

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MICHELLE MENEZES FERREIRA

**EFICIENTIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA
DIFERENTES TIPOS DE SALA DE AULA**

CURITIBA

2021

MICHELLE MENEZES FERREIRA

**EFICIENTIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA
DIFERENTES TIPOS DE SALA DE AULA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, Curso de Especialização em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. João da Silva Dias

Coorientador: Prof. Dr. James Baranuik

CURITIBA

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA -
40001016317E1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de MICHELLE MENEZES FERREIRA intitulada: EFICIENTIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE SALA DE AULA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 19 de fevereiro de 2022.

João da Silva Dias

Presidente da Banca Examinadora

Luiz Antonio Belinaso

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Prof. Eng. LUIZ ANTONIO BELINASO
Chefe do Departamento de Eng. Elétrica
Matrícula UFPR 98094

Dedico a minha mãe e irmãos, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim, sempre me dando força e coragem para eu chegar até essa etapa da minha vida. E especialmente em memória de meus avós, e do meu pai que foi minha inspiração.

Michelle M. Ferreira

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas de grande importância que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço a meus amigos de curso, e a todos os professores que de alguma forma fizeram parte dessa trajetória. E para finalizar aos meus professores orientadores Prof. Dr. João Dias e Prof. Dr. James Baranuik pela orientação e paciência.

RESUMO

Este trabalho mostra a possibilidade de eficientizar um ambiente, considerando os requisitos indicados pela norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, com foco na qualidade da iluminação aliado a economia de energia. Poderá ser observado estudos de caso, em diferentes tipos de sala de aula e laboratórios, os quais foram analisados como estão atualmente e propostas algumas soluções com as tecnologias de anti-ofuscamento, troca de luminárias, posição das luminárias, e até mesmo quantidade de luminárias nas salas de aula, para atender os requisitos de qualidade proporcionando uma melhor execução das tarefas realizadas no ambiente. Para cada solução proposta foi realizado simulações no DIALux Evo, para obter a iluminância média, o índice UGR (índice de ofuscamento) e o fator de uniformidade da iluminação do ambiente, em seguida foi feito uma análise comparativa das condições iniciais com as soluções propostas em cada caso. Nas soluções propostas verificou-se que aumentando a quantidade de luminárias nos laboratórios é possível reduzir problemas de ofuscamento existentes, e para não aumentar o consumo de energia, projetou-se as novas luminárias como complemento para ser acionadas somente quando necessário. Foi proposta também uma solução para sala de videoconferência para filmar as aulas sem contrastes ou ofuscamentos garantindo que seja possível assistir as aulas enxergando o professor, o quadro branco e projetores, a proposta foi criar uma iluminação de estúdio. Considerando a potência instalada em cada sala de aula, foi possível escolher as soluções propostas que melhor atendem os requisitos de qualidade de iluminação, para execução das tarefas específicas no ambiente, garantindo conforto e preservando a saúde de todos, com o menor consumo energético mantendo a eficientização.

Palavras-chave: Eficientização DIALux .Iluminância. Ofuscamento. UGR.

ABSTRACT

The study accomplished shows the possibilities to make a study ambient efficient taking in account the requirements indicated from the Brazilian rule ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 focusing on illumination quality, besides saving energy. Different kinds of classrooms and an electronic laboratory can be verified in case studies, which have been analysed how they are currently and have also proposed some solutions based on anti glare technologies, changing models of lamps, their position and the amount of them applied in the classrooms, in order to attend the quality requested providing a better execution of tasks performed in study ambients. For each proposed solution it has been fulfilled plenty of simulations on DIALux Evo, so as to get medium illuminance, furthermore, both UGR index and the uniformity factor of ambient illumination. Moreover, the next step which is a comparative analysis of preview condition against the proposed solutions in each case. In the proposed solutions it was verified that is possible to reduce glare issues in the laboratories throughout the amount of lamps installed, and to not increase the energy consumption, it was designed the newest lamps as a complement, to turn it on only when it is required. It was also proposed a solution to record the classes without either contrast or glare in the videoconference room, making possible watching the classes seeing the teacher, board and the images clearly, this proposal it was to create a studium illumination. All in all, taking in account the power installed in each ambient, that has made the choice of the best solutions possible to attend the illumination quality required to do the tasks inside the study ambientes, with less energy consumption, making it efficient.

Key words: Dialux Eficientization . Illuminance. Blurring. UGR.0

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ILUMINÂNCIA.....	15
FIGURA 2- LUMINÂNCIA.....	16
FIGURA 3 - ZONA DE OFUSCAMENTO	20
FIGURA 4 – ÂNGULO DE CORTE.....	21
FIGURA 5 - SOFTBOX.....	25
FIGURA 6 - WALL WASHERS.....	26
FIGURA 7 - CATÁLOGO LÂMPADAS LED PROCEL.....	29
FIGURA 8 - LINHAS ISOMÉTRICAS CONDIÇÃO INICIAL SALA PK-7	32
FIGURA 9- LINHAS ISOMÉTRICAS SOLUÇÃO 1 SALA PK-7.....	34
FIGURA 10 - LINHAS ISOMÉTRICAS SOLUÇÃO 2 SALA PK-7.	35
FIGURA 11 - LINHAS ISOMÉTRICAS SOLUÇÃO 3 SALA PK-7.	36
FIGURA 12 - LINHAS ISOMÉTRICAS CONDIÇÃO INICIAL SALA LAMMI.....	38
FIGURA 13- LINHAS ISOMÉTRICAS SOLUÇÃO SALA LAMMI.....	39
FIGURA 14 LINHAS ISOMÉTRICAS CONDIÇÃO INICIAL SALA PL-6.....	41
FIGURA 15 - LINHAS ISOMÉTRICAS SOLUÇÃO SALA PL-6.	42
FIGURA 16 - LINHAS ISOMÉTRICAS CONDIÇÃO INICIAL SALA PL-7.	44
FIGURA 17 - LINHAS ISOMÉTRICAS SOLUÇÃO SALA PL-7.	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ILUMINÂNCIA DA TAREFA E DO ENTORNO IMEDIATO.....	18
TABELA 2 - LUMINÂNCIA DA LÂMPADA E ÂNGULO DE CORTE MÍNIMO.....	20
TABELA 3 - TEMPERATURA DE COR.....	23
TABELA 4 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS CONDIÇÃO INICIAL SALA PK-7	33
TABELA 5 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS PROPOSTA 1 SALA PK-7	34
TABELA 6 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS PROPOSTA 2 SALA PK-7	36
TABELA 7 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS PROPOSTA 3 SALA PK-7.	37
TABELA 8 - RESULTADOS SALA PK-7.....	37
TABELA 9 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS CONDIÇÃO INICIAL SALA LAMMI.....	39
TABELA 10 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS PROPOSTA SALA LAMMI.....	40
TABELA 11 - RESULTADOS SALA LAMMI.....	40
TABELA 12 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS CONDIÇÃO INICIAL SALA PL-6.....	42
TABELA 13 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS PROPOSTA SALA PL-6.....	43
TABELA 14 - RESULTADOS SALA PL-6.	43
TABELA 15 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS CONDIÇÃO INICIAL SALA PL-7	45
TABELA 16 - CÁLCULO (UGR) NOS PONTOS ESPECÍFICOS PROPOSTA SALA PL-7.....	46
TABELA 17 - RESULTADOS SALA PL-7.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia elétrica</i>
CIE	<i>Comissão Internacional de Iluminação</i>
COPEL	<i>Companhia Paranaense de Energia Elétrica</i>
COVID	<i>Corona vírus disease</i>
FUNPAR	<i>Fundação da Universidade Federal do Paraná</i>
INMETRO	<i>Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)</i>
LAMMI	<i>Laboratório de Magnetismo e Medidas e Instrumentação</i>
LED	<i>Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)</i>
MME	<i>Ministério de Minas e Energia</i>
NBR	<i>Norma Brasileira</i>
PBE	<i>Programa Brasileiro de etiquetagem</i>
PROCEL	<i>Programa nacional de conservação de energia elétrica</i>
Ra	<i>Reprodução de cor</i>
TCP	<i>Temperatura de cor correlata</i>
UFPR	<i>Universidade Federal do Paraná</i>
UGR	<i>Unified Glare Rating (índice de ofuscamento unificado)</i>
UGRL	<i>Índice de Ofuscamento. Global Limite</i>

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - REQUISITOS DE ILUMINAÇÃO RECOMENDADOS PARA DIVERSAS TAREFAS.....	27
---	----

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral.....	13
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	ILUMINÂNCIA.....	15
2.2	LUMINÂNCIA	16
2.2.1	Distribuição da luminância.....	17
2.2.2	Cálculo da iluminância.....	18
2.3	UNIFORMIDADE	18
2.4	CONTRASTE	19
2.5	OFUSCAMENTO	19
2.5.1	Proteção contra ofuscamento.....	20
2.5.2	Índice de ofuscamento unificado (UGR).....	21
2.6	DIRECIONALIDADE DA LUZ.....	22
2.7	ASPECTOS DA COR E SUPERFÍCIES.....	23
2.7.1	Aparência da cor	23
2.7.2	Reprodução de cor	24
2.8	MANUTENÇÃO.....	24
2.9	ILUMINAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRABALHO COM MONITORES DE VÍDEO E SALAS DE VÍDEOCONFERÊNCIAS	24
2.9.1	Salas de videoconferências.....	25
2.10	REQUISITOS PARA O PLANEJAMENTO DA ILUMINAÇÃO.....	26
2.11	CONFORTO VISUAL	28
2.12	NÍVEL DE ILUMINAÇÃO.....	28

2.13	ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	28
3	METODOLOGIA	30
4	RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1	DESCRITIVO DO PROJETO	31
4.2	CASO 1: estudo da sala PK-7	32
4.2.1	Proposta 1	33
4.2.2	Proposta 2	35
4.2.3	Proposta 3	36
4.3	CASO 2: estudo da sala LAMMI (LABORATÓRIO DE MAGNETISMO E MEDIDAS E INSTRUMENTAÇÃO).....	38
4.3.1	Proposta 1	39
4.4	CASO 3: estudo da sala PL-6	41
4.4.1	Proposta 1	42
4.5	CASO 4: estudo da sala PL-7	44
4.5.1	Proposta 1	45
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
	APÊNDICE A.....	52
	APÊNDICE B.....	53
	APÊNDICE C.....	54
	APÊNDICE D.....	55
	APÊNDICE E.....	56
	APÊNDICE F.....	57
	APÊNDICE G.....	58
	APÊNDICE H.....	59
	APÊNDICE I.....	60
	APÊNDICE J.....	61

1 INTRODUÇÃO

Uma boa iluminação favorece a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas se movam com segurança, e realizem tarefas visuais de maneira eficiente, sem causar desconforto visual ou danos a saúde. A iluminação adequada favorece o desempenho visual e influencia no aproveitamento e na aprendizagem.

Como o prédio universitário é um ambiente de aprendizado, deve fornecer aos estudantes um ambiente estimulante e adequado. Esse ambiente em que o aluno está inserido vai influenciar diretamente no seu desenvolvimento intelectual e na sua saúde, nesse caso uma iluminação bem dimensionada é de extrema importância.

Com o surgimento da pandemia de covid-19, todos tiveram que viver em isolamento social para não contrair e nem transmitir o vírus, nesse momento não havia vacina e a situação não estava controlada, por isso as escolas e as universidades tornaram-se virtuais. Tornando-se necessário filmar as aulas para que os alunos pudessem assistir em casa, surgindo um novo desafio, filmar o professor, a imagem projetada e o quadro branco, de maneira que os alunos consigam ver claramente sem reflexos ou ofuscamentos.

Mesmo após o retorno das aulas presenciais, provavelmente gravar as aulas em vídeo se tornará uma rotina, devido às facilidades que elas proporcionam. Uma das facilidades é poder assistir as aulas mesmo distante, também traz economia, por isso é preciso melhorar as filmagens de maneira que fique visível para quem assistir no outro lado.

Realizar diversas tarefas com níveis inadequados de iluminação tanto naturais como artificiais podem causar desconforto, fadiga visual, dificuldade de visão, dor de cabeça e distração na realização tarefa.

Com base na norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e uso de simuladores de qualidade de iluminação, como DIALux Evo1, busca-se solucionar possíveis problemas de iluminação em diferentes tipos de sala de aula, como ofuscamento, sombras de obstáculos entre as lâmpadas e o plano de trabalho, a altura onde se encontram as luminárias entre outros.

¹ DIALux Evo. site: www.dialux.com/en-GB/download

1.1 JUSTIFICATIVA

A iluminação das salas de aula, geralmente é projetada considerando a quantidade mínima de iluminância necessária, mas não consideram as tarefas que serão realizadas no local, pois cada tarefa exige uma quantidade diferente de iluminância.

A iluminação solar ou mesmo as luminárias podem atrapalhar para enxergar o que está escrito no quadro, devido a reflexos e ofuscamento, que estão dispostas em lugares inadequados. O estudo realizado neste trabalho foi motivado para solucionar problemas de iluminação existentes em diferentes tipos de salas de aula (sala de aula comum, laboratórios e sala de videoconferência). Com base nos requisitos de iluminação recomendados na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, propor soluções de máxima eficiência energética, com iluminação adequada para cada ambiente específico. Resultando em maior conforto e qualidade para a realização das tarefas nas salas de aula da universidade, além de preservar a saúde de todos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo demonstrar que é possível aliar soluções de efficientização com qualidade e conforto de iluminação para as salas de aula da Universidade. A norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 que regulamenta a iluminação de ambientes de trabalho, trás os parâmetros para criar as condições visuais confortáveis, respeitando os requisitos de segurança, saúde e um desempenho eficiente de trabalho. Com esse estudo busca-se atingir tais valores usando soluções energeticamente eficientes.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Propor soluções de iluminações modernas, eficientes, econômicas e adequadas para ambientes de sala de aula;
- b) Propor e avaliar uma solução eficiente para aulas com gravação em vídeo;
- c) Propor solução para os problemas de ofuscamento nas salas de aula.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo tem-se a introdução, justificativa e os objetivos gerais e específicos que motivaram a pesquisa, apresentação do problema do dimensionamento da luz nas edificações.

No segundo capítulo encontram-se as revisões bibliográficas da norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e de artigos acerca da iluminação em escolas e universidades, que estabelece o nível atual da pesquisa, apresentando também os conceitos e definições relacionados à iluminação que serão utilizados no decorrer do estudo.

No terceiro capítulo é descrito a metodologia utilizada para realizar a pesquisa.

O quarto capítulo descreve as simulações que foram realizadas para encontrar a melhor solução, que combina a máxima eficiência energética com requisitos mínimos de iluminação baseados em norma, para cada tipo de ambiente.

O quinto capítulo apresenta conclusões e soluções, comentando perspectivas para futuras pesquisas.

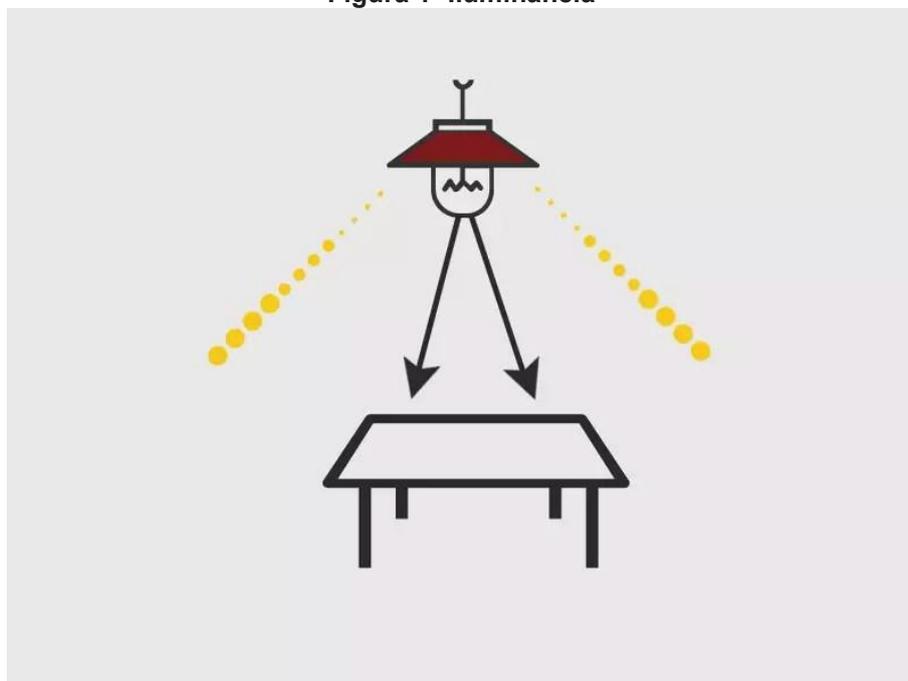
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma iluminação adequada em locais de trabalho não é somente fornecer uma boa visualização da tarefa a ser executada, e sim que as tarefas sejam realizadas de maneira fácil, com conforto e com boa reprodução de cores. A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1(2013, p.2) define que “a iluminação deve satisfazer os aspectos qualitativos e quantitativos do ambiente” garantindo conforto visual, desempenho e segurança. Para que isso seja possível requer atenção aos seguintes parâmetros.

2.1 ILUMINÂNCIA

A iluminância é medição da quantidade de luz que sai da luminária e incide em uma superfície plana. É uma medida, que não pode ser vista. Como apresentado na Figura 1.

Figura 1- Iluminância



Fonte: blog.iluminim.com.br

Está relacionada ao fluxo luminoso de uma superfície plana em direção vertical, a unidade de medida é o lux (lx). Sendo um lux igual a um lúmen por metro quadrado (lm/m^2). A iluminância é representada pelo símbolo “E” e pode

ser representada em função do fluxo luminoso e da área, como mostra a equação 1.

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (1)$$

Onde:

E= iluminância (lux);

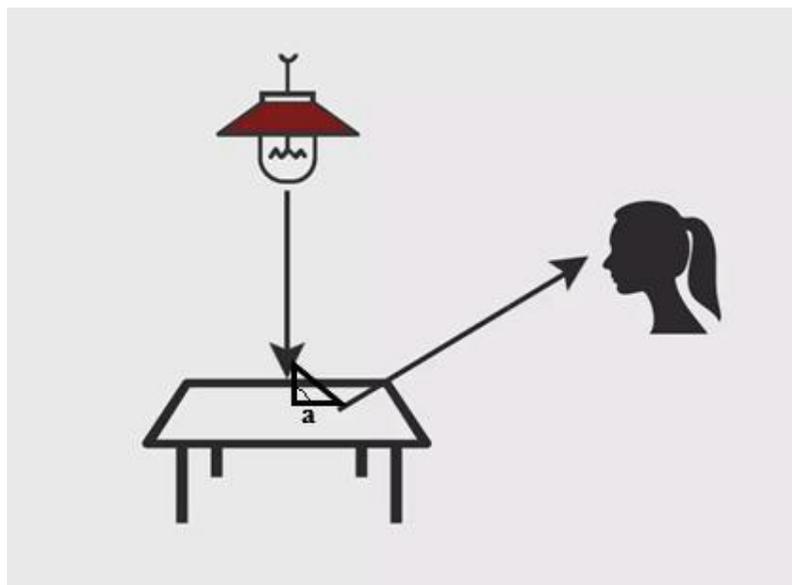
ϕ = Fluxo luminoso (Lumens);

A= área (m²).

2.2 LUMINÂNCIA

A luminância é a medição da luz que sai da superfície específica em um determinado ângulo. É a luz que o observador percebe na visão, ela indica quanta energia o olho humano percebe quando refletido por um objeto. Como apresentado na Figura 2.

Figura 2- Luminância



Fonte: blog.iluminim.com.br

A intensidade luminosa refletida pela superfície divide-se em várias áreas

que o olho pode ver, como mostra a equação 2.

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\alpha)} \quad (2)$$

Onde:

L = luminância (cd/m²);

I = intensidade luminosa (cd);

A = área projetada (m²);

α = ângulo considerado em graus.

2.2.1 Distribuição da luminância

A distribuição da luminância no campo de visão influencia os níveis de adaptação dos olhos afetando a visibilidade da tarefa. De maneira geral afeta a nitidez da visão, a sensibilidade ao contraste e a eficiência das funções oculares.

Para uma superfície difusa, a luminância está relacionada com a refletância da superfície. Pelo conceito de iluminância média no plano de trabalho, é possível encontrar a luminância média relacionando com a refletância da superfície, como mostra a equação 3.

$$L = \rho \frac{E}{\pi} \quad (3)$$

Onde:

L = Luminância (cd/m²);

ρ = refletância ou coeficiente de reflexão (adimensional);

E = iluminância sobre a superfície (lux).

2.2.2 Cálculo da iluminância

A iluminância no entorno imediato impacta como uma pessoa realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. Os valores de iluminância média para cada tarefa não podem estar abaixo do recomendado na Seção 5 da norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 independentemente da idade e condições da instalação. Esses valores são válidos para condição visual normal e levam em conta os requisitos para a tarefa visual, segurança, aspectos psicofisiológicos (conforto visual, bem-estar), economia e experiência prática.

A iluminância da área da tarefa necessita de uma distribuição balanceada da luminância no campo de visão.

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, recomenda que a iluminância do entorno imediato pode ser mais baixa que a iluminância da área da tarefa, mas não pode ser inferior aos valores da Tabela 1 apresentada na sequência.

Tabela 1 - Iluminância da tarefa e do 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: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

2.3 UNIFORMIDADE

A uniformidade é a distribuição de iluminâncias na área da tarefa. Ela é a razão entre iluminância mínima e a iluminância média, como mostra a equação 4.

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (4)$$

A iluminância sobre área da tarefa deve ser mais uniforme possível, não podendo ser menor que 0,7 e a uniformidade no entorno imediato não pode ser menor que 0,5.

2.4 CONTRASTE

A diferença de luminâncias resulta em contrastes de cores. Pode ser representado em função da luminância do objeto e a luminância do seu entorno, como mostra a equação 5.

$$C = \frac{(L_{objeto} - L_{fundo})}{L_{fundo}} \quad (5)$$

Onde:

C = contraste;

L objeto = luminância do objeto ou tarefa;

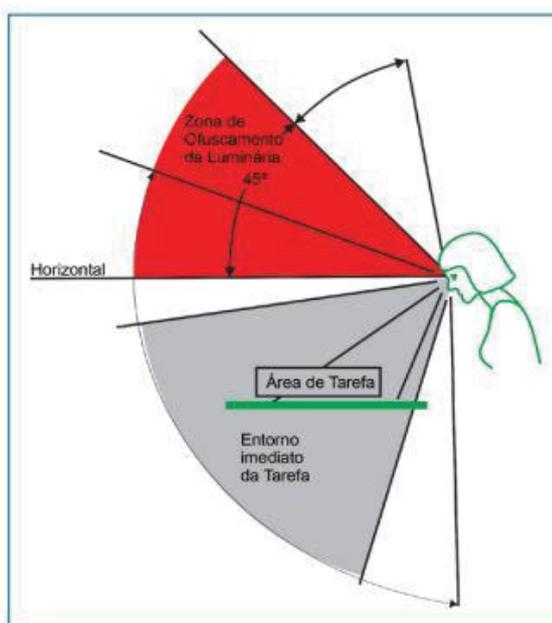
L fundo = luminância do entorno.

O aumento do contraste entre o objeto e seu entorno aumenta a visibilidade sem necessidade de aumentar a iluminação. Mas se houver aumento excessivo do contraste então haverá ofuscamento.

2.5 OFUSCAMENTO

O ofuscamento pode ser definido como áreas brilhantes no campo de visão. Nos ambientes de trabalho, pode surgir de luminárias e janelas. Ele é causado por excesso de luminâncias ou contrastes que pode prejudicar a visualização dos objetos. Na Figura 3 apresenta a zona de ofuscamento das luminárias.

Figura 3 - zona de ofuscamento



Fonte: www.lumearquitetura.com.br

E o contraste é determinado pela diferença na cor, ou luminância que torna um objeto distinguível.

2.5.1 Proteção contra ofuscamento

Recomenda-se que as lâmpadas sejam devidamente protegidas visualmente, utilizando difusores é possível minimizar o ofuscamento excessivo.. De acordo com a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 o ângulo de corte mínimo para proteção de visualização direta das lâmpadas elétricas não pode ser menor que os valores estabelecidos na Tabela 2.

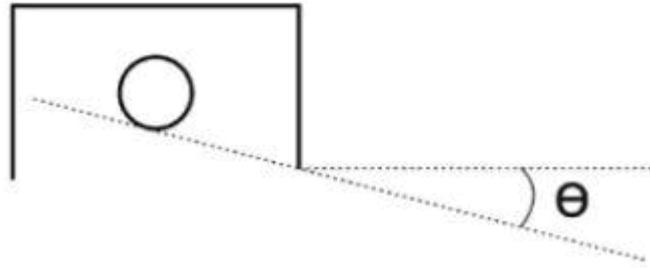
Tabela 2 - Luminância da lâmpada e ângulo de corte mínimo

Luminância da lâmpada kcd/m ²	Ângulo de corte mínimo
1 a 20	10°
20 a 50	15°
50 a 500	20°
≥ 500	30°

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

A Figura 4 apresenta o ângulo (θ) de corte.

Figura 4 – Ângulo de corte



Fonte: www.lumearquitetura.com.br

2.5.2 Índice de ofuscamento unificado (UGR)

Ele determina o índice de desconforto causado por um sistema de iluminação. Para os interiores recomenda-se que os índices UGR não excedam os limites UGR, previsto nas tabelas da Seção 5 da norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

O ofuscamento desconfortável de uma instalação deve ser determinado pelo método tabular do índice de Ofuscamento Unificado da CIE (UGR), baseado na equação 6:

$$\text{UGR} = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right) \quad (6)$$

Onde:

- L_b é a luminância de fundo (cd/m^2);
- L é a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m^2);
- ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano);

- p é o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão.

Se houver diferentes tipos de luminárias com diferentes tipos de fotometrias o maior valor de UGR encontrado deve ser considerado o valor para instalação inteira e deve estar conforme o UGR limite. Esse índice não deve exceder o valor dado na Seção 5 da norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, os detalhes do método são dados na CIE 117-1995. Na escala UGR cada valor de referência apresenta uma mudança significativa no efeito do ofuscamento, e o valor 13 representa o ofuscamento menos perceptível.

A escala UGR é: 13 – 16 – 19 – 22 – 25 – 28.

O ofuscamento refletido altera a visualização da tarefa e é prejudicial, podendo ser evitado ou reduzido da seguinte maneira:

- Distribuição de luminárias nos locais de trabalho;
- Acabamento superficial (utilizar superfícies com matérias poucos reflexivos);
- Luminância das luminárias (limite);
- Aumento da área luminosa da luminária (ampliar a área luminosa);
- Teto e as superfícies da parede (clarear, evitar pontos brilhantes).

2.6 DIRECIONALIDADE DA LUZ

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 define que a direcionalidade da luz pode ser utilizada para melhorar a aparência das pessoas. A Modelagem é um critério da qualidade da iluminação em praticamente todos os tipos de ambientes internos que se refere entre a luz difusa e direcional. Quando as pessoas e objetos de um ambiente são iluminados de maneira que as texturas sejam claramente reveladas e de forma agradável, pode-se dizer que esse ambiente tem sua aparência geral realçada. Isso ocorre quando as sombras são formadas sem confusão.

A iluminação em uma direção específica revela detalhes de uma tarefa visual, de forma que se aumenta sua visibilidade faz com a tarefa seja realizada mais facilmente.

2.7 ASPECTOS DA COR E SUPERFÍCIES

A qualidade da cor de uma lâmpada próxima à cor branca é caracterizada pela aparência da cor da própria lâmpada e sua capacidade de reprodução de cor que afeta a aparência dos objetos e pessoas iluminadas pela lâmpada.

2.7.1 Aparência da cor

A aparência de cor pode ser descrita pela sua temperatura de cor correlatada (Tcc) que é a cor emitida pela lâmpada ou luminária, representado pela unidade de temperatura (K) Kelvin. As lâmpadas normalmente são divididas em três grupos, de acordo com sua temperatura de cor correlata (Tcc) apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Temperatura de cor

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata
quente	abaixo de 3.300 K
intermediária	3.300 K a 5.300 K
fria	acima de 5.300 K

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

A escolha da aparência da cor depende da aplicação, por exemplo, a luz quente traz maior sensação de conforto e relaxamento, é indicado para locais onde é necessário repouso como quartos, salas de jantar e estar, restaurantes e outros, a luz fria é indicada para locais que precisam de mais atenção, como escritórios, fábricas, cozinhas, lavanderias e outros.

2.7.2 Reprodução de cor

É importante para que as cores dos objetos e pessoas sejam reproduzidas. Para medir a reprodução de cor, utiliza-se o índice geral de reprodução de cor (Ra), que tem o valor máximo de 100, se a qualidade da reprodução de cor diminuir, esse número diminui. Para locais onde se trabalha ou permanece por longos períodos, não é recomendada a utilização de lâmpadas com Ra menor a 80. Na seção 5 da norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 encontram-se os valores mínimos recomendados do índice geral de reprodução de cor (Ra) para diferentes tipos de ambientes internos, tarefas ou atividades.

2.8 MANUTENÇÃO

A manutenção depende das características de manutenção da lâmpada, da luminária, do ambiente e do programa de manutenção. Recomenda-se que o projeto de iluminação seja desenvolvido com o fator de manutenção calculado, e não é recomendado que esse fator seja inferior 0,70.

É conveniente que um sistema de iluminação atenda aos requisitos de iluminação de um ambiente específico, para realização de uma tarefa sem desperdício de energia. Porém é importante não comprometer os aspectos visuais para reduzir o consumo de energia.

2.9 ILUMINAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRABALHO COM MONITORES DE VÍDEO E SALAS DE VÍDEOCONFERÊNCIAS

A iluminação deve ser adequada para todas as tarefas realizadas na estação de trabalho, pensando nisso devem escolher os critérios de iluminação, de acordo com a atividade. Os monitores podem receber ofuscamento desconfortável, por isso é necessário selecionar e gerenciar as luminárias, para evitar desconforto por reflexões de alto brilho. Deve-se determinar a zona de montagem e planejar posições de montagem que não causem reflexos.

2.9.1 Salas de videoconferências

Wilson Teixeira (2016, p.1) Uma iluminação de qualidade para uma sala de videoconferência significa atender às necessidades técnicas da câmera, boa visualização de monitores, uniformidade e brilho equilibrados.

A videoconferência está se tornando um apoio à vida empresarial e acadêmica. As comunicações instantâneas estão se popularizando, permitindo interações entre as pessoas à distância.

Para funcionar adequadamente, a câmera de vídeo precisa de uma quantidade mínima de luz, ela converte a luz que entra pela lente em sinal eletrônico. A maioria das câmeras consegue gravar imagens em condições de luminância muito baixa. Mas usar níveis inadequados de luz podem gerar efeitos indesejáveis. Quando não tem luz refletida dos objetos cria-se ruído, conhecido como chuvisco. Em uma videoconferência não somente é importante a imagem captada pela câmera para ser transmitida, mas também como será vista a imagem que chega vinda do outro local. Essa interação exige aparência visual natural.

Para uma boa distribuição de luz nas transmissões em vídeo, deve-se considerar luz principal, luz de enchimento e luz de fundo. A luz principal é a luz mais importante, é uma luz direta frontal em relação ao rosto da pessoa. As luminárias são adequadas desde que sejam protegidas e tenham uma iluminação com maior intensidade luminosa. Luz de enchimento suaviza as sombras resultantes da luz principal, equilibrando as sombras. Pode ser utilizado um softbox que é uma iluminação voltada para estúdio, utilizado para fotografias e filmagens como apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Softbox



Fonte: Trilho Fixo Teto 2metros - Media Tools: produtos para fotografia, vídeo e áudio

Luz de fundo é projetada para cair sobre as superfícies verticais por trás dos participantes, ajudando a separar os participantes do fundo e trazer profundidade para a cena. Essa luz deve ser uniforme para reduzir as distorções decorrentes da gama limitada de contrastes da câmera. Vários tipos de luminárias são adequados, incluindo iluminação perimetral com Wall Washers como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Wall washers



Fonte: Lumicenter

2.10 REQUISITOS PARA O PLANEJAMENTO DA ILUMINAÇÃO

A Seção 5 da norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, estabelece os requisitos de iluminação recomendados para diversos ambientes e atividades. No quadro 1 está a parte que se refere as construções educacionais, na primeira coluna está descrito o tipo de ambiente, tarefa ou atividade, na segunda coluna está a iluminância média recomendada para o tipo de ambiente, na terceira coluna está o índice de ofuscamento recomendado (UGRL), na quarta coluna está o índice de reprodução de cor (Ra), e na quinta coluna do quadro tem as observações que são específicas para o ambiente.

QUADRO 1 - Requisitos de iluminação recomendados para diversas tarefas

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR_L	R_a	Observações
28. Construções educacionais				
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	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	$T_{cp} > 5\ 000\ K.$
Salas de desenho técnico	750	16	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	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
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	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 1984.
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
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	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 1984.

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

2.11 CONFORTO VISUAL

Para uma boa iluminação precisa ter uma intensidade suficiente de luz no local de trabalho, um direcionamento adequado, proporcionar boa definição de cores e nenhum ofuscamento. Os ambientes são iluminados para permitir que seja desenvolvido tarefas visuais (como leitura, visão, manufatura e consertos). O conforto visual é um conjunto de condições num determinado ambiente para que o ser humano consiga desenvolver suas tarefas com precisão visual, com menor risco de prejuízo visual e com baixos riscos de acidentes. Essas condições são classificadas como iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, contrastes adequados.

2.12 NÍVEL DE ILUMINAÇÃO

É importante escolher adequadamente a fonte de luz artificial e balancear a qualidade e a quantidade de iluminação no ambiente. Pode-se dizer que quanto mais complicada a tarefa maior deverá ser o nível de iluminação, caso ela for inadequada pode causar cansaço visual, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes.

2.13 ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O aquecimento na economia gera aumento no consumo de energia e traz mais qualidade de vida para a população. Mas o aumento no consumo pode trazer impactos negativos podendo esgotar os recursos naturais utilizados para a produção dessa energia. Para conter o crescimento do consumo de energia elétrica sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento da economia, incentiva-se um consumo eficiente.

O Ministério de Minas e Energia (MME) tem aplicado esse incentivo através do Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e da legislação que determina que as distribuidoras de energia elétrica, destinem

parte da sua receita operacional líquida a programas e ações direcionados a eficiência energética.

A ANEEL (Agência nacional de Energia Elétrica) regulamenta os investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética (EE), incentivando a busca constante por inovações, promovendo o uso eficiente da energia elétrica, associando às ações de combate ao desperdício.

O objetivo do P&D (Programa de Pesquisa e Desenvolvimento) é promover pesquisa, incentivando empresas através de iniciativas desenvolver conhecimento e transformar boas ideias, ele estimula a pesquisa e o desenvolvimento no setor elétrico brasileiro.

O objetivo do PEE (Programa de Eficiência Energética) é promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia, através de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

Através da conscientização e da educação tem tentado estimular a população ao uso eficiente da eletricidade. Em 1993 em colaboração com o Programa Brasileiro de etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o Governo Federal emitiu um decreto instituindo o Selo Procel concedido anualmente para reconhecer a excelência energética do equipamento em relação aos disponíveis no mercado como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Catálogo Lâmpadas LED Procel



Fonte: Procel

3 METODOLOGIA

O método desenvolvido para este estudo de caso será baseado primeiramente em revisão da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, pesquisas sobre conceitos de luminotécnica, estudos da aplicação em ambientes escolares, e estudos para iluminação em salas de videoconferência. Este estudo de caso será desenvolvido no ambiente universitário, nas salas PK-7, LAMMI, PL-6, PL-7, essas salas estão nos blocos PL e PK pertencentes ao Departamento de engenharia elétrica. Elas foram escolhidas porque são distintas entre si, a PK-7 é uma sala de aula comum, ela tem carteiras para os alunos, para o professor e o quadro branco na frente, o LAMMI é um laboratório de magnetismo e medidas e instrumentação, tem bancadas para análises e medidas e um quadro branco, a PL-6 é um laboratório de eletrônica que tem bancadas para ensaios e análise mais minuciosa devido a manuseio de peças muito pequenas, e a PL-7 será destinada a sala de videoconferência, onde terá o quadro branco e possivelmente uma televisão, nessa sala será feito as filmagens das aulas em vídeo .

Para isso será feito simulações usando o software DIALux Evo com diferentes luminárias de diferentes classes, para cada caso será considerado o tipo da sala e para qual tarefas ela é destinada, e com base na norma será aplicado as condições de iluminância, luminância e ofuscamento (UGR) que são indicados para realizar as tarefas com qualidade.

Através de comparações entre os parâmetros (distribuição da iluminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, fator de uniformidade e potência instalada) será possível analisar e propor uma solução que consiga aliar a eficiência energética com os requisitos mínimos de qualidade de iluminação, considerando suas características específicas e fazendo com que nas salas de aula tenham o conforto e qualidade para a realização da tarefa específica no ambiente.

4 RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As salas de aula que foram escolhidas para o estudo já estão eficientizadas, porém sua iluminação não foi dimensionada de maneira específica para cada tarefa a ser realizada de acordo com a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, através do DIALux Evo foi feita várias simulações para encontrar uma solução ideal, aliando a máxima eficiência energética aos requisitos mínimos de iluminação de acordo com a norma.

4.1 DESCRITIVO DO PROJETO

As salas de aula foram eficientizadas, através do projeto de eficiência energética promovido pela Copel e regulado pela Aneel executado na UFPR, em parceria com a Fundação de Apoio (Funpar) que fez o projeto e a gestão administrativa e financeira. Foi feita a substituição das lâmpadas convencionais e fluorescentes por lâmpadas LED, promovendo a eficientização da iluminação reduzindo o consumo de energia elétrica, mas não foi considerada a especificidade do uso do ambiente que seria dimensionado essa iluminação.

O P&D permite a troca das lâmpadas existentes por sua equivalente LED, sem ampliar ou alterar o ambiente.

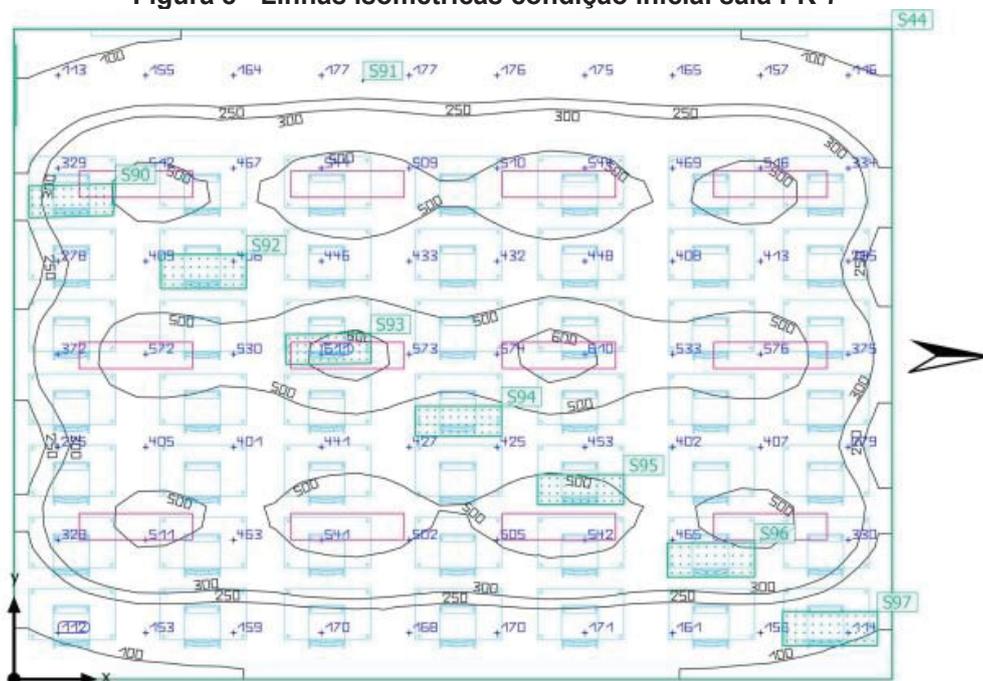
Para o estudo foram consideradas as salas de aula no turno da noite com as luzes acesas, para que não haja interferência de luz natural podendo causar contrastes e ofuscamento. Primeiramente mostra-se como estão os níveis de iluminância das superfícies, o fator de uniformidade, ofuscamento (UGR) e a potência instalada, em seguida as soluções possíveis, e por fim qual luminária que melhor atende a sala do estudo e a tarefa a ser desenvolvida no ambiente.

A Seção 5 da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 indica o valor de iluminância média, o fator de uniformidade, e (UGR) o ofuscamento permitido para cada tipo de ambiente, considerando a tarefa que é executado no local.

4.2 CASO 1: estudo da sala PK-7

A sala de aula PK-7 tem atualmente 12 luminárias modelo CAC01-S232 da marca lumicenter, utilizando o DIALux Evo foi feito análises para verificar o ofuscamento (UGR), o fator de uniformidade e a potência instalada na sala de aula. Na Figura 8 observa-se a disposição das luminárias e as linhas isométricas. Elas mostram os valores de iluminância e a uniformidade que chega a cada superfície e os pontos de estudo do ofuscamento.

Figura 8 - Linhas isométricas condição inicial sala PK-7



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice A pode-se verificar que a sala PK-07 está com 369lux médio. É um valor de iluminância menor que o valor indicado em norma, para as salas de aula que é 500lux. O fator de uniformidade ficou em 0,17, e a norma recomenda 0,7. Para verificar o valor de ofuscamento foram simulados pontos de cálculo com ângulo de vista de 0° a 360° com amplitude de passo de 15°, considerou-se para o cálculo 1,20m de altura, ou seja, os alunos sentados nas carteiras, e 1,70m de altura para o professor, ou seja, em pé para o cálculo do UGR. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos e que estão detalhados no apêndice A.

Tabela 4 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos condição inicial sala PK-7

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO
PROFESSOR EM PÉ	1,7	16,9	240°	15°	0°a 360°
PRIMEIRA CARTEIRA	1,2	20,8	75°	15°	0°a 360°
ÚLTIMA CARTEIRA	1,2	18,7	150°	15°	0°a 360°
QUARTA CARTEIRA	1,2	19,8	180°	15°	0°a 360°
SEGUNDA CARTEIRA	1,2	19,2	345°	15°	0°a 360°
TERCEIRA CARTEIRA	1,2	20,6	195°	15°	0°a 360°
QUINTA CARTEIRA	1,2	20	180°	15°	0°a 360°
SEXTA CARTEIRA	1,2	20,9	180°	15°	0°a 360°

Fonte: A AUTORA, 2021.

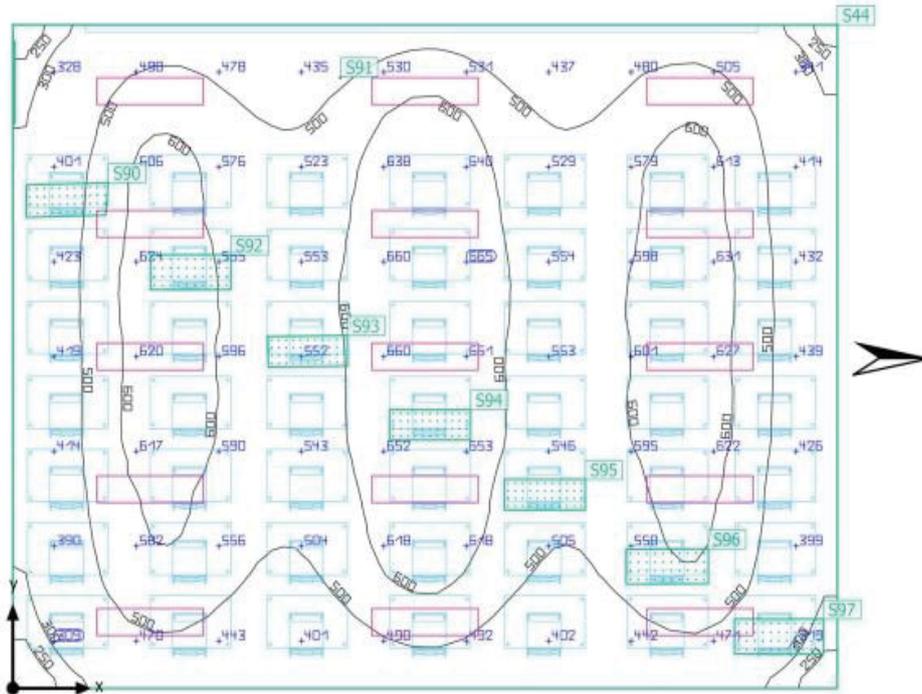
Na primeira coluna da tabela tem a região do ponto de cálculo considerado. Na segunda coluna tem a altura desse ponto que foi considerada para verificar o ofuscamento. A terceira coluna apresenta o valor do ofuscamento medido naquele ponto de cálculo, em vermelho significa que já passou do limite permitido em norma para a sala de aula e em verde que está dentro do permitido na norma. Na quarta coluna tem o encadeamento máximo em graus, que é o ângulo que foi encontrado o maior ofuscamento. Na quinta coluna tem a amplitude de passo, foi medido de 15° em 15° até encontrar o valor máximo, e na sexta coluna tem o ângulo total considerado no estudo.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) obtido foi de 20,9. A norma indica para a sala de aula o valor de $UGR \leq 19$. Portanto, o valor obtido está acima do valor indicado.

4.2.1 Proposta 1

Com base na norma o DIALux Evo define a iluminância e ofuscamento para a sala escolhida e calcula a quantidade necessária de luminárias. Utilizando o mesmo modelo CAC01-S232 da luminária já instalada na sala, o DIALux Evo sugeriu aumentar a quantidade de 12 para 15 luminárias, na Figura 9 observa-se as linhas isométricas da proposta 1.

Figura 9- Linhas isométricas proposta 1 sala PK-7



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice B pode-se verificar que a sala PK-07 está com 521lux médio. É um valor de iluminância maior que o valor indicado em norma, para as salas de aula que é 500lux. O fator de uniformidade ficou em 0,38, e a norma recomenda 0,7. Para verificar o valor de ofuscamento foram simulados pontos de cálculo com ângulo de vista de 0° a 360° com amplitude de passo de 15°, considerou-se para o cálculo 1,20m de altura, ou seja, os alunos sentados nas carteiras, e 1,70m de altura para o professor, ou seja, em pé para o cálculo do UGR. Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 5 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos proposta 1 sala PK-7

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
PROFESSOR EM PÉ	1,7	18,6	195°	15°	0°a 360°
PRIMEIRA CARTEIRA	1,2	18,8	75°	15°	0°a 360°
ÚLTIMA CARTEIRA	1,2	19,1	165°	15°	0°a 360°
QUARTA CARTEIRA	1,2	18,6	180°	15°	0°a 360°
SEGUNDA CARTEIRA	1,2	18,9	360°	15°	0°a 360°
TERCEIRA CARTEIRA	1,2	19,1	195°	15°	0°a 360°
QUINTA CARTEIRA	1,2	19,6	195°	15°	0°a 360°
SEXTA CARTEIRA	1,2	19,5	180°	15°	0°a 360°

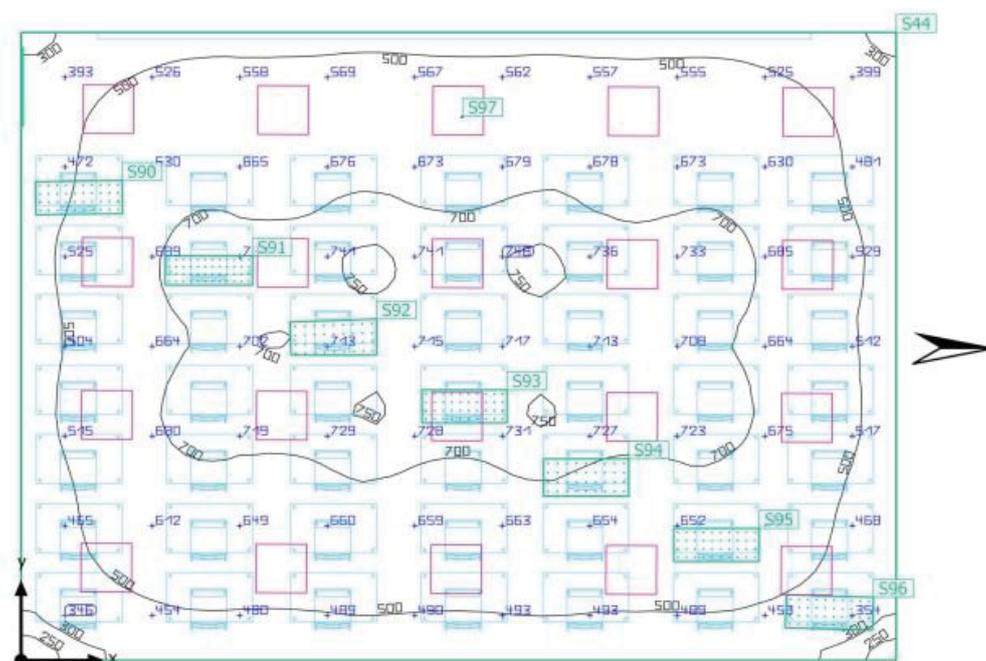
Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) obtido foi de 19,6. Não é uma solução válida para reduzir o ofuscamento, e ficou com o fator de uniformidade baixo, solucionado apenas a iluminância média.

4.2.2 Proposta 2

Foi proposta a substituição das 12 luminárias do modelo CAC01-S232 da marca Lumicenter, por 20 luminárias do modelo EAA03-S3500840 também da marca Lumicenter. Na Figura 10 observa-se as linhas isométricas da proposta 2.

Figura 10 - Linhas isométricas proposta 2 sala PK-7



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice C pode-se verificar que a sala PK-07 está com 601lux médio. É um valor de iluminância maior que o valor indicado em norma, para as salas de aula é 500lux. O fator de uniformidade ficou em 0,36, e a norma recomenda 0,7. Para verificar o valor de ofuscamento foram simulados pontos de cálculo com ângulo de vista de 0° a 360° com amplitude de passo de 15°, considerou-se para o cálculo 1,20m de altura, ou seja, os alunos sentados nas carteiras, e 1,70m de altura para o professor, ou seja, em pé para o cálculo do UGR. Na tabela 6 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 6 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos proposta 2 sala PK-7

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
PROFESSOR EM PÉ	1,7	13,7	255°	15°	0°a 360°
PRIMEIRA CARTEIRA	1,2	15,3	300°	15°	0°a 360°
ÚLTIMA CARTEIRA	1,2	14,7	150°	15°	0°a 360°
QUARTA CARTEIRA	1,2	16,1	345°	15°	0°a 360°
SEGUNDA CARTEIRA	1,2	16,7	195°	15°	0°a 360°
TERCEIRA CARTEIRA	1,2	15,8	225°	15°	0°a 360°
QUINTA CARTEIRA	1,2	14,1	135°	15°	0°a 360°
SEXTA CARTEIRA	1,2	16,3	165°	15°	0°a 360°

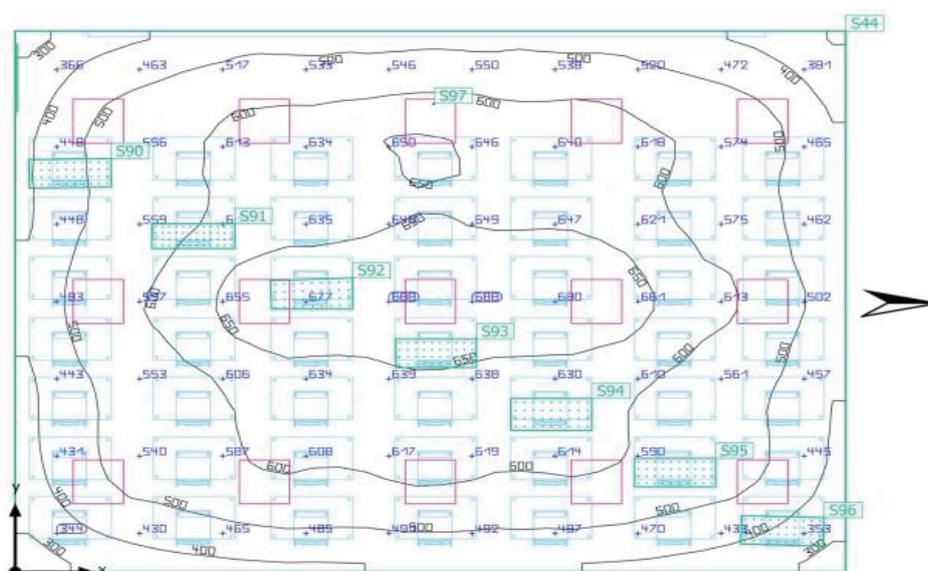
Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) é 16,7 a norma indica para esse tipo de sala de aula o valor de $UGR \leq 19$. Portanto foi solucionado o ofuscamento e a iluminância média, o fator de uniformidade ficou baixo, devido ao aumento na quantidade de luminárias para resolver o ofuscamento, não é possível atingir ao valor ideal para o fator de uniformidade nesse caso.

4.2.3 Proposta 3

Foi proposta a substituição das 12 luminárias do modelo CAC01-S232 da marca Lumicenter, por 15 luminárias do modelo LHT-E4000840 também da marca Lumicenter. Na Figura 11 observa-se as linhas isométricas da proposta 3.

Figura 11 - Linhas isométricas proposta 3 sala PK-7



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice D pode-se verificar que a sala PK-07 está com 549lux médio. É um valor de iluminância maior que o valor indicado em norma, para as salas de aula é 500lux. O fator de uniformidade ficou em 0,46, e a norma recomenda 0,7. Foram simulados os mesmos pontos de cálculo, na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 7 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos proposta 3 sala PK-7

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
PROFESSOR EM PÉ	1,7	22,2	255°	15°	0°a 360°
PRIMEIRA CARTEIRA	1,2	22	315°	15°	0°a 360°
ÚLTIMA CARTEIRA	1,2	22,2	150°	15°	0°a 360°
QUARTA CARTEIRA	1,2	20,7	180°	15°	0°a 360°
SEGUNDA CARTEIRA	1,2	21,6	330°	15°	0°a 360°
TERCEIRA CARTEIRA	1,2	21,2	345°	15°	0°a 360°
QUINTA CARTEIRA	1,2	18,9	180°	15°	0°a 360°
SEXTA CARTEIRA	1,2	21,8	165°	15°	0°a 360°

Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento da sala (UGR) é 22,2. Portanto não foi solucionado o ofuscamento, nem o fator de uniformidade, apenas a iluminância média foi solucionada. Na Tabela 8, são apresentados os resultados obtidos:

Tabela 8 – Resultados para sala PK-7

SALA PK-7						
SOLUÇÃO	QUANTIDADE	MODELO DE LUMINÁRIA	MAIOR UGR	ÍNDICE DE UNIFORMIDADE	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	POTÊNCIA INSTALADA(W)
INICIAL	12	CAC01-S232	20,9	0,17	369	780
1	15	CAC01-S232	19,6	0,38	521	975
2	20	EAA03-E3500840	16,7	0,36	601	720
3	15	LTH43-E4000840	22,2	0,46	549	525

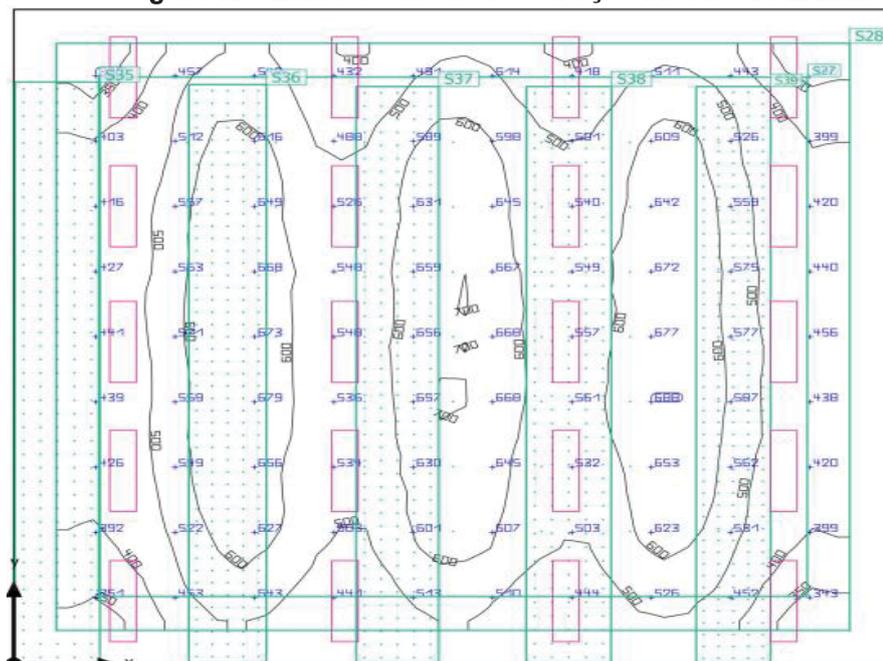
Fonte: A AUTORA, 2021.

A proposta que melhor atende os requisitos da norma para a sala PK-7 foi a proposta 2, com 20 unidades da luminária EAA03-E3500840, soluciona o problema de ofuscamento e iluminância média da sala, e é a segunda menor demanda de potência instalada, tornando-se a melhor opção de efficientização aliado aos requisitos de qualidade indicada pela norma.

4.3 CASO 2: estudo da sala LAMMI (LABORATÓRIO DE MAGNETISMO E MEDIDAS E INSTRUMENTAÇÃO)

As atividades da sala do LAMMI são voltadas à pesquisa e desenvolvimento nas áreas de instrumentação eletrônica e científica, medidas em altas frequências e medidas de dispositivos semicondutores, e também são desenvolvidas pesquisas na área de modelagem e simulação eletromagnética de circuitos e dispositivos eletro-eletrônicos. Ela tem atualmente 20 luminárias modelo FAA04-S228 da marca Lumicenter, utilizando o DIALux Evo foi feito análises para verificar o ofuscamento (UGR), fator de uniformidade e a potência instalada no laboratório. Na Figura 12 observam-se as linhas isométricas da condição inicial.

Figura 12 - Linhas isométricas condição inicial sala LAMMI



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice E verifica-se que a sala LAMMI está com 534lux médio, considerando que nesse laboratório são praticadas atividades com peças minúsculas e necessita de iluminação precisa, para esse tipo de atividade a norma indica 1000lux de iluminância. O fator de uniformidade ficou em 0,59, e a norma recomenda 0,70. Foram simulados alguns pontos de cálculo nas

bancadas, com ângulo de vista de 0° a 360° e amplitude de passo de 15°, na Tabela 9 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 9 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos condição inicial sala LAMMI

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
BANCADA 1	1,2	11,6	60°	15°	0°a 360°
BANCADA 2	1,2	12,2	135°	15°	0°a 360°
BANCADA 3	1,2	11,8	45°	15°	0°a 360°
BANCADA 4	1,2	10,9	360°	15°	0°a 360°
BANCADA 5	1,2	11,9	135°	15°	0°a 360°

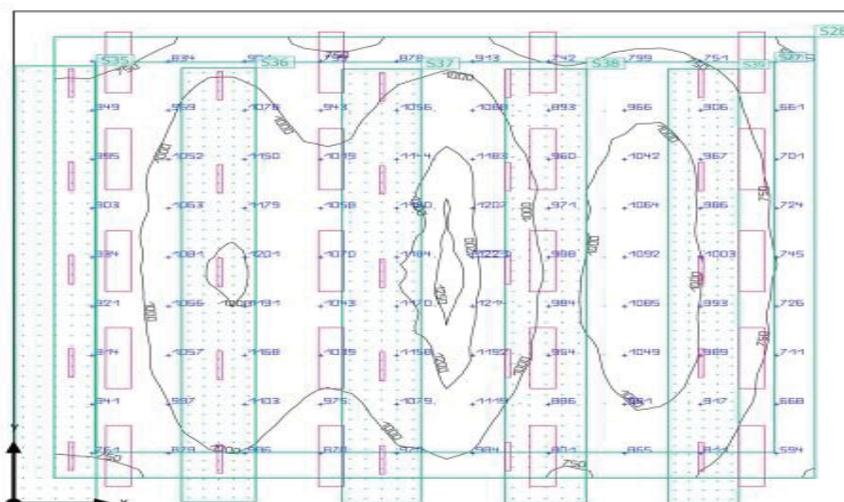
Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) é 12,2, para essa sala o indicado na norma são 16 (UGR). Está dentro do indicado, mas a iluminância e o fator de uniformidade ficaram fora do recomendado.

4.3.1 Proposta 1

A solução para aumentar a iluminância da sala LAMMI é aumentar a quantidade de luminárias. Foram adicionados 25 pendentes do modelo LLA01-P1600840 sobre as bancadas. Na Figura 13 observam-se as linhas isométricas da solução proposta.

Figura 13- Linhas isométricas proposta sala LAMMI



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice F verifica-se que a sala LAMMI está com 962lux médio, considerando que é indicado 1000lux de iluminância, então ficou próximo do indicado. O fator de uniformidade ficou em 0,48, e com o aumento da quantidade de luminárias não é possível melhorar o fator de uniformidade. Foram simulados os mesmos pontos de cálculo que foram simulados na condição inicial, com ângulo de vista de 0° a 360° amplitude de passo de 15°, na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 10 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos proposta sala LAMMI

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
BANCADA 1	1,2	15,2	285°	15°	0°a 360°
BANCADA 2	1,2	14,4	255°	15°	0°a 360°
BANCADA 3	1,2	15,3	285°	15°	0°a 360°
BANCADA 4	1,2	15	255°	15°	0°a 360°
BANCADA 5	1,2	15,3	285°	15°	0°a 360°

Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento da sala (UGR) é 15,3. Portanto, adicionando as luminárias foi possível chegar próximo do valor de iluminância adequada, para as atividades de precisão executadas no laboratório.

Na Tabela 11, são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 11 - Resultados sala LAMMI

SALA LAMMI						
SOLUÇÃO	QUANTIDADE	MODELO DE LUMINÁRIA	MAIOR UGR	ÍNDICE DE UNIFORMIDA	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	POTÊNCIA INSTALADA(W)
INICIAL	20	FAA04-5228	12,2	0,59	534	640
1	20/25	FAA04-5228/LLA01-P1600840	15,3	0,48	962	1077,5

Fonte: A AUTORA, 2021.

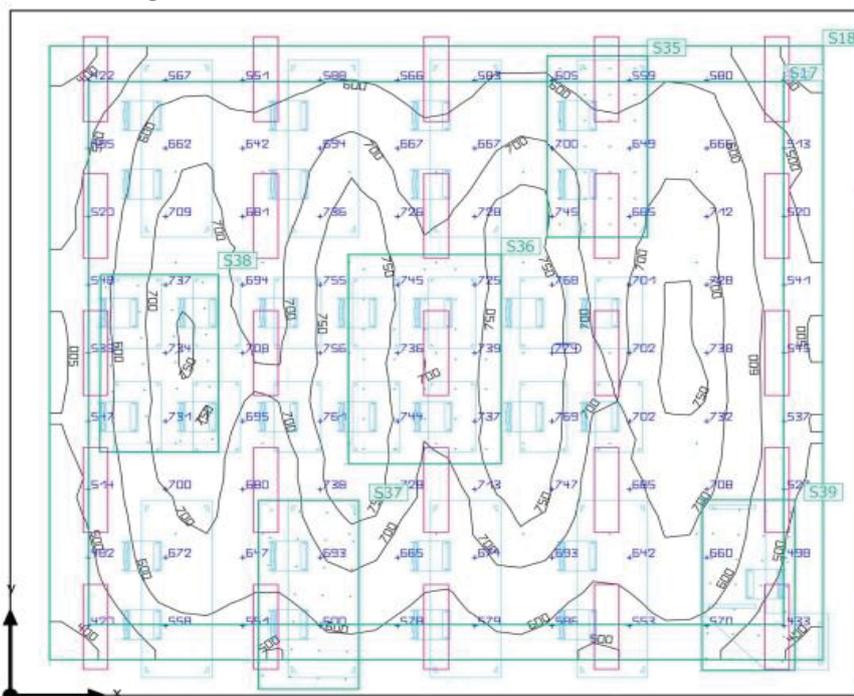
A solução proposta atende os requisitos da norma para a sala LAMMI, adicionando as 25 unidades da luminária do tipo pendente sobre as bancadas,

soluciona o problema de iluminância média para essa sala, deixando o ambiente adequado para realizar trabalhos com dispositivos eletro-eletrônicos.

4.4 CASO 3: estudo da sala PL-6

A sala PL-6 é um laboratório de eletrônica, considerando que no laboratório são praticadas atividades que necessita de iluminação precisa. Ela tem atualmente 25 luminárias modelo FAA04-S228 da marca Lumicenter, utilizando o DIALux Evo foi feito análises para verificar o ofuscamento (UGR), fator de uniformidade e a potência instalada no laboratório. Na Figura 14 observam-se as linhas isométricas da condição inicial.

Figura 14 Linhas isométricas condição inicial sala PL-6



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice G verifica-se que a sala PL-6 está com 643lux médio, para esse tipo de atividade a norma indica 750lux de iluminância. O fator de uniformidade ficou em 0,57, e a norma recomenda 0,70. Foram simulados alguns pontos de cálculo nas bancadas, com ângulo de vista de 0° a 360° e amplitude de passo de 15°, na Tabela 12 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 12 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos condição inicial sala PL-6

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
BANCADA 1	1,2	11,2	345°	15°	0°a 360°
BANCADA 2	1,2	11,3	270°	15°	0°a 360°
BANCADA 3	1,2	11,3	45°	15°	0°a 360°
BANCADA 4	1,2	11,7	180°	15°	0°a 360°

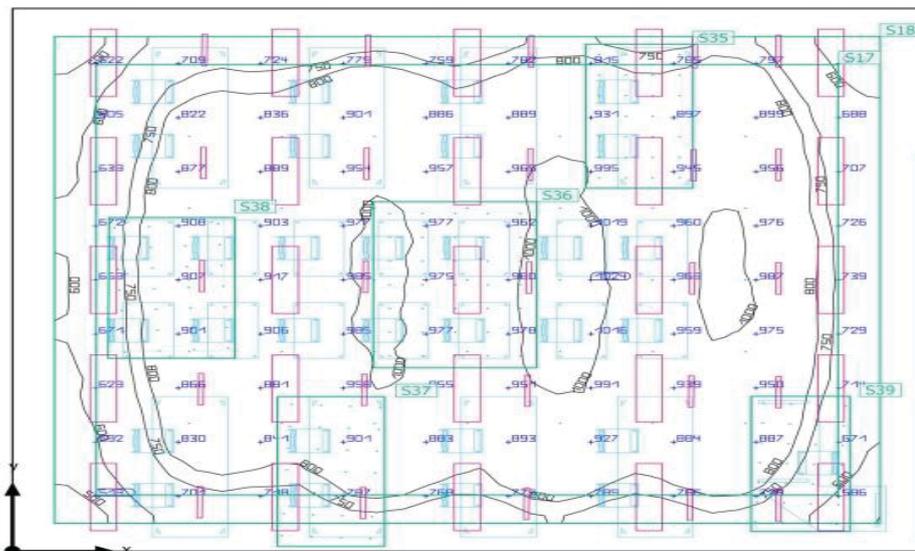
Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) é 11,7, para essa sala o indicado na norma são 19 (UGR). Está dentro do indicado, mas a iluminância e o fator de uniformidade ficaram fora do recomendado.

4.4.1 Proposta 1

A solução para aumentar a iluminância da sala PL-6 é aumentar a quantidade de luminárias. Para cada luminária já instalada foi adicionado uma luminária de embutir, que será instalada em circuito separado das luminárias principais, para que possam ser acionadas somente quando for necessária a utilização. Essas luminárias servem de suporte de iluminação sobre as bancadas. Na Figura 15 observam-se as linhas isométricas da solução proposta.

Figura 15 - Linhas isométricas proposta sala PL-6



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice H verifica-se que a sala PL-6 está com 844lux médio, à norma indica para esse tipo de ambiente 750lux de iluminância. O fator de uniformidade ficou em 0,53, e a norma recomenda 0,70. Foram simulados alguns pontos de cálculo nas bancadas, com ângulo de vista de 0° a 360° e amplitude de passo de 15°, na Tabela 13 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 13 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos proposta sala PL-6

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
BANCADA 1	1,2	12,5	285°	15°	0°a 360°
BANCADA 2	1,2	12,6	270°	15°	0°a 360°
BANCADA 3	1,2	12,5	90°	15°	0°a 360°
BANCADA 4	1,2	12,6	0°	15°	0°a 360°

Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) é 12,6, para essa sala o indicado na norma são 16 (UGR). A iluminância e o UGR estão dentro do indicado em norma para um laboratório de eletrônica. O fator de uniformidade ficou fora do recomendado devido ao aumento de luminárias.

Na Tabela 14, são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 14 - Resultados sala PL-6

SALA PL-6						
SOLUÇÃO	QUANTIDADE	MODELO DE LUMINÁRIA	MAIOR UGR	ÍNDICE DE UNIFORMIDA	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	POTÊNCIA INSTALADA(W)
INICIAL	25	FAA04-5228	11,7	0,57	643	800
1	25/25	FAA04-5228/LLA01-E0800840	12,6	0,53	844	1025

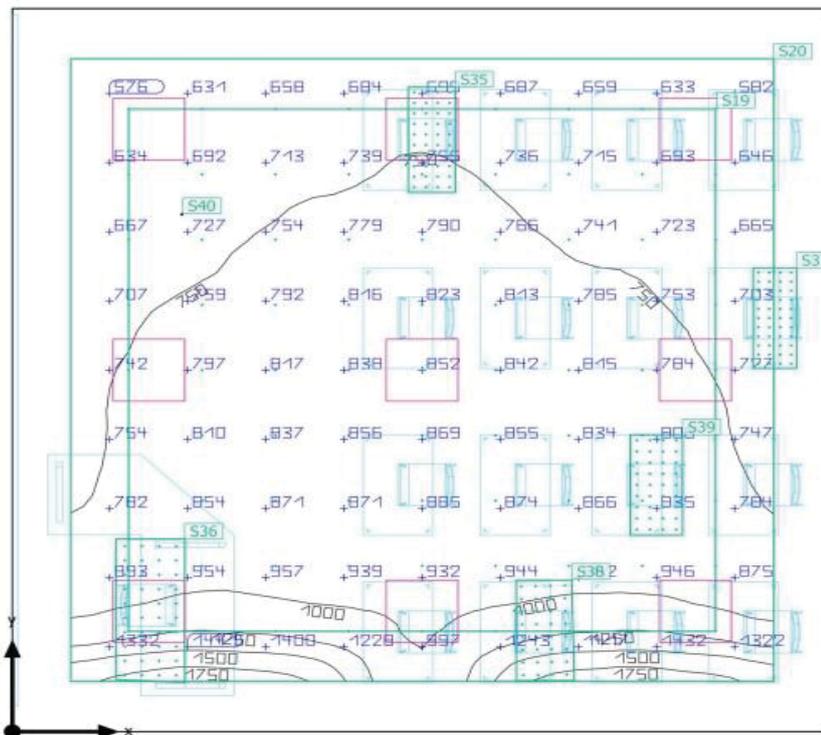
Fonte: A AUTORA, 2021.

A solução proposta atende os requisitos da norma para a sala PL-6, adicionando as 25 unidades das luminárias de embutir sobre as bancadas, soluciona o problema de iluminância média para essa da sala, deixando o ambiente adequado para realizar atividades com dispositivos eletro-eletrônicos.

4.5 CASO 4: estudo da sala PL-7

A sala de aula PL-7 é uma sala de videoconferência, que será utilizada para gravar aulas remotas, usando a lousa e o projetor. Portanto, é preciso que a iluminação seja criteriosa, para que não tenha prejuízos na qualidade da gravação, e nem para quem estiver assistindo no local. Atualmente ela tem 9 luminárias modelo LHT43-E4000840 da marca Lumicenter, utilizando o DIALux Evo foi feito análises para verificar o ofuscamento (UGR), fator de uniformidade e a potência instalada na sala. Na Figura 16 observam-se as linhas isométricas da condição inicial.

Figura 16 - Linhas isométricas condição inicial sala PL-7



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice I verifica-se que a sala PL-7 está com 844lux médio, para esse tipo de atividade a norma indica 500lux de iluminância. O fator de uniformidade ficou em 0,63, e a norma recomenda 0,70. Foram simulados alguns pontos de cálculo nas bancadas, com ângulo de vista de 0° a 360° e amplitude de passo de 15°, na Tabela 15 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 15 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos condição inicial sala PL-7

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
PROFESSOR EM PÉ	1,7	16,7	345°	15°	0°a 360°
PRIMEIRA CARTEIRA	1,2	15,5	285°	15°	0°a 360°
SEGUNDA CARTEIRA	1,2	15,4	90°	15°	0°a 360°
TERCEIRA CARTEIRA	1,2	15	150°	15°	0°a 360°
PROFESSOR SENTADO	1,2	16,1	45°	15°	0°a 360°
ÚLTIMA CARTEIRA	1,2	15,3	195°	15°	0°a 360°

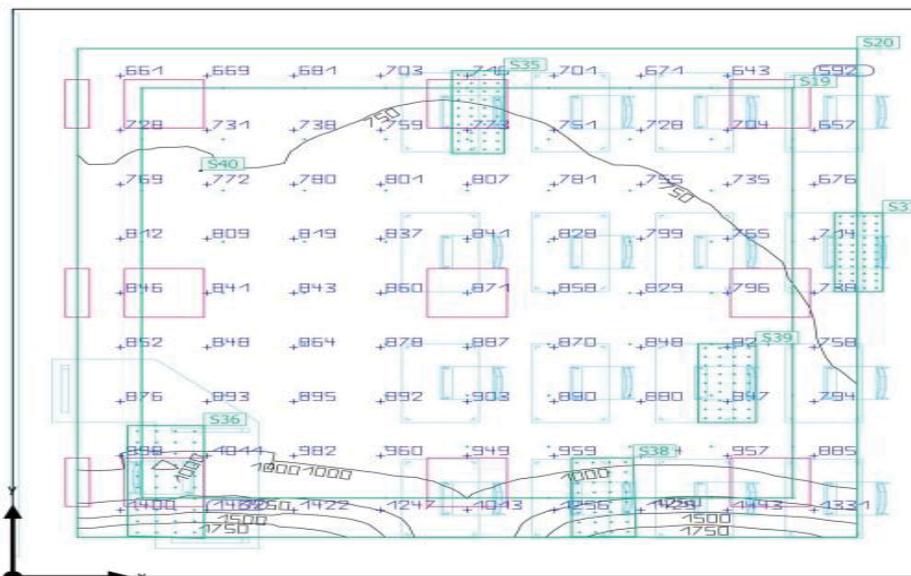
Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) é 16,7, para essa sala o indicado na norma são 19 (UGR). Está dentro do indicado, mas a iluminância e o fator de uniformidade ficaram fora do recomendado.

4.5.1 Proposta 1

A solução para a sala PL-7 é colocar luminárias do tipo wallwasher que é indicada para a iluminação vertical de paredes, apontadas para o projetor e quadro atrás do professor, e um softbox de teto em frente iluminando o professor, de maneira que apareça na gravação sem ofuscar, nesse caso o ideal seria montar como iluminação de estúdio, instalando o softbox em um trilho no teto. Na Figura 17 observam-se as linhas isométricas da solução proposta.

Figura 17 - Linhas isométricas proposta sala PL-7



Fonte: A AUTORA, 2021.

No relatório no Apêndice J verifica-se que a sala PL-7 está com 872lux médio, à norma indica para esse tipo de ambiente 500lux de iluminância. O fator de uniformidade ficou em 0,64, e a norma recomenda 0,70. Foram simulados alguns pontos de cálculo nas bancadas, com ângulo de vista de 0° a 360° e amplitude de passo de 15°, na Tabela 16 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 16 - Cálculo (UGR) nos pontos específicos proposta sala PL-7

REGIÃO	ALTURA (m)	UGR	ENCADEAMENTO MÁXIMO	AMPLITUDE DE PASSO	ÁREA DO ÂNGULO DE VISTA
PROFESSOR EM PÉ	1,7	16,6	345°	15°	0°a 360°
PRIMEIRA CARTEIRA	1,2	15,3	285°	15°	0°a 360°
SEGUNDA CARTEIRA	1,2	15,2	90°	15°	0°a 360°
TERCEIRA CARTEIRA	1,2	14,8	150°	15°	0°a 360°
PROFESSOR SENTADO	1,2	15,9	45°	15°	0°a 360°
ÚLTIMA CARTEIRA	1,2	15,1	195°	15°	0°a 360°

Fonte: A AUTORA, 2021.

De acordo com os pontos de cálculo, verifica-se que nessas condições o maior ofuscamento (UGR) é 16,6, para essa sala o indicado na norma são 19 (UGR). A iluminância e o UGR estão dentro do indicado em norma, o fator de uniformidade ficou bem próximo do recomendado. Na Tabela 17, são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 17 - Resultados sala PL-7

SALA PL-7						
SOLUÇÃO	QUANTIDADE	MODELO DE LUMINÁRIA	MAIOR UGR	ÍNDICE DE UNIFORMIDA	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	POTÊNCIA INSTALADA(W)
INICIAL	9	LHT43-E4000840	16,7	0,63	844	315
1	9/3	LHT43-E4000840/WW01-E214	16,6	0,64	872	411

Fonte: A AUTORA, 2021.

A solução proposta atende os requisitos da norma para a sala PL-7. Ela mantém a luz principal com as luminárias que já está no ambiente, adicionando as 3 unidades das luminárias de embutir do tipo Wall washers viradas para o quadro para fazer a luz de fundo, solucionando os problemas de ofuscamento do quadro e do projetor nas filmagens, e sugere-se colocar um softbox para ser

a luz de enchimento e adequar as aulas para uma iluminação de estúdio, deixando o ambiente adequado para realizar as gravações e conseguir que apareça o quadro, o professor e o projetor ao mesmo tempo sem ofuscar.

5 CONCLUSÃO

A iluminação pode afetar os ambientes escolares, trazendo desconforto quando é mal dimensionada e prejudicando a saúde e o desempenho do aluno.

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 que regulamenta a iluminação de ambientes internos de trabalho, traz os parâmetros necessários para criar as condições visuais confortáveis, respeitando os requisitos de segurança, saúde e um desempenho eficiente de trabalho.

Nos estudos de caso foram utilizadas luminárias modernas com proteção de acrílico ou aletas, que permite olhar para a luz e não agridem os olhos. Para manter a eficientização e economia, nos casos das salas LAMMI, PL-6 e PL-7 foram adicionadas luminárias como complementos, que serão acionadas apenas quando for necessário executar a tarefa que demande quantidade maior de iluminância, dessa forma não haverá um aumento significativo no consumo de energia, e estarão adequadas nas recomendações da norma para cada tipo de tarefa que será realizada.

A sala PL-7 será a sala de videoconferência, foi avaliado que a melhor maneira a ser projetada, é dividir em termos de luz principal, luz de enchimento e luz de fundo. Para a luz principal a iluminação da sala foi mantida, para a luz de enchimento foi colocado um softbox de teto em frente iluminando a face do professor, distribuindo a iluminação uniformemente e corrigindo ofuscamento, a luz de fundo é projetada para cair sobre as superfícies verticais por trás do professor, foi acrescentada luminária do tipo wall washer apontadas para o projetor e quadro branco, separando o professor do fundo e trazendo profundidade para a cena.

Para os problemas de ofuscamento nas salas de aula, foram considerados os limites de ofuscamento recomendado pela norma de todos os ambientes, analisando os tipos de luminárias com controles óticos, com aletas ou acrílicas leitosas capazes de reduzir o ofuscamento (UGR) no ambiente, foi feito simulações para verificar os níveis de uniformidade e chegar à proposta da solução de reduzir o ofuscamento e manter os níveis de iluminação adequados para as atividades de cada ambiente.

Buscou-se solucionar o problema de ofuscamento e iluminância média dos casos, com menor demanda de potência instalada. Foram propostas

soluções energeticamente eficientes, com melhor solução de eficientização aliado aos requisitos de qualidade e conforto visual para os ambientes.

Com base nos resultados do trabalho conclui-se que é possível combinar eficientização com os requisitos de qualidade de iluminação que são indicados na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, melhorando as condições de iluminação no local, e o desempenho na realização das tarefas.

Trabalhos futuros: para os próximos trabalhos sugere-se fazer uma análise usando dimerização e o acionamento de luminárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - NBR 8995 AGO 2013. **Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro.

MOEMA CASTRO. **Desempenho lumínico**. Disponível em: <http://moemacastro.weebly.com/uploads/5/7/9/8/57985191/cap_8_desempenho_luminico.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

DIMAS BERTOLOTI. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar a energia**. 2007.142, monografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GIMAOLI CAVALCANTI DE OLIVEIR. **Estudo do potencial de aproveitamento da iluminação natural em escolas municipais de João Pessoa – PB**. 2012. 145 págs. monografia – Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2012.

JULIANA MARA B. M. HYBINER. **Análise da iluminação em salas de aulas de escolas da rede de ensino pública das superintendências regionais de ensino de Juiz de Fora, Ponte Nova e Ubá, MG**. 2015.119 págs. monografia- Universidade Federal de Viçosa-MG.

UFPR- **Universidade Federal do Paraná**. Disponível em: <<https://www.ufpr.br/portalufpr/noticias/133533/>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

MME. **BEN- Balanço Energético Nacional**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>. Acesso em 15 de Julho de 2021.

Lumicenter **iluminação**. Disponível em: 10 <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/>>. Acesso em 2 de Julho de 2021.

Procel. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABE5FA%7D>> Acesso em 11 de novembro de 2021.

Como calcular ofuscamento no DIALux Evo. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jl12GB0ZMIk>> Acesso em 15 de novembro de 2021.

INMETRO. **Tabelas consumo/Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em 10 de agosto de 2021.

Salas para videoconferência. Disponível em: <<https://silo.tips/download/salas-para-videoconferencia>>. Acesso em 16 de dezembro de 2021.

Basic Principles of Video-Teleconferencing Lighting. Disponível em:
<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Cinema%20V%EDdeo%20e%20TV/Pequisa/basic_principles_of_lighting.pdf> Acesso em 16 de dezembro de 2021.

Índice de ofuscamento unificado. Disponível em:
<https://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/Ed_75/At_%C3%83_ndice%20Ofuscamento_ed75.pdf> Acesso em 18 de janeiro de 2022.

APÊNDICE A

Relatórios DIALux Evo sala PK-7, situação atual



Prédio PK · Térreo · PK-07

Lista de luminárias

Φ_{total} 38268 lm	P_{total} 780,0 W	Rendimento luminoso 49,1 lm/W
----------------------------	------------------------	----------------------------------

Un.	Fabricante	N° do artigo	Nome do artigo	P	Φ
12	Lumicente r Lighting		CAC01-S232	65,0 W	3189 lm

CAC01-S



APÊNDICE B

Relatórios DIALux Evo sala PK-7, solução 1



Prédio PK · Térreo · PK-07

Lista de luminárias

Φ_{total} 58710 lm	P_{total} 975,0 W	Rendimento luminoso 60,2 lm/W
----------------------------	------------------------	----------------------------------

Un.	Fabricante	N° do artigo	Nome do artigo	P	Φ
15	Lumicente r Lighting		CAC01-S232	65,0 W	3914 lm

CAC01-S



APÊNDICE C

Relatórios DIALux Evo sala PK-7, solução 2



Prédio PK - Térreo - PK-07

Lista de luminárias

Φ_{total}
65900 lm

P_{total}
720,0 W

Rendimento luminoso
91,5 lm/W

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ
20	LUMICENT ER	EAA03-S3500840		36,0 W	3295 lm

LAA03-S/EAA03-S



APÊNDICE D

Relatórios DIALux Evo sala PK-7, solução 3



Prédio PK · Térreo · PK-07

Lista de luminárias

Φ_{total} 68715 lm	P_{total} 525,0 W	Rendimento luminoso 130,9 lm/W
----------------------------	------------------------	-----------------------------------

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ
15	LUMICENT ER	LHT43- E4000840	LHT43-E4000840	35,0 W	4581 lm

LHT43-E/EHT43-E



APÊNDICE E

Relatórios DIALux Evo sala LAMMI, situação inicial



Prédio PL - Pavimento Superior - LAMMI

Lista de luminárias

Φ_{total} 56360 lm	P_{total} 640,0 W	Rendimento luminoso 88,1 lm/W
----------------------------	------------------------	----------------------------------

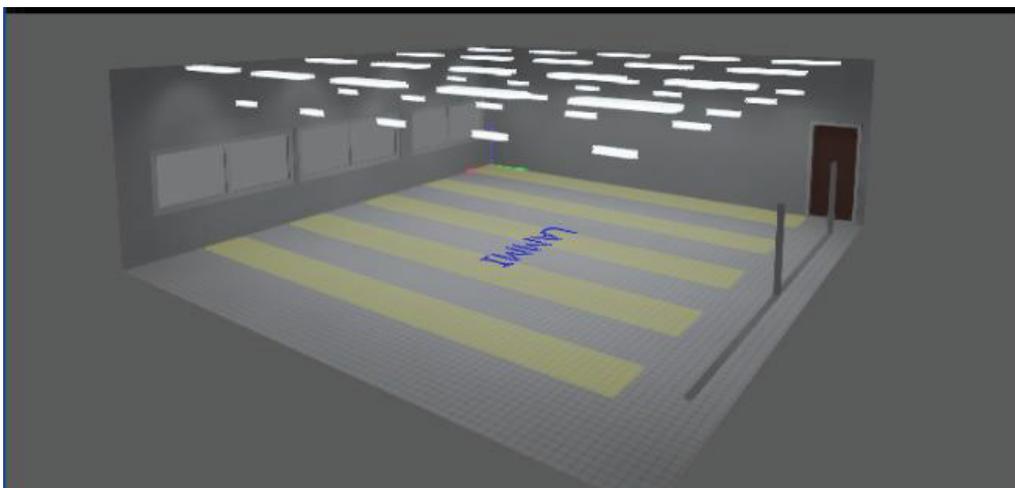
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ
20	Lumicente r Lighting Group		FAA04-S228	32,0 W	2818 lm

FAA04-S



APÊNDICE F

Relatórios DIALux Evo sala LAMMI, solução



Prédio PL · Pavimento Superior · LAMMI

Lista de luminárias

Φ_{total} 99360 lm	P_{total} 1077,5 W	Rendimento luminoso 92,2 lm/W
----------------------------	-------------------------	----------------------------------

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ	Rendimento luminoso
25	LUMICENTER	LLA01-P1600840	LLA01-P1600840	17,5 W	1720 lm	98,3 lm/W
20	Lumicenter Lighting Group	FAA04-S228	FAA04-S228	32,0 W	2818 lm	88,1 lm/W

WAY | LLA | PENDENTE (17W/M)

WAY



FAA04-S



APÊNDICE G

Relatórios DIALux Evo sala PL-6, situação inicial



Prédio PL - Pavimento Superior - PL-6

Lista de luminárias

Φ_{total} 70450 lm	P_{total} 800,0 W	Rendimento luminoso 88,1 lm/W
----------------------------	------------------------	----------------------------------

Un.	Fabricante	N° do artigo	Nome do artigo	P	Φ
25	Lumicente r Lighting Group		FAA04-S228	32,0 W	2818 lm

FAA04-S



APÊNDICE H

Relatórios DIALux Evo sala PL-6, solução



Prédio PL - Pavimento Superior - PL-6

Lista de luminárias

Φ_{total}	P_{total}	Rendimento luminoso
91950 lm	1025,0 W	89,7 lm/W

Un.	Fabricante	N° do artigo	Nome do artigo	P	Φ	Rendimento luminoso
25	LUMICENT ER	LLA01- E0800840	LLA01-E0800840	9,0 W	860 lm	95,5 lm/W
25	Lumicente r Lighting Group	FAA04-5228	FAA04-5228	32,0 W	2818 lm	88,1 lm/W

WAY | LLA | EMBUTIR (17W/M)

WAY



FAA04-S



APÊNDICE I

Relatórios DIALux Evo sala PL-7, situação inicial



Prédio PL · Pavimento Superior · PL-7

Lista de luminárias

Φ_{total}	P_{total}	Rendimento luminoso
41229 lm	315,0 W	130,9 lm/W

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ
9	LUMICENT ER	LHT43- E4000840	LHT43-E4000840	35,0 W	4581 lm

LHT43-E/EHT43-E



APÊNDICE J

Relatórios DIALux Evo sala PL-7, solução



Prédio PL · Pavimento Superior · PL-7

Lista de luminárias

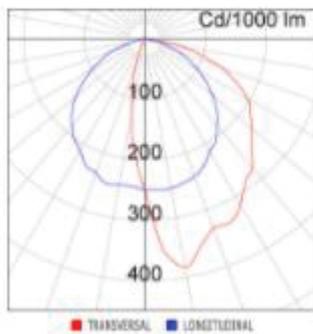
Φ_{total} 45696 lm	P_{total} 411,0 W	Rendimento luminoso 111,2 lm/W
----------------------------	------------------------	-----------------------------------

Un.	Fabricante	N° do artigo	Nome do artigo	P	Φ	Rendimento luminoso
3	LUMICENT ER		WW01-E214	32,0 W	1489 lm	46,5 lm/W
9	LUMICENT ER	LHT43- E4000840	LHT43-E4000840	35,0 W	4581 lm	130,9 lm/W

WW01-E



DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA



EFEITO DE LUZ

