

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS DE MOURA RIBAS

**PROPOSTA DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE NA ESCOLA
PÚBLICA EMILIO BAUMGART**

CURITIBA

2019

LUCAS DE MOURA RIBAS

**PROPOSTA DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE NA ESCOLA
PÚBLICA EMILIO BAUMGART**

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação apresentado a disciplina TE-105 Projeto de Graduação, do Curso Superior de Engenharia Elétrica, do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Junior.

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Lucas de Moura Ribas

PROPOSTA DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE NA ESCOLA PÚBLICA EMILIO BAUMGART

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, aprovado pela seguinte banca examinadora:

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Junior
Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR

Prof.^a Dra. Juliana Luísa Müller Iamamura
Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR

M.Sc. Theoma Muriel Sanches Otobo
Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR

Curitiba, 05 de dezembro de 2019.

Dedico esse trabalho ao meu avô Sérgio (in memorian), pedreiro que se orgulhou muito de ver um neto entrando no curso de Engenharia e que infelizmente não está conosco nessa etapa final. Dedico também ao meu amigo “Salles” (in memorian), companheiro de curso que sempre achava uma forma alegre de enfrentar as dificuldades da vida e ajudar ao próximo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Altamir e Neide pelo apoio e incentivo ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Agradeço a Camila, com seu amor puro de irmã, e aos demais membros de minha família que me apoiaram desde o início da fase de preparação para o vestibular e durante o decorrer do curso.

Agradeço a Marcelle e Stephanni pela amizade e companheirismo ao longo do curso, enfrentando os desafios da graduação e ajudando o próximo sempre que possível.

Sou grato ao Diretório Acadêmico de Engenharia Elétrica – UFPR, instituição que participei com orgulho durante 5 anos, fazendo amigos que quero levar para a vida toda e auxiliando na melhoria do curso.

Obrigado ao Conselho dos Estudantes do Setor de Tecnologia (C7) pelos ensinamentos e debates sobre os problemas da sociedade, auxiliando na minha formação de caráter e reflexões sobre as minhas próprias ações.

Obrigado ao meu orientador professor Sebastião e os demais professores por compartilharem seus conhecimentos.

Por último, quero agradecer também à Universidade Federal do Paraná, por me permitir ter uma educação gratuita e de qualidade, contribuindo para minha formação profissional e pessoal e que me deixa orgulhoso de ter feito parte da sua história centenária.

RESUMO

A iluminação artificial permitiu que fosse possível a realização de atividades em locais fechados e que não exista a luz natural do sol. Contudo, para cada tipo de atividade é necessária uma qualidade de iluminação diferente e por isso são criadas normas para definir os requisitos mínimos. Os modelos de lâmpadas evoluíram com o tempo e os modelos mais recentes estão mais eficientes, emitindo um fluxo luminoso maior, com um consumo de energia elétrica menor. Esse trabalho propõe um estudo sobre a iluminação de uma escola pública e os requisitos da norma vigente sobre iluminação de interiores no Brasil. Após as verificações, é apresentado uma proposta de mudança das lâmpadas atuais por modelos mais eficientes com auxílio de simulações via softwares e um estudo sobre a viabilidade do projeto.

Palavras-chave: Iluminação, Eficiência Energética, LED.

ABSTRACT

Artificial lighting made it possible to perform indoor activities and not to have natural sunlight. However, for each type of activity requires a quality of lighting and so are created standards to define the minimum requirements. The models of lamps have evolved over time and the latest models are more efficient, emitting a higher luminous flux with a lower power consumption. This paper proposes a study on the lighting of a public school and the requirements of current regulations on interior lighting in Brazil. After the verifications, it is presented a proposal to change the current lamps by more efficient models with the aid of software simulations and a study on the viability of the project.

Key-words: Lighting, Energy Efficiency, LED.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Selo PROCEL	17
Figura 2 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.....	18
Figura 3 - Intensidade Luminosa	19
Figura 4 - Lâmpada Incandescente	24
Figura 5 - Lâmpada Fluorescente	26
Figura 6 - Lâmpadas a vapor de mercúrio.....	27
Figura 7 - Luxímetro LD 570	32
Figura 8 - Metodologia de estudo.....	33
Figura 9 - Sala de Aula	35
Figura 10 - Exemplo de medição com Luxímetro	36
Figura 11 - Lâmpada fluorescente Ouro lux.....	37
Figura 12 - Simulação da situação atual (sala de aula).....	37
Figura 13 - Resultado da situação atual (sala de aula)	38
Figura 14 - Simulação da situação atual com fator de depreciação (sala de aula)	38
Figura 15 - Resultado da situação atual com fator de depreciação (sala de aula)	39
Figura 16 - Lâmpada G-Light.....	39
Figura 17 - Simulação com lâmpada G-light (sala de aula)	40
Figura 18 - Resultado da simulação com lâmpada G-ligth (sala de aula).....	40
Figura 19 - Luminária K236S.....	41
Figura 20 - Simulação do sistema proposto (sala de aula)	42
Figura 21 - Resultado do sistema proposto (sala de aula)	43
Figura 22 - Simulação do sistema proposto (sala de aula noturna).....	43
Figura 23 - Resultado do sistema proposto (sala de aula noturna).....	44
Figura 24 - Biblioteca	44
Figura 25 - Simulação Situação Atual (biblioteca)	45
Figura 26 - Resultado Situação Atual (biblioteca)	46
Figura 27 - Simulação do sistema proposto (biblioteca)	47
Figura 28 - Resultado do sistema proposto (biblioteca)	47
Figura 29 - Laboratório.....	48
Figura 30 - Simulação da situação atual (laboratório).....	49
Figura 31 - Resultado da situação atual (laboratório).....	49
Figura 32 - Simulação do sistema proposto (laboratório)	51

Figura 33 - Resultado do sistema proposto (laboratório)51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura de Cor.....	20
Tabela 2 - Requisitos NBR 8995-1	21
Tabela 3 - Fator de Utilização	30
Tabela 4 - Fator de Depreciação.....	31
Tabela 5 - Medições com Luxímetro (sala de aula)	35
Tabela 6 - Modelos de Lâmpadas de LED	41
Tabela 7 - Medições com Luxímetro (biblioteca)	45
Tabela 8 - Medições com Luxímetro (laboratório)	48
Tabela 9 - Comparação da potência instalada do sistema atual e o proposto.....	52
Tabela 10 - Economia anual com o sistema proposto	52
Tabela 11 - Tempo de retorno do investimento.....	53

LISTA DE SIGLAS

- ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- LED - Light Emitting Diode
- NBR - Norma Brasileira
- PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	OBJETIVOS.....	15
1.1.1.	OBJETIVO GERAL.....	15
1.1.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
1.2.	JUSTIFICATIVA.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	16
2.2.	SELO PROCEL.....	16
2.3.	ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	17
2.4.	DEFINIÇÕES DE ILUMINAÇÃO.....	18
2.4.1.	LUZ.....	18
2.4.2.	FLUXO LUMINOSO.....	18
2.4.3.	ILUMINÂNCIA.....	19
2.4.4.	INTENSIDADE LUMINOSA.....	19
2.4.5.	LUMINÂNCIA.....	19
2.4.6.	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES.....	20
2.4.7.	TEMPERATURA DE COR.....	20
2.4.8.	OFUSCAMENTO.....	20
2.5.	NORMA NBR 8995-1.....	21
2.6.	LÂMPADAS.....	23
2.6.1.	LÂMPADAS INCANDESCENTES.....	24
2.6.2.	LÂMPADAS INCANDESCENTES HALOGÊNICAS.....	25
2.6.3.	LÂMPADAS DE DESCARGA.....	25
2.6.4.	LÂMPADAS FLUORESCENTES.....	25
2.6.5.	LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO.....	26

2.6.6.	LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO.....	27
2.6.7.	LÂMPADAS A VAPOR METÁLICO.....	27
2.6.8.	LÂMPADAS DE LED.....	28
2.7.	CÁLCULO ILUMINAÇÃO.....	28
2.7.1.	MÉTODO DOS LÚMENS.....	28
2.8.	LUXÍMETRO.....	31
2.9.	SOFTWARE DIALUX.....	32
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1.	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL.....	33
3.2.	MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO.....	33
3.3.	SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS.....	33
3.4.	RESULTADO DA AVALIAÇÃO.....	33
3.5.	PROPOSTA E VIABILIDADE.....	34
4.	ESTUDO DE CASO.....	34
4.1.	SALA DE AULA.....	34
4.1.1.	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL.....	34
4.1.2.	MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO.....	35
4.1.3.	SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS.....	36
4.1.4.	RESULTADO DA AVALIAÇÃO.....	39
4.1.5.	PROPOSTA.....	39
4.2.	BIBLIOTECA.....	44
4.2.1.	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL.....	44
4.2.2.	MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO.....	44
4.2.3.	SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS.....	45
4.2.4.	RESULTADO DA AVALIAÇÃO.....	46

4.2.5. PROPOSTA	46
4.3. LABORATÓRIO.....	48
4.3.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL.....	48
4.3.2. MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO.....	48
4.3.3. SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS.....	49
4.3.4. RESULTADO DA AVALIAÇÃO.....	50
4.3.5. PROPOSTA	50
4.4. VIABILIDADE ECONÔMICA.....	51
5. CONCLUSÃO.....	53
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	55

1. INTRODUÇÃO

A demanda de energia elétrica gerada para atender as necessidades do consumo atual está em constante crescimento. Cada vez mais são criadas políticas públicas para melhorar a eficiência do uso de energia elétrica (PROCEL, 2011).

O Brasil possui uma matriz energética ampla, porém uma grande parte da geração é através das usinas hidrelétricas. A geração hidrelétrica é muito incentivada no país e existem diversos projetos de novas usinas para atender a demanda crescente, no entanto, os custos sociais e ambientais têm sido alvos de pesquisas. Só na bacia Amazônica está previsto a construção de 147 barragens e tem afetado a população de mais de 2 mil espécies de peixes encontrados na região (ALISSON, 2018).

Não é apenas aumentando a geração de energia que o problema da alta demanda de energia elétrica será solucionado. Juntamente, é necessário evitar o desperdício de energia e buscar aparelhos que consumam menos, sendo mais eficientes.

Segundo Luiz Carlos, trocar todos equipamentos para modelos mais eficientes pode parecer ser simples atitude à primeira vista, mas se revela em uma desafiadora mudança de comportamento individual e coletivo, compreendendo que a energia é um recurso finito. Para provocar essa mudança de mentalidade, a educação tem papel fundamental na formação de cidadãos comprometidos com uma sociedade sustentável para as futuras gerações (LOPES, 2019).

Levando em consideração que o ambiente escolar é um local de difusão de conhecimento e as ideias encontradas no recinto podem se espalhar dentro da comunidade local, o presente trabalho busca avaliar o sistema de iluminação de uma escola pública construída em 1951. Antigamente as exigências na parte de iluminação e as tecnologias usadas eram menos exigentes, nisto o trabalho propõe avaliar se o sistema de iluminação da escola atende as normas atuais, com o resultado, será proposto melhorias no sistema, com equipamentos de iluminação mais eficientes e cálculo do tempo de retorno do investimento dessa mudança.

1.1.OBJETIVOS

Os objetivos deste projeto estão divididos abaixo em objetivos geral e específicos.

1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desse projeto é avaliar o sistema de iluminação uma escola pública e propor melhorias com o propósito de tornar o sistema mais eficiente do ponto de vista energético.

1.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Verificar as normas brasileiras existentes na área de iluminação;
- Apresentar as tecnologias de iluminação e suas características;
- Levantar a situação atual do sistema de iluminação da escola;
- Verificar se o sistema de iluminação atende as normas vigentes;
- Propor melhorias no sistema de iluminação e calcular tempo de retorno financeiro.

1.2.JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento tecnológico tem aumentado continuamente o consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo. Com extensão continental e uma matriz hídrica abundante, o Brasil construiu diversas usinas hidrelétricas e utiliza essa geração renovável como sua principal fonte de energia. No entanto, há uma preocupação que no futuro a geração de energia não consiga acompanhar o aumento da demanda e o país tenha uma crise energética que limite seu crescimento tecnológico e econômico.

Aumentar a geração de energia exige um custo elevado e uma alternativa para resolver esse problema é utilizar equipamentos mais eficientes, reduzindo o consumo de energia elétrica e diminuindo o desperdício.

O sistema de iluminação tem uma importante parcela desse consumo de energia elétrica. Instalações antigas costumam ter sistemas de iluminação menos eficientes que sistemas com as tecnologias atuais. Adequar o sistema para equipamentos de iluminação mais novos pode parecer um gasto muito elevado no início, porém com a economia gerada, esse investimento é pago com o decorrer do tempo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será apresentado a base teórica desse trabalho, com diversos conceitos e teorias sobre a eficiência energética e iluminação.

2.1.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética é definido pela capacidade de fazer um mesmo trabalho e com o mesmo resultado, mas necessitando de menos energia. O aumento da demanda do consumo de energia, aliado com o aumento da escassez dos recursos energéticos disponíveis e preservação do meio ambiente, motivaram a criação de programas de eficiência energética no Brasil. O Brasil possui uma matriz energética com mais de 80% da geração sendo oriunda de fontes renováveis, na maior parte de hidrelétricas, muito acima do 24% de energia renovável da geração de energia mundial. Isso contribui para um custo menor de geração e diminuição da emissão de gases poluentes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

No entanto, a criação de uma nova hidrelétrica tem um grande impacto ambiental com a inundação de uma grande área: mudança climática, separação de espécies e conseqüentemente mudança na cadeia alimentar. Também é possível causar impactos sociais, milhares de pessoas sendo tiradas do seu local de habitação e tendo de recomeçar suas vidas do zero. Fontes alternativas como geração eólica e solar também causam impacto negativo. As hélices da geração eólica geram um barulho desconfortável para moradores próximos e podem perturbar o fluxo migratório de aves. Já a energia solar tem um custo muito mais elevado para gerar a mesma quantidade de energia que uma hidrelétrica, dificultando sua aplicação em grandes centros urbanos (PAQUETE, 2018).

Diante disso, uma alternativa para atender à crescente demanda de energia elétrica é aumentando a eficiência energética, com equipamentos que gastam menos e criar hábitos conscientes na utilização desses equipamentos.

2.2.SELO PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi instituído em 30 de dezembro de 1985, pela Portaria Interministerial nº 1.877, com objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (PROCEL).

Uma ferramenta utilizada é o Selo PROCEL de Economia de Energia, ou simplesmente Selo PROCEL, que identifica os aparelhos elétricos através de categorias de eficiência energética. Foi instituído por Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993 e desde então, firmou parcerias com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), pesquisadores e laboratórios para incentivar a identificação de equipamentos mais eficientes e, conseqüentemente, o seu uso. Cada equipamento tem critérios diferentes para a obtenção do

selo, de acordo com sua categoria de atuação. Para manter uma melhoria contínua nos critérios, a cada 4 anos são revisadas as regras de acordo com as tecnologias existentes (PROCEL).

Figura 1 – Selo PROCEL



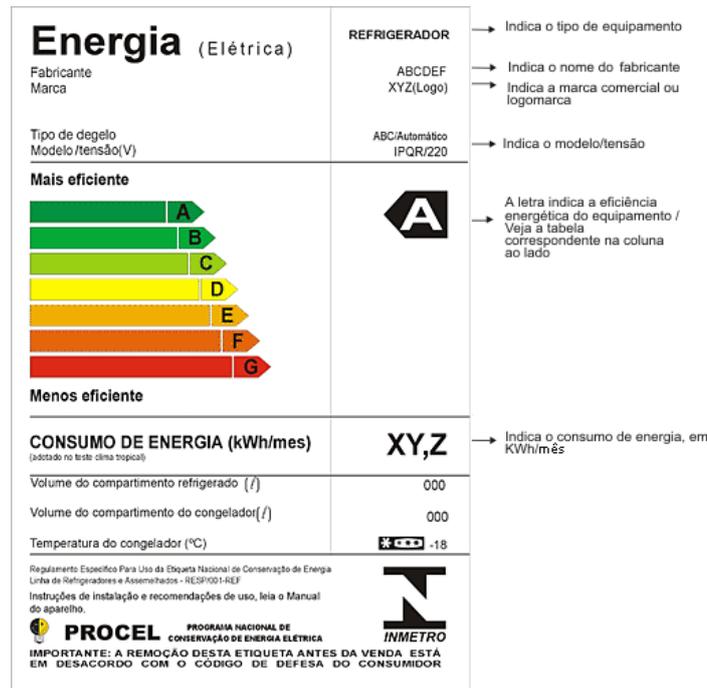
FONTE: PROCEL

2.3. ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e é regulamentada pelo INMETRO. A etiqueta é afixada nos produtos de forma voluntária ou compulsória, auxiliando o consumidor no momento da compra sobre a eficiência energética ou consumo de modelos semelhantes (INMETRO).

O equipamento recebe uma classificação de “A” à “E”, sendo a classificação “A” a mais eficiente e indicada para uso. Para auxiliar na escolha, também são informados os gastos de acordo com a especificação do produto e uma simulação de gasto mensal em KWh (INMETRO).

Figura 2 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia



FONTE:INMETRO

2.4.DEFINIÇÕES DE ILUMINAÇÃO

Para melhor entendimento do desenvolvimento do projeto, será apresentado as principais características e definições sobre iluminação.

2.4.1. LUZ

Ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos que são emitidas por uma fonte de radiação. A luz visível ao olho humano corresponde a faixa de radiação de 3800 Å e 7800 Å. Dentro dessa faixa, os diferentes comprimentos de ondas correspondem as diversas cores de luz visíveis. Comprimento de onda menores que a faixa visível (1000 Å a 3800 Å) são conhecidos como radiações ultravioletas e intensificam a sensação de luminosa quando o local é pouco iluminado. Já os comprimentos maiores (7800 a 100000 Å), são conhecidas como radiações infravermelha (CREDER, 2008).

2.4.2. FLUXO LUMINOSO

É a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Sua unidade é o lúmen, que representa a quantidade de luz irradiada através de uma abertura de 1 m² feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 candela, em todas as direções, colocada no seu interior e posicionada no centro (FILHO, 2017).

2.4.3. ILUMINÂNCIA

Conhecida anteriormente como iluminamento, a iluminância é classificada como a quantidade de luz incidente em uma área de superfície. Sua unidade é o lux, definido como iluminamento de 1m² por uma fonte de 1 lúmen a 1m de distância (FILHO, 2017).

A expressão da iluminância é dada por:

$$E = \frac{\phi}{A} (lux)$$

Onde:

ϕ - Fluxo luminoso (lumens)

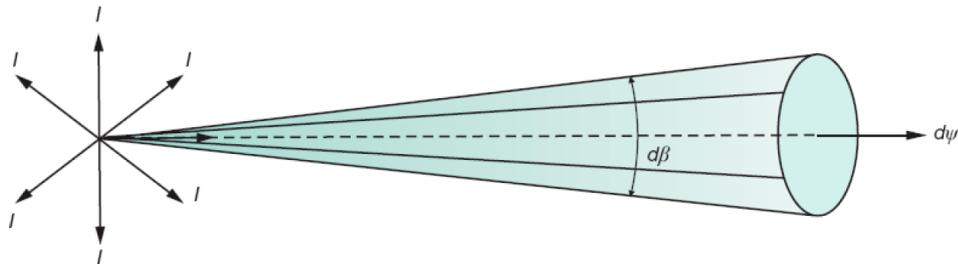
A - Área (m²)

2.4.4. INTENSIDADE LUMINOSA

A intensidade luminosa informa como é distribuída a radiação da luz em uma determinada direção. A fórmula é definida como o fluxo luminoso em um ângulo sólido e sua unidade é o candela (cd) (FILHO, 2017).

$$I = \frac{d\psi}{d\beta}$$

Figura 3 - Intensidade Luminosa



FONTE: Filho (2017)

Fontes de luz podem ter potências iguais e uma emitir uma energia luminosa maior em uma direção do que a outra.

2.4.5. LUMINÂNCIA

Luminância é a relação entre a intensidade luminosa em uma determinada direção e um ponto de uma superfície. Sua unidade é o candela por metro quadrado (cd/m²) (MOREIRA, 1999).

$$L = \frac{I}{S} \cos\alpha \left(\frac{cd}{m^2}\right)$$

Sendo:

S - superfície iluminada

α - ângulo entre a superfície iluminada

I - intensidade luminosa

2.4.6. ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES

O índice de reprodução de cores (Ra) classifica a qualidade relativa de reprodução de cores de uma fonte, quando comparada com uma fonte padrão de referência da mesma temperatura de cor. Sua escala é de 0 a 100, sendo 100 a classificação de reprodução com maior fidelidade (CREDER, 2008).

2.4.7. TEMPERATURA DE COR

Indica a aparência de cor da luz emitida por uma fonte radiante. Temperaturas de cores maiores tem um aspecto azulado e menores, tons amarelados. Sua unidade é o Kelvin (K) (FILHO, 2017).

A tabela 1 indica as faixas de temperaturas e suas tonalidades de cor.

Tabela 1 - Temperatura de Cor

Temperatura de Cor (K)	Tonalidade de Cor
TC < 3300	Amarelo
3300 < TC < 5000	Branca
TC > 5000	Azul

FONTE: Filho

2.4.8. OFUSCAMENTO

Ofuscamento é a perturbação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão. A luz em grande intensidade pode gerar desconforto visual quando em contato com o campo visual do observador. O desconforto pode ser comparado como a sensação de receber um flash ou uma lanterna diretamente em direção aos olhos. Nos locais de trabalho e estudo, o ofuscamento desconfortável é relacionado a luminárias com brilho excessivo e janelas, causando uma diminuição da performance visual (MOREIRA, 1999).

O ofuscamento é calculado segundo o Índice de Ofuscamento Unificado (UGR), a fórmula é definida como:

$$UGR = 8 \log\left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2}\right)$$

Sendo:

L_b - luminância de fundo (cd/m^2)

L - luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho (cd/m^2)

ω - ângulo solido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho

p - índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionada ao seu deslocamento a partir do campo de visão.

2.5. NORMA NBR 8995-1

A NBR 8995-1 especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos com o intuito de fornecer conforto e segurança para as pessoas durante as tarefas visuais. Ela foi criada em março de 2013, substituindo a NBR 5413 de 1992 e NBR 5382 de 1985 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Para o desenvolvimento deste trabalho, será apresentado na Tabela 2 os requisitos necessários no ambiente escolar segundo a NBR 8995-1.

Tabela 2 - Requisitos NBR 8995-1

(Continua)			
Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Iluminância (lux)	Índice de Ofuscamento Unificado (UGR)	Índice de reprodução de cores (Ra)
Brinquedoteca	300	19	80
Berçário	300	19	80
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80

Tabela 2 - Requisitos NBR 8995-1

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Iluminância (lux)	Índice de Ofuscamento Unificado (UGR)	(Continuação)
			Índice de reprodução de cores (Ra)
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80
Sala de leitura	500	19	80
Quadro negro	500	19	80
Mesa de demonstração	500	19	80
Salas de arte e artesanato	500	19	80
Salas de arte em escolas de arte	750	19	80
Salas de desenho técnico	750	19	80
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80
Oficina de ensino	500	19	80
Salas de ensino de música	300	19	80
Salas de ensino de computador	500	19	80
Laboratório linguístico	300	19	80

Tabela 2 - Requisitos NBR 8995-1

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Iluminância (lux)	Índice de Ofuscamento Unificado (UGR)	(conclusão) Índice de reprodução de cores (Ra)
Salas de preparação e oficinas	500	22	80
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80
Salas dos professores	300	22	80
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80

FONTE: NBR 8995-1

A norma define também o tamanho da malha necessárias para determinar a média da intensidade luminosa em um determinado local de acordo com a equação:

$$M = 0,2 \times 5^{\log_{10} d}$$

Sendo:

M - tamanho da malha (m)

d - maior dimensão da superfície de referência

Para calcular o número de pontos (n), é feito a relação de d para p , sendo que o número de pontos (n) é o inteiro mais próximo da relação.

2.6.LÂMPADAS

Lâmpadas são dispositivos elétricos que transformam a energia elétrica em energia luminosa.

Os 3 principais processos de transformação são:

- Lâmpadas Incandescentes

- Lâmpadas de descarga
- Lâmpadas de LED

Os processos de transformação têm diferentes características, como vida útil, rendimento luminoso e índice de reprodução de cores. Será apresentado a seguir os diferentes tipos de lâmpadas existentes.

2.6.1. LÂMPADAS INCANDESCENTES

As lâmpadas incandescentes são constituídas por um filamento de tungstênio em forma espiral que atinge a incandescência com a passagem de uma corrente elétrica. Esse filamento se encontra dentro de um bulbo de vidro transparente, translúcido ou opaco, com baixa temperatura de fusão. Dentro desse bulbo, encontra-se um meio interno composto por gases, geralmente nitrogênio, com objetivo de evitar a oxidação do tungstênio e aumentar a vida útil (FILHO, 2017). Um exemplo de lâmpada incandescente é demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Lâmpada Incandescente



Fonte: FILHO

As principais características são:

- Vida útil: 600 a 1000 horas
- Eficiência luminosa: 15 lumens/watt
- Ra = 100
- A vida útil depende da tensão de alimentação

Para cada 10% de sobretensão, sua vida útil se reduz em 50%.

2.6.2. LÂMPADAS INCANDESCENTES HALOGÊNICAS

As lâmpadas incandescentes halogênicas, também conhecidas como lâmpadas de quartzo, são lâmpadas incandescentes com ativos de iodo em seu interior. Durante o funcionamento, as partículas de tungstênio evaporam do filamento e são combinadas com o gás presente no bulbo. Essa combinação forma o iodeto de tungstênio, aumentando a temperatura interna e, conseqüentemente, o fluxo luminoso. Com o aumento da temperatura, parte do tungstênio se deposita no filamento novamente, criando o ciclo do iodo. Possuem vida útil entre 2000 a 4000 horas (FILHO, 2017).

2.6.3. LÂMPADAS DE DESCARGA

Lâmpadas de descarga emitem luz através de descargas elétricas contínuas em um gás ou vapor. Essa radiação resultante da descarga elétrica emite um fluxo luminoso. O custo inicial é geralmente elevado, porém possuem um custo de manutenção reduzido e uma vida útil de até 24000 horas (FILHO, 2017).

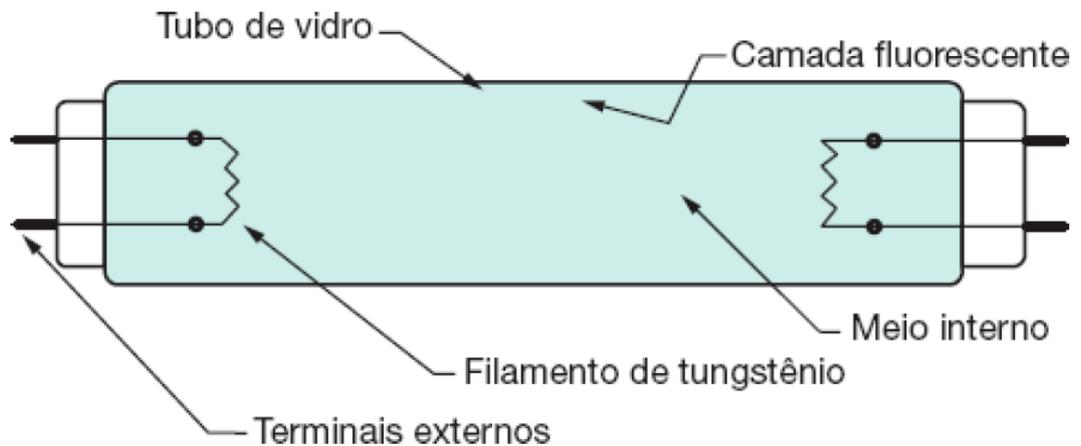
2.6.4. LÂMPADAS FLUORESCENTES

Lâmpadas de descarga de baixa pressão, é constituída por um cilindro de vidro revestido internamente por uma camada de fósforo. Esse fosforo tem característica de emitir luz quando reagir com energia ultravioleta. As extremidades são constituídas por eletrodos de tungstênio revestidos por um óxido que emite elétrons quando aquecidos por uma corrente elétrica. Esses elétrons liberados criam um arco e as extremidades que reagem com o gás de mercúrio presente no interior, liberando uma luz ultravioleta. Essa luz ultravioleta reage com a camada de fósforo, transformando-a em emissão de luz visível (FILHO, 2017).

As principais características são:

- Vida útil: 7500 a 12000 horas
- Eficiência luminosa: entre 40 a 80 lumens/watt
- Ra = entre 50 e 80

Figura 5 - Lâmpada Fluorescente



FONTE: Filho

2.6.5. LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO

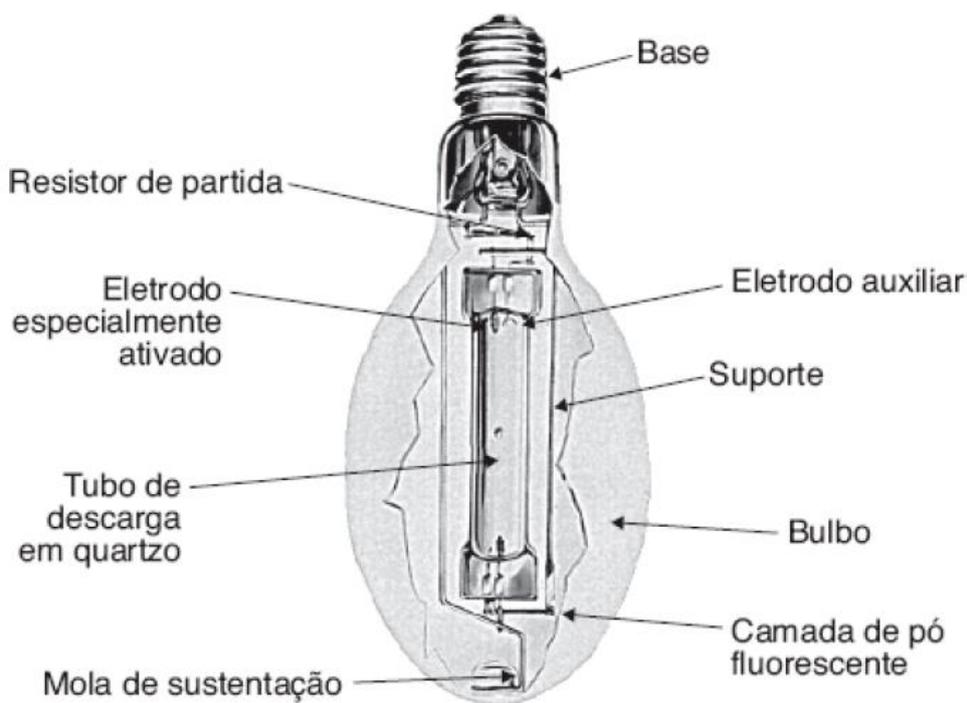
Lâmpadas constituídas por um tubo de quartzo contendo um gás inerte, como argônio, cuja finalidade é facilitar a formação da descarga inicial e aquecimento da temperatura. Dentro do tubo existem gotas de mercúrio que vaporizam com o aquecimento e aumentam a pressão interna. O choque dos elétrons com os átomos do vapor de mercúrio modifica sua estrutura atômica, liberando luz (FILHO, 2017).

As lâmpadas de mercúrio não emitem luz vermelha, limitando seu uso onde não há necessidade de boa reprodução de cores, como estradas, tuneis e aeroportos. Quando desligadas, as lâmpadas de vapor de mercúrio demoram cerca de 10 minutos para que seja possível estabelecer a condição inicial e reacendê-las (FILHO, 2017).

As principais características são:

- Vida útil: 18000 horas
- Eficiência luminosa: 55 lumens/watt
- Ra = 44

Figura 6 - Lâmpadas a vapor de mercúrio



FONTE: Filho

2.6.6. LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO

São lâmpadas com funcionamento similar ao vapor de mercúrio, diferenciando pelo seu formato, que mais comprido e estreito e contendo óxido de alumínio e xenônio para iniciar a partida e sódio em alta pressão. O tubo de descarga é colocado dentro de um bulbo externo para produzir um vácuo entre eles e diminuir a perda de calor e aumentando a eficiência luminosa. As lâmpadas demoram cerca de 4 minutos para atingir o brilho máximo (FILHO, 2017).

As principais características são:

- Vida útil: 18000 a 24000 horas
- Eficiência luminosa: 200 lumens/watt
- Ra = entre 20 e 30

2.6.7. LÂMPADAS A VAPOR METÁLICO

Lâmpadas de vapor de mercúrio com acréscimo de iodeto de índio, tálio e sódio. Essa mistura proporciona uma reprodução de cores melhor, eficiência luminosa elevada e vida útil superior (FILHO, 2017).

As principais características são:

- Vida útil: 24000 horas
- Eficiência luminosa: 98 lumens/watt
- Ra = 80 a 90

2.6.8. LÂMPADAS DE LED

Os diodos emissores de luz (LED) são componentes semicondutores que convertem luz elétrica em luz visível. Sua principal vantagem é o baixo consumo de energia elétrica, baixa emissão de calor e vida útil muito superior aos demais modelos (FILHO, 2017).

As principais características são:

- Vida útil: 50000 horas
- Eficiência luminosa: 70 a 130 lumens/watt
- Ra = 85 a 90

2.7. CÁLCULO ILUMINAÇÃO

Para calcular a quantidade de equipamentos necessária para uma iluminação adequada, são utilizados 3 métodos de cálculo de iluminação artificial.

- Método dos lumens
- Método das cavidades zonais
- Método ponto por ponto

O primeiro é mais simples e com precisão inferior. O segundo é mais complexo e possui resultados mais confiáveis. Já o método ponto por ponto, permite calcular o iluminamento em qualquer ponto da superfície, sendo muito mais complexo o cálculo.

Para esse trabalho será usado o método dos lumens por se adequar melhor a proposta e não haver necessidade de um resultado mais complexo, pois será utilizado um programa de simulação posteriormente.

2.7.1. MÉTODO DOS LÚMENS.

Método que determina o fluxo luminoso necessário para atingir um iluminamento médio desejável em uma superfície determinada (FILHO, 2017).

Seu cálculo é através da equação:

$$\psi = \frac{E \times S}{Fu \times Fd}$$

Sendo:

ψ = fluxo luminoso total (lm)

E = Iluminância média (lux)

S = Área do local (m²)

Fu = Fator de utilização

Fdl = Fator de depreciação

2.7.1.1.FATOR DE UTILIZAÇÃO (FU)

O fator de utilização é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e o fluxo que atinge o plano de trabalho. Ele depende das dimensões do local, modelo de lâmpada e cores do ambiente. Para sua determinação, é necessário verificar as refletâncias do teto (Pe), paredes (Ppa) e piso (Ppi), cruzando com o índice local K (FILHO, 2017).

As refletâncias comuns são:

- a) Refletância do Teto (Pe)
 - Branco: $Pe = 0,70$
 - Claro: $Pe = 0,50$
 - Escuro: $Pe = 0,30$
- b) Refletância das Paredes (Ppa)
 - Claras: $Ppa = 0,50$
 - Escuras: $Ppa = 0,30$
- c) Refletância do Piso (Ppi)
 - Branco: $Ppi = 0,8$ a $0,7$
 - Amarelo Claro: $Ppi = 0,65$ a $0,55$
 - Verde Claro: $Ppi = 0,5$ a $0,45$
 - Marrom escuro: $Ppi = 0,4$ a $0,35$
 - Preto: $Ppi = 0,1$ a $0,05$

O índice local K é dado pela equação:

$$K = \frac{A \times B}{H_p (A + B)}$$

Sendo:

A = comprimento do local (m)

B = largura do local (m)

H_p= Altura da luz em relação ao plano de trabalho (m)

Cruzando os dados do índice local K e as refletâncias, encontra-se o fator de utilização (Fu) na Tabela 3.

Tabela 3 - Fator de Utilização

TETO	70%		50%		70%	50%	30%	
PAREDE	50%	30%	50%	30%	10%	10%	30%	10%
PISO	10%		10%		10%	10%	10%	
K	FATOR DE UTILIZAÇÃO							
0,6	0,35	0,28	0,23	0,31	0,25	0,21	0,22	0,19
0,8	0,43	0,36	0,3	0,38	0,32	0,27	0,28	0,24
1	0,5	0,42	0,36	0,44	0,38	0,33	0,33	0,29
1,25	0,56	0,49	0,43	0,49	0,43	0,38	0,38	0,34
1,5	0,61	0,54	0,48	0,54	0,48	0,43	0,42	0,38
2	0,68	0,61	0,56	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45
2,5	0,72	0,67	0,62	0,64	0,6	0,56	0,53	0,5
3	0,76	0,71	0,66	0,67	0,63	0,6	0,56	0,53
4	0,8	0,76	0,72	0,71	0,68	0,65	0,6	0,58
5	0,83	0,8	0,76	0,74	0,71	0,68	0,63	0,61

FONTE: Filho

2.7.1.2.FATOR DE DEPRECIACÃO (Fdl)

O fator de depreciação informa a relação entre o fluxo luminoso inicial e a sua perda, decorrente de sujeira acumulada e a redução natural do fluxo luminoso da lâmpada conforme o tempo (FILHO, 2017).

A tabela 4 informa o fator de utilização de acordo com o tipo do aparelho.

Tabela 4 - Fator de Depreciação

Fator de Manutenção	Exemplo
0,8	Ambiente muito limpo, ciclo de manutenção de um ano, 2 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8 000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira.
0,67	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12 000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira.
0,57	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12 000 h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira.
0,5	Ambiente sujo, ciclo de manutenção de três anos, 8 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8 000 h, LLB, substituição em grupo, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira.

FONTE: Filho

2.7.1.3.CÁLCULO DO NÚMERO DE LUMINÁRIAS

O cálculo do número de luminárias no local é dado pela equação:

$$Nl = \frac{\psi}{Nla \times \psi l}$$

Sendo:

ψ = Fluxo luminoso total (lm)

Ψl = Fluxo luminoso de uma lâmpada (lm)

Nla = Número de lâmpadas por luminária

2.8.LUXÍMETRO

Luxímetro é um aparelho que realiza as medições de intensidade da luz e iluminação. Para esse projeto será utilizado o modelo LD-570 da marca Icel, apresentado na Figura 7. Ele possui escala de 20 a 200.000 lux com resolução de 0,01 a 100 lux e exatidão de +-3% (ICEL).

Figura 7 - Luxímetro LD 570



FONTE: ICCEL

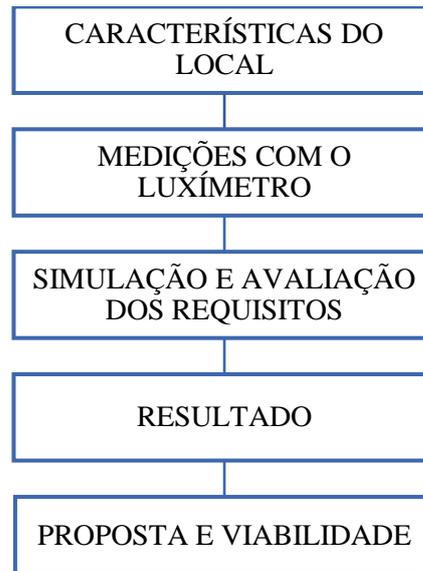
2.9.SOFWARE DIALUX

O DIALux é software gratuito que realiza simulações de iluminação de um local projetado de acordo com as características determinadas. É possível adquirir as características técnicas de uma lâmpada de acordo com o fabricante e incluir no programa. Também é possível indicar os índices de reflexão do teto, paredes e piso, resultando em uma análise fotométrica das curvas de iluminação e indicação do nível de iluminação em diversos pontos do local (DIALUX).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esse capítulo irá descrever a metodologia utilizada para a realização deste trabalho de acordo do o fluxograma na Figura 8.

Figura 8 - Metodologia de estudo



FONTE: O Autor (2019)

3.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

Apresentação das características do local a ser estudado, incluindo suas dimensões, tipos de iluminação existentes e sua finalidade dentro da escola.

3.2. MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO

Será coletado o iluminamento médio nos locais estudados com auxílio do luxímetro, de acordo com a NBR 8995-1 descrita no item 2.5.

3.3. SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS

Com os dados coletados, será feita uma simulação no software DIALux, com objetivo de comparar os resultados adquiridos com o luxímetro. Após isso, serão verificados os requisitos mínimos para o local de estudo conforme a norma NBR 8995-1.

3.4. RESULTADO DA AVALIAÇÃO

Após as avaliações, poderá ser obtido as seguintes conclusões:

a) Intensidade luminosa abaixo do recomendado:

Definir um projeto de iluminação com intensidade luminosa adequada ao local e com a melhor eficiência energética.

b) Intensidade luminosa com o nível recomendado:

Verificar se é possível haver uma troca de lâmpadas por modelos mais eficientes, mantendo o nível de iluminamento.

c) Intensidade luminosa acima do recomendado:

Definir um projeto luminotécnico com menor potência e dentro dos requisitos recomendados, com objetivo de obter uma potência instalada mais eficiente.

3.5. PROPOSTA E VIABILIDADE

Caso o resultado da análise da situação atual não atenda aos requisitos da norma, será elaborado um novo projeto de iluminação, com simulações via software e comparativo com a situação atual. Para definir o novo projeto, será utilizado o método dos lumens para definir a quantidade de lâmpadas necessárias para o novo projeto. Em seguida, será feito um estudo sobre a viabilidade desse projeto e tempo de retorno do investimento.

4. ESTUDO DE CASO

Nesse capítulo será apresentado o estudo de caso de acordo com a metodologia apresentada.

O local estudo é a Escola de Educação Básica Emilio Baumgart, localizada no bairro Itoupava Central, na cidade de Blumenau, no Estado de Santa Catarina. Possui mais de 1000 alunos em 3 turnos divididos entre o 1 ao 9 ano do Ensino Fundamental e os 3 anos do Ensino Médio.

A Unidade Escolar possui 15 salas de aula distribuídas em dois blocos, banheiros masculinos e femininos e um banheiro para deficientes físicos, cozinha, refeitório, uma sala de professores, sala de vídeo, sala informatizada, biblioteca e laboratório de ciências.

Para esse trabalho, será analisada a iluminação da sala de aula, biblioteca e laboratório de ciências.

4.1.SALA DE AULA

4.1.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

As salas de aula possuem tamanho padrão de 5,75 metros de largura por 8 metros de comprimento e um pé direito de 3 metros. Possuem 6 luminárias com 2 lâmpadas modelo T8 fluorescente de 40 W e 6400 K. Totalizando 480 W de potência instalada em cada sala. Um exemplo da sala de aula é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Sala de Aula



FONTE: O Autor (2019)

Segundo a tabela NBR 8995-1, o iluminamento médio em uma sala de aula no período diurno deve ser superior a 300 lux e para aulas noturnas, 500 lux. A escola possui atualmente uma turma em cada um dos 3 anos do ensino médio, totalizando 3 turmas no período noturno.

Como é possível haver uma demanda de abertura de mais turmas no período noturno, será projetado 6 salas com luminosidade adequada para aulas noturnas e as demais irão atender os requisitos de salas de aula diurnas.

4.1.2. MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO

De acordo com cálculo do tamanho da malha da NBR 8995-1, para um local com a maior dimensão igual a 8 metros, é necessária uma malha de 0,8555 metros, totalizando 9,351 pontos. Para facilitar a distribuição, foi verificado 12 pontos na sala, apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Medições com Luxímetro (sala de aula)

116	128	129
173	185	184
178	220	176
125	174	135

Fonte: O Autor (2019)

O valor médio de iluminância encontrado foi de 160,25 lux.

Um exemplo das medições feitas é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de medição com Luxímetro



FONTE: O Autor (2019)

4.1.3. SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS

Para a simulação da situação atual, foi criada uma planta no DIALux com alguns objetos similares aos encontrados no espaço físico e um plano de trabalho com 80 cm de altura em relação ao solo. A lâmpada usada atualmente é um modelo descontinuado no mercado da marca Ouro lux apresentado na Figura 10. O catálogo atual da marca (Anexo A) possui lâmpadas tubulares T8 fluorescentes até 32 W e 2200 lm. Para simulação foi considerado uma lâmpada fluorescente genérica de 40 W, 2600 lm e 6400 K.

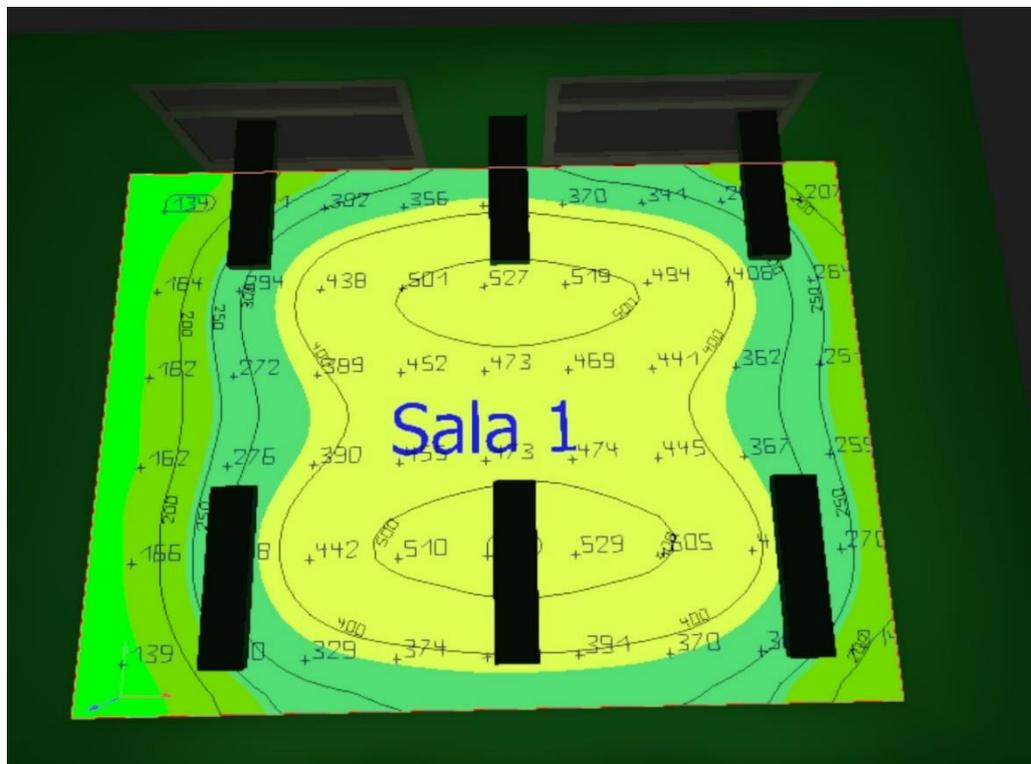
Figura 11 - Lâmpada fluorescente Ouro lux



FONTE: O Autor (2019)

O resultado da simulação apresentou uma iluminância média de 315 lux, um valor muito acima do valor encontrado com o luxímetro e aceito para aulas diurnas, porém não indicado para aulas noturnas.

Figura 12 - Simulação da situação atual (sala de aula)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 13 - Resultado da situação atual (sala de aula)

Workplane			Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
1	Plano de uso (Sala 1) Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m		315 (≥ 200)	102	481	0.32	0.21

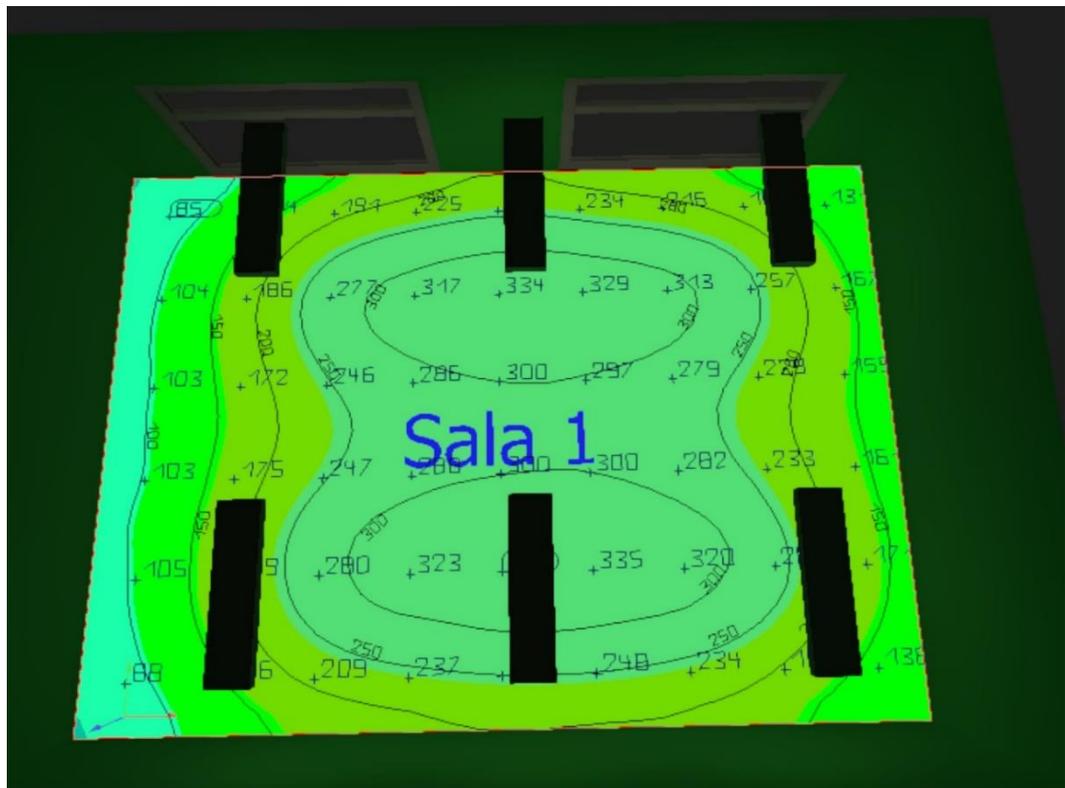
FONTE: O Autor (2019)

Após uma verificada nas configurações do programa, foi descoberto que o fator de depreciação padrão estava em 0.90. Como apresentado anteriormente, a lâmpada encontrava-se bem suja, indicando que não eram realizadas limpezas frequentes.

Verificando a Tabela 4 de depreciação da NBR 8995-1, foi alterado o fator de depreciação para 0,67, pois o exemplo apresentado se assemelha com o encontrado na sala.

A simulação com a alteração apresentou uma iluminância média de 224 lux, um valor próximo ao encontrado com o luxímetro.

Figura 14 - Simulação da situação atual com fator de depreciação (sala de aula)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 15 - Resultado da situação atual com fator de depreciação (sala de aula)

Workplane						
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
1 Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	224 (≥ 200)	72.5	343	0.32	0.21

FONTE: O Autor (2019)

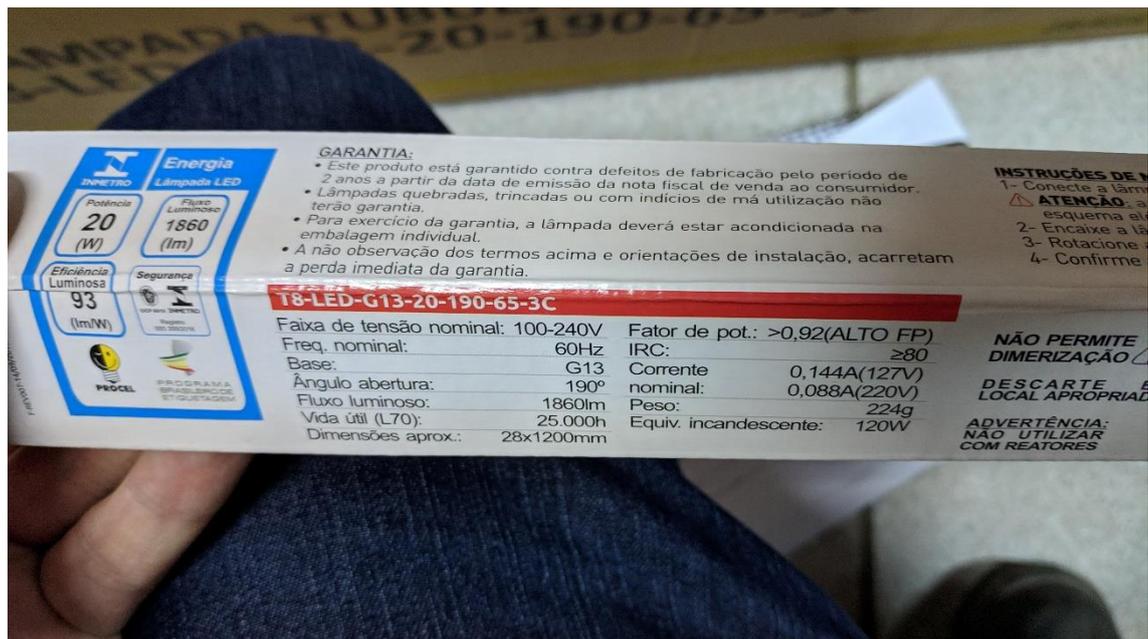
4.1.4. RESULTADO DA AVALIAÇÃO

O resultado da avaliação foi que a iluminação não atende os requisitos mínimos de nível de iluminamento médio indicado na NBR 8995-1 e será necessário apresentar uma proposta de melhoria que atenda e que seja mais eficiente no consumo de energia elétrica. Também foi verificado que as lâmpadas fluorescentes atuais estão com um fluxo luminoso muito inferior ao nominal devido à falta de limpeza periódica.

4.1.5. PROPOSTA

A direção da escola iniciou uma troca das lâmpadas fluorescentes para modelos LED tubular na secretaria e na sala da direção. O modelo escolhido foi da marca G-light e a escolha foi feita com avaliação dos preços e disponibilidade de modelos nas lojas da região. Primeiramente será simulado como ficaria a troca das lâmpadas fluorescentes pelas de LED da G-light propostas pela escola.

Figura 16 - Lâmpada G-Light

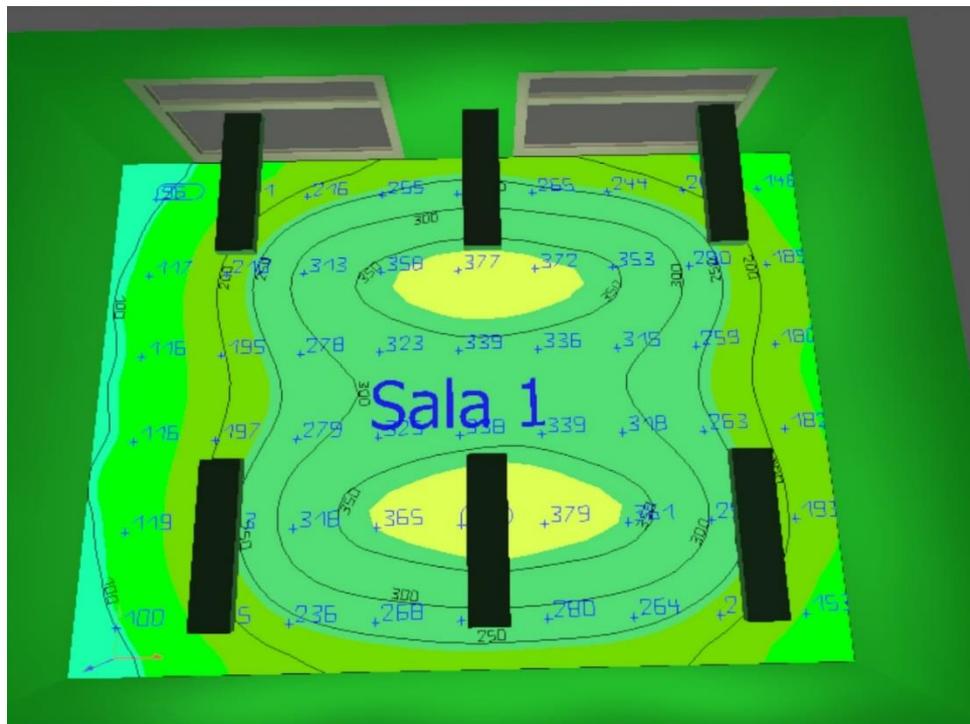


FONTE: O Autor (2019)

Consultando o site da fabricante, foi encontrado o catálogo com as características técnicas apresentadas no Anexo B. A lâmpada possui 20W com 1860 lumens e temperatura 6500K.

Realizando uma simulação com a simples troca para o modelo da G-light, a iluminância média do ambiente ficou em 252 lux, abaixo do requisito da NBR 8995-1. Portanto, a proposta de troca de lâmpadas feita pela diretoria não atende os níveis de iluminação necessários para atividades em salas de aula.

Figura 17 - Simulação com lâmpada G-light (sala de aula)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 18 - Resultado da simulação com lâmpada G-light (sala de aula)

Workplane							
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max	
1 Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	252 (≥ 200)	81.4	385	0.32	0.21	

FONTE: O Autor (2019)

Como é possível perceber na simulação anterior, a lâmpada chega a atingir pontos com 385 lux. Isso demonstra que o seu fluxo luminoso é suficiente, necessitando de uma melhor distribuição no ambiente.

Para a proposta do novo projeto, foi avaliado catálogo de 3 fabricantes de lâmpadas LED (Anexos B;C;D) apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Modelos de Lâmpadas de LED

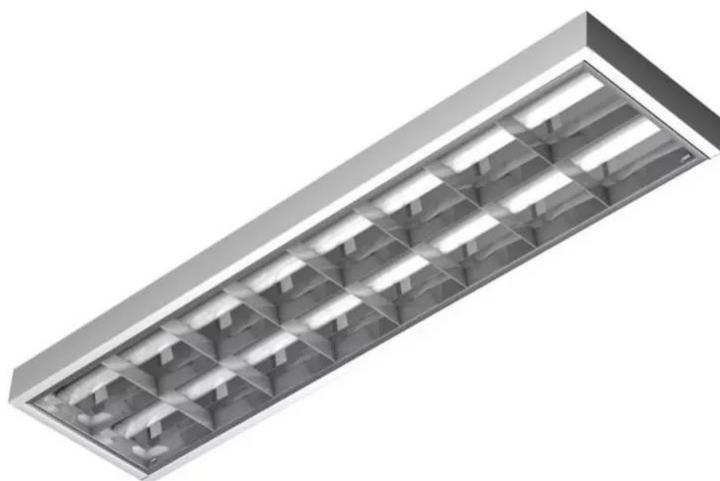
Modelo	Marca	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Preço (R\$)
T8LED-G13-20-190-65-3C	G-Ligth	20	1860	93	21,56
MASTER LEDtube GA	Philips	18	2100	116	54,5
LED Tube Glass	Kian	18	1850	102	17,8

FONTE: O Autor (2019)

A lâmpada escolhida foi o modelo LED Tube Glas da marca Kian, esse modelo possui uma eficiência melhor que o modelo da G-light e é mais de 50% mais barata que o modelo da Philips.

A luminária escolhida será da mesma fabricante Kian, modelo de sobrepor com aleta K236S 2xT8. O modelo possui aletas para diminuir o grau de ofuscamento e a média de preço é de R\$120,00.

Figura 19 - Luminária K236S



FONTE: O Autor (2019)

Com a escolha da lâmpada e luminária, será calculado através do método dos lumens a quantidade necessária de equipamentos para atender nível de iluminação necessário.

Para calcular o fator de utilização, é calculado o valor do índice K para um local de 5,75 x 8 metros com uma distância de 2,2 da fonte de luz ao plano de trabalho.

$$K = \frac{5,75 \times 8}{2,2 (5,75 + 8)} = 1,52$$

Considerando um ambiente com refletância de 70% no teto, 50% nas paredes e 10% no piso, encontramos na Tabela 3 um fator de utilização de 0,61.

Será considerado um fator de depreciação de 0,9, pois o ambiente não tem tendência de sujeira e será proposto a escola a inclusão de uma limpeza anual nas luminárias e lâmpadas.

Com isso, encontramos através do método dos lumens que o fluxo luminoso total necessário para obter uma iluminância média de 300 lux deve ser 25136 lm.

$$\psi = \frac{300 \times 46}{0,61 \times 0,9} = 25136 \text{ lm}$$

Utilizando 2 lâmpadas de 1850 lm da Kian, encontramos a quantidade luminárias necessárias.

$$Nl = \frac{25136}{2 \times 1850} = 6,79 \cong 7 \text{ luminárias}$$

Para uma melhor distribuição, foi utilizado 8 luminárias no projeto luminotécnico e a simulação resultou em um ambiente com média de 315 lux, atendendo os requisitos para as aulas diurnas e totalizando 144W de potência instalada.

Figura 20 - Simulação do sistema proposto (sala de aula)

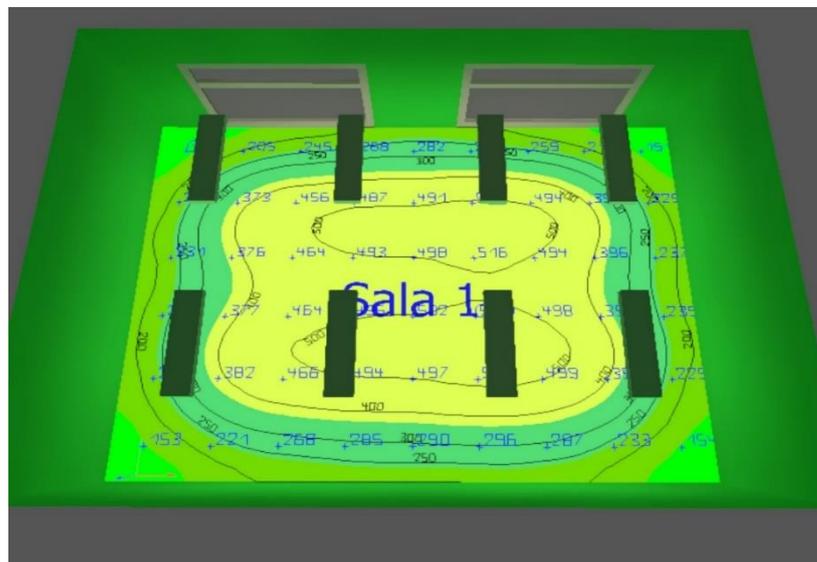


Figura 21 - Resultado do sistema proposto (sala de aula)

Workplane							
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max	
1 Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	315 (≥ 200)	160	404	0.51	0.40	

FONTE: O Autor (2019)

Para atender as 6 salas que serão utilizadas no período noturno, será refeito o cálculo do fluxo total necessário para uma média de 500 lux.

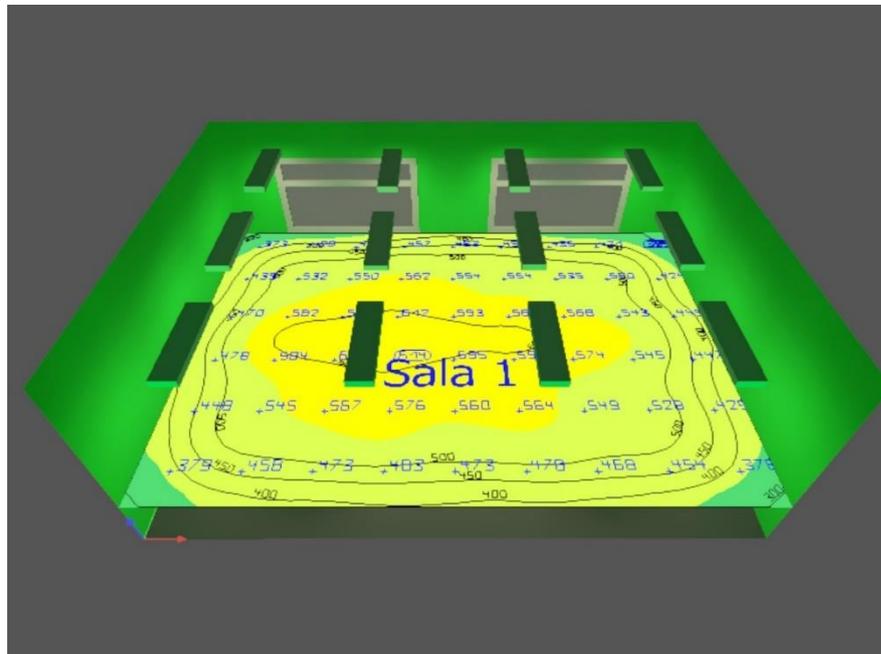
$$\psi = \frac{500 \times 46}{0,61 \times 0,9} = 41894 \text{ lm}$$

Encontramos então o número de luminárias com 2 lâmpadas necessárias.

$$Nl = \frac{41894}{2 \times 1850} = 11,32 \cong 12 \text{ luminárias}$$

Simulando o projeto com 12 luminárias, resultou em um iluminamento médio de 503 lux, atendendo o requisito necessário para salas de aula em turnos noturnos.

Figura 22 - Simulação do sistema proposto (sala de aula noturna)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 23 - Resultado do sistema proposto (sala de aula noturna)

Workplane						
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
1 Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	503 (≥ 200)	284	636	0.56	0.45

FONTE: O Autor (2019)

4.2.BIBLIOTECA

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

A biblioteca possui 6 metros de largura por 9,92 metros de comprimento e um pé direito de 3 metros. Possui 6 luminárias com 2 lâmpadas modelo T8 fluorescente de 40 W e 6400 K. Totalizando 480 W de potência instalada. A Figura 24 mostra a situação atual da biblioteca.

Figura 24 - Biblioteca



FONTE: O Autor (2019)

4.2.2. MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO

De acordo com cálculo do tamanho da malha da NBR 8995-1, para um local com a maior dimensão igual a 9,92 metros, é necessária uma malha de 0,994 metros, totalizando 9,979 pontos. Para facilitar a distribuição, foi verificado 12 pontos na sala, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Medições com Luxímetro (biblioteca)

160	166	160
174	183	157
190	208	163
155	163	165

FONTE: O Autor (2019)

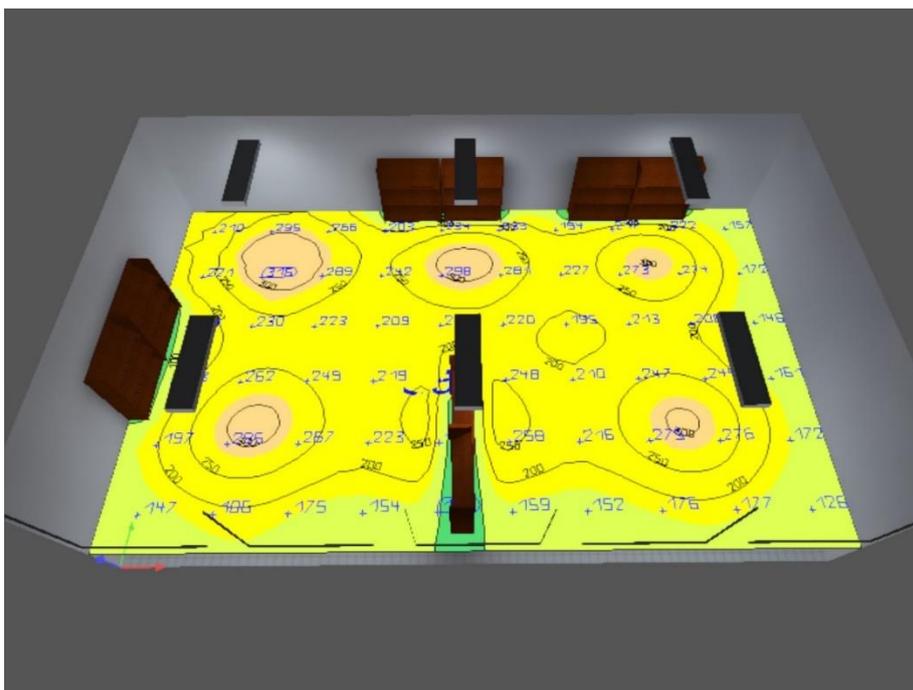
O valor médio de iluminância encontrado foi de 170,33 lux.

4.2.3. SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS

Para a simulação da situação atual, foi criada uma planta no DIALux com objetos similares aos encontrados no espaço físico e um plano de trabalho com 80 cm de altura em relação ao solo. Foi considerado uma lâmpada fluorescente genérica de 40 W, 2600 lm e 6400 K e um fator de depreciação de 0,67.

A simulação resultou uma iluminância média de 229 lux, similar ao encontrado com luxímetro.

Figura 25 - Simulação Situação Atual (biblioteca)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 26 - Resultado Situação Atual (biblioteca)

Workplane						
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
1 Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	229 (≥ 500)	65.0	320	0.28	0.20

FONTE: O Autor (2019)

4.2.4. RESULTADO DA AVALIAÇÃO

O resultado da avaliação foi que a iluminação não atende os requisitos mínimos indicados na NBR 8995-1 de iluminância média de 500 lux em uma biblioteca. Será necessário apresentar uma proposta de melhoria que atenda o iluminamento médio recomendado e que seja mais eficiente no consumo de energia elétrica.

4.2.5. PROPOSTA

A lâmpada utilizada para o projeto será a LED Tube Glas da marca Kian, a mesma escolhida anteriormente no item 394.1.5.

Com a escolha da lâmpada, será calculado através do método dos lumens a quantidade necessária para atender o projeto.

Para calcular o fator de utilização, é calculado o valor do índice K para um local de 6 x 9,92 metros e com uma distância de 2,2 da fonte de luz ao plano de trabalho.

$$K = \frac{6 \times 9,92}{2,2 (6 + 9,92)} = 1,69$$

Considerando um ambiente com refletância de 70% no teto, 50% nas paredes e 10% no teto, encontramos na tabela 3 um fator de utilização de 0,61.

Será considerado um fator de depreciação de 0,9, pois o ambiente não tem tendência de sujeira e é proposto a escola a inclusão de uma limpeza anual nas luminárias e lâmpadas.

Com isso, encontramos através do método dos lumens que o fluxo luminoso total necessário para obter uma iluminância média de 500 lux deve ser 25136 lm.

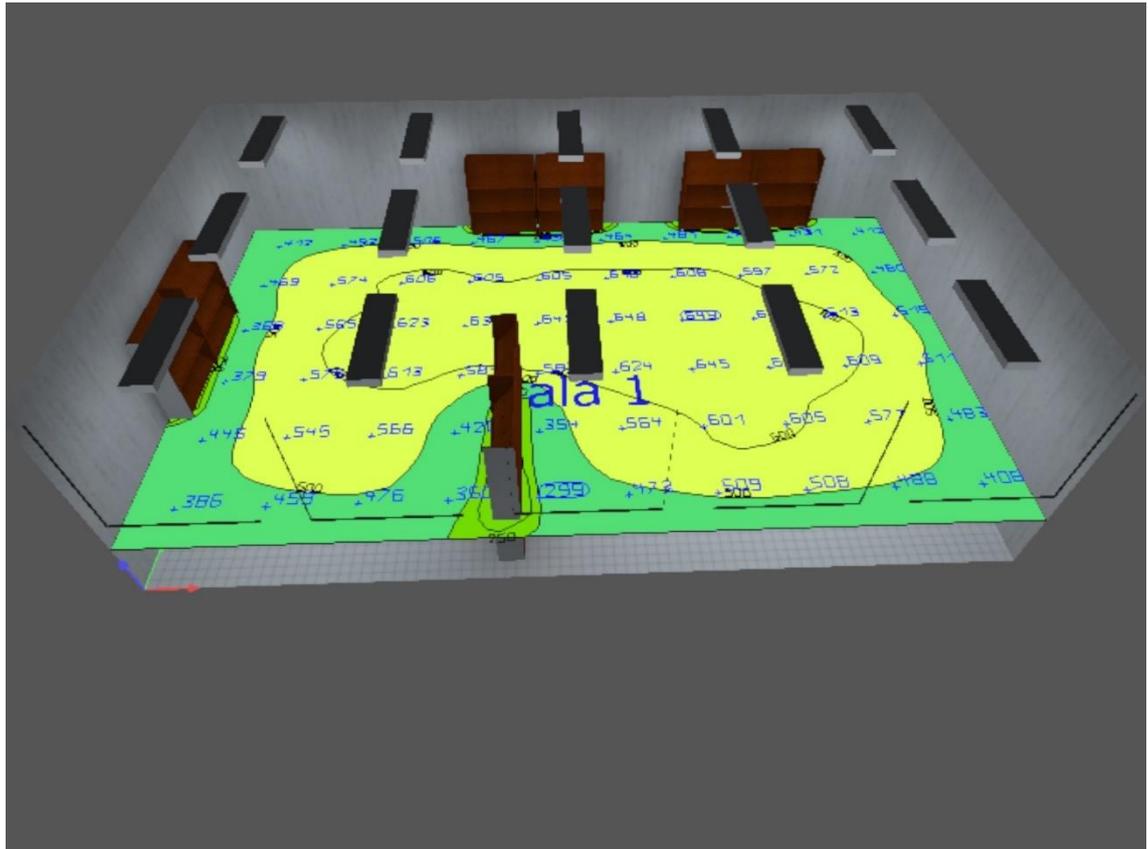
$$\psi = \frac{500 \times 59,5}{0,61 \times 0,9} = 54207 \text{ lm}$$

Utilizando 2 lâmpadas de 1850 lm da Kian, é calculado a quantidade luminárias necessárias.

$$Nl = \frac{54207}{2 \times 1850} = 14,65 \cong 15 \text{ luminárias}$$

Para uma melhor distribuição, foi utilizado 15 luminárias no projeto luminotécnico e a simulação resultou em um ambiente com iluminação médio de 544 lux, acima do necessário para as aulas diurnas e totalizando 270W de potência instalada.

Figura 27 - Simulação do sistema proposto (biblioteca)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 28 - Resultado do sistema proposto (biblioteca)

Workplane

Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
1 Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	544 (≥ 500)	215	673	0.40	0.32

FONTE: O Autor (2019)

4.3.LABORATÓRIO

4.3.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

O laboratório de ciências tem 6 metros de largura por 8 metros de comprimento e um pé direito de 3 metros. Possui 6 luminárias com 2 lâmpadas modelo T8 fluorescente de 40 W e 6400 K. Totalizando 480 W de potência instalada.

Segundo a Tabela 2 da NBR 8995-1, o iluminamento médio em um laboratório deve ser superior à 500 lux.

Figura 29 - Laboratório



FONTE: O Autor (2019)

4.3.2. MEDIÇÕES COM O LUXÍMETRO

De acordo com cálculo do tamanho da malha da NBR 8995-1, para um local com a maior dimensão igual a 8 metros, é necessária uma malha de 0,8555 metros, totalizando 9,351 pontos. Para facilitar a distribuição, foi verificado 12 pontos na sala, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Medições com Luxímetro (laboratório)

158	172	142
182	190	153
179	184	168
161	176	155

FONTE: O Autor (2019)

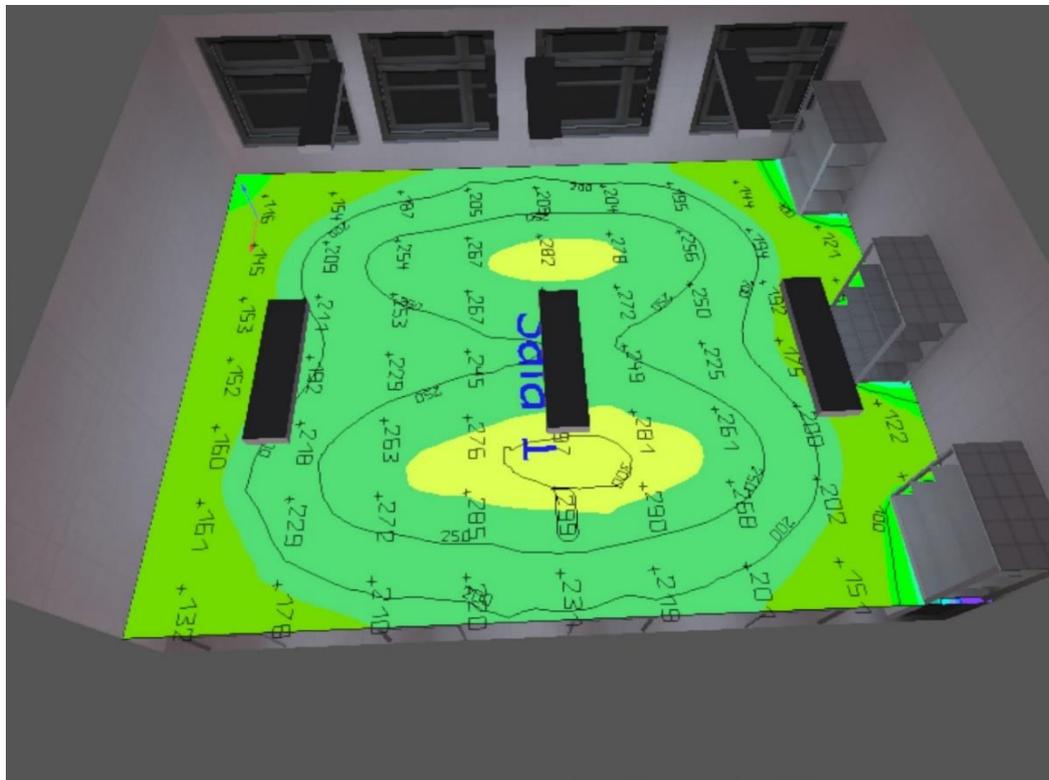
O valor médio de iluminância encontrado foi de 168,33 lux.

4.3.3. SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS

Para a simulação da situação atual, foi criado uma planta no DIALux com objetos similares com os encontrados no espaço físico e um plano de trabalho com 80 cm de altura em relação ao solo. Para lâmpada foi considerada uma fluorescente genérica de 40W, 2600lm e 6400K e um fator de depreciação de 0,67.

A simulação resultou em um iluminamento médio de 197 lux, similar ao encontrado com luxímetro.

Figura 30 - Simulação da situação atual (laboratório)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 31 - Resultado da situação atual (laboratório)

Workplane						
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	197 (≥ 500)	0.81	260	0.004	0.003

FONTE: O Autor (2019)

4.3.4. RESULTADO DA AVALIAÇÃO

O resultado da avaliação foi que a iluminação não atende os requisitos mínimos de 500 lux de média de iluminância em um laboratório. Será necessário apresentar uma proposta de melhoria que atenda e que seja mais eficiente no consumo de energia elétrica.

4.3.5. PROPOSTA

A lâmpada utilizada para o projeto será a LED Tube Glas da marca Kian, a mesma escolhida anteriormente no item 4.2.5.

Com a escolha da lâmpada, será calculado através do método dos lumens a quantidade necessária para atender o projeto.

Para calcular o fator de utilização, é calculado o valor do índice K para um local de 6 x 8 metros com uma distância de 2,2 da fonte de luz ao plano de trabalho.

$$K = \frac{6 \times 8}{2,2 (6 + 8)} = 1,55$$

Considerando um ambiente com refletância de 70% no teto, 50% nas paredes e 10% no teto, encontramos na tabela 3 um fator de utilização de 0,61.

Será considerado um fator de depreciação de 0,9, pois o ambiente não tem tendência de sujeira e é proposto a escola a inclusão de uma limpeza anual nas luminárias e lâmpadas.

Com isso, encontramos através do método dos lumens que o fluxo luminoso total necessário para obter uma iluminância média de 500 lux deve ser 43715 lm.

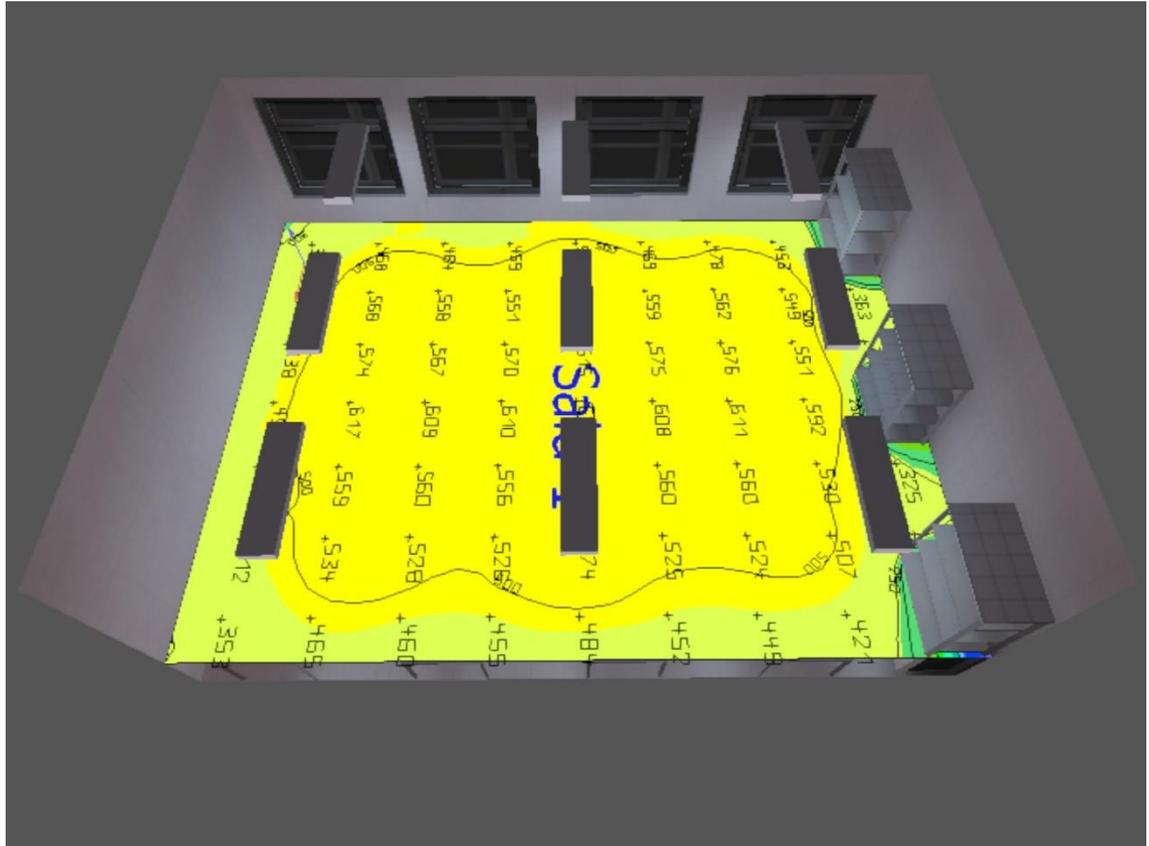
$$\psi = \frac{500 \times 48}{0,61 \times 0,9} = 43715 \text{ lm}$$

Utilizando 2 lâmpadas de 1850 lm da Kian, é calculado a quantidade luminárias necessárias.

$$Nl = \frac{43715}{2 \times 1850} = 11,81 \cong 12 \text{ luminárias}$$

Para uma melhor distribuição, foi utilizado 12 luminárias no projeto luminotécnico e a simulação resultou em um ambiente com iluminamento médio de 513 lux, acima do necessário para as aulas diurnas e totalizando 216 W de potência instalada.

Figura 32 - Simulação do sistema proposto (laboratório)



FONTE: O Autor (2019)

Figura 33 - Resultado do sistema proposto (laboratório)

Workplane						
Surface	Result	Average (Target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Plano de uso (Sala 1)	Perpendicular illuminance (adaptive) [lx] Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	513 (≥ 500)	175	662	0.34	0.26

FONTE: O Autor (2019)

4.4. VIABILIDADE ECONÔMICA

Nesse capítulo, será apresentado a viabilidade econômica da troca das lâmpadas fluorescentes existentes para os modelos LED tubulares propostos.

Na Tabela 9 a seguir, verificamos a diferença de potência instalada com o novo projeto e o sistema atual.

Tabela 9 - Comparação da potência instalada do sistema atual e o proposto

Local	Potência Atual (W)	Potência Proposta (W)	Quantidade	Diferença (W)
Sala de Aula (diurna)	480	144	9	3024
Sala de aula (noturna)	480	216	6	1584
Biblioteca	480	270	1	210
Laboratório	480	216	1	264
			TOTAL	5082

FONTE: O Autor (2019)

A economia de potência instalada ocorreu em todos os locais, somando uma diminuição total da potência instalada de 5082 W. Para calcular a economia financeira, será considerado uma utilização de 200 dias anuais, 5 horas por turno. As salas de aula diurnas, biblioteca e laboratório funcionam no período matutino e vespertino, somando 10 horas diárias. Já as salas de aula noturnas, apenas 5 horas do período noturno. O valor do KWh da concessionária local é de R\$ 0,51 e a Tabela 10 demonstra a economia em um ano com o sistema proposto.

Tabela 10 - Economia anual com o sistema proposto

Local	Tempo de uso diário (Hora)	Tempo de uso anual (Hora)	Economia em KWh	Economia R\$
Sala de Aula (diurna)	10	2000	6048	R\$ 3.084,48
Sala de aula (noturna)	5	1000	1584	R\$ 807,84
Biblioteca	10	2000	420	R\$ 214,20
Laboratório	10	2000	528	R\$ 269,28
			Economia Anual	R\$ 4.375,80

FONTE: O Autor (2019)

A Tabela 11 apresenta o custo de investimento no sistema e o tempo de retorno do investimento, considerando o preço da lâmpada R\$17,80 e da luminária R\$120,00.

Tabela 11 - Tempo de retorno do investimento

	Lâmpadas	Luminárias
Preço	R\$ 17,80	R\$ 120,00
Quantidade	94	47
Custo	R\$ 1.673,20	R\$ 5.640,00
Investimento	R\$ 7.313,20	
Economia Anual	R\$ 4.375,80	
Tempo de Retorno (Anos)	1,67	

FONTE: O Autor (2019)

O tempo de retorno foi 1,67 ano, equivalente a 1 ano e 9 meses.

5. CONCLUSÃO

Com o trabalho, foi possível verificar a existência da norma NBR 8995-1 para a iluminação de locais de trabalho e as diferenças de necessidades nos diferentes locais. A criação de uma norma específica para iluminação é importante para definir os níveis mínimos das características da luz no ambiente, gerando conforto e segurança nas atividades desenvolvidas.

O estudo sobre os diferentes modelos de lâmpadas demonstrou que houve uma evolução da tecnologia com o intuito de tornar as características mais eficientes, gerando um fluxo luminoso maior e um consumo energia elétrica inferior. A tecnologia LED demonstrou-se ser ideal para a iluminação de interiores, possuindo o consumo mais baixo por lúmen emitido e um índice de reprodução de cores próximo a classificação máxima.

Analisando a iluminação da Escola Emilio Baumgart, percebeu-se que todos os ambientes estudados estavam com o valor da iluminância inferior ao ideal para a atividade exercida. As lâmpadas utilizadas fluorescentes estão com um desgaste natural elevado e acumulando sujeira, diminuindo muito a eficiência da iluminação. As medições com o luxímetro e as simulações com o DIALux, confirmaram que é necessário melhorar o projeto luminotécnico.

Foi observado no desenvolvimento deste trabalho, a importância da necessidade de buscar profissionais capacitados para a realização de um projeto adequado. A simulação no

DIALux da intenção da direção da escola de trocar apenas as lâmpadas fluorescentes por modelos LED, demonstrou-se que não haveria melhora na qualidade da iluminação, apenas a diminuição do consumo de energia do sistema. O método dos lúmens apresentou que era necessário acrescentar uma quantidade maior de pontos de luz para obter um fluxo luminoso que atendesse aos requisitos da norma NBR 8995-1.

Por fim, foi possível desenvolver uma proposta de projeto de iluminação na escola que atende todos os requisitos e que seja viável. A proposta diminui o consumo de energia elétrica e melhora a qualidade da iluminação com um investimento aproximado de R\$7.313,20 e um tempo de retorno de menos de 2 anos.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A sugestão para trabalhos futuros é verificar a influência de uma iluminação adequada na qualidade do ensino dentro de uma escola e um estudo sobre a influência dos modelos de luminárias no fluxo transmitido por uma lâmpada dos diversos modelos apresentados neste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ALISSON, E. Custos sociais e ambientais de usinas hidrelétricas são subestimados, aponta estudo. Disponível em: <www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/11/07/custos-sociais-e-ambientais-de-usinas-hidreletricas-sao-subestimados-aponta>. Acesso em: 26 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2013.
- CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15. ed. [S.l.]: [s.n.], 2008.
- DIALUX. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/training>>. Acesso em: 05 out. 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 7 set. 2019.
- FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. [S.l.]: LTC, 2017.
- ICEL. Manual do luxímetro LD-570. Disponível em: <<http://www.icel-manauas.com.br/manual/LD-570%20manual>>. Acesso em: 2019 out. 10.
- INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/pbe>. Acesso em: 09 set. 2019.
- LOPES, L. C. J. A importância da educação para a eficiência energética. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/a-importancia-da-educacao-para-a-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 07 ago. 2019.
- MOREIRA, V. D. A. **Iluminação Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.
- PAQUETE, S. Qual o impacto ambiental da instalação de uma hidrelétrica? Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/qual-o-impacto-ambiental-da-instalacao-de-uma-hidreletrica>>. Acesso em: 7 set. 2019.
- PROCEL. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissa e Diretrizes Básicas, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/>>. Acesso em: 07 ago. 2019.
- PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br>>. Acesso em: 2019 set. 9.

ANEXO A



SUPERLUX HALOFÓSFORO T8



**GARANTIA
1 ANO**

**PRONTO
P/ USO**



DADOS TÉCNICOS

COD.	POTÊNCIA	MODELO	IRC	TEMP.COR	TENSÃO	FLUX. LUM	EFICACIA	BASE	COD. BARRA IND.
01020	15W	TUBULAR	65	6.400K	55V	560 lm	37 lm/W	G13	7898324232305
01021	16W	TUBULAR	65	6.400K	64V	800 lm	50 lm/W	G13	7898324232923
01026	30W	TUBULAR	65	6.400K	96V	1850 lm	62 lm/W	G13	7898324232329
01029	32W	TUBULAR	65	6.400K	120V	2.200 lm	69 lm/W	G13	7898324232336

BAIXE NOSSO LUXIMETRO



WWW.OUROLUX.COM.BR

 /OUROLUX.OFICIAL

ANEXO B

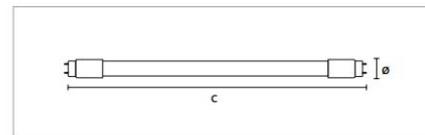


LÂMPADAS - TUBULAR T8

G-light - A sua marca em iluminação.

Tubular T8. Escolha a economia e eficiência para o seu ambiente.

AS TUBULARES T8 LED G-light são excelentes em termos de eficiência energética na substituição das lâmpadas fluorescentes T8 convencionais, proporcionando economia no consumo de energia e uma grande durabilidade.



	COD. SAP	REFERÊNCIA	POTÊNCIA (W)	EQUIV. FLUOR. (W)	EQUIV. INCAND. (W)	FATOR DE POTÊNCIA (FP)	ÂNGULO DE ABERTURA (°)	TENSÃO (V)	TEMP. COR. (K)	FLUXO LUMINOSO (lm)	EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/w)	BASE	I.R.C.	MEDIDAS (DxC) (mm)	PESO (g)	COD. BARRAS
TUBULAR G13	185.04.0664	T8-LED-G13-9,9-190-30-3C	9,9	16	60	≥0,92	190	AUTOVOLT	3000	900	90,9	G13	≥80	28x600	119,5	7899605532107
	185.04.0259	T8-LED-G13-9,9-190-40-3C	9,9	16	60	≥0,92	190	AUTOVOLT	4000	900	90,9	G13	≥80	28x600	119,5	7899605522016
	185.04.0261	T8-LED-G13-9,9-190-65-3C	9,9	16	60	≥0,92	190	AUTOVOLT	6500	900	90,9	G13	≥80	28x600	119,5	7899605522023
	185.04.0265	T8-LED-G13-20-190-30-3C	20	33	120	≥0,92	190	AUTOVOLT	3000	1860	93,0	G13	≥80	28x1200	224	7899605532114
	185.04.0266	T8-LED-G13-20-190-40-3C	20	33	120	≥0,92	190	AUTOVOLT	4000	1860	93,0	G13	≥80	28x1200	224	7899605521996
	185.04.0267	T8-LED-G13-20-190-65-3C	20	33	120	≥0,92	190	AUTOVOLT	6500	1860	93,0	G13	≥80	28x1200	224	7899605522566
T8 40W	185.04.0275	T8-LED-G13-40-150-40-3C	40	67	240	≥0,92	150	AUTOVOLT	4000	3850	96,3	G13	≥80	37x2365,8	600	7899605529169
	185.04.0276	T8-LED-G13-40-150-65-3C	40	67	240	≥0,92	150	AUTOVOLT	6500	3850	96,3	G13	≥80	37x2365,8	600	7899605529176

CARACTERÍSTICAS

- BAIXO CONSUMO DE ENERGIA;
- RESISTENTE A VIBRAÇÕES;
- SEM EMISSÃO DE UV E IV;
- ACENDIMENTO INSTANTÂNEO;
- ÓTIMO I.R.C.

APLICAÇÕES

IDEAL PARA ILUMINAÇÃO EM GERAL. PODEM SER INSTALADAS TODAS AS LUMINÁRIAS COM BASE G13.



ANEXO C

LED Tube Glass ←

LÂMPADAS

LED

COMERCIAIS / RESIDENCIAIS



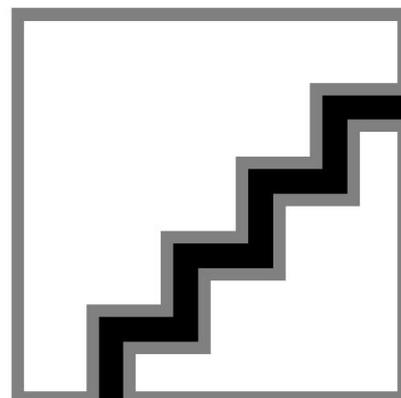
Dimensões		
	C	B
9W	604mm	Ø28mm
18W	1214mm	Ø28mm

Código	Modelo	Potência	Equivalência Fluorescente T8	Temperatura de Cor	Fluxo Luminoso	Código de Barras	Caixa
11416	GLASS	9W	T8 60cm	4.000K	900lm	7899710008283	10/30 unid.
11417	GLASS	9W	T8 60cm	6.500K	900lm	7899710008306	10/30 unid.
11418	GLASS	18W	T8 120cm	4.000K	1.850lm	7899710008290	10/30 unid.
11419	GLASS	18W	T8 120cm	6.500K	1.850lm	7899710006975	10/30 unid.

MULTITENSÃO
100-240VVIDA ÚTIL (L70)
25.000hÂNGULO DE
ABERTURA 320°BASE
TIPO G13

KIAN, QUALIDADE QUE ILUMINA O SEU DIA A DIA

ANEXO D



MASTER LEDtube GA

Master LEDTube 1200 mm 18W 865 T8 I W

A Philips MASTER LEDtube integra uma fonte de luz LED ao formato de uma lâmpada fluorescente tradicional. Seu desenho exclusivo cria uma aparência perfeitamente uniforme similar a uma fluorescente tradicional. Esse produto é a solução ideal para atualização de lâmpadas em aplicações de iluminação geral.

Dados do produto

Informações gerais

Casquilho	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Principal aplicação	Industrial
Vida útil nominal (Nom.)	50000 h
Ciclo de comutação	50000X
B50L70	50000 h

Dados técnicos de luz

Código da cor	865 [TCC de 6500K]
Ângulo do feixe (Nom.)	160 °
Fluxo luminoso (Nom.)	2100 lm
Fluxo luminoso (nominal) (Nom.)	2100 lm
Ângulo do feixe nominal	160 °
Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	6500 K
Eficiência luminosa (nominal) (Nom.)	116,00 lm/W
Consistência da cor	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	82
LLMF no final da vida útil nominal (Nom.)	70 %

Dados elétricos e de operação

Frequência de entrada	50 a 60 Hz
Power (Rated) (Nom)	18 W
Corrente de lâmpada (Máx.)	210 mA

Corrente de lâmpada (Min.)	74 mA
Tempo de arranque (Nom.)	0,5 s
Tempo de aquecimento até 60% de luz (Nom.)	0,5 s
Fator de potência (Nom.)	0,92
Corrente de lâmpada a 127 V	145 mA
Corrente de lâmpada a 220V	83 mA
Tensão (Nom.)	100-240 V

Temperatura

Temperatura ambiente (Máx.)	45 °C
Temperatura ambiente (Mín.)	-20 °C
Temperatura de armazenamento (Máx.)	65 °C
Temperatura de armazenamento (Mín.)	-40 °C
T-máxima na caixa (Nom)	55 °C

Controles e dimerização

Regulável	Não
-----------	-----

Dados mecânicos e de compartimento

Comprimento do produto	1200 mm
------------------------	---------

Aprovação e aplicação

Etiqueta de Eficiência Energética (EEL)	A+
---	----