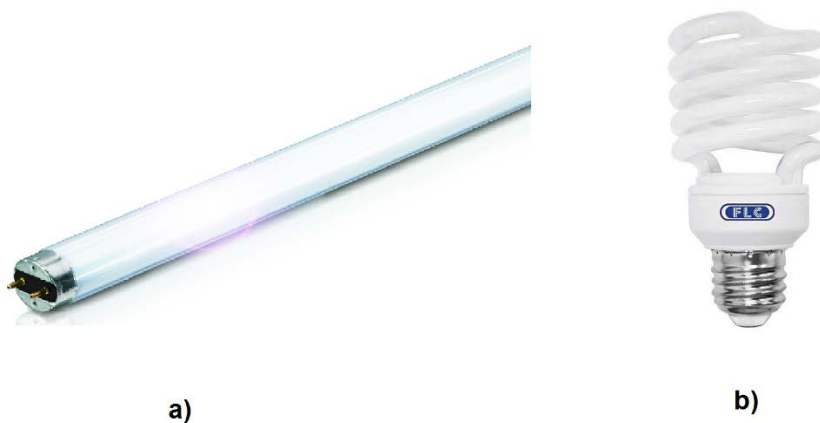
2.5.4.2 Lâmpadas de Descarga

a) Descarga de baixa pressão

As lâmpadas de descarga de baixa pressão, são dispositivos que possuem quatro componentes básicos: tubo de vidro transparente, dois eletrodos (um em cada ponta), mistura de gases e um material que reveste internamente o tubo. Quando o interruptor é acionado, os eletrodos geram corrente elétrica que, ao passar através da mistura gasosa, como argônio e vapor de mercúrio, radiação ultravioleta é emitida. Então, essa radiação é absorvida pelo material utilizado no revestimento interior do tubo – dentre os mais utilizados estão o tungstato de magnésio ou silicato de zinco. O revestimento tem a propriedade de transformar o comprimento de onda invisível do ultravioleta em luz visível, que é então, distribuída para o ambiente (CEMIRIM, 2017).

Dentre as lâmpadas de descarga de baixa pressão, pode-se citar as lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares, que, em média, a vida útil pode chegar a 10.000 horas e eficiência luminosa de 65 a 80 lm/W, chegando a ser superiores a esses valores (ROMANI, 2013). Na Figura 13 a) pode se observar uma a lâmpada fluorescente tubular, e na Figura 13 b) uma lâmpada fluorescente compacta tipo espiral.

Figura 13 – Lâmpadas fluorescentes: a) Tubular b) Compacta espiral.



Fontes: Adaptado de LABLUZ, 2017 e LEROYMERLIN, 2017.

Outro tipo de lâmpada de descarga de baixa pressão é a lâmpada de vapor de sódio. Esta lâmpada é bastante parecida com a fluorescente em sua estrutura, diferenciada pela presença de sódio invés do mercúrio utilizado nas fluorescentes.

Devido à esta diferença, o arranque dessa lâmpada é mais lento e precisa de uma tensão de arranque elevada para que atinja seu rendimento máximo. As lâmpadas de vapor de sódio são mais utilizadas em iluminação pública, e possuem alta eficiência luminosa que chegam a 150 lm/W e vida útil de 24.000 horas (ROMANI, 2013). Na Figura 14, pode-se observar uma lâmpada de vapor de sódio.

Figura 14 – Lâmpada de vapor de sódio.



Fonte: LOJAELETRICALTDA, 2017.

b) Descarga de alta pressão

As lâmpadas de descarga de alta pressão podem ser fabricadas de diversas formas e em grande variedade de dimensões. Estas lâmpadas são econômicas e produzem uma luz extremamente brilhante. São disponibilizadas no mercado com diferentes potências e diferentes qualidade de reprodução de cores. Usualmente, são utilizadas em vitrines, fábricas, estádios e em iluminação pública. Uma de suas características é que estas lâmpadas necessitam de um reator para sua ignição, podendo demorar vários minutos para seu acendimento completo. A eficiência luminosa dessas lâmpadas é por volta de 75 lm/W (ROMANI, 2013).

2.5.4.3 Lâmpadas LED

O LED, do inglês *Light Emitter Diode*, é um diodo emissor de luz e um componente eletrônico semicondutor que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz (ITAIM, 2016). As temperaturas de cor correlata para as lâmpadas LED mais encontradas variam de 2.000 K até 5.500 K, porém, pode-se encontrar fora desta faixa.

Os valores de IRC mínimos vão de 10, 80 e até 90 para todas as temperaturas de cor (ITAIM, 2016). Possui vida útil variável, podendo chegar a 50.000 horas de vida útil L70 e eficiência luminosa alta podendo chegar a 130 lm/W (EMPALUX, 2017). Para o funcionamento adequado dos componentes LED é necessário o uso do driver que controla as condições elétricas, mantendo a corrente constante (ITAIM, 2016). Geralmente, as lâmpadas e luminárias LED são fornecidas com o driver embutido, mas nos casos em que não são, ele pode ser adquirido separadamente. Na Figura 15 pode se observar uma lâmpada tubular LED.

Figura 15 – Lâmpada tubular LED.



Fonte: DEL-KO, 2017.

3. NORMA ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

A iluminação adequada propicia a visualização do ambiente e permite que as pessoas enxerguem, movam e desempenhem tarefas visuais com segurança. Além disso, suas atividades são executadas de maneira mais eficiente e com precisão, sem causar fadiga visual e desconforto. A iluminação pode ser natural, artificial ou uma combinação de ambas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Para se obter uma iluminação apropriada ao ambiente, é necessário que se atente igualmente para a quantidade e a qualidade da iluminação. Apesar de ser necessário o fornecimento de uma iluminância suficiente em determinada tarefa, em diversos casos a visibilidade depende da maneira com a qual a luz é fornecida, das características de cor da fonte de luz e da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema.

3.1 TERMOS E DEFINIÇÕES

Dentre os termos destacados pela norma, podem ser citados:

- **Tarefa visual:** Se trata dos elementos visuais da tarefa que é executada;
- **Área de tarefa:** Região parcial em determinado local de trabalho em que a tarefa visual está localizada e é executada;
- **Entorno imediato:** Região de largura mínima de 0,5 m, adjacente à área de tarefa, localizada ao redor da área de tarefa;
- **Iluminância mantida:** Valor mínimo de iluminância média recomendado. Diferentes tarefas podem possuir diferentes valores de iluminância média recomendados;
- **Plano de trabalho:** Superfície de plano de referência na qual o trabalho é habitualmente executado.

3.2 CRITÉRIOS DE PROJETO DE ILUMINAÇÃO

3.2.1 Iluminância

A iluminância e a sua distribuição nas áreas de trabalho e no entorno imediato impactam de forma expressiva na maneira em que uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual. Em lugares nos quais a área específica é desconhecida, a área de tarefa pode ser definida como a área onde a tarefa pode ocorrer.

No caso de salas de aula, como o arranjo das mesas pode ser desconhecido, para projetos, considera-se a sala inteira como sendo a área de tarefa, exceto por uma faixa de entorno de 0,5 m. A Norma apresenta vários valores recomendados de iluminância média mantida para diferentes atividades. No caso de salas de aula para jovens e crianças, a Norma 8995 define 300 lux. Na Tabela 1 pode se observar os valores de iluminância mantida definidos pela Norma para algumas atividades.

Tabela 1 – Valores de iluminância mantida definidos pela Norma 8995.

Ambiente, tarefa ou atividade	Iluminância mantida (lux)
Biblioteca: estantes	200
Biblioteca: área de leitura	500
Escritório: escrever, teclar, ler, processar dados	500
Salas de aulas noturnas e educação de adultos	500
Salas de aula, Salas de aulas particulares	300

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

3.2.2 Iluminâncias no entorno imediato

Os valores de iluminância para o entorno imediato devem estar relacionados com o valor de iluminância da área de tarefa. Desta forma, previne-se que haja grande variação na iluminância, evitando-se esforços visuais estressantes e desconforto.

As iluminâncias mantidas no entorno imediato podem ser inferiores às da área de tarefa, porém, não podem ser inferiores aos valores dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Iluminâncias mantidas no entorno imediato.

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

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

3.2.3 Uniformidade

A iluminância do ambiente deve alterar gradativamente, assim como a área de tarefa deve ser iluminada da forma mais uniforme possível. A uniformidade pode ser calculada como:

$$U = \frac{E_{min}}{E_{méd}} \quad (1)$$

Sendo:

U : Uniformidade da iluminância no ambiente (adimensional);

E_{min} : Iluminância mínima do ambiente (lux); e

$E_{méd}$: Iluminância média do ambiente (lux).

Para áreas de tarefa, a uniformidade deve ser igual ou superior a 0,7 e para entorno imediato, a uniformidade deve ser igual ou superior a 0,5, segundo a Norma 8995.

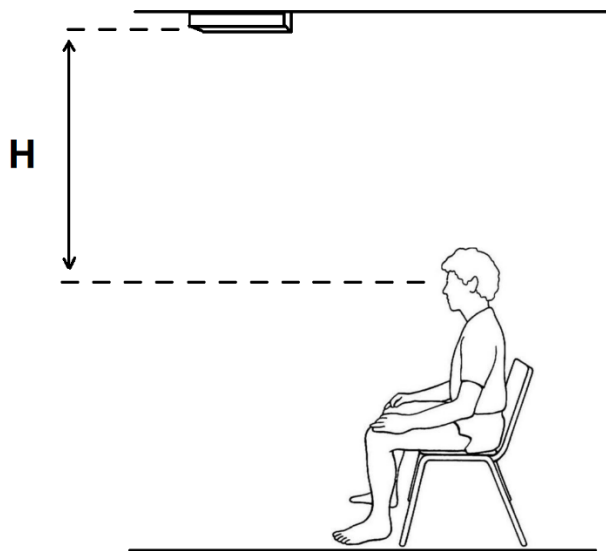
3.2.4 Ofuscamento

O Ofuscamento pode ser definido como sendo a sensação visual desagradável produzida por áreas de brilho intenso dentro do campo de visão sem, necessariamente, impedir a visualização da tarefa. O ofuscamento pode ser produzido tanto pelo excesso de luminosidade quanto pela variação na iluminação de um ambiente (VERTAMATTI, 2014).

No interior de locais de trabalho, o ofuscamento é usualmente causado por luminárias brilhantes ou janelas. É importante limitar o ofuscamento aos usuários para que se previnam os erros, a fadiga e os acidentes.

O valor referente ao ofuscamento desconfortável da instalação pode ser calculado através do método tabular do índice de ofuscamento unificado (UGR) da Comissão internacional de iluminação (CIE). Para utilizar-se este método, é necessário conhecer-se as refletâncias do teto, paredes e piso e calcular a altura entre a luminária e os olhos do observador (H), como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Altura entre luminária e olho para cálculo do UGR.



Fonte: próprio autor utilizando Kaat-Zin, 2011.

Através do valor calculado de “ H ”, calculam-se os múltiplos inteiros da razão entre as dimensões de comprimento e largura do ambiente e o valor de “ H ”, para então se procurar nas tabelas de UGR os valores dos índices de ofuscamento unificado.

Os valores de UGR, para uma mesma luminária, são organizados em tabelas diferentes de acordo com a razão entre a distância de separação das luminárias e o valor de “ H ”. Quanto menor esta razão, ou seja, quanto mais próximas as luminárias estiverem posicionadas entre si, menor será a razão, e maior será o índice de UGR. Na Figura 17 pode se observar a tabela de índices UGR para a luminária LED ITAIM da linha 3006 BLLBA 31 W para a razão de espaçamento de luminárias/altura de montagem acima dos olhos de observador de 0,25.

Figura 17 – Tabela de índices UGR para a luminária LED ITAIM da linha 3006 BLLBA 31 W para a razão de espaçamento de luminárias/altura de montagem acima dos olhos de observador de 0,25.

Teto (%)	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
Paredes (%)	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
Piso (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Tamanho X Y		Através da linha de visão					Ao longo da linha de visão				
2H	2H	17,1	19,3	17,5	19,6	19,9	16,3	18,5	16,7	18,8	19,1
	3H	17,8	20,0	18,2	20,3	20,6	16,7	18,8	17,0	19,1	19,5
	4H	18,0	20,1	18,4	20,4	20,8	16,6	18,7	17,0	19,1	19,5
	6H	18,1	20,2	18,5	20,5	20,9	16,5	18,6	16,9	18,9	19,3
	8H	18,1	20,2	18,5	20,5	21,0	16,4	18,5	16,8	18,8	19,2
4H	2H	17,3	19,4	17,7	19,7	20,1	16,6	18,7	17,0	19,1	19,5
	3H	18,1	20,1	18,5	20,5	20,9	17,1	19,1	17,5	19,5	19,9
	4H	18,4	20,3	18,8	20,8	21,2	17,1	19,1	17,6	19,5	20,0
	6H	18,6	20,5	19,0	20,9	21,4	17,0	18,9	17,5	19,4	19,9
	8H	18,6	20,5	19,1	21,0	21,5	17,0	18,8	17,4	19,3	19,8
8H	2H	18,7	20,5	19,2	21,0	21,5	16,9	18,7	17,4	19,2	19,7
	4H	18,3	20,2	18,8	20,6	21,1	17,1	19,0	17,6	19,5	20,0
	6H	18,6	20,4	19,1	20,9	21,4	17,1	18,9	17,6	19,4	19,9
	8H	18,8	20,5	19,3	21,0	21,6	17,1	18,9	17,6	19,4	19,9
	12H	18,9	20,6	19,4	21,1	21,6	17,0	18,8	17,5	19,3	19,8

Espaçamento de luminárias/altura de montagem acima dos olhos do observador de 0,25

Na coluna de “tamanho X Y”, na Figura 17, pode-se observar os múltiplos inteiros calculados através da razão entre as dimensões do ambiente e o “H”. A partir destes valores e das refletâncias, basta verificar os índices de UGR para o projeto. De acordo com a Norma, os valores de UGR não podem ser superiores a 19 para salas de aula.

3.2.5 Aparência da cor

A aparência da cor de uma lâmpada, refere-se a temperatura de cor correlata (Tc). A Norma não faz especificações à valores para Tc, cita que o critério para a

escolha da Tc baseia-se em questões psicológicas e estéticas. A escolha pode depender da iluminância, das cores da sala e do mobiliário, do clima e da aplicação.

3.2.6 Índice de Reprodução de cor

A Norma recomenda a não utilização de lâmpadas com índice de reprodução de cor (IRC) inferior a 80 em interiores, locais nos quais as pessoas trabalham ou permanecem por longos períodos de tempo. Logo, para salas de aula, o IRC deverá ser igual ou superior a 80.

3.2.7 Iluminação natural

A Norma 8995 cita que a luz natural pode suprir totalmente ou parcialmente a iluminação para execução das tarefas visuais. Além disso, deve ser evitado o contraste excessivo e o desconforto térmico causado devido à exposição direta da luz do sol em áreas de trabalho. Deve ser fornecido também, um controle apropriado para evitar que a luz do sol direta adentre o ambiente. Isso pode ser conseguido através do uso de persianas ou brises para que a luz do sol não atinja diretamente os trabalhadores ou as superfícies no interior, dentro do campo de visão.

3.2.8 Considerações sobre energia

A Norma recomenda que as instalações dos sistemas de iluminação atendam aos requisitos específicos de cada ambiente sem desperdício de energia. Todavia, deve-se atentar para não comprometer a qualidade da iluminação e os aspectos visuais do sistema de iluminação em busca da redução do consumo de energia da instalação.

3.3 MALHA DE CÁLCULO PARA PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

No ANEXO B da Norma, estão dispostos os procedimentos para a determinação da malha de cálculo para a medição e/ou projeto do sistema de iluminação. A malha depende da forma e das dimensões da superfície de referência,

seja esta uma área de tarefa, área de trabalho ou arredores, assim como da precisão que se deseja e da geometria do sistema de iluminação.

No caso em que a razão entre a maior e a menor dimensão do plano de referência está entre $0,5 \leq p \leq 2$, o tamanho da malha “p” pode ser calculado com base na maior dimensão “D” através da seguinte equação:

$$p = 0,2 \times 5^{\log D} \quad (2)$$

Sendo:

p : Dimensão da malha (m);

D : Maior dimensão da superfície de referência (m);

log : Função logaritmo, com base 10.

Em casos em que a razão entre as dimensões do plano de referência não pertence ao intervalo dado, deve-se tomar como base a menor dimensão para a determinação do espaçamento entre os pontos de malha.

A determinação do número de pontos a serem medidos na direção da dimensão “D”, pode ser calculada por:

$$n_D = \frac{D}{p} \quad (3)$$

Sendo:

n_D : Número de pontos de medida na direção da maior dimensão “D”.

E, para a quantidade de pontos de cálculo na direção da menor dimensão “d”, tem-se:

$$n_d = \frac{d}{p} \quad (4)$$

Sendo:

n_d : Número de pontos de medida na direção da menor dimensão “d” (m);

d : Menor dimensão da superfície de referência (m).

3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As variações nos preços da energia, considerações dos impactos ambientais, dependência internacional no petróleo e o uso de fontes de energias renováveis ou alternativas são temas de vital importância e determinantes para a sobrevivência das organizações e a economia dos países (PINTO, 2014).

O crescimento do consumo de energia elétrica em países em desenvolvimento, como o Brasil, é uma constante por volta de 3 a 5% ao ano, independente dos períodos de estagnação econômica (BUORO, 2008). Portanto, medidas de gestão energética são importantes para a redução de custos com energia para os consumidores, sem haver, necessariamente, a redução de consumo.

O setor industrial possui o maior consumo de energia elétrica no Brasil (EPE, 2016). A falta de conhecimento dos consumidores industriais de pequeno e médio porte com relação aos aspectos técnicos e econômicos do uso da energia elétrica, faz com que seja interessante a aplicação da gestão energética neste setor, para melhor uso final da energia (BATISTA, 2013)

Gestão energética pode ser definida como um conjunto de medidas para o planejamento e operação de sistemas energéticos tanto para produção quanto para o consumo de energia. A finalidade dessas medidas é um melhor desempenho energético, com decorrente economia nos custos com energia e diminuição em seus efeitos climáticos (PINTO, 2014).

Em edifícios comerciais e públicos, os sistemas de iluminação artificial e de climatização correspondem a aproximadamente 64% do consumo de energia elétrica, sendo 44% representados pela iluminação e 20% pelo condicionamento de ar (GOULART, 2012).

3.5 RTQ-C ILUMINAÇÃO: AVALIAÇÃO DE SALAS DE AULA

A partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foram criados. Os RTQ-C contem requisitos para classificar as edificações de acordo com sua eficiência energética. Estes requisitos são compostos por eficiência de envoltório, iluminação e condicionamento de ar. Devido ao tema deste trabalho, apenas os requisitos de iluminação foram utilizados e

esta seção foi baseada integralmente no manual de aplicação do RTQ-C (ELETROBRÁS/PROCEL, 2013).

3.5.1 Classificações

Para a classificação da eficiência da iluminação, pode-se classificar, do maior para o menor, eficiência “A”, “B” ou “C”. Quanto maior o nível de classificação, maior é o número de requisitos a se atender. Independentemente do nível de classificação, é requisito obrigatório atender-se aos limites de potência instalada. Para os níveis “A”, “B” e “C”, além destes limites, devem atendidos os requisitos mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Pré-requisitos para as classificações “A”, “B” e “C” de eficiência energética.

	Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
a)	Divisão de circuitos	Sim	Sim	Sim
b)	Contribuição de luz natural	Sim	Sim	
c)	Desligamento automático	Sim		

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL, 2013.

a) *Divisão de circuitos*

Cada ambiente que é fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo para controlar manualmente o acionamento da iluminação no ambiente. Se o ambiente possuir área superior a 250 m², deve-se dividir o ambiente de forma que haja um dispositivo de controle para controlar cada 250 m² em ambientes de até 1000 m² e um dispositivo para cada 1000 m² em ambientes maiores que 1000 m².

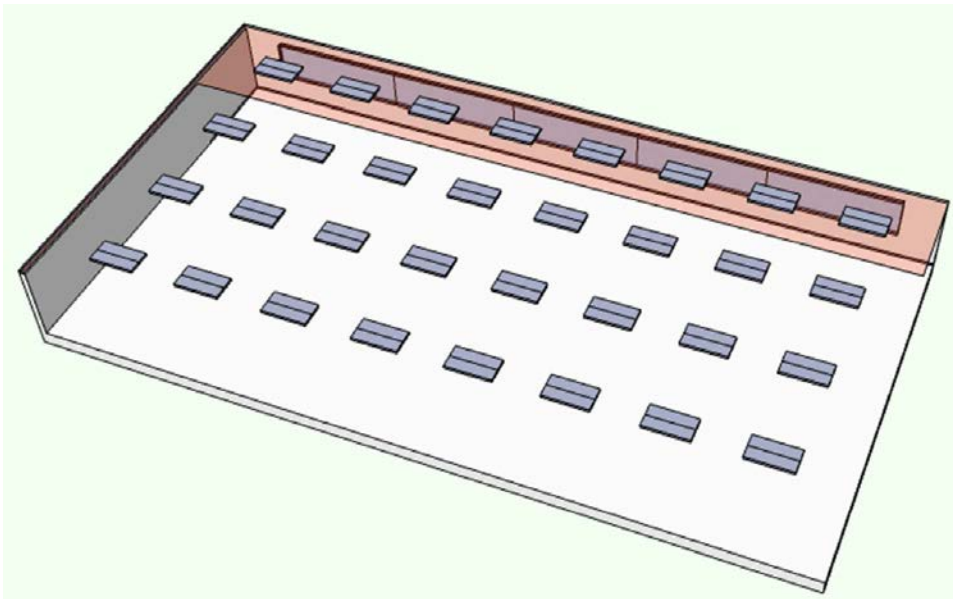
Para ambientes menores que 250 m² é permitido um controle para todo ambiente. Esta divisão de circuitos visa reduzir a iluminação de locais com poucos usuários, evitando grandes regiões iluminadas sem ocupação.

b) *Contribuição de luz natural*

Ambientes que possuem fileiras de luminárias paralelas a aberturas voltadas para o ambiente externo, devem possuir circuito separado para acionamento destas fileiras. Desta forma, pode-se acionar estas luminárias apenas quando há a

necessidade, aproveitando-se melhor a luz natural provenientes das aberturas. Pode ser observada na Figura 18, exemplo de separação do circuito.

Figura 18 – Exemplo de separação de circuito de luminárias paralelas às aberturas.



Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2013.

c) *Desligamento automático do sistema de iluminação*

O sistema de iluminação interna em ambientes maiores que 250 m², deverá possuir dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação. Pode ser sistema automático configurado para desligar em determinado horário, sensor de presença para desligamento 30 minutos após a saída de todos os ocupantes ou através do sinal de outro dispositivo que indique que o ambiente está desocupado.

Para ambientes menores do que 250 m² que não possuam sistema de desligamento automático, pode considerar este requisito atendido.

3.5.2 Procedimento para determinação da eficiência

Estabelece-se o limite para a potência do sistema de iluminação interna. Os níveis de eficiência para potência de iluminação variam de “A” (mais eficiente) até “E” (menos eficiente). A avaliação pode ser feita através de dois modos, através do método da área do edifício ou método das atividades do edifício.

3.5.2.1 Método da área do edifício

O método da área do edifício avalia todos os ambientes de um edifício de forma conjunta, determinando limites de densidade de potência de iluminação para a edificação como um todo. Este método deve ser utilizado para edifícios que tenham atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício ou que tenham até três atividades principais. Edifícios que possuam mais de três atividades principais ou que forem avaliados parcialmente devem ser avaliados pelo método das atividades.

3.5.2.2 Método das atividades

O método das atividades avalia por meio de limites de densidade de potência considerando as atividades desenvolvidas no edifício para cada ambiente separadamente. A análise é feita desta forma tanto para verificar o atendimento dos pré-requisitos quanto para obter o nível de eficiência energética.

O procedimento para a avaliação por este método inicia-se pela identificação adequada das atividades encontradas no edifício. Para isso, deve-se consultar a Tabela 4, que apresenta os limites para as densidades de potência de iluminação (DPIL) para cada atividade, dividida para diferentes níveis de eficiência.

Tabela 4 – Limite máximo aceitável de DPIL de acordo com o nível de eficiência pretendido, para o método das atividades.

Atividade	Densidades de potência de iluminação (DPIL)			
	Nível A (W/m ²)	Nível B (W/m ²)	Nível C (W/m ²)	Nível D (W/m ²)
Biblioteca	10,00	12,00	14,00	16,00
Cinema	5,00	6,00	7,00	8,00
Escola	10,20	12,24	14,28	16,32
Escritório	11,90	14,28	16,66	19,04

Fonte: Adaptado parcialmente de ELETROBRÁS/PROCEL, 2013.

Com os valores de DPIL escolhidos, deve-se calcular a área iluminada de cada ambiente e multiplicar pelos valores de DPIL, obtendo-se assim o limite de potência para aquela atividade naquele ambiente. Ou seja:

$$P_{lim} = A \times V_{DPIL} \quad (5)$$

Onde:

P_{lim} : Potência limite da atividade para atender ao nível de eficiência escolhido (W);

A : Área iluminada do ambiente (m²);

V_{DPIL} : Valor de Densidade de potência de iluminação limite para o nível de eficiência escolhido (W/m²).

Em seguida, calcula-se a potência instalada e compara-se com a potência limite, obtendo-se o nível de classificação de eficiência da atividade. Para o nível de eficiência do edifício, basta calcular a média ponderada em relação ao equivalente numérico de eficiência energética.

4. METODOLOGIA

A escola possui um grande potencial de iluminação natural através das janelas. As salas de aula possuem suas janelas voltadas para os pontos cardeais leste e oeste, o que propicia iluminação solar incidente durante o dia inteiro em suas aberturas. Para as medidas de iluminância considerou-se a pior situação: pouca iluminação solar ou quando as janelas e portas estão fechadas.

4.1 COLETA DE DADOS

Para realizar a coleta dos dados de iluminância das salas de aula da escola, utilizou-se o instrumento multi-funções HOMIS 425-A H811-008, que pode ser observado na Figura 19. Este instrumento é destinado para medidas de ruído, iluminância, umidade e temperatura. As escalas para o luxímetro são de 20, 200, 2000 e 20.000 lux e a precisão das medidas é de $\pm 2\%$ leitura + 10 dígitos. O detector possui filtros de espectro de sensibilidade espectral de acordo com as Normas da CIE (comissão internacional de iluminação).

Figura 19 – Foto do decibelímetro multifunções HOMIS 425-A.



Fonte: HOMIS, 2017.

Para as medições de iluminância, utilizou-se o método dos lumens e formulou-se a seguinte metodologia, para ser executada na forma de um algoritmo:

- Mediu-se a distância do ponto de medição, de acordo com a malha desenhada, para obter a posição correta do ponto de medição, para então se posicionar o sensor;
- Pressionou-se o botão da função MÁXIMO do medidor – função que retorna o valor máximo medido enquanto a função estiver ativada e retirou-se a tampa protetora do sensor;
- Distanciou-se do medidor para que o corpo do pesquisador não gerasse sombra sobre o sensor durante a medida e não obstruísse a luz refletida pelo teto e paredes próximas;
- Esperou-se 5 segundos – tempo para a medida estabilizar no visor do aparelho;
- Fez-se a leitura da iluminância máxima medida no ponto;
- Tampou-se o sensor, e repetiu-se o processo até o término das medições.

Esta metodologia faz com que a confiabilidade das medidas aumente, diminuindo os erros de medição por parte do pesquisador. O manual do fabricante recomenda que entre medidas realizadas, seja colocada a tampa de proteção do sensor, para que ele sempre esteja inicialmente no 0 lux melhorando, assim, a confiabilidade das medições.

4.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO

O projeto luminotécnico é o procedimento em que se determina o tipo e a quantidade de lâmpadas e luminárias necessárias para iluminar uma determinada área de tarefa. Para o cálculo do número de luminárias, utilizou-se a metodologia proposta por PROCEL (2011) e, as etapas para sua determinação, encontram-se descritas nas subseções seguintes.

4.2.1 Índice do ambiente

O índice do ambiente é um número adimensional que relaciona as dimensões do ambiente que será iluminado. O índice do ambiente para iluminação direta pode ser calculado através de:

$$K = \frac{C \times L}{[h \times (C + L)]} \quad (6)$$

Sendo:

K : Índice do Ambiente;

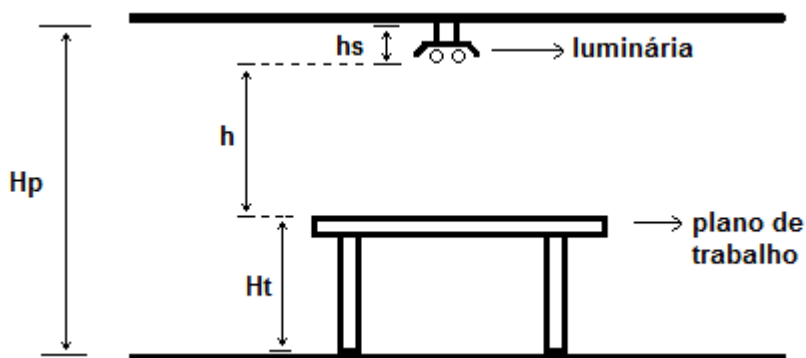
C : Comprimento do ambiente (m);

L : Largura do ambiente (m);

h : Altura do pé direito de trabalho (m).

A altura do pé direito de trabalho, é calculada considerando-se a altura do pé direito do ambiente, a altura do plano de trabalho, a altura de suspensão da luminária. Pode se observar na Figura 20, a indicação destas variáveis.

Figura 20 – Representação das variáveis para cálculo da altura do pé direito de trabalho.



Fonte: próprio autor.

Assim:

$$h = Hp - Ht - hs \quad (7)$$

Sendo:

h : Altura do pé direito de trabalho (m);

Hp : Altura do pé direito do ambiente (m);

Ht : Altura do plano de trabalho (m);

hs : Altura de suspensão da luminária (m).

4.2.2 Refletâncias

As refletâncias do teto, parede e piso, influenciam na distribuição da iluminação no ambiente. É necessário se conhecer esses valores para poder calcular o fator de utilização das luminárias. Os valores de refletâncias podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de refletâncias

Superfície	Refletância
Muito clara	70%
Clara	50%
Média	30%
Escura	10%
Preta	0%

Fonte: Adaptado de PROCEL, 2011.

4.2.3 Fator de Utilização

O fator de utilização “U” representa a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto (OSRAM, 2012). Usualmente é fornecida pelos fabricantes das luminárias nos catálogos, em uma tabela. Para se encontrar o valor do fator de utilização, é necessário conhecer o valor do “K” e das refletâncias do ambiente. Na Figura 21, pode-se observar um exemplo de tabela de fator de utilização.

Figura 21 – Exemplo de tabela de fator de utilização.

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
K	Fator de utilização (10 ⁻²)								
0,60	34	29	26	33	29	26	29	26	25
0,80	40	36	33	39	35	32	35	32	31
1,00	45	41	38	44	41	38	40	38	36
1,25	50	46	43	49	45	43	45	42	41
1,50	53	50	47	52	49	46	48	46	45
2,00	58	55	52	56	54	52	53	51	50
2,50	60	58	56	59	57	55	56	55	53
3,00	62	60	58	61	59	58	58	57	55
4,00	64	63	61	63	62	60	61	59	58
5,00	66	64	63	64	63	62	62	61	59

Fonte: Adaptado de OSRAM, 2012.

4.2.4 Fator de manutenção ou fator de perdas luminosas

O fator de manutenção é aplicado a projetos luminotécnicos para considerar a redução no fluxo luminoso das luminárias utilizadas em um ambiente e para garantir que haja iluminância adequada até o fim de seu funcionamento (WHITECROFT LIGHTINING, 2017). Segundo a Norma CIE 97-2005, pode-se calcular o fator de manutenção através da seguinte equação:

$$F_M = F_{LUMENS} \times F_{SL} \times F_{LUMIN} \times F_{SA} \quad (8)$$

Sendo:

F_M : Fator de manutenção;

F_{LUMENS} : Fator de manutenção de lúmens das lâmpadas;

F_{SL} : Fator de manutenção de sobrevivência das lâmpadas;

F_{LUMIN} : Fator de manutenção das luminárias;

F_{SA} : Fator de manutenção das superfícies do ambiente.

O fator de manutenção de lúmens das lâmpadas é o fator que indica a relação do fluxo luminoso das lâmpadas durante seu tempo de vida, em relação ao fluxo luminoso inicial.

Todos os tipos de lâmpadas possuem seus fluxos luminosos diminuídos com o tempo de uso, mas este valor é diferente para cada tipo de tecnologia de iluminação.

O fator de manutenção de sobrevivência das lâmpadas é a probabilidade de as lâmpadas continuarem a operar por determinado número de horas. Ele indica a porcentagem representativa de um grupo de lâmpadas que continuam funcionando após uma quantidade de tempo decorrido (CIE:97).

O fator de manutenção das luminárias diz respeito à variação do fluxo luminoso das luminárias com o tempo devido a deposição de poeira em suas superfícies. Depende do tipo de luminária, de quão limpo o ambiente é e do intervalo de limpeza das superfícies da luminária.

O fator de manutenção das superfícies do ambiente é o fator que representa a proporção relativa da componente de iluminância inicial refletida pelas superfícies internas da instalação com a componente da iluminância refletida após certo período de uso e depósito de sujeira em suas superfícies (CIE:97).

4.2.5 Cálculo do número de luminárias

O cálculo do número de luminárias necessárias para iluminar um ambiente pode ser determinado por:

$$N = \frac{(E \times C \times L)}{(n \times f \times U \times F_M)} \quad (9)$$

Sendo:

N : Número de luminárias necessárias para iluminar o ambiente;

E : Iluminância necessária para determinada atividade, segundo a Norma (lux);

n : Número de lâmpadas por luminária;

f : Fluxo luminoso da lâmpada (lm);

U : Fator de utilização da luminária selecionada;

F_M : Fator de manutenção.

4.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O consumo de energia elétrica pode ser definido como sendo a quantidade de energia utilizada por um aparelho de potência “Pot” decorrido o tempo “t”. O cálculo do consumo de energia elétrica pode ser feito por meio da seguinte equação:

$$CE = Pot \times \Delta t \quad (10)$$

Sendo:

CE : Consumo de energia elétrica (Wh);

Pot : Potência das lâmpadas/luminárias (W);

Δt : Tempo de uso (horas).

O tempo de uso anual do sistema de iluminação pode ser calculado através do somatório dos dias úteis do ano multiplicado pela quantidade de horas diárias de uso de iluminação. A quantidade de horas de uso do sistema de iluminação durante um ano pode ser calculada por:

$$\Delta t_{anual} = \Delta t_{diario} \times \sum d_{ut} \quad (11)$$

Sendo:

Δt_{anual} : Tempo de uso do sistema de iluminação durante um ano (horas/ano);

Δt_{diario} : Tempo de uso do sistema de iluminação durante um dia (horas/dia);

$\sum d_{ut}$: Somatório da quantidade de dias úteis em um ano (dias/ano).

4.4 PREÇO MÉDIO

O preço médio (PM) demonstra o valor pago na fatura da conta de energia em relação ao consumo total de energia elétrica para consumidores de média e alta tensão. Segundo ELETROBRÁS (2005) o preço médio pode ser calculado por:

$$PM = \frac{Fatura}{Consumo\ total} \quad (12)$$

Sendo:

PM : Preço médio (R\$/kWh);

Fatura : Valor da fatura de energia elétrica (R\$);

Consumo total : Consumo total de energia faturado (kWh).

4.5 VALOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O valor de consumo de energia elétrica em reais é o preço médio pago pelo consumo da energia elétrica. Este valor pode ser calculado através do produto entre o preço médio e o consumo de energia, através da seguinte equação:

$$Vc = PM \times Consumo \quad (13)$$

Sendo:

Vc : Valor de consumo de energia elétrica (R\$);

PM : Preço médio (R\$/kWh);

Consumo : Consumo de energia elétrica (kWh).

4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

Projetos que envolvam a troca de equipamentos ou sistemas visando a melhoria da eficiência energética geralmente requerem alto investimento. A análise de viabilidade econômica é uma ferramenta que permite avaliar se a aplicação do capital fornecerá retorno ao passar dos anos, ou seja, se o investimento é atrativo e trará benefícios financeiros, caso seja executado.

Um dos métodos para determinar o tempo de retorno de um investimento é o de *payback descontado*, que considera a variação do valor do dinheiro com o tempo (ELETROBRÁS [ET AL], 2008). O cálculo do *payback descontado* pode ser feito através da equação:

$$Payback = \frac{\ln\left(1 - \frac{VP_{inv}}{CAE_{receitas} \times TMA}\right)}{\ln(1 + TMA)} \quad (14)$$

Sendo:

Payback : Tempo necessário para recuperar o capital investido (anos);

VP_{inv} : Valor presente do investimento realizado (R\$);

CAE_{receitas} : Custo anual equivalente das receitas (R\$);

TMA : Taxa de desconto, taxa mínima de atratividade.

O custo anual equivalente (CAE) é o resultado da transformação de todos os diferentes benefícios líquidos durante o tempo de vida do projeto para série uniforme de pagamentos distribuídos ao longo do tempo de vida do projeto. O CAE pode ser calculado através da seguinte equação:

$$CAE = VP \times \frac{(1 + TMA)^T \times TMA}{(1 + TMA)^T - 1} \quad (15)$$

Sendo:

VP : Valor presente (R\$);

T : Tempo de vida do investimento;

Outros métodos que podem ser utilizados são: valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). O valor presente líquido consiste em transformar todos

os valores de fluxo de caixa para o instante inicial do investimento, descontados a uma taxa mínima de atratividade (ELETROBRÁS, 2005). A taxa mínima de atratividade (TMA) é utilizada como base de comparação para verificar se o projeto é lucrativo. Para o investimento ser considerado atrativo, este deve render no mínimo o valor da TMA. Para a determinação do VPL, a seguinte equação pode ser utilizada:

$$VPL = \sum_{n=0}^t \frac{BL_n}{(1+i)^n} \quad (16)$$

VPL : Valor presente líquido (R\$);

BL_n : Benefício líquido para o período “n” (R\$);

t : Tempo de vida útil do investimento (número total de períodos);

i : Taxa de desconto por período.

A taxa interna de retorno pode ser definida como sendo a taxa de desconto necessária para que o valor das receitas seja igual ao do investimento realizado, tornando o VPL igual a 0. Em outras palavras, a TIR torna iguais os valores gastos com o investimento e os recebidos pela economia com gastos e pode ser calculada através da seguinte equação:

$$VPL = \sum_{n=0}^t \frac{BL_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (17)$$

Sendo:

TIR : Taxa interna de retorno.

A condição de atratividade de um investimento pode ser observada na Tabela 6. No caso em que a TIR iguala-se à TMA, é indiferente economicamente realizar o investimento.

Tabela 6 – Condição para atratividade de um investimento.

TIR > TMA	Projeto é atrativo
TIR < TMA	Projeto não é atrativo
TIR = TMA	Indiferente

Fonte: Adaptado de (ELETROBRÁS, 2005).

4.7 SIMULAÇÃO DIALUX

O DIALux® é um software de uso livre que possibilita cálculos luminotécnicos e simulações de iluminação dos ambientes internos e externos, e é utilizado por profissionais do mundo inteiro. Vários fabricantes fornecem arquivos compatíveis ao DIALux para simulação de seus produtos, como ITAIM, OSRAM, PHILIPS, TECNOWATT, LUMICENTER, dentre outros. Através desse software é possível simular iluminação de ambientes internos levando em consideração os objetos, obstruções de iluminação do ambiente e iluminação natural.

Uma vez determinado o ambiente a ser simulado, este deve ser detalhado para que haja representação fiel ao ambiente. O posicionamento e cores de objetos, portas, janelas e os valores das refletâncias das superfícies dos objetos e do ambiente devem ser feitas com cautela. Após executadas as simulações, podem ser gerados relatórios para análise dos resultados.

Para se realizar as simulações é necessária a disponibilização pelo fabricante de arquivos com dados fotométricos das luminárias, arquivos de formato *.IES*, que são obtidos através de ensaios em laboratório.

5. RESULTADOS

5.1 ILUMINAÇÃO ATUAL

5.1.1 Iluminâncias medidas

As medidas de iluminância foram realizadas em duas salas, as quais possuem um arranjo de lâmpadas diferentes e dimensões diferentes a sala 1°C e a sala 65. As dimensões das salas podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Dimensões das salas analisadas.

Sala	Comprimento (m)	Largura (m)	Pé direito (m)
1°C	8,10	7,80	3,40
65	8,00	7,45	3,40

Fonte: próprio autor.

A partir dos valores de comprimento e largura, calculou-se o tamanho da malha utilizando a Equação 2 e o número de pontos de cálculo, na direção da largura e do comprimento através das Equações 3 e 4. O número de pontos de cálculo é obtido através da multiplicação dos dois valores. O tamanho de malha, e quantidade de pontos de medição podem ser observados na Tabela 8.

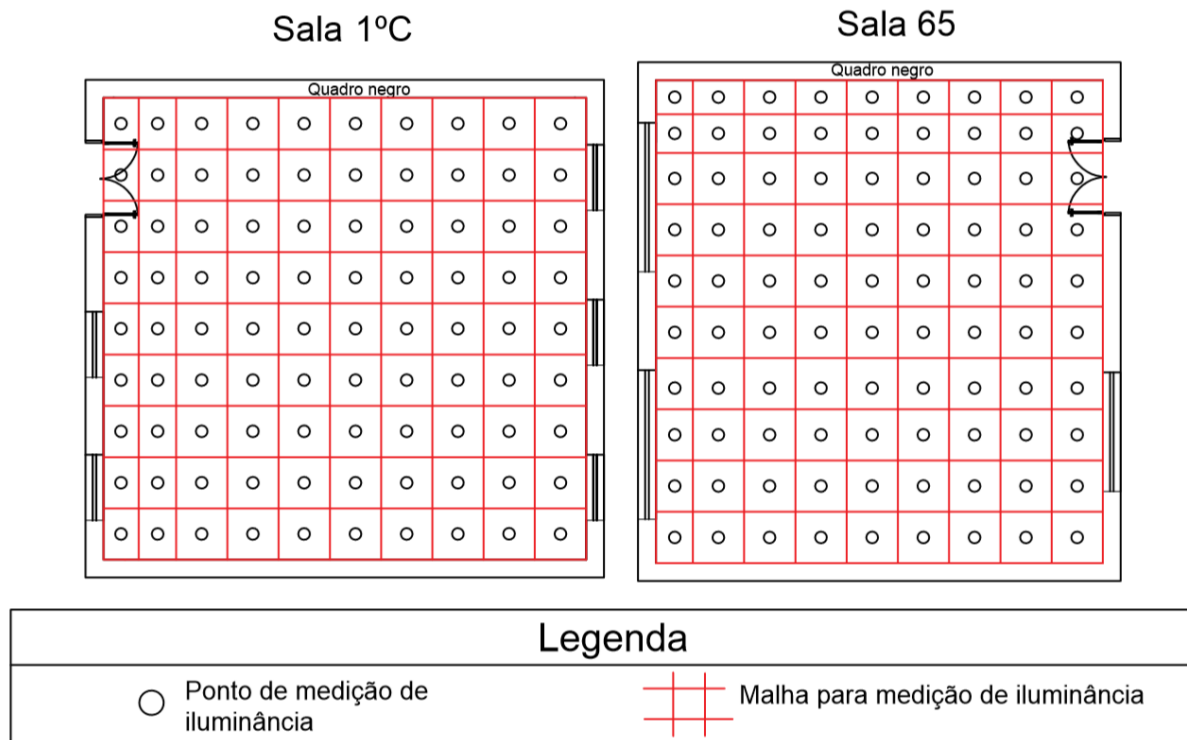
Tabela 8 – Tamanho de malha de medição e número de pontos de medida para as duas salas de aula analisadas.

Sala	p (m)	n_D	n_d	n_{total}
1°C	0,86	9,39 \approx 10	8,98 \approx 9	90
65	0,86	9,35 \approx 10	8,71 \approx 9	90

Fonte: próprio autor.

Como pode ser observada na Tabela 8, a dimensão da malha encontrada foi de 0,86 m e o número de pontos de medição foi de 90 por sala. As malhas de cálculo e os pontos de medição para as salas 1°C e 65 podem ser observados na Figura 22.

Figura 22 – Malhas de cálculo e pontos de medição para as salas 1°C e 65.

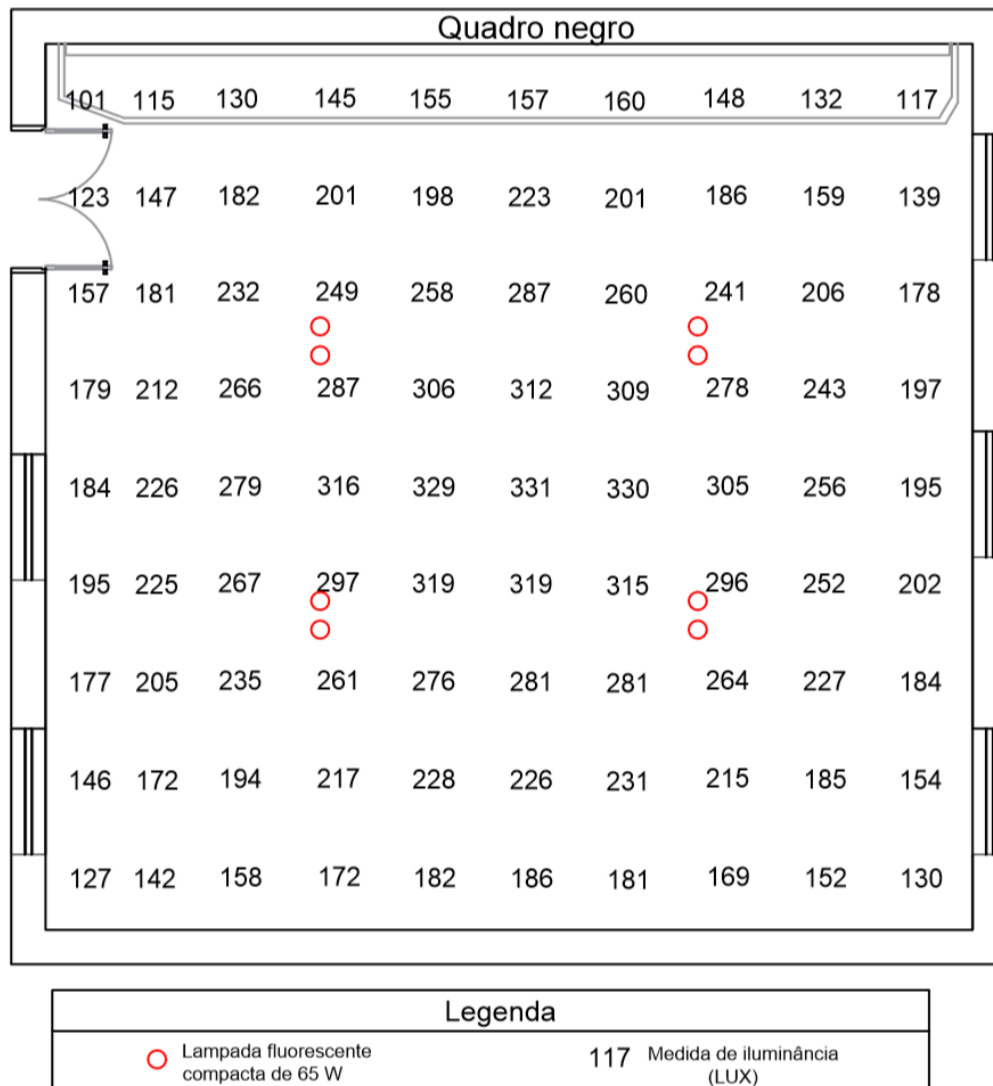


Fonte: próprio autor.

A Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 define que, em salas de aula, toda sua extensão seja considerada área de trabalho menos uma faixa marginal de 0,5m das paredes. Entretanto, a Norma determina que, em casos nos quais as áreas de trabalho se estendam até as paredes, o ambiente inteiro é considerado área de trabalho sem se deduzir qualquer zona marginal. Como nas salas de aula as mesas dos alunos localizavam-se próximas às paredes, a zona marginal foi desconsiderada e as medidas de iluminância foram feitas nas áreas de trabalho próximas das paredes.

Os resultados de iluminância medidas para a sala do 1°C podem ser observados na Figura 23.

Figura 23 – Iluminâncias na sala 1°C da EFM avaliadas em julho de 2017.

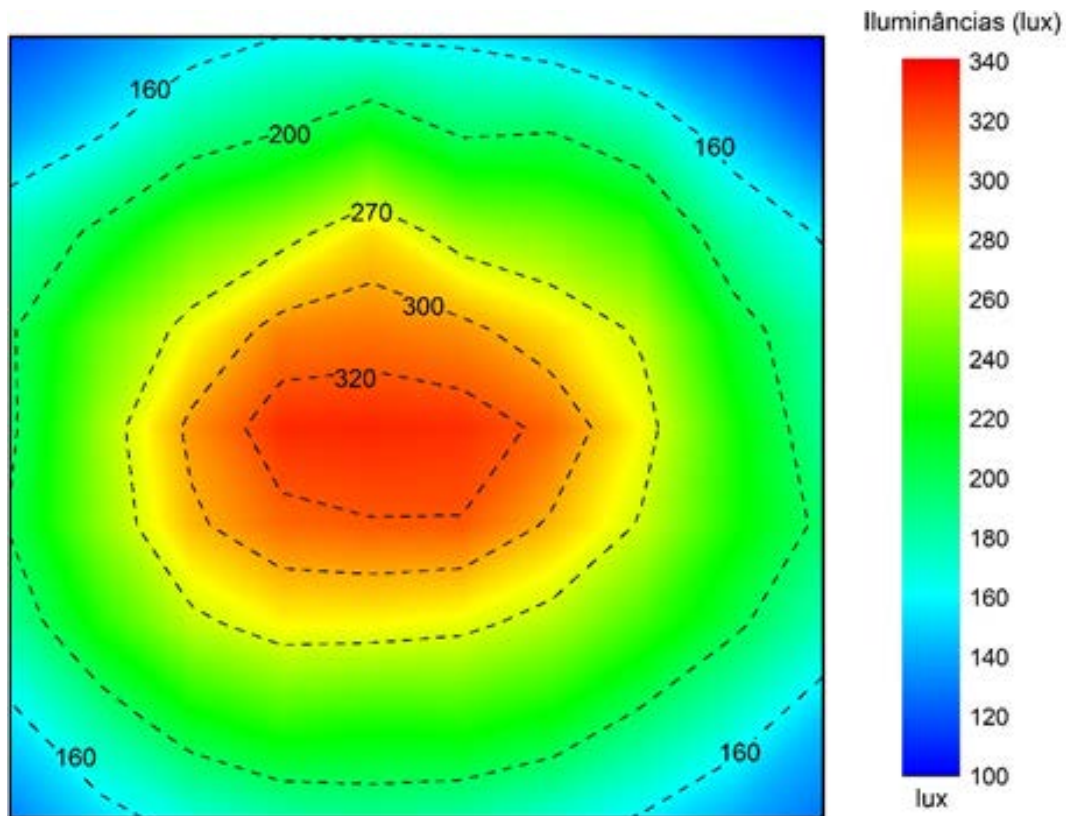


Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado na Figura 23, os maiores valores de iluminância são verificados nos arredores das lâmpadas fluorescentes, locais em que há maior concentração luminosa direta proveniente das fontes. O valor máximo medido foi de 331 lux e o mínimo de 115 lux. A iluminância média medida para a sala 1°C foi de 215 lux e a uniformidade calculada utilizando a Equação 1 foi de 0,47.

Na Figura 24, podem ser observadas as curvas isolux desenhadas utilizando o software ORIGIN PRO 8.5. Através das curvas isolux pode se observar o comportamento da distribuição de iluminância na sala, em suas respectivas curvas de iluminância, facilitando assim, a visualização e a interpretação dos dados obtidos.

Figura 24 – Curvas isolux das iluminâncias medidas na sala 1°C realizadas em julho de 2017.

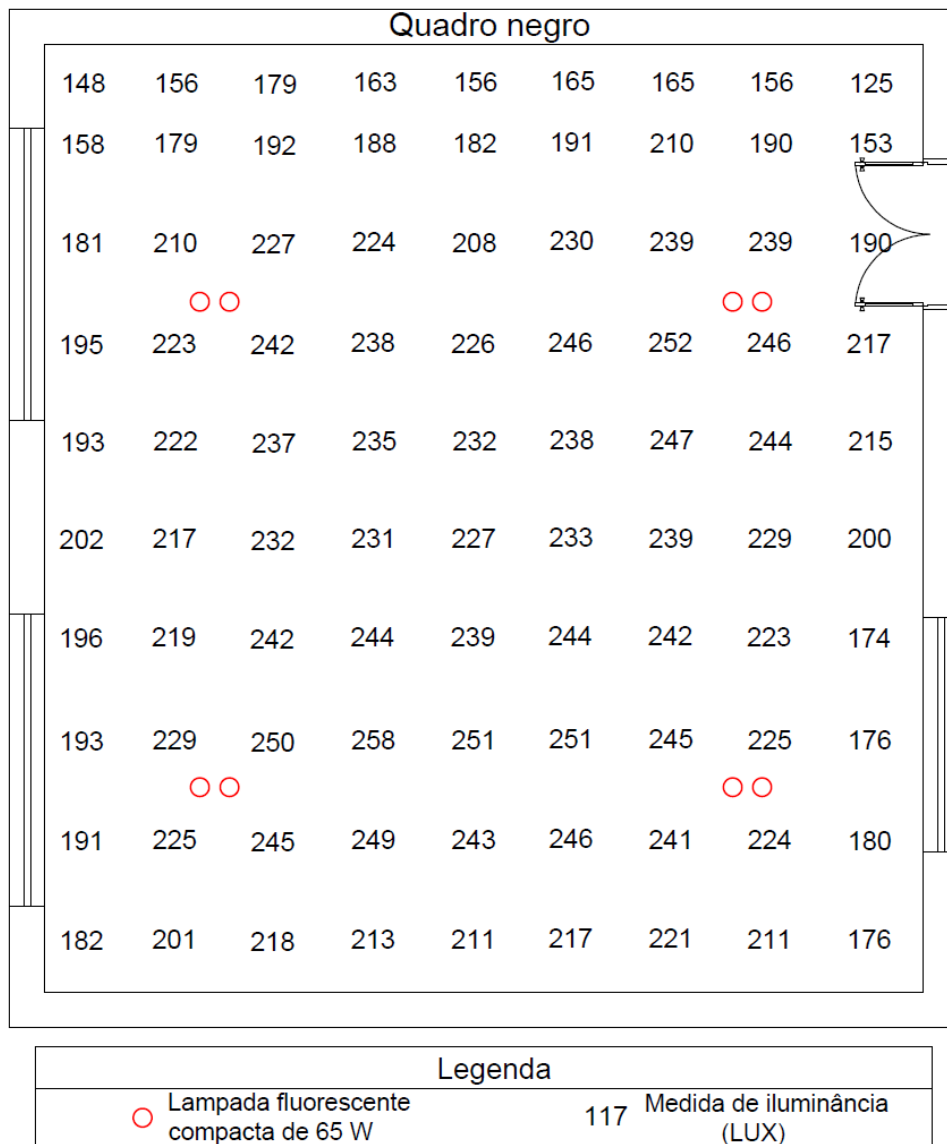


Fonte: próprio autor

Na Figura 24 pode se observar como a distribuição de iluminâncias é concentrada no meio da sala de aula. No centro da sala, pode-se observar iluminâncias acima de 320 lux e, conforme distancia-se do centro, observa-se diminuição para valores próximos a 100 lux nos extremos da sala.

Na Figura 25, por sua vez, pode-se observar as iluminâncias medidas na sala 65. O valor máximo obtido foi de 252 lux e, o menor, 125 lux. A iluminância média calculada para a sala 65 foi de 213 lux e a uniformidade utilizando a Equação 1 foi de 0,59.

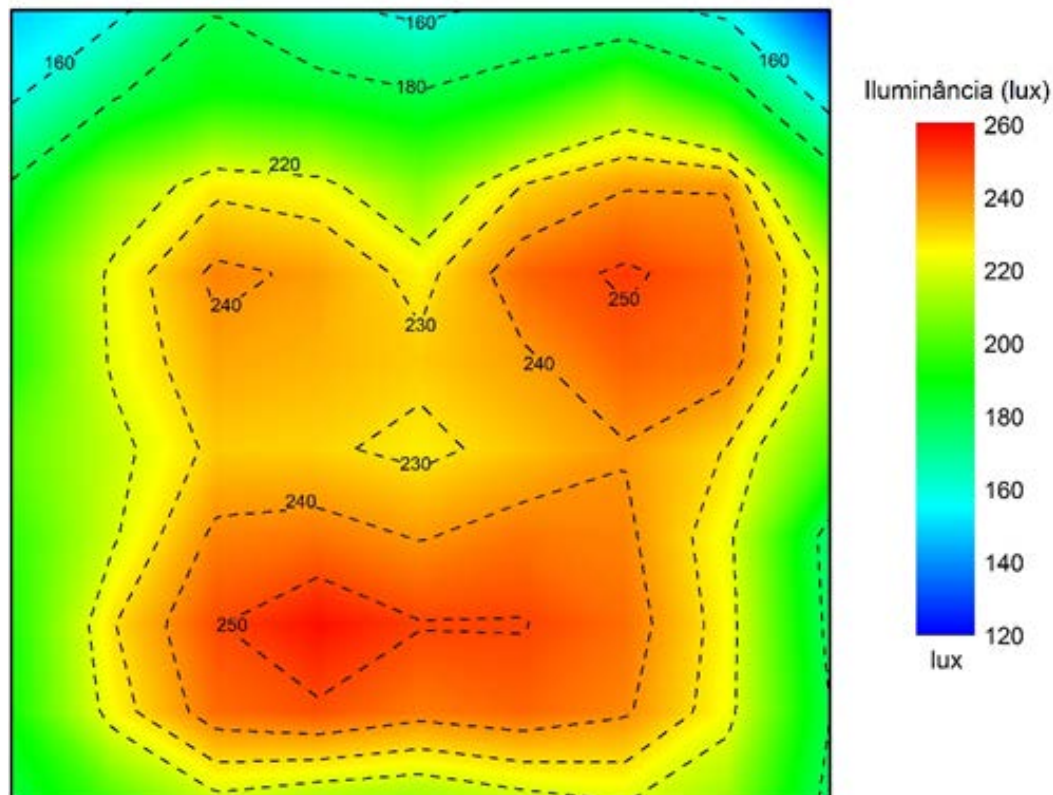
Figura 25 – Iluminâncias na sala 65 da EFM avaliadas em julho de 2017.



Fonte: próprio autor.

Na Figura 26, pode-se observar as curvas isolux das iluminâncias medidas para a sala 65. É possível notar a distribuição de iluminâncias de valores superiores a 220 lux na região central da sala enquanto que as extremidades apresentam iluminâncias por volta de 200 lux.

Figura 26. Curvas isolux das iluminâncias medidas na sala 65 realizadas em julho de 2017.



Fonte: próprio autor.

Através das medidas de iluminância das salas 1°C e 65 pode-se afirmar que a iluminâncias médias obtidas 215 lux e 213 lux, respectivamente, estão abaixo do valor definido pela Norma 8995 que é de 300 lux. As uniformidades calculadas, 0,47 e 0,59, por sua vez, também se encontram abaixo ao valor mínimo definido pela Norma que é de 0,7. As lâmpadas fluorescentes possuem IRC igual ou superior a 0,80, valor que está de acordo com a Norma 8995, devendo ser superior ou igual a 0,80..

Não foi possível verificar o ofuscamento nas salas de aula, já que se necessita de um luminômetro para efetuar as medidas de luminância para o cálculo do ofuscamento e não se encontrou dados de UGR no site do fabricante.

5.2 PROPOSTA DE ILUMINAÇÃO COM LUMINÁRIAS LED

Com a finalidade de obter um sistema de iluminação mais eficiente e em conformidade com a Norma NBR ABNT ISO/CIE 8995-1, fez-se o cálculo

luminotécnico e foi escolhida a luminária LED 3006 PREMIUM da ITAIM iluminação que pode ser observada na Figura 27.

Figura 27 – Luminária LED 3006 PREMIUM da ITAIM iluminação.



Fonte: ITAIM, 2017.

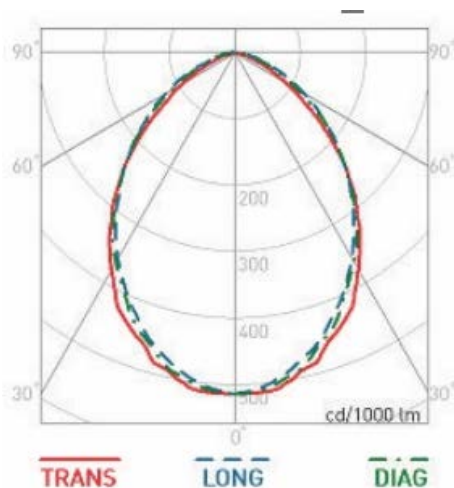
A luminária LED 3006 PREMIUM é uma luminária de sobrepor com corpo e aletas planas em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca. Possui refletor em alumínio anodizado de alto brilho, difusor translúcido e possui driver integrado. As especificações da luminária podem ser observadas na Tabela 9 e suas CDL podem ser observadas na Figura 28.

Tabela 9 – Especificações da luminária LED 3006 PREMIUM 31 W da ITAIM ILUMINAÇÃO.

Potência	31 W
Tensão	220 V
Fluxo luminoso	3353 lm
Eficácia luminosa	109 lm/W
Temperatura de cor	4000 K
IRC	≥ 80
Vida útil (L70)	50.000 horas
Dimensões	70 mm x 227 mm x 1260 mm

Fonte: ITAIM, 2017.

Figura 28 – Curvas de distribuição luminosa para a luminária LED 3006 PREMIUM da ITAIM ILUMINAÇÃO.



Fonte: ITAIM, 2017.

Ao contatar a ITAIM para o fornecimento dos fatores de utilização para a luminária escolhida, obteve-se os valores da luminária LED 3006, versão anterior à utilizada neste trabalho. Considerando que suas características são semelhantes, os dados foram adotados para os cálculos, conforme disposto na Tabela 10.

Tabela 10 – Fatores de utilização para luminárias da linha LED 3006 BLLBA 31 W da ITAIM iluminação.

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
K	FATOR DE UTILIZAÇÃO								
0.60	0.53	0.46	0.42	0.52	0.46	0.42	0.46	0.41	0.40
0.80	0.62	0.56	0.51	0.61	0.55	0.51	0.54	0.50	0.49
1.00	0.69	0.63	0.59	0.68	0.62	0.58	0.62	0.58	0.56
1.25	0.76	0.70	0.66	0.74	0.69	0.65	0.69	0.65	0.63
1.50	0.81	0.76	0.71	0.79	0.74	0.71	0.73	0.70	0.68
2.00	0.88	0.83	0.80	0.86	0.82	0.79	0.81	0.78	0.76
2.50	0.92	0.88	0.85	0.90	0.87	0.84	0.85	0.83	0.81
3.00	0.95	0.91	0.89	0.93	0.90	0.88	0.88	0.86	0.84
4.00	0.98	0.95	0.93	0.96	0.94	0.92	0.92	0.90	0.88
5.00	1.00	0.97	0.96	0.98	0.96	0.94	0.94	0.93	0.90

5.2.1 Cálculo luminotécnico

Para o projeto do sistema de iluminação LED considerou-se duas situações diferentes: a primeira foi o uso do sistema de iluminação LED por todo o tempo de vida útil L70 das luminárias e a segunda para o uso de metade da vida útil. Os parâmetros de cálculo luminotécnico para ambas situações são os mesmos, diferindo apenas no fator de manutenção, que por sua vez, impacta na quantidade de luminárias necessárias para iluminar o ambiente. Os projetos foram identificados como LED50, para o projeto LED com 50.000 horas de operação, e LED25 para 25.000 horas de operação.

O cálculo luminotécnico foi feito para três salas de aula com dimensões distintas, estendendo-se os resultados para as demais salas da escola. Desta forma, totalizaram treze salas de aula, sendo organizadas em três grupos diferentes.

O grupo 1 de salas de aula é composto por cinco salas do piso térreo da escola, do ensino fundamental. O grupo 2 de salas de aula é composto por cinco salas do pavimento superior da escola também, do ensino fundamental enquanto que, o grupo 3 de salas de aula, é composto por três salas do pavimento superior da escola, do primeiro ano do ensino médio.

5.2.1.1 Fator do ambiente

Para o cálculo do fator do ambiente, calculou-se primeiramente o valor da altura do pé direito de trabalho. Para o cálculo de “h” utilizou-se a Equação 7 e seus resultados podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de altura de pé direito de trabalho para os grupos de sala de aula.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Hp (m)	3,90	3,40	3,40
hs (m)	0,07	0,07	0,07
Ht(m)	0,70	0,70	0,70
h (m)	3,13	2,63	2,63

Fonte: próprio autor.

Utilizando-se a Equação 6 e a Tabela 11, obteve-se índices do ambiente “K” para as salas de aula que podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de índices de ambiente para os grupos de sala de aula.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
C	8,10	8,00	8,10
L	7,45	7,45	7,80
h	3,18	2,63	2,63
K	1,24	1,47	1,51

Fonte: próprio autor.

5.2.1.2 Fator de utilização

Considerando que as paredes e tetos são da cor branca e o piso de cor escura, assumiu-se os valores de refletância para as superfícies das salas de 70% para o teto, 50% para as paredes e 10% para o piso para o cálculo do fator de utilização “U”. Através dos valores de refletância, dos valores de “K” calculados e da Tabela 10, encontrou-se os valores de fator de utilização para os grupos de salas de aula conforme podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de fator de utilização para os grupos de sala de aula.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
K	1,24	1,47	1,51
U	0,757	0,804	0,811

Fonte: próprio autor.

5.2.1.3 Fator de manutenção

Em relação aos fatores componentes para calcular o valor do fator de manutenção “ F_M ”, utilizou-se as considerações segundo duas fabricantes de luminárias LED (WHITECROFT LIGHTINING, 2017) e (GLAMOX, 2017).

a) Fator de manutenção de sobrevivência das lâmpadas

O fator de manutenção de sobrevivência das lâmpadas, para lâmpadas LED, pode-se considerar F_{SL} igual a 1,0. Esta consideração é feita devido à raridade de falhas catastróficas em lâmpadas LED, tendo pequeno número de acontecimentos. Na maioria dos casos a falha é do driver e não das lâmpadas LED (WHITECROFT LIGHTINING, 2017).

b) *Fator de manutenção das luminárias*

Nas luminárias LED, o impacto no fluxo luminoso pelo depósito de sujeira não é tão significativo quanto em outras tecnologias de iluminação devido ao seu design. O valor de F_{LUMIN} para ambientes considerados muito limpos com regime de limpeza anual é de 0,96 (WHITECROFT LIGHTINING, 2017).

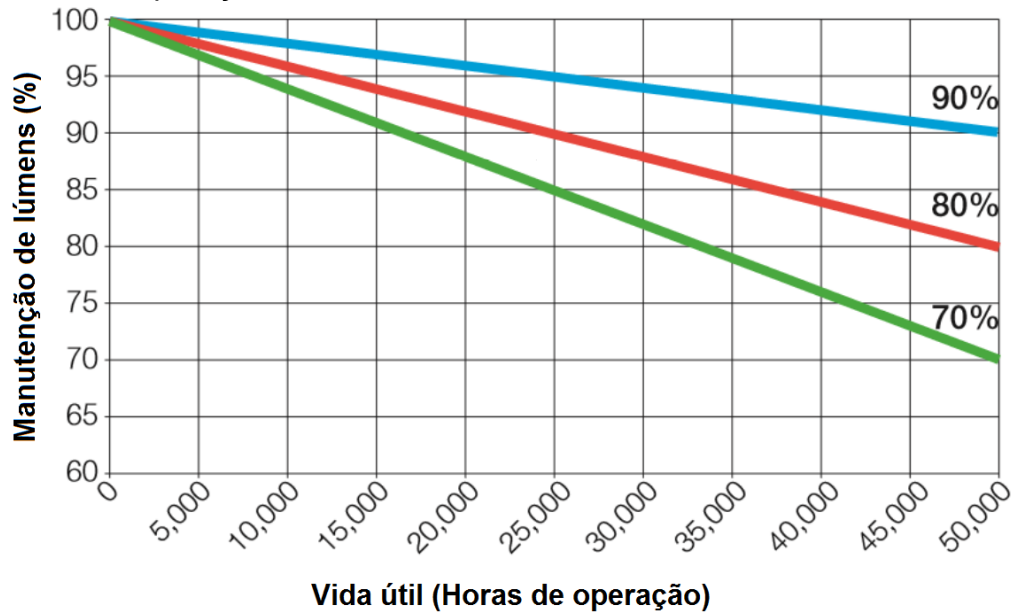
c) *Fator de manutenção de superfícies do ambiente*

O valor para o fator de manutenção de superfícies do ambiente depende da rotina de limpeza dos ambientes e, segundo WHITECROFT LIGHTINING (2017), para ambientes classificados como muito limpos e com limpeza programada a cada ano, o valor de F_{MS} é igual a 0,97.

d) *Fator de manutenção de lúmens das lâmpadas*

A taxa de depreciação do fluxo luminoso de luminárias LED depende de três fatores principais que são: a qualidade do LED, construção da luminária e da gestão da temperatura do componente LED (WHITECROFT LIGHTINING, 2017). Portanto, para um mesmo tempo de operação, dependendo de suas características, as luminárias diferem na quantidade de fluxo luminoso que reduz com as horas de uso. Na Figura 29 pode se observar o comportamento da manutenção de lúmens para três luminárias LED com diferentes taxas de depreciação de lúmens e vidas úteis L70, L80 e L90 para 50.000 horas de operação.

Figura 29 – Comportamento da manutenção de lúmens para luminárias LED com diferentes taxas de depreciação de lúmens e vidas úteis L70, L80 e L90 para 50.000 horas de operação.



— Luminária L90@50K — Luminária L80@50K — Luminária L70@50K

Fonte: Traduzido e adaptado de WHITECROFT LIGHTNING, 2017.

Para métodos de cálculo, utilizou-se a Figura 29 como base para os cálculos dos fatores de manutenção de lúmens das lâmpadas. Como pode se observar na Figura 29, uma luminária com vida útil L70, após 50.000 horas de operação, possui 70% de seu fluxo luminoso inicial. Por outro lado, ao considerar passadas 25.000 horas de operação, a mesma luminária possui 85% de seu fluxo luminoso inicial.

Desta forma, para uma mesma luminária, é possível ter dois fatores de manutenção de lúmens diferentes devido a tempos de operação diferentes. Portanto, para o projeto *LED50*, o F_{LUMENS}' é igual a 0,70. Já para o projeto *LED25*, o F_{LUMENS}'' é igual a 0,85.

Os valores de fatores de manutenção foram calculados utilizando o disposto no item 5.2.1.3 e a Equação 8. Para o *LED50*, obteve-se F_M igual a 0,652 e, para o *LED25*, F_M igual a 0,792.

5.2.1.4 Cálculo do número de luminárias

Para o cálculo do número de luminárias, devido à luminária funcionar como um conjunto completo com fluxo luminoso de 3353 lm, considerou-se o número de

lâmpadas igual a 1 e iluminância mantida de 300 lux. Utilizando-se a Equação 9 e as variáveis necessárias dispostas no item 5.2.1, calculou-se a quantidade de luminárias necessárias para iluminar as salas para os projetos com 50.000 e 25.000 horas de operação. Os resultados podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 – Quantidade de luminárias necessárias para iluminar os três grupos de salas de aula, para os projetos com 50.000 e 25.000 horas de operação.

	50.000 horas de operação			25.000 horas de operação		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
C (m)	8,10	8,00	8,10	8,10	8,00	8,10
L (m)	7,45	7,45	7,80	7,45	7,45	7,80
E (lux)	300	300	300	300	300	300
f (lm)	3353	3353	3353	3353	3353	3353
U	0,757	0,804	0,811	0,757	0,804	0,811
F_M	0,652	0,652	0,652	0,792	0,792	0,792
N	10,94 ≈ 11	10,17 ≈ 11	10,69 ≈ 11	9,01 ≈ 9	8,37 ≈ 9	8,80 ≈ 9

Fonte: próprio autor.

Conforme pode se observar na Tabela 14, para iluminar as salas de aula com 300 lux de iluminância mantida são necessárias 11 luminárias LED ITAIM 3006 PREMIUM 31 W para o projeto *LED50* e de 9 luminárias para o projeto *LED25*.

5.2.1.5 Ofuscamento

Para determinar se os valores de ofuscamento unificado estariam de acordo com a Norma ao instalar as luminárias LED ITAIM 3006 PREMIUM, aplicou-se o modo tabular para encontrar os valores de UGR.

Para o cálculo da altura de montagem da luminária acima dos olhos do observador, “H”, considerou-se os 7 cm da luminária na direção vertical e que os olhos dos alunos ficam a uma altura de 1,10 m do chão, quando sentados. Desta forma, os valores de H foram calculados segundo o item 3.2.4 e seus resultados, assim como as razões das dimensões do ambiente por “H” (Rc e RI), podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de altura de montagem de luminária acima dos olhos do observador "H" e razões das dimensões do ambiente por "H".

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Comprimento (m)	8,10	8,00	8,10
Largura (m)	7,45	7,45	7,80
Pé direito ambiente (m)	3,90	3,40	3,40
H (m)	2,73	2,23	2,23
Rc (Comprimento/H)	2,96 ≈ 3H	3,59 ≈ 4H	3,63 ≈ 4H
RI(Largura/H)	2,73 ≈ 3H	3,34 ≈ 4H	3,49 ≈ 4H

Fonte: próprio autor.

Através do uso da Figura 17 e da Tabela 15, determinou-se os índices UGR que estão dispostos na Tabela 16. Considerou-se os piores casos aumentando-se o "Rc" de 3H para 4 H, para selecionar na tabela, na coluna dos valores de "X". Considerou-se as refletâncias de projeto 70% / 50% / 20%.

Tabela 16 –Valores dos índices de ofuscamento unificado para os três grupos de salas de aula, avaliados através do método tabular.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
(X,Y)	(4H, 3H)	(4H, 4H)	(4H, 4H)
UGR transversal	18,1	18,4	18,4
UGR longitudinal	17,6	17,9	17,9

Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado na Tabela 16, os valores de UGR tanto transversais quanto os longitudinais são menores do que 19. Portanto, a luminária LED ITAIM 3006 PREMIUM não produz ofuscamento em níveis acima aos determinados pela Norma para os três grupos de salas de aula.

5.2.2 Análise do consumo de energia do sistema de iluminação

O sistema de iluminação atual é composto por oito lâmpadas fluorescentes compactas tubulares FOXLUX em cada sala de aula dos grupos de salas 1, 2 e 3 analisados neste trabalho. As especificações do sistema de iluminação atual se encontram na Tabela 17.

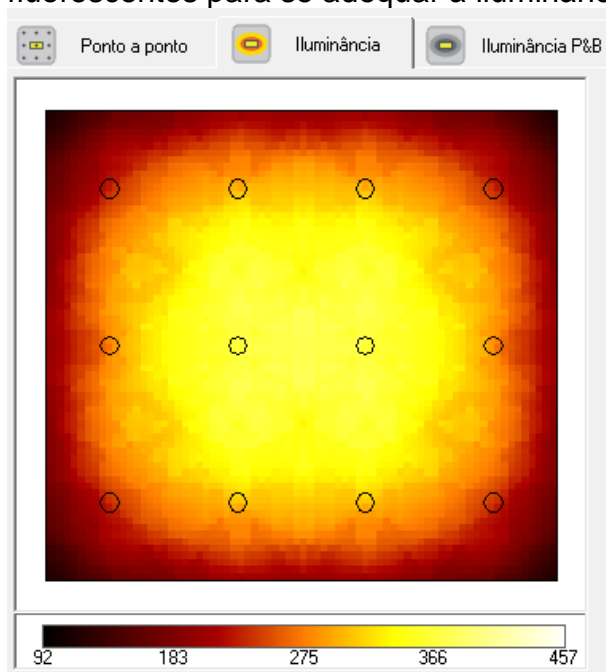
Tabela 17 – Especificações do sistema de iluminação, para os três grupos de salas de aula.

Lâmpadas por sala	8
Potência da lâmpada	65 W
Fluxo luminoso	3900 lm
Temperatura de cor	6500 K
IRC	≥ 80
Vida útil	6.000 horas

Fonte: próprio autor.

Para comparação entre as propostas de projeto, foi feito o ajuste da quantidade de lâmpadas fluorescentes e suas distribuições nas salas de aula e, utilizando-se o software Softlux, disponibilizado por ITAIM (2016), obteve-se que o número de lâmpadas fluorescentes para adequar o nível de iluminância ao estabelecido pela Norma 8995 foi de 12 por sala, quando se obtém o valor médio de iluminância de 302 lux. A distribuição das iluminâncias obtidas pelo programa são semelhantes para os três grupos, que pode ser observada na Figura 30.

Figura 30 – Distribuição de iluminâncias do ajuste das quantidades de lâmpadas fluorescentes para se adequar à iluminância média mantida descrita pela Norma.



Fonte: próprio autor.

A comparação da potência instalada entre o sistema de iluminação atual ajustado e os projetos de sistema de iluminação LED propostos pode ser observada na Tabela 18.

Tabela 18 – Comparação de potências instaladas entre os sistemas de iluminação atual ajustado e os de LEDs propostos.

Potência instalada dos sistemas de iluminação			
	Sistema de iluminação		
	Atual	LED50	LED25
Nº de lâmpadas/luminárias por sala	12	11	9
Potência unitária lâmpada/luminária (W)	65	31	31
Potência total por sala (W)	780	341	279
Potência total das 13 salas (W)	10.140	4.433	3.627

Fonte: próprio autor.

A quantidade de horas durante o dia de uso das salas de aula varia do ensino fundamental para o ensino médio. Os grupos 1 e 2 são grupos com salas do ensino fundamental, enquanto o grupo 3 possui salas do primeiro ano do ensino médio. Os horários de utilização podem ser observados na Tabela 19.

Tabela 19 – Horários de utilização do sistema de iluminação nas salas de aula.

Horário de utilização do sistema de iluminação			
	Fundamental	Primeiro ano do ensino médio	
Dias da semana	Todos os dias	2ª, 4ª e 6ª feira	3ª e 5ª feira
Matutino	06:55 às 12:15	06:55 às 12:15	06:55 às 12:15
Vespertino	12:55 às 18:15	–	12:55 às 18:15

Fonte: próprio autor.

De acordo com a Tabela 19, pode-se observar que nas salas de ensino fundamental o sistema de iluminação é utilizado por mais tempo que nas do primeiro ano. O total de horas por dia de utilização de iluminação nas salas de ensino fundamental é igual a 10 horas e 40 minutos, enquanto para as salas do primeiro ano é de 10 horas e 40 minutos na terça e quinta-feira e de 5 horas e 20 minutos na segunda, quarta e sexta-feira, como pode ser observado na Tabela 20.

Tabela 20 – Quantidade de horas por dia de uso do sistema de iluminação.

Quantidade de horas por dia		
Ensino fundamental	Primeiro ano do ensino médio	
10 horas e 40 minutos	Segundas, quartas e sextas-feiras	Terças e quintas-feiras
	5 horas e 20 minutos	10 horas e 40 minutos

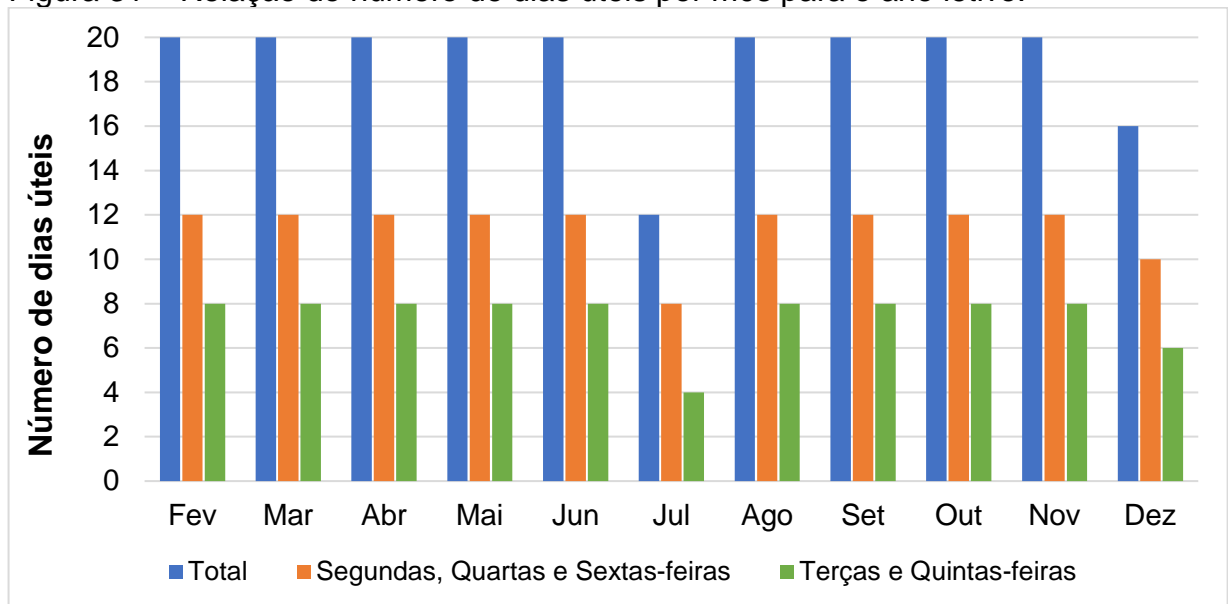
Fonte: próprio autor.

Para o cálculo da quantidade de dias por ano em que o sistema de iluminação é utilizado, utilizou-se como base o calendário do ano de 2017. Para os meses sem recesso, considerou-se 20 dias úteis no mês (4 semanas completas de segunda a sexta). Dividiu-se os dias das semanas em dois grupos: Segunda, quarta e sexta e o outro terça e quinta. Esta divisão foi feita devido ao primeiro ano do ensino médio ter

aulas no período integral nas terças e quintas-feiras, enquanto nas segundas, quartas e sextas apenas no período matutino.

O período escolar de 2017 é do dia 1º de fevereiro ao dia 10 de julho, com retorno das aulas no dia 24 de julho ao dia 22 de dezembro. Desta forma, há 12 dias úteis no mês de julho, e em dezembro, há 16 dias úteis. Na Figura 31 pode se observar o número de dias úteis por mês, para o ano letivo.

Figura 31 – Relação do número de dias úteis por mês para o ano letivo.

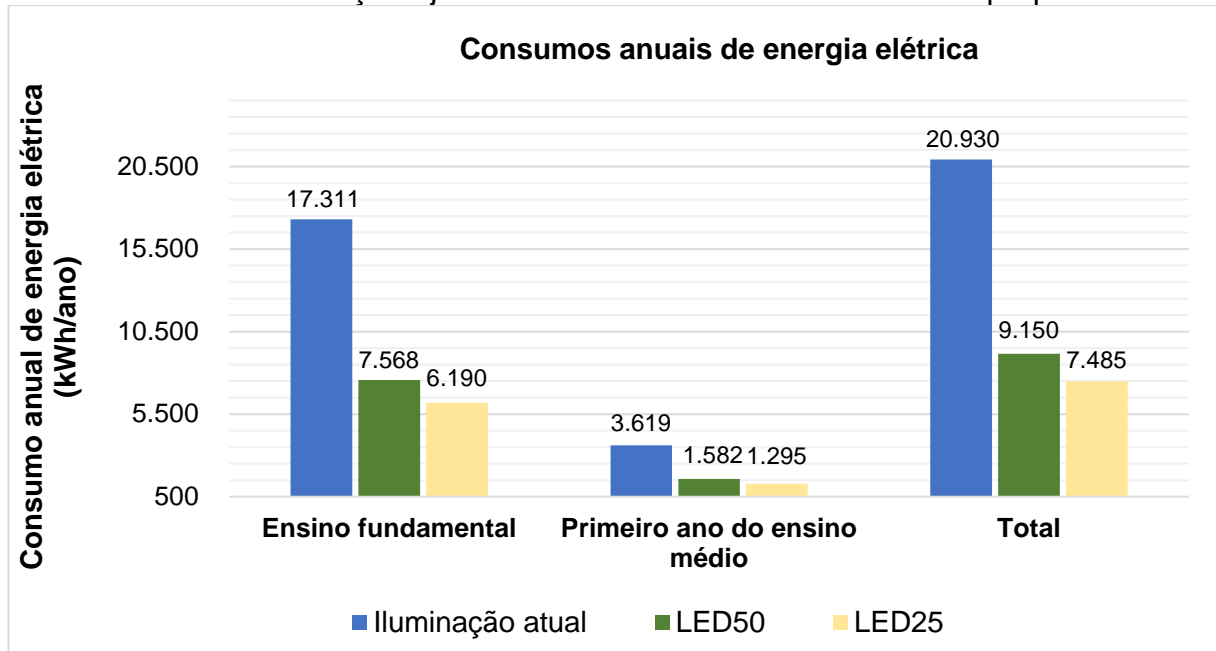


Fonte: próprio autor

Calculando-se o total de dias úteis para cada grupo apresentado na Figura 31, obtém-se 126 dias úteis considerando-se apenas segundas, quartas e sextas-feiras; 82 dias úteis considerando-se apenas terças e quintas-feiras e, assim, totalizando-se 208 dias úteis no ano letivo.

Utilizando-se as Equações 10 e 11, a Figura 31 e a Tabela 20, calculou-se os consumos de energia anuais e, na Figura 32, pode-se observar a comparação entre os consumos anuais de energia elétrica do sistema atual de iluminação ajustado e dos sistemas LEDs propostos para as 10 salas do ensino fundamental, 3 salas do primeiro ano do ensino médio e para o total das 13 salas de aula.

Figura 32 – Comparação entre os consumos anuais de energia elétrica entre o sistema atual de iluminação ajustado e os sistemas LED50 e LED25 propostos.



Fonte: próprio autor

Como pode se observar na Figura 32, houve diminuição no consumo de energia elétrica com o uso dos sistemas LEDs propostos. A redução de consumo para o projeto LED50 no ensino fundamental foi de 9.743 kWh/ano, para o primeiro ano foi de 2.037 kWh/ano e o total foi de 11.780 kWh/ano. Já a diminuição de consumo para o projeto LED25 no ensino fundamental foi de 11.121 kWh/ano, para o primeiro ano foi de 2.324 kWh/ano somando o total de 13.445 kWh/ano.

5.2.3 Análise de viabilidade econômica

As análises de viabilidade econômica dos projetos propostos foram feitas baseando-se nos preços médios de energia elétrica. Os valores das faturas das contas de energia para o período de um ano, assim como o consumo total podem ser observados na Tabela 21.

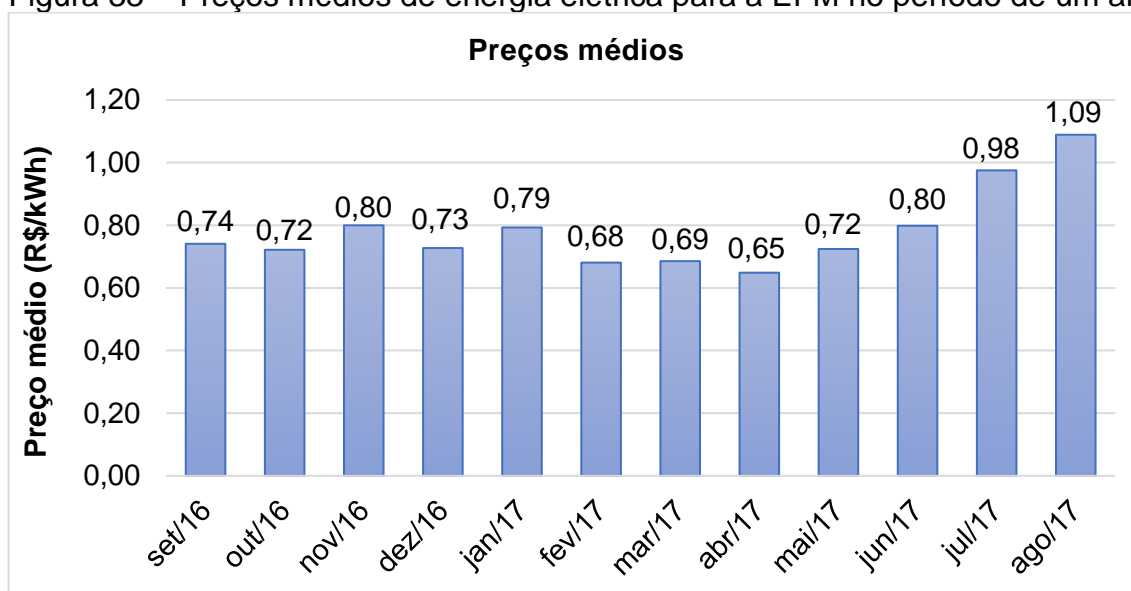
Tabela 21 – Valores das faturas e consumos totais de energia elétrica mensais.

Mês	Valor da Fatura	Consumo total de energia (kWh)
set/16	R\$ 10.115,72	13.655
out/16	R\$ 11.744,40	16.274
nov/16	R\$ 15.517,30	19.402
dez/16	R\$ 18.018,11	24.777
jan/17	R\$ 7.288,76	9.193
fev/17	R\$ 8.514,50	12.508
mar/17	R\$ 16.256,89	23.719
abr/17	R\$ 16.622,51	25.629
mai/17	R\$ 10.335,66	14.273
jun/17	R\$ 11.747,34	14.715
jul/17	R\$ 9.769,77	10.018
ago/17	R\$ 9.166,04	8.417

Fonte: próprio autor

Através da Equação 12 e da Tabela 21, calculou-se os valores dos preços médios de energia da EFM que podem ser observados na Figura 33.

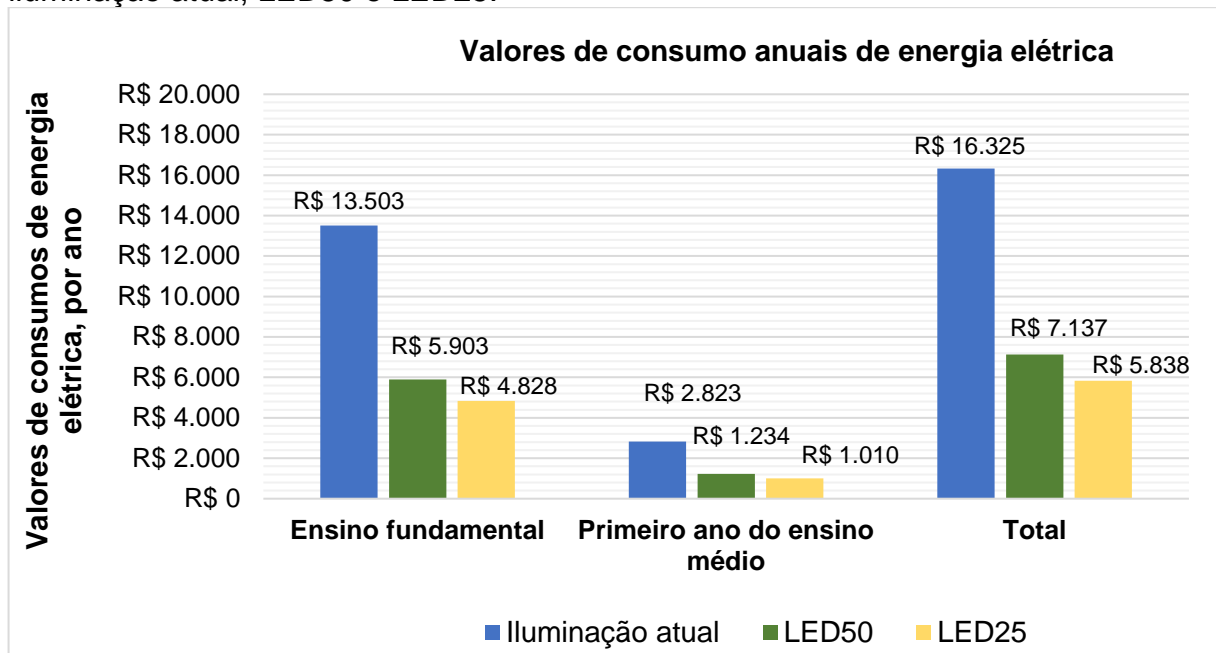
Figura 33 – Preços médios de energia elétrica para a EFM no período de um ano.



Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado na Figura 33, a partir de abril de 2017, notou-se o aumento do preço médio do uso de energia elétrica para a escola. A média dos preços médios é de 0,78 R\$/kWh. Os valores de consumos de energia elétrica anuais foram calculados utilizando a Equação 13, Figura 32 e Figura 33, e podem ser observados na Figura 34.

Figura 34 – Valores de consumo de energia elétrica anuais para o sistema de iluminação atual, LED50 e LED25.



Fonte: próprio autor.

As reduções nos valores de consumos de energia elétrica anuais podem ser observadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Comparação das reduções dos valores anuais de consumo de energia para os projetos de iluminação propostos LED50 e LED25.

Reduções nos valores de consumo de energia anuais		
Sistema	Sistema	
	LED50	LED25
Ensino fundamental	R\$ 7.599,53	R\$ 8.672,82
Primeiro ano	R\$ 1.588,68	R\$ 1.813,05
Total	R\$ 9.188,21	R\$ 10.485,86

Fonte: próprio autor.

O custo de cada luminária LED 3006 PREMIUM orçada na ITAIM iluminação foi de R\$ 441,79. Na Tabela 23, pode-se observar os custos totais das luminárias para as 13 salas de aula para os projetos LED50 e LED25.

Tabela 23 – Custo total das luminárias LED para os projetos LED50 e LED25.

	Número de salas	Luminárias/sala	Custo total (R\$)
LED50	13	11	63.175,97
LED25	13	9	51.689,43

Fonte: próprio autor.

5.2.3.1 *Tempo de vida útil do projeto*

Para avaliar se um projeto de investimento é viável economicamente, é necessário conhecer o tempo de vida útil deste projeto. O cálculo de vida útil foi feito separadamente para as salas do ensino fundamental e do primeiro ano do ensino médio. Devido às diferenças no tempo de uso das salas de aula entre estes dois grupos, há diferentes tempos de vida para suas luminárias.

Utilizando a vida útil das luminárias e quantidade de horas por ano em que são utilizadas, na Tabela 24 pode-se observar as vidas úteis para os projetos dos sistemas de iluminação do ensino fundamental e do primeiro ano do ensino médio, para os projetos LED50 e LED25.

Tabela 24 – Vida útil para o projeto de iluminação das salas de aula do ensino fundamental e do primeiro ano do ensino médio.

	Horas de uso/ano	Vida útil do projeto (anos)	
		LED50	LED25
Ensino fundamental	2.288	21,85	10,93
Primeiro ano do ensino médio	1.595	31,35	15,67

Fonte: próprio autor.

Na Tabela 25 pode se observar o tempo de vida útil do sistema de iluminação atual, ou seja, a quantidade de anos em que há a necessidade de trocar as lâmpadas.

Tabela 25 – Número de anos necessários para troca das lâmpadas fluorescentes compactas FOXLUX 65W para o ensino fundamental e para o ensino médio.

Número de anos para troca de lâmpadas	
Ensino fundamental	2,62
Primeiro ano do ensino médio	3,76

Fonte: próprio autor

Como pode se observar na Tabela 24 e na Tabela 25, o número de anos necessários para troca das luminárias LED é superior ao das lâmpadas fluorescentes. Tomando como base o número de anos de vida útil das luminárias LED, projeto LED50, as lâmpadas fluorescentes são trocadas por volta de 8 vezes. Para o projeto LED25, como se considerou metade do tempo de vida útil do LED50, terá trocas por volta de 4 vezes, até a quarta substituição.

Os intervalos em anos nos quais são trocadas as lâmpadas fluorescentes para o período de vida útil do projeto LED50 podem ser observados na Tabela 26. Para

estes cálculos, considerou-se que as lâmpadas fluorescentes estavam novas, portanto, possuíam 6.000 horas de vida útil.

Tabela 26 – Intervalo em anos para efetuar a troca das lâmpadas fluorescentes do sistema atual de iluminação, considerando-se a vida útil da proposta do sistema LED.

Intervalo em anos para a substituição das lâmpadas		
	Ensino fundamental	Primeiro ano do ensino médio
Início	-	-
1ª substituição	2,62	3,76
2ª substituição	5,24	7,52
3ª substituição	7,86	11,28
4ª substituição	10,48	15,04
5ª substituição	13,1	18,8
6ª substituição	15,72	22,56
7ª substituição	18,34	26,32
8ª substituição	20,96	30,08

Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado na Tabela 26, através da implementação das luminárias LED pode-se economizar com o capital que seria destinado à troca das lâmpadas fluorescentes que deixariam de ser feitas com a implementação da proposta.

5.2.3.2 *Análise financeira*

Para os cálculos financeiros, considerou-se a taxa de desconto igual à taxa de juros da linha de financiamento do BNDES automático, disponível em OFFICINAPROJETOS (2017), no valor de 13,5% a.a. Além disso, considerou-se conjuntamente as salas de aula do ensino fundamental e do primeiro ano do ensino médio para as análises financeiras.

Para o cálculo do dinheiro economizado com as substituições das lâmpadas fluorescentes (SL), o preço de uma lâmpada fluorescente compacta espiral 65W FOXLUX foi cotado em lojas da cidade de Dourados/MS no mês de agosto de 2017 e o preço médio foi de R\$ 72,00 a unidade.

Além disso, considerou-se como investimento inicial a instalação das luminárias, com o preço unitário da mão de obra para instalação de luminária aberta ou fechada com braço de até 6m sendo de R\$42,85 para o mês de junho/2017. Este valor foi consultado no software de orçamento de obras de Sergipe (ORSE) (CEHOP,

2017). Utilizando os dados da Tabela 23, o valor total de investimento inicial pode ser observado na Tabela 27.

Tabela 27 – Valores de investimentos totais para os projetos LED25 e LED50.

	LED50	LED25
Custo das luminárias	R\$ 63.175,97	R\$ 51.689,43
Custo de instalação	R\$ 6.127,55	R\$ 5.009,94
Custo total	R\$ 69.303,52	R\$ 56.699,47

Fonte: próprio autor.

a) *Projeto Iluminação LED 50.000 horas de operação*

O fluxo de caixa após a implementação do sistema LED50 proposto para o período de 22 anos, os valores de benefício líquido anual (BL), os valores presentes dos benefícios líquidos anuais futuros (VP) e o valor presente acumulado que mostra a amortização do investimento com o decorrer dos anos (VPA), podem ser observados na Tabela 28.

Tabela 28 – Detalhamento do fluxo de caixa no período de 22 anos, benefício líquido anual, valor presente e valor presente acumulado após a implementação da proposta de iluminação LED com 50.000 horas de operação.

(continua)

Ano	Despesas (R\$)	Receitas (R\$)		Taxa = 13,5%		
		Consumo	SL	BL (R\$)	VP (R\$)	VPA (R\$)
0	69.303,52	-	-	-69.303,52	-69.303,52	-69.303,52
1	-	9.188,21	-	9.188,21	8.095,34	-61.208,18
2	-	9.188,21	8.640,00	17.828,21	13.839,36	-47.368,82
3	-	9.188,21	2.592,00	11.780,21	8.056,85	-39.311,97
4	-	9.188,21	-	9.188,21	5.536,66	-33.775,31
5	-	9.188,21	8.640,00	17.828,21	9.465,17	-24.310,14
6	-	9.188,21	-	9.188,21	4.297,89	-20.012,25
7	-	9.188,21	11.232,00	20.420,21	8.415,68	-11.596,57
8	-	9.188,21	-	9.188,21	3.336,29	-8.260,28
9	-	9.188,21	-	9.188,21	2.939,46	-5.320,81
10	-	9.188,21	8.640,00	17.828,21	5.025,15	-295,66
11	-	9.188,21	2.592,00	11.780,21	2.925,49	2.629,83
12	-	9.188,21	-	9.188,21	2.010,39	4.640,22
13	-	9.188,21	8.640,00	17.828,21	3.436,86	8.077,08
14	-	9.188,21	-	9.188,21	1.560,59	9.637,67
15	-	9.188,21	11.232,00	20.420,21	3.055,78	12.693,45
16	-	9.188,21	-	9.188,21	1.211,43	13.904,88
17	-	9.188,21	-	9.188,21	1.067,34	14.972,21
18	-	9.188,21	11.232,00	20.420,21	2.089,94	17.062,16
19	-	9.188,21	-	9.188,21	828,53	17.890,69

Tabela 28 – Detalhamento do fluxo de caixa no período de 22 anos, benefício líquido anual, valor presente e valor presente acumulado após a implementação da proposta de iluminação LED com 50.000 horas de operação.

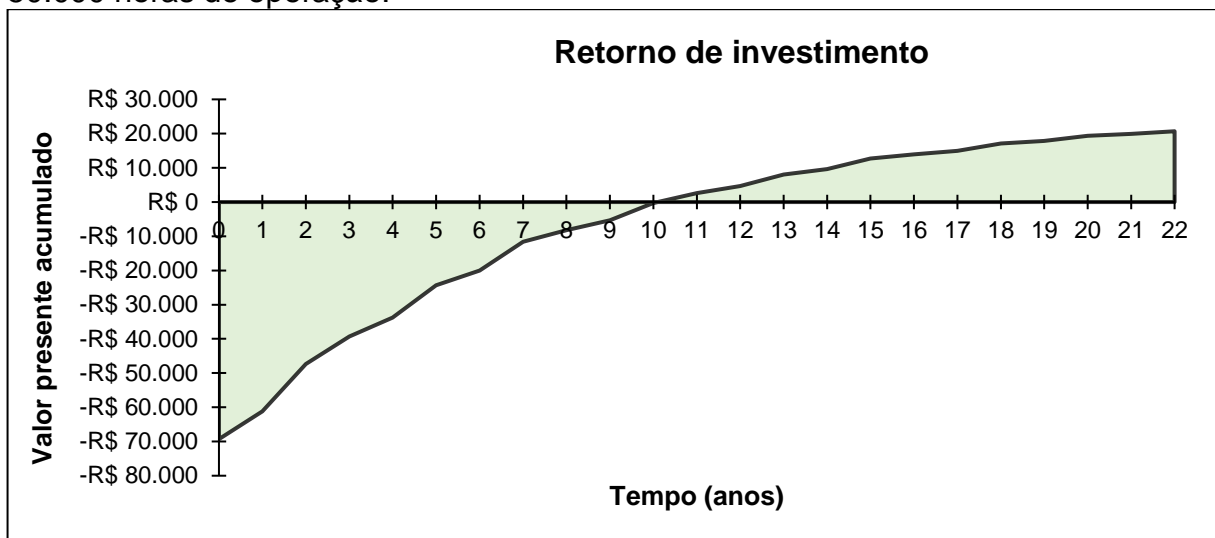
(conclusão)

Ano	Despesas (R\$)	Receitas (R\$)		Taxa = 13,5%		VPA (R\$)
		Consumo	SL	BL (R\$)	VP (R\$)	
20	-	9.188,21	8.640,00	17.828,21	1.416,41	19.307,10
21	-	9.188,21	-	9.188,21	643,16	19.950,26
22	-	9.188,21	2.592,00	11.780,21	726,51	20.676,78

Fonte: próprio autor.

Como pode se observar na Tabela 28, os valores presentes acumulados (VPA) são negativos até o ano 10, a partir do qual, chega ao ponto de inflexão e os valores passam a ser positivos. Isso significa que as receitas obtidas durante os anos de vida útil do projeto proposto sob a taxa de 13,5% a.a. foram suficientes para abater o custo inicial e cobrir o investimento. Na Figura 35 pode ser observada a curva de retorno financeiro do investimento.

Figura 35 – Curva de retorno financeiro do investimento de iluminação LED para 50.000 horas de operação.



Fonte: próprio autor.

Através da Figura 35 percebe-se que a curva de retorno financeiro tem sua inflexão entre 10 e 11 anos, para o intervalo de 22 anos. Para se conhecer quantos anos demorou para o projeto se pagar através das receitas, utilizou-se o método do *payback descontado* através das Equações 14 e 15 e obteve-se o valor de 10,1 anos.

Utilizando-se a Equação 16, Tabela 28 e o TMA adotado de 13,5%, calculou-se o valor do VPL para 22 anos, que teve como resultado +R\$ 20.676,78. Para o valor

de TMA igual a 13,5% a.a., o VPL calculado é positivo, portanto, indica que o projeto é interessante economicamente.

Utilizando-se a Equação 17, calculou-se a taxa interna de retorno. Obteve-se como resultado TIR igual a 18% a.a. e, de acordo com a Tabela 6, pode-se afirmar que o projeto é atrativo, como pode se observar na Tabela 29.

Tabela 29 – Comparação entre TIR e TMA para a proposta de projeto com iluminação LED com 50.000 horas de operação

TIR	TMA
18% a.a.	13,5% a.a.
TIR > TMA	

Fonte: próprio autor.

Portanto, de acordo com os métodos de viabilidade econômica apresentados, a proposta de projeto de substituição das lâmpadas fluorescentes compactas, **para o sistema de iluminação atual ajustado**, por luminárias LED para 50.000 horas de operação é interessante do ponto de vista econômico.

b) Projeto Iluminação LED 25.000 horas de operação

O fluxo de caixa após a implementação do sistema LED25 proposto para o período de 11 anos, os valores de benefício líquido anual (BL), os valores presentes dos benefícios líquidos anuais futuros (VP) e o valor presente acumulado que mostra a amortização do investimento com o decorrer dos anos (VPA), podem ser observados na Tabela 30.

Tabela 30 – Detalhamento do fluxo de caixa no período de 11 anos, benefício líquido anual, valor presente e valor presente acumulado após a implementação da proposta de iluminação LED com 25.000 horas de operação.

Ano	Despesas (R\$)	Receitas (R\$)		Taxa = 9,15%		
		Consumo	SL	BL (R\$)	VP (R\$)	VPA (R\$)
0	56.699,47	-	-	-56.699,47	-56.699,47	-56.699,47
1	-	10.485,86	-	10.485,86	9.238,65	-47.460,82
2	-	10.485,86	8.640	19.125,86	14.846,68	-32.614,15
3	-	10.485,86	2.592	13.077,86	8.944,36	-23.669,79
4	-	10.485,86	-	10.485,86	6.318,60	-17.351,19
5	-	10.485,86	8.640	19.125,86	10.154,11	-7.197,08
6	-	10.485,86	-	10.485,86	4.904,89	-2.292,20
7	-	10.485,86	11.232	21.717,86	8.950,47	6.658,28
8	-	10.485,86	-	10.485,86	3.807,48	10.465,75

(continua)

Tabela 30 – Detalhamento do fluxo de caixa no período de 11 anos, benefício líquido anual, valor presente e valor presente acumulado após a implementação da proposta de iluminação LED com 25.000 horas de operação.

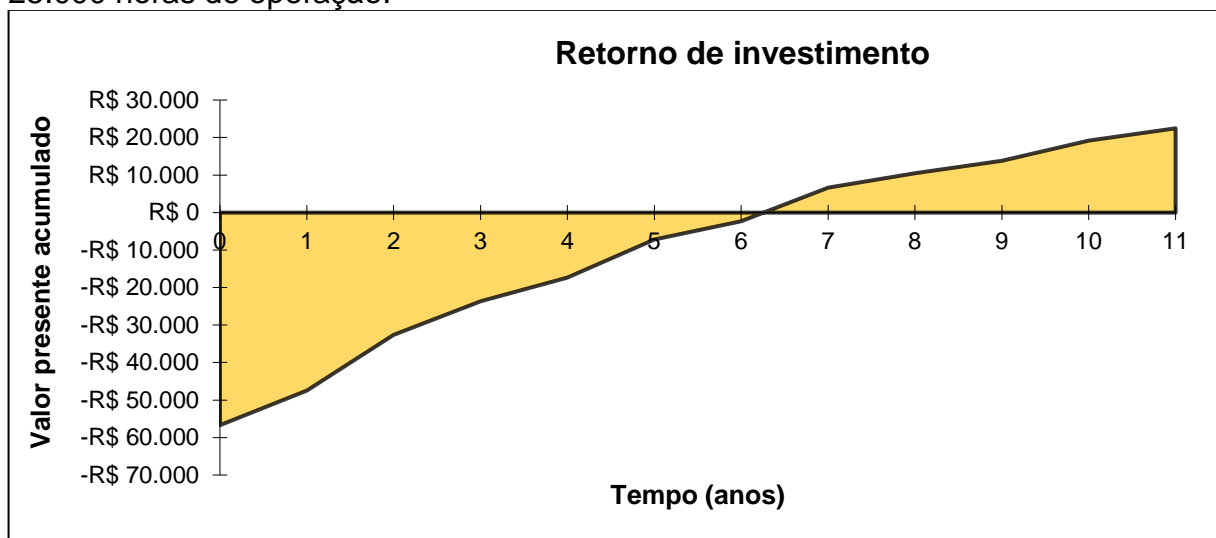
(conclusão)

Ano	Despesas (R\$)	Receitas (R\$)		Taxa = 9,15%		
		Consumo	SL	BL (R\$)	VP (R\$)	VPA (R\$)
9	-	10.485,86	-	10.485,86	3.354,61	13.820,36
10	-	10.485,86	8.640	19.125,86	5.390,91	19.211,27
11	-	10.485,86	2.592	13.077,86	3.247,75	22.459,02

Fonte: próprio autor.

Como pode se observar na Tabela 30, os valores presentes acumulados (VPA) são negativos até o ano 6, a partir do qual passa a ser positivo. Isso significa que as receitas obtidas durante os anos de vida útil do projeto proposto sob a taxa de 13,5% a.a. são suficientes para abater o custo inicial e cobrir o investimento para o período considerado para análise de 11 anos. Na Figura 36 pode ser observada a curva de retorno financeiro do investimento.

Figura 36 – Curva de retorno financeiro do investimento de iluminação LED para 25.000 horas de operação.



Fonte: próprio autor.

Através da Figura 36, percebe-se que a curva de retorno do investimento tem sua inflexão entre 6 e 7 anos, para o intervalo de análise de 11 anos. Isso mostra que o investimento se paga entre 6 e 7 anos. Para conhecer quantos anos demorou para o projeto se pagar, utilizou-se o método do *payback descontado* através das Equações 14 e 15 e obteve-se o valor de 6,1 anos.

Utilizando-se a Equação 16, Tabela 30 e o TMA adotado de 13,5%, calculou-se o valor do VPL para 11 anos, que teve como resultado +R\$ 22.459,02. Para o valor de TMA igual a 13,5% a.a., o VPL calculado é positivo, portanto, indica que o projeto é interessante economicamente.

Utilizando-se a Equação 17, calculou-se a taxa interna de retorno. Obteve-se como resultado TIR igual a 22% a.a. e, de acordo com a Tabela 6, pode-se afirmar que o projeto é atrativo, como pode se observar na Tabela 31.

Tabela 31 – Comparação entre TIR e TMA para a proposta de projeto com iluminação LED com 50.000 horas de operação.

TIR	TMA
22% a.a.	13,5% a.a.
TIR > TMA	

Fonte: próprio autor.

Portanto, de acordo com os métodos de viabilidade econômica apresentados, as propostas de projeto de substituição das lâmpadas fluorescentes compactas, para o sistema de iluminação atual ajustado, por luminárias LED é interessante do ponto de vista econômico. Ao comparar os dois projetos, LED50 e LED25, percebe-se que o LED25 possui mais vantagens econômicas do que o LED50, entretanto, o LED50 possui tempo de vida de projeto superior, como pode se observar na Tabela 32.

Tabela 32 – Comparação entre os resultados de viabilidade econômica para os projetos de iluminação LED50 e LED25.

	LED50	LED25
Tempo de vida do projeto	22	11
Payback	10,1 anos	6,1 anos
VPL	R\$ 20.676,78	R\$ 22.459,02
TIR	18%	22%

Fonte: próprio autor.

O projeto LED25 com 25.000 horas de operação é mais vantajoso devido ao menor investimento inicial e possuir menor consumo de energia anual, já que possui menos luminárias instaladas. Isto acontece devido ao fato de se considerar a depreciação dos lúmens das luminárias através das horas de operação.

Para ambos projetos foi considerado que seriam mantidas iluminâncias médias maiores ou iguais a 300 lux durante toda a vida útil dos projetos. Desta forma, o projeto LED25 tem que suprir iluminação adequada por 11 anos, com depreciação de lúmens de 15% para o período considerado, com as luminárias possuindo 85% do seu fluxo

luminoso inicial. O projeto LED50 deve suprir iluminação adequada para o período de 22 anos, com depreciação de lúmens de 30% ao fim de seu período de vida útil, com as luminárias possuindo 70% de seu fluxo luminoso inicial.

Devido a isso, o projeto LED50 necessita de um número maior de luminárias instaladas, para que, ao final de 20 anos, hajam iluminâncias médias de 300 lux. Desta forma, há o aumento no investimento com as luminárias e instalação e consumo de energia anual em relação ao do projeto LED25.

Portanto, é importante atentar-se à escolha do tempo de vida útil de um projeto com iluminação LED, visto que, com outras tecnologias de iluminação, usualmente considera-se o tempo de vida útil dos equipamentos e suas trocas com o decorrer dos anos. Porém, como a tecnologia LED proporciona vidas úteis muito superiores às outras tecnologias, a seleção correta do tempo de vida para uma instalação pode ser a chave entre um projeto viável economicamente ou não.

É possível observar que as lâmpadas retiradas após 11 anos de uso no projeto LED25 ainda podem ser alocadas em outros ambientes, como depósitos, corredores, onde seu fluxo luminoso ainda se mantém suficiente para a aplicação. Outro ponto a se considerar é que, ao final da vida útil do projeto, a substituição se dá apenas das lâmpadas mantendo-se luminárias, o que gera, para a análise financeira, o valor de resgate que, neste trabalho, foi considerado como zero. Esta consideração permite a substituição de toda a tecnologia ao final do projeto sem o comprometimento da análise de viabilidade financeira.

5.2.4 Resultados de simulações feitas no DIALux

Para as simulações no software DIALux, utilizou-se os arquivos fotométricos .IES do site da ITAIM iluminação para a luminária LED 3006 PREMIUM 31 W 4000 K. As simulações foram feitas para os três grupos de salas, considerando-se o projeto LED25, para a situação inicial, na qual as luminárias possuem seus fluxos luminosos iniciais e para a situação na qual as luminárias possuem 15% a menos de fluxo luminoso devido à 25.000 horas de operação.

Os parâmetros de simulação considerados foram as refletâncias das superfícies: 70% teto, 50% paredes e 10% chão, dados fotométricos das luminárias, envolvendo o arquivo .IES incorporado ao software DIALux, fluxo luminoso das

luminárias, temperatura de cor e índice de reprodução de cores. Para a superfície de cálculo, considerou-se 0,7 m para a altura da superfície de trabalho.

a) *Grupo 1 de salas de aula*

Com base nos cálculos luminotécnicos realizados, simulou-se a iluminação do sistema LED para o instante inicial e para 25.000 horas de operação. A sala de aula desenhada pode ser observada na Figura 37.

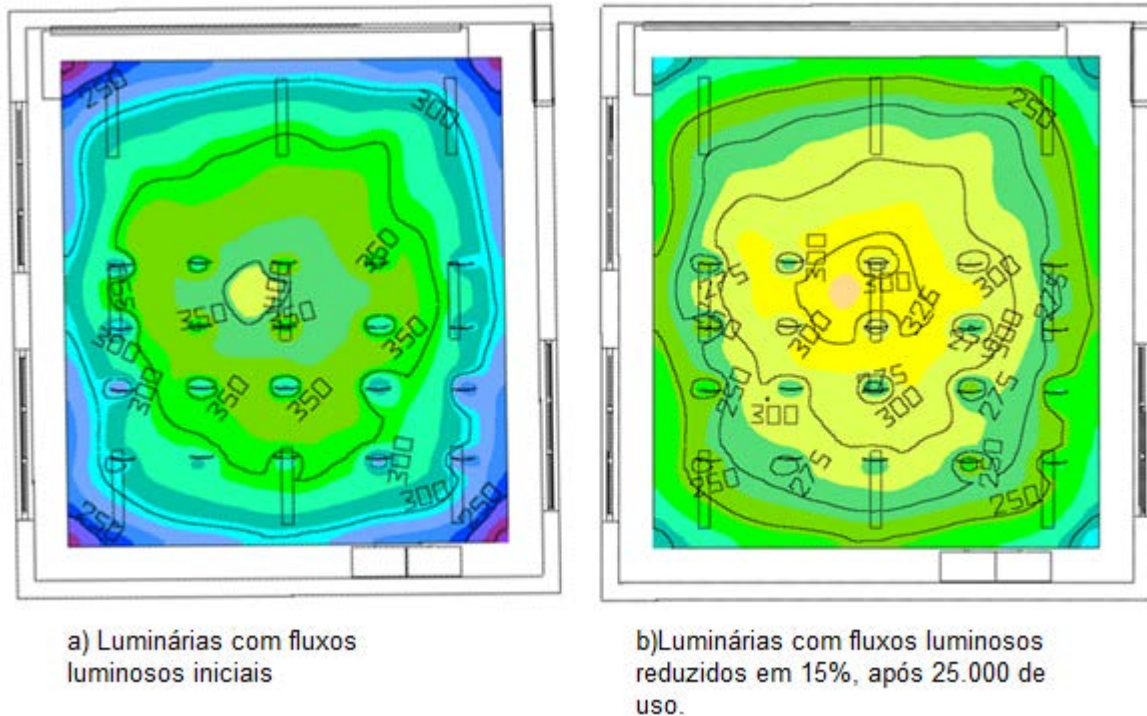
Figura 37 – Visão de uma sala de aula o Grupo 1 desenhada no software DIALux.



Fonte: próprio autor.

Na Figura 38a, pode-se observar os resultados para a simulação de iluminação para o instante inicial do projeto de iluminação. Os resultados gerados pelo DIALux resultam na média de iluminância de 331 lux e uniformidade de 0,67. A Norma 8895 recomenda valores projetados para a superfície de trabalho iguais ou superiores a 0,6, uma vez que, desta forma, pode-se garantir uniformidade de 0,7 na área de tarefa individual.

Figura 38 – Medidas de iluminância simuladas no DIALux para o grupo 1 de salas de aula, para a) fluxos luminosos iniciais e b) fluxos luminosos reduzidos em 15%.



Fonte: próprio autor.

Já na Figura 38b, pode-se observar os resultados de iluminância após 25.000 horas de operação decorridas, com as luminárias possuindo 15% a menos de fluxo luminoso. A iluminância média calculada pelo software foi de 286 lux e 0,66 de uniformidade. A iluminância média de 286 lux pode estar acontecendo devido ao gráfico utilizado para o cálculo do fator de manutenção, presente na Figura 29, ser uma curva genérica de depreciação de lúmens.

b) Grupo 2 de salas de aula

Na Figura 39, pode-se observar uma sala de aula do grupo 2 desenhada no DIALux para simulação.

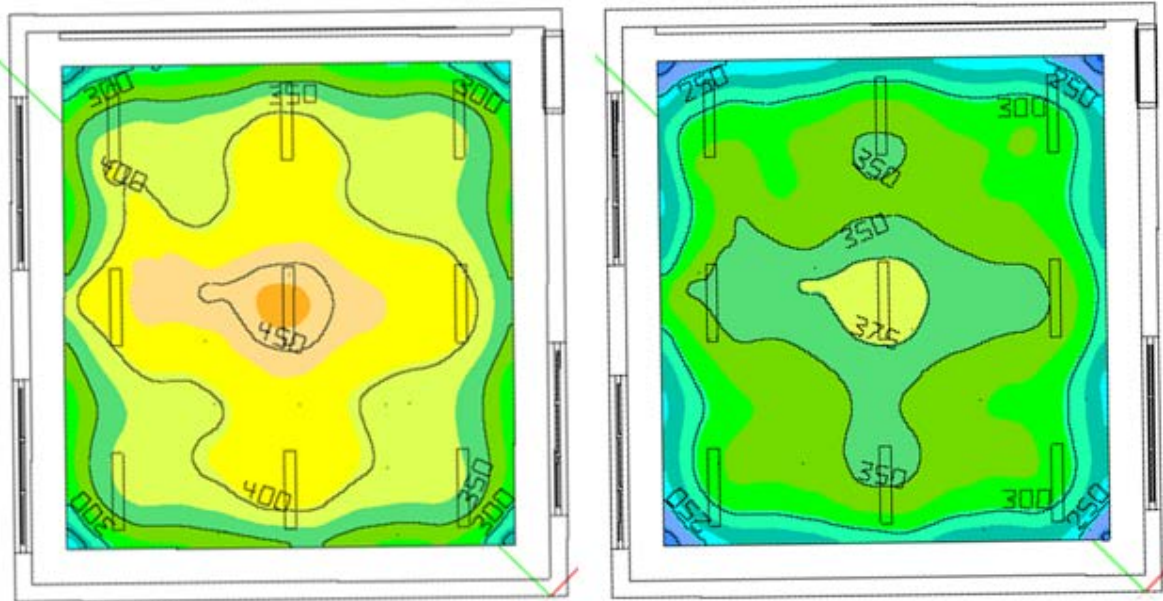
Figura 39 – Visão de uma sala de aula do grupo 2 desenhada no software DIALux.



Fonte: próprio autor.

Na Figura 40a podem ser observados os resultados de simulação para a sala de aula com as luminárias possuindo fluxos luminosos iniciais, e a iluminância média calculada pelo software foi de 387 lux, com uniformidade de 0,65.

Figura 40 – Medidas de iluminância simuladas no DIALux para o grupo 2 de salas de aula, para a) fluxos luminosos iniciais e b) fluxos luminosos reduzidos em 15%.



a) Luminárias com fluxos luminosos iniciais

b) Luminárias com fluxos luminosos reduzidos em 15% após 25.000 horas de uso

Fonte: próprio autor.

Na Figura 40b pode-se observar os resultados de iluminância para a sala de aula do grupo 2 passadas 25.000 horas de operação. A média de iluminância calculada pelo DIALux foi de 323 lux e a uniformidade foi de 0,65.

c) Grupo 3 de salas de aula

Na Figura 41 pode ser observada uma sala de aula do grupo 3 desenhada no DIALux para simulação.

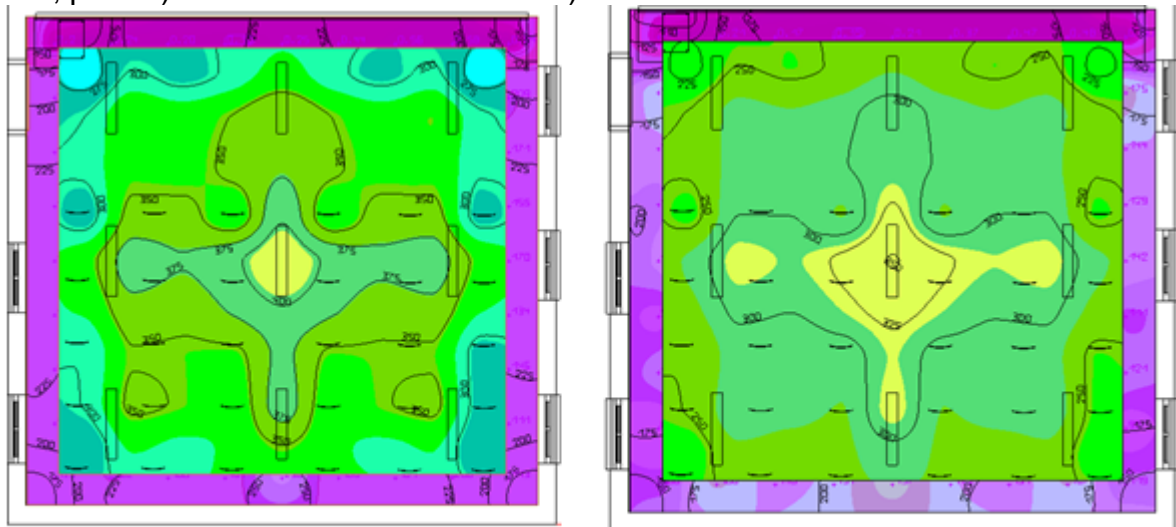
Figura 41 – Visão de uma sala de aula do grupo 3 desenhada no DIALux.



Fonte: próprio autor.

Na Figura 42a, podem ser observados os resultados de simulação para a sala de aula com as luminárias possuindo fluxos luminosos iniciais, e a iluminância média calculada pelo software foi de 338 lux, com uniformidade de 0,77.

Figura 42 – Medidas de iluminância simuladas no DIALux para o grupo 3 de salas de aula, para a) fluxos luminosos iniciais e b) fluxos luminosos reduzidos em 15%



a) Luminárias com fluxos luminosos iniciais

b) Luminárias com fluxos luminosos diminuídos em 15% após 25.000 horas de uso.

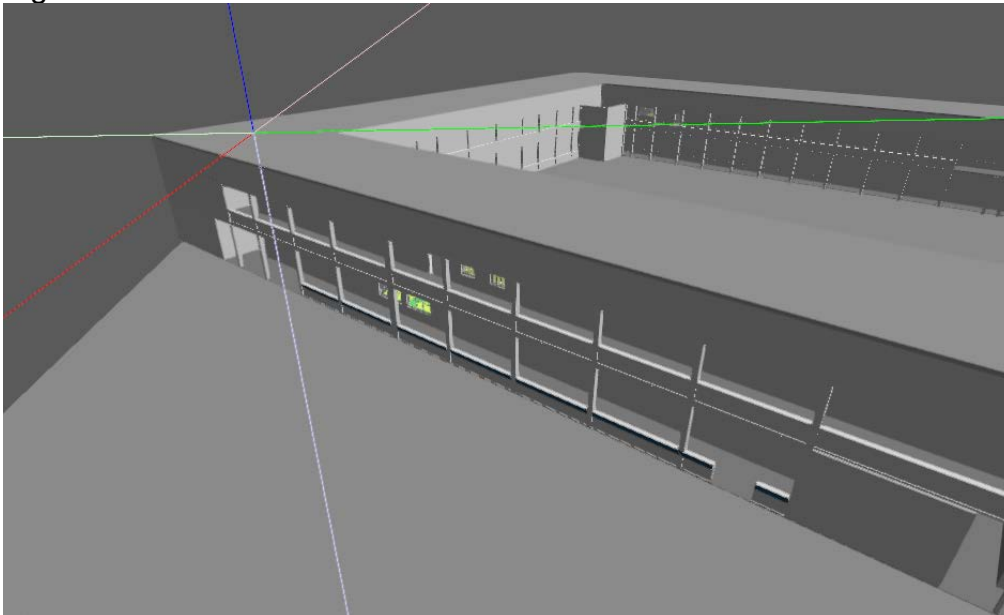
Fonte: próprio autor.

Na Figura 42b, pode-se observar os resultados de iluminância para a sala de aula do grupo 3 passadas 25.000 horas de operação. A média de iluminância calculada pelo DIALux foi de 283 lux e a uniformidade foi de 0,77.

5.2.4.1 Simulação de iluminação natural em uma sala de aula

Para demonstrar o potencial de iluminação natural da escola EFM, realizou-se simulações de iluminação natural em uma sala do piso térreo da escola. As simulações foram feitas para o dia 02 de setembro de 2017, para os horários de 09:00 e para às 14:00. Utilizando-se o recurso de *daylight* do dialux, considerou-se o céu limpo e luz direta. Na Figura 43, pode ser visualizada a escola EFM desenhada por completo, para simular com fidelidade de como o sol ilumina uma sala da escola.

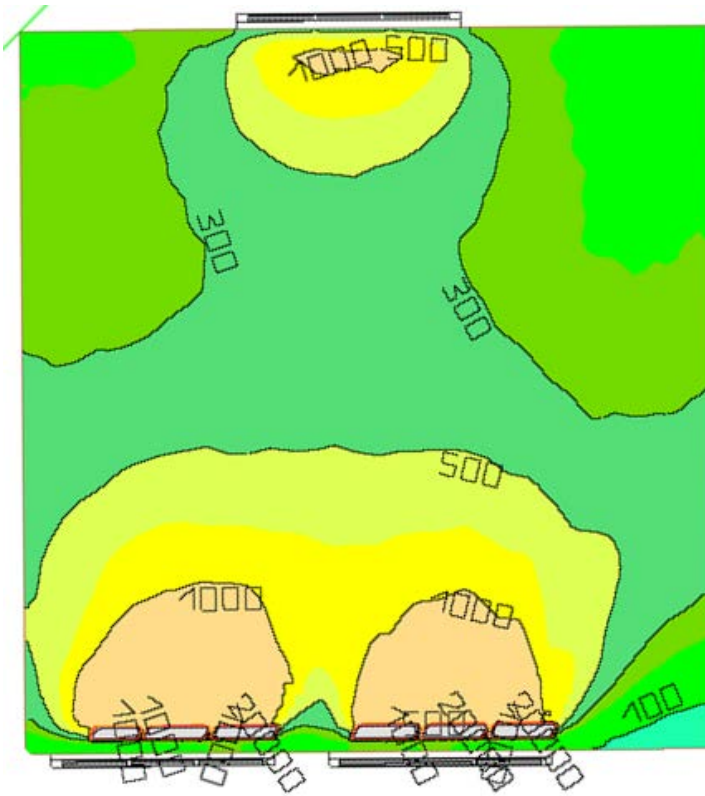
Figura 43 – Desenho da Escola EFM feita no DIALux.



Fonte: próprio autor.

O resultado da simulação de iluminação solar para uma sala de aula feita para o horário de 09:00 para o dia 02/09/17, pode ser observada na Figura 44.

Figura 44 – Simulação de iluminação natural para uma sala de aula, para o dia 02/09/2017 às 09:00.

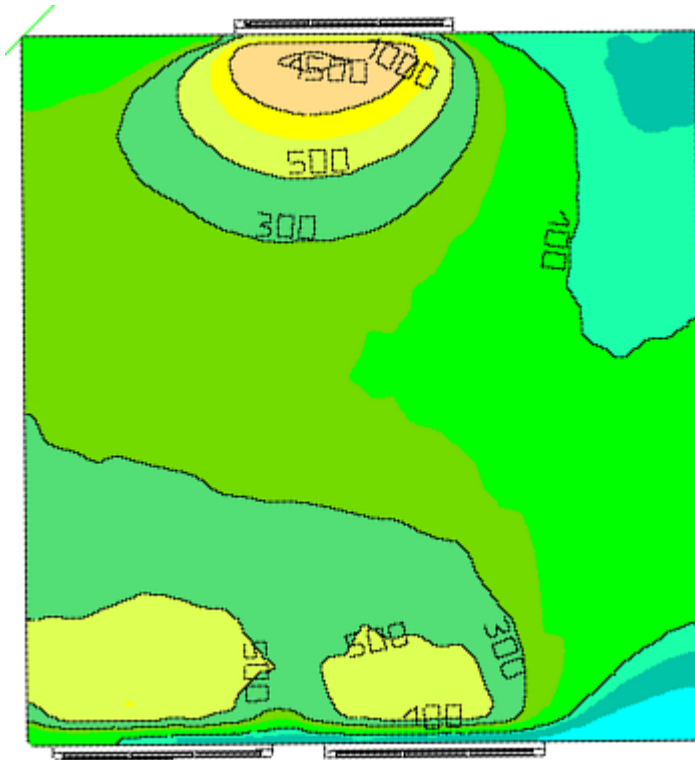


Fonte: próprio autor.

Como pode se observar na Figura 44, através de iluminação natural é possível de obter altos valores de iluminância na sala de aula. Na parte inferior da Figura 44 é onde o sol atinge diretamente as janelas para o horário das 09:00. O software calculou iluminância média para a sala de 762 lux e uniformidade de 0,11.

Já na Figura 45, pode-se observar a simulação para a mesma sala de aula, no mesmo dia, para o horário de 14:00.

Figura 45 – Simulação de iluminação natural para uma sala de aula, para o dia 02/09/2017 às 14:00.



Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado na Figura 45, a sala de aula possui valores intensos de iluminância próximos às janelas, porém, no restante da sala, observa-se baixos valores de iluminância. A incidência solar direta está acontecendo na parte superior da imagem. Os valores calculados pelo DIALux para iluminância média foi de 301 lux e uniformidade de 0,12.

As simulações de luz natural mostraram que o potencial de iluminar as salas de aula da escola com a luz solar é grande. Portanto, o estudo feito de iluminância média e uniformidade, se aplica apenas para os casos críticos de iluminação solar, já que, como pode se observar, o sol tem um papel importante na iluminação das salas da escola.

5.2.5 Classificação da eficiência energética do sistema de iluminação

O procedimento para obter a classificação da eficiência energética Nível “A” para o sistema de iluminação foi feito apenas para as salas de aula, não se considerando os ambientes administrativos ou outros ambientes iluminados artificialmente. Devido a isto, o método utilizado foi o método das atividades. Além disso, considerou-se apenas as dimensões dos ambientes dos três grupos de salas de aula nos quais projetou-se a troca do sistema de iluminação.

Para classificar as salas de aula com relação a potência instalada, primeiramente calculou-se a área iluminada de cada um dos três grupos de salas de aula, e multiplicou-se pelos valores de DPIL encontrados na Tabela 4. As dimensões para as salas de aula dos três grupos estudados, assim como sua área iluminada podem ser observadas na Tabela 33.

Tabela 33 – Dimensões dos ambientes e valores das áreas iluminadas para as salas de aula.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Comprimento (m)	8,00	8,00	8,10
Largura (m)	7,45	7,45	7,80
Área iluminada (m²)	59,60	59,60	63,18

Fonte: próprio autor

A partir dos dados de área iluminada, da equação (5) e da Tabela 4, calculou-se os limites de potência instalada para cada sala de aula, para cada nível de eficiência, e os resultados podem ser observados na Tabela 34.

Tabela 34 – Limites de potência instalada para as salas de aula, considerando-se os níveis de classificação.

Limites de potência instalada (W)			
Níveis	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
A	607,9	607,9	644,4
B	729,5	729,5	773,3
C	851,1	851,1	902,2
D	972,7	972,7	1031,1

Fonte: próprio autor

De acordo com a Tabela 34, pode-se observar que para obter o nível de eficiência “A”, as salas de aula dos grupos 1 e 2 devem possuir potência instalada de iluminação menor do que 607,9 W e, para as salas do grupo 3, potência instalada menor do que 644,4 W. Devido à potência instalada de cada uma dessas salas ser de

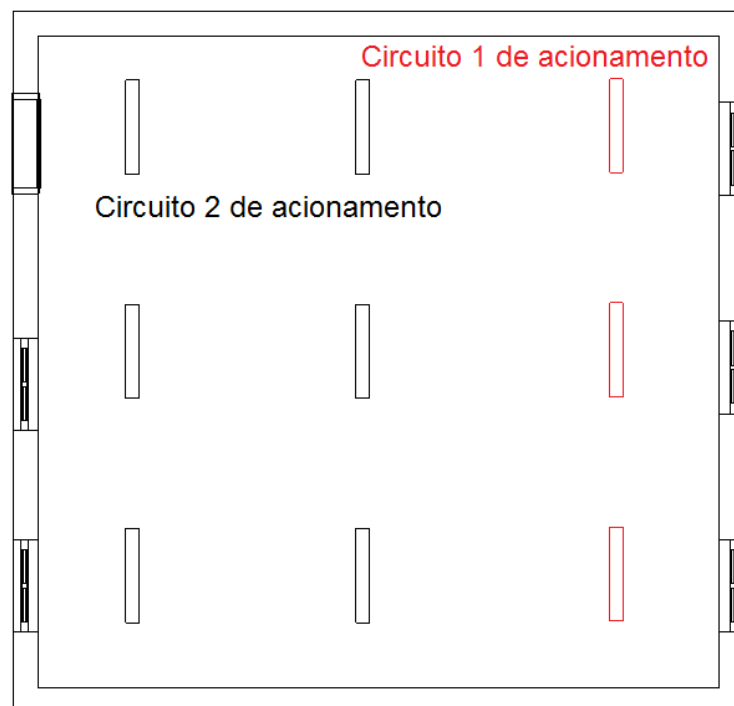
279 W (cada sala possui 9 luminárias LED de 31W cada, após implementação do projeto proposto), as salas de aula são classificadas com nível A de eficiência energética de acordo com o método das potências.

O próximo passo na classificação da eficiência energética do sistema de iluminação consiste em analisar os pré-requisitos listados na Tabela 4, e então, calcula-se o nível de eficiência final.

O pré-requisito para o nível “C” é possuir divisão dos circuitos de iluminação. Como todas as salas de aula possuem áreas inferiores a 250 m², um dispositivo de controle por ambiente é o suficiente. Portanto, as salas possuem classificação nível “C”.

O pré-requisito para o nível “B” é a contribuição de luz natural. Este pré-requisito afirma que tem que haver dispositivo de controle de acionamento das fileiras de luminárias paralelas às janelas voltadas ao ambiente externo, como pode se observar na Figura 46.

Figura 46 – Divisão de circuitos de acionamento de luminárias para obtenção do pré-requisito de nível B de eficiência energética de iluminação, exemplo para a sala 1C.



Fonte: próprio autor.

E, para o pré-requisito para o Nível “A” é possuir-se sistema de desligamento automático para ambientes com área superior a 250 m². Como as salas possuem

menos do que este valor, pode-se dizer que o pré-requisito para este item está atendido.

Portanto, de acordo com o método das potências instaladas, utilizando-se o método das atividades, as salas de aula possuem classificação “A” de eficiência energética. Já para os pré-requisitos, foram atendidos os pré-requisitos “C” e “A”. Para as salas de aula da escola serem classificadas como nível “A”, deve-se atender o pré-requisito “B”. Caso este requisito não seja atendido, as salas de aula obterão classificação “C” de eficiência energética de iluminação.

6. CONCLUSÃO

Através das análises de iluminação para as duas salas de aula da escola EFM, observou-se que, para a situação de pouca iluminação natural ou ausente, as salas de aula possuíam iluminâncias mantidas inferiores às recomendadas pela Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, assim como uniformidades também inferiores. Os valores médios medidos de iluminância e os valores de uniformidade calculados foram de 215 lux e 0,47 para a sala 1°C e de 213 lux e 0,59 para a sala 65.

O cálculo luminotécnico determinou que, para as salas de aula, considerando-se o projeto LED25, são necessárias 9 luminárias LED ITAIM 3006 PREMIUM. Já para as salas de aula considerando-se o projeto LED50, são necessárias 11 luminárias para iluminar os ambientes em uma iluminância mantida de 300 lux. O cálculo do ofuscamento unificado mostrou que as luminárias, quando instaladas nas salas de aula consideradas no projeto, possuem valores de UGR que atendem aos requeridos pela Norma.

Para comparação entre os sistemas de iluminação atual e o LED proposto, simulou-se a quantidade de lâmpadas fluorescentes necessárias para obter iluminância mantida de 300 lux, e o resultado foi de 12 lâmpadas, 4 a mais do que é utilizado.

Com a alteração do sistema de iluminação atual ajustado para o sistema de iluminação LED, obteve-se resultados de economia no consumo de energia totais para as 13 salas de aula de 11.780 kWh/ano para o projeto LED50 e de 13.445 kWh/ano para o projeto LED25. A média dos preços médios de energia elétrica calculados para o período de setembro de 2016 à agosto de 2017 foi de 0,78 R\$/kWh.

Os projetos de iluminação LED, quando comparados com o sistema de iluminação atual ajustado, mostraram o potencial de economizar na despesa com energia anual de R\$ 9.188,21 para o projeto LED50 e R\$10.485,86 de economia para o projeto LED25.

Através dos cálculos de viabilidade econômica, observou-se que os dois projetos LED são economicamente viáveis. O projeto LED25 possui 6,1 anos para retorno de investimento, calculado através do *payback descontado* enquanto que o LED50 10,1 anos.

A classificação final para o nível de eficiência energética de iluminação para as salas de aula projetadas com sistema LED foi de nível "A" para o método de potência

instalada. Deve-se, sobretudo, observar a divisão dos circuitos de acionamento para fileira de luminárias paralelas às janelas voltadas para o lado externo, que devem possuir acionamento separado para se manter o nível “A”. Se, o circuito for dividido, as salas possuirão nível “A”. Caso contrário, possuirão nível “C”.

Uma das maiores dificuldades em simular iluminação de ambientes, é a de encontrar modelos de luminárias que estejam no mercado brasileiro e que seus fabricantes forneçam os arquivos para simulação. Grande parte das luminárias disponibilizadas nos catálogos do programa é de origem estrangeira, portanto, simulações reais de projetos luminotécnicos se tornam um desafio, uma vez que há necessidade de apresentar a viabilidade econômica destes projetos.

Verificou-se no desenvolvimento deste trabalho que, grande parte dos fabricantes de luminárias nacionais, não fornecem os arquivos de formato .IES para simulação. Alguns fornecedores de marcas de luminárias que fornecem os arquivos de simulação foram contatados, porém, não houve resposta do orçamento, de onde observou-se que determinadas marcas só fazem negócios com grandes empreiteiras e empresas de engenharia. Apesar das dificuldades, foi possível conseguir o orçamento de luminárias da ITAIM iluminação que possuem os arquivos com dados necessários para as simulações.

Através das simulações utilizando o software DIALux, foi possível visualizar a distribuição luminosa nas salas utilizando-se as luminárias LED segundo o projeto LED25. As iluminâncias médias simuladas, assim como as uniformidades encontradas, estão dentro do requerido pela Norma de iluminação de interiores.

As simulações de luz natural mostraram o potencial de iluminar as salas de aula da escola com a luz solar. Portanto, o estudo feito de iluminância média e uniformidade, se aplica apenas para os casos críticos de iluminação solar.

Uma sugestão de trabalho futuro é de se estudar a iluminação natural da escola e sugerir um sistema de iluminação em que haja o equilíbrio entre a iluminação natural e a iluminação artificial, visando economia no consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, p. 46. 2013.

BARBOSA, C. V. T. **Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura: Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho**. 251 f. Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

BASTOS, F. C. **Análise da Política de Banimento de Lâmpadas Incandescentes do Mercado Brasileiro**. 130 f. Dissertação (Mestrado em planejamento energético), UFRJ. Rio de Janeiro. 2011.

BATISTA, O. E. **Redução do custo da energia elétrica em ambientes industriais por meio de uma estratégia de baixo custo em gestão energética**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola de Engenharia da USP São Carlos. São Carlos. 2013.

BONA, J. D. **Estudo de Diferentes Tecnologias, Métodos e Processos para Eficientização Energética de Sistemas de Iluminação de Aviários**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia), Instituto de engenharia do paraná. Curitiba. 2010.

BRASIL, P. Lampadas incandescentes saem do mercado a partir de julho. **Portal Brasil**, 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/06/lampadas-incandescentes-saem-do-mercado-a-partir-de-julho>>. Acesso em: 26 julho 2017.

BUORO, A. B. **Conforto térmico e eficiência energética em hotéis econômicos**. 240 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e urbanismo), Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

BUTLER, C. G. Universal Constants, variations and identities. **HEURIST**, 2017. Disponível em: <<https://heurist.me/>>. Acesso em: 26 julho 2017.

CASTRO, A. P. D. A. S. et al. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-76, abr/jun 2003. ISSN 1415-8876.

CB3E. **Guia de medição e cálculo para refletância e absorvância solar em superfícies opacas**. Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações, UFSC. Florianópolis, p. 22. 2015.

CEHOP. ORSE - Sistema de orçamento de obras de sergipe. **ORSE**, 2017. Disponível em: <<http://www.cehop.se.gov.br/orse/>>. Acesso em: 02 Setembro 2017.

CEMIRIM. Comparando lampadas. **Cooperativa de eletrificação e desenvolvimento da região de mogi mirim**, 2017. Disponível em: <<https://cemirim.com.br/comparando-lampadas/>>. Acesso em: 26 julho 2017.

DEL-KO. LED Tubes - die Einsatzbereiche. **DEL-KO**, 2017. Disponível em: <<https://www.del-ko.de/led-tubes>>. Acesso em: 21 Agosto 2017.

ELETROBRÁS [ET AL]. **Análise econômica de investimento: guia básico**. Brasília, p. 85. 2008. (ISBN 978-85-87257-27-7).

ELETROBRÁS. **Gestão energética**. Rio de Janeiro, p. 188. 2005.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ-C**. [S.l.], p. 203. 2013.

EMPALUX. Informações Luminotécnicas. **EMPALUX**, 2017. Disponível em: <<http://www.empalux.com.br/?a1=I>>. Acesso em: 22 Agosto 2017.

EPE. **Projeção da demanda de energia elétrica**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 88. 2015.

EPE. **Anuário de energia elétrica 2016**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 232. 2016.

GLAMOX. Led and lifetime. **GLAMOX**, 2017. Disponível em: <<http://glamox.com/gmo/led-and-lifetime>>. Acesso em: 30 Agosto 2017.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. Apostila da Disciplina Desempenho Térmico de Edificações. Laboratório de Eficiência energética em edificações (Labeee), UFSC. Florianópolis. 2012.

HALLIDAY; RESNICK; WALKER. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Editora: LTC, v. 2, 2009.

HOMIS. DECIBELÍMETRO: SEGURANÇA DO TRABALHO E GASES. **Homis do Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://www.homis.com.br/outros/decibelometro-multifuncoes-4-em-1-datahold-hmm-425a-homis>>. Acesso em: 20 Julho 2017.

IMIGRANTE.COM. Inmetro proíbe a venda de lâmpada incandescente. **Imigrante.com**, 2015. Disponível em: <<http://imigrante.com/brasil/noticias/2015/06/30/inmetro-proibe-a-venda-de-lampada-incandescente.shtml>>. Acesso em: 21 Julho 2017.

ITAIM. Catálogo LED. **ITAIM ILUMINAÇÃO**, 2016. Disponível em: <http://www.itaimiluminacao.com.br/downloads/CATALOGO_LED_2016-2017_V08.pdf>. Acesso em: 19 Agosto 2017.

ITAIM. Downloads. **ITAIM iluminação**, 2016. Disponível em: <<http://www.itaimiluminacao.com.br/servicos/downloads>>. Acesso em: 02 Setembro 2017.

ITAIM. 3006 LED PREMIUM. **ITAIM Iluminação**, 2017. Disponível em: <<http://www.itaimiluminacao.com.br/catalogo/produto/id/10373>>. Acesso em: 21 Agosto 2017.

KAAT-ZIN, J. Energize your life with the power of your mind. **Coming to Power**, 2011. Disponível em: <<http://coming2power.blogspot.com.br/2011/09/meditation-series-posture.html>>. Acesso em: 02 Setembro 2017.

LABLUZ. Lâmpada fluorescente tubular T5 54 W 4000 K Master Philips. **LabLuz**, 2017. Disponível em: <<http://www.lojalabluz.com.br/lampada-fluorescente-tubular-54w-4000k-t5-master-philips.html>>. Acesso em: 25 Julho 2017.

LEROYMERLIN. Lâmpada Fluorescente FLC Espiral 23W Branca 250V (220V). **LeroyMerlin**, 2017. Disponível em: <http://www.leroymerlin.com.br/lampada-fluorescente-kian-espiral-15w-branca-250v--220v-_88568074>. Acesso em: 25 Julho 2017.

LOJAELÉTRICALTDA. Lâmpada Vapor de sódio 70W OVOIDE E27. **LojaElétricaLTDA**, 2017. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/lampada-vapor-sodio-70w-ovoide-e27,product,2351700000042,dept,13007.aspx>>. Acesso em: 25 Julho 2017.

LUCENA, M. C. M. **ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA: UM ESTUDO DE CASO**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), UFPB. João Pessoa. 2015.

LUMICENTER. Catálogo de produtos CAA06-E. **Lumicenter iluminação**, 2017. Disponível em: <<http://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/caa06-e-p2290/>>. Acesso em: 26 julho 2017.

LXLED. Sobre o LED. **LXLED - Lighting Solutions**, 2015. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/lxleds/documentacao-tecnica>>. Acesso em: 26 julho 2017.

MARTAU, B. T. A luz além da visão. **LUME Arquitetura**, São Paulo, n. 38, p. 62-68, Junho/Julho 2009.

MOURA, M. D. **ILUMINAÇÃO: ANÁLISE DE CENÁRIOS UTILIZANDO A TECNOLOGIA LED**. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2015.

OFFICINAPROJETOS. Simulador de financiamentos. **Oficina projetos**, 2017. Disponível em: <<http://www.officinaprojetos.com.br/simulador-fco-bndes-proger/>>. Acesso em: 02 Setembro 2017.

OSRAM. Iluminação: Conceitos e projetos. **Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP**, 2012. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0274/illumART.%20Manual%20Osr am%20V2.pdf>>. Acesso em: 25 julho 2017.

PINTO, Á. B. A. **A gestão da energia com a Norma ISO 50001**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em engenharia de energia). Itajubá. 2014.

PROCEL. **Manual de Iluminação**. Programa nacional de conservação de energia elétrica, Divisão de eficiência energética em edificações. Rio de Janeiro, p. 54. 2011.

READY, C. **Christian Ready - Your friendly neighborhood astronomer**, 2013. Disponível em: <<https://christianready.com/tag/explanation/>>. Acesso em: 15 julho 2017.

ROMANI, T. K. **ILUMINÂNCIA EM CENTROS CIRÚRGICOS EM CUIABÁ: ESTUDO DE CASO**. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de edificações e ambiental), UFMT. Cuiabá. 2013.

SAFETY, S. Lumens and Lux and Candela. **SIGMA SAFETY CORP.**, 2016. Disponível em: <<https://sigmasafety.ca/2016/07/25/lumens-and-lux-and-candela-oh-my/>>. Acesso em: 26 julho 2017.

SALOMÃO, T. M. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: PROJETOS LUMINOTÉCNICOS EM PLANTAS INDUSTRIAIS**. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

SCARINCI, A. L.; MARINELI, F. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. **Revista Brasileira de ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1-14, Março 2014. ISSN 1806-1117.

SILVA, N. G. M. M. **Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra. Coimbra. 2011.

VERTAMATTI, E. **CONFORTO E DESCONFORTO DA COR DA ILUMINAÇÃO EM UMA CABINE DE AERONAVE: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL**. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

WHITECROFT LIGHTNING. **LED & Maintenance Factors: Revision 1, 2017**. Whitecroft Lightning. Lancashire, p. 6. 2017.