

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO IPATINGA BACHARELADO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

Mariana Dias Moreira

Sarah Vitoria Silva Calixto

**AVALIAÇÃO DA ILUMINÂNCIA DE UMA SALA DE AULA
TÍPICA DO IFMG CAMPUS IPATINGA**

Ipatinga

2023

MARIANA DIAS MOREIRA
SARAH VITORIA SILVA CALIXTO

**AVALIAÇÃO DA ILUMINÂNCIA DE UMA SALA DE AULA TÍPICA DO IFMG
CAMPUS IPATINGA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais, como requisito
parcial para obtenção do título de Engenheira
Eletricista.

Orientador: Carlos Renato Magalhães Duarte.

Ipatinga
2023

M827a Moreira, Mariana Dias; Calixto, Sarah Vitoria Silva.

Avaliação da iluminação de uma sala de aula típica do IFMG campus Ipatinga. Mariana Dias Moreira; Sarah Vitoria Silva Calixto. – 2023.

63f.;il.

Orientador: Carlos Renato Magalhães Duarte.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ipatinga, 2023.

1. Iluminação. 2. Software - DIALux Evo. 3. NHO 11. I. Duarte, Carlos Renato Magalhães. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ipatinga. III. Título.

CDD 621.3220212

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Ipatinga

Rua Maria Silva, n.º 125, Veneza - Ipatinga - MG - CEP 35.164-261
(31) 3829-8615 / (31) 97133-4399 - gabinete.ipatinga@ifmg.edu.br

ANEXO III

ATA DA DEFESA DO TCC

Aos 30 dias do mês de NOVEMBRO de 2023, às 15 horas, na sala 206 do IFMG Campus Avançado Ipatinga, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) pelo(a)/pelos(as) aluno(a)/alunos(as), sendo APROVADO com a nota 70 pela Banca Examinadora, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

O(A)/Os(As) aluno(a)/alunos(as) deverá(ão) apresentar o trabalho com as devidas modificações e no formato solicitado em 14 de DEZEMBRO de 2023.

O(A)/Os(As) aluno(a)/alunos(as) está(ão) ciente(s) de que, caso não cumpra(m) os procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, sua(s) nota(s) será(ão) considerada(s) zero e a sua defesa será anulada. Também está(ão) ciente(s) de que o trabalho de conclusão de seu curso poderá ser divulgado pela instituição através dos seus meios de comunicação.

Observações pertinentes à defesa:

A APROVAÇÃO FICA CONDICIONADA ÀS ALTERAÇÕES PROPOSTAS PELA
BANCA.

NOME COMPLETO E ASSINATURA DOS COMPONENTES
DA BANCA E DO DISCENTE ORIENTADO

Orientador: CARLOS RENATO MAGALHÃES DUARTE Assinatura: [Assinatura]

Membro: Ronildo Guimaraes Assinatura: [Assinatura]

Membro: GUSTAVO RAFAEL DE SOUZA PERS Assinatura: [Assinatura]

Aluno(a): Sarah Inácia Silva Colares Assinatura: Sarah Colares

Aluno(a): Mariana Dias Moreira Assinatura: [Assinatura]

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus pela oportunidade de conclusão do bacharelado em Engenharia Elétrica. Em segundo, ao nosso professor e orientador Carlos Renato, que nos acompanhou com conhecimento, capacitação e tranquilidade durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A iluminação de ambientes interiores de trabalho é regulamentada, no Brasil, pela norma de higiene ocupacional nº11 (NHO N°11) que, dentre outros critérios, estabelece o nível médio de iluminância de acordo ao tipo de ambiente e à classe de atividade e/ou tarefa ali desenvolvida. Ademais, também apresenta os procedimentos técnicos que devem ser utilizados no desenvolvimento de um projeto luminotécnico de um espaço, visando além de uma boa iluminação o conforto visual dos trabalhadores. Entretanto, apesar de existirem normas e procedimentos para a evolução de um projeto, nem sempre são obtidos os níveis de iluminamento ideais ao recinto. Por conseguinte, uma iluminação em excesso ou insuficiente provoca, com o passar do tempo, problemas à saúde do funcionário, bem como situações com riscos de acidentes e má realização das tarefas. Nesta circunstância, este trabalho avaliou o nível de iluminamento em uma sala de aula do Instituto Federal de Minas Gerais em Ipatinga, sendo considerado um espaço onde alunos e funcionários passam maior parte do tempo desenvolvendo suas atividades. Para isso, foram realizadas medições de iluminância no local do projeto existente da sala. Posteriormente, foram desenvolvidas simulações no software DIALux Evo com representações de modelos em 3D, que irão apresentar um projeto luminotécnico ideal para o ambiente com base em sua finalidade.

Palavras-chave: Nível de iluminamento em ambientes internos. NHO 11. Projeto luminotécnico. Simulações no software DIALux Evo.

ABSTRACT

The lighting of internal work environments is regulated, in Brazil, by occupational hygiene standard nº11 (NHO N°11) which, among other criteria, establishes the average level of illuminance according to the type of environment and the kind of activity and/or task all developed. Furthermore, it also presents the technical procedures that must be used in the development of a lighting project for a place, in addition to good lighting and visual comfort for workers. However, although there are standards and procedures for the evolution of a project, ideal lighting levels are not always obtained for the premises. Therefore, excessive or insufficient lighting causes, over time, problems with the employee's health, as well as situations with a risk of accidents and poor performance of tasks. In this circumstance, this work aims to evaluate the level of lighting in a classroom at the Federal Institute of Minas Gerais in Ipatinga, considered a space where students and staff spend most of their time carrying out their activities. To this end, illuminance measurements were carried out in situ of the existing room design. Subsequently, simulations were developed in the DIALux Evo software with 3D model representations, which will present an ideal lighting design for the environment based on its purpose.

Keywords: Indoors lighting level. NHO 11. Lighting Design. Software simulations in DIALux evo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Objetivo Geral.....	10
1.3 Objetivos Específicos.....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Noções de Luminotécnica.....	12
2.1.1 Luz.....	12
2.1.2 Iluminância - lux (lx).....	13
2.1.3 Refletância (ρ).....	13
2.1.4 Luminância (L).....	14
2.1.5 Fluxo Luminoso (ϕ) - Lúmen.....	14
2.1.6 Intensidade luminosa - candela (cd).....	15
2.1.7 Eficiência luminosa - lm/W.....	16
2.1.8 Temperatura de cor (Tcp).....	17
2.1.9 Índice de reprodução de cores (IRC).....	18
2.2 Lâmpadas e Luminárias.....	18
2.2.1 Lâmpadas Fluorescentes.....	18
2.2.2 Lâmpadas halógenas de tungstênio.....	19
2.2.3 Iluminação de estado sólido – LED.....	20
2.2.4 Classificação das Luminárias.....	21
2.2.4.1 Direta.....	21
2.2.4.2 Indireta.....	21
2.2.4.3 Semi-direta.....	21
2.2.4.4 Semi-indireta.....	21
2.2.4.5 Direta-indireta.....	22
2.2.4.6 Difusa.....	22
2.2.5 NBR ISO 8995-1.....	23

2.2.5.1 Iluminância.....	23
2.2.5.2 Índice de ofuscamento unificado.....	23
2.2.5.3 Índice de reprodução de cor (IRC).....	23
2.2.5.4 Aparência da cor (Tcp).....	23
2.2.5.5 Luminância da luminária.....	23
2.2.5.6 Tolerância nas medições.....	24
2.3 Principais Métodos de Cálculos de Iluminação.....	24
2.3.1 Métodos dos Lúmens.....	24
2.3.1.1 Fator de depreciação do serviço da luminária – Fdl.....	25
2.3.1.2 Fator de Utilização.....	26
2.3.2 Método do Ponto a Ponto.....	27
2.4 Recomendações Normativas.....	29
2.4.1 Considerações para áreas de tarefa e áreas do entorno.....	29
2.4.1.1 Escola com um arranjo desconhecido do local de trabalho.....	29
2.4.1.2 Sala de aula com um arranjo flexível de mesas.....	30
2.4.2 Requisitos para o planejamento da iluminação.....	30
2.4.3 Malha de cálculo para projeto do sistema de iluminação.....	31
2.4.4 Controle do ofuscamento.....	33
2.4.4.1 Índices de ofuscamento desconfortável pelo método UGR.....	33
2.4.4.3 Método tabular.....	34
2.4.5 Procedimentos para determinação da iluminância média.....	35
2.4.5.1 Cálculo da iluminação média.....	35
2.4.6 Fator de Manutenção.....	36
2.5 Software DIALux Evo.....	37
3 AVALIAÇÃO DA ILUMINÂNCIA: ESTUDO DE CASO.....	38
3.1 Local de pesquisa.....	38
3.1.1 Instituto Federal de Minas Gerais Campus Avançado Ipatinga.....	38
3.1.2 Características.....	39
3.1.3 Materiais de construção e equipamentos.....	40

3.1.4 Características do fornecimento de energia elétrica.....	40
3.2 Procedimentos para avaliação e medição de lúmens na sala de aula no IFMG.....	41
3.2.1 Abordagem preliminar do local.....	41
3.2.2 Equipamento de medição.....	41
3.2.3 Projeto de iluminação existente.....	42
3.2.4 Procedimento para determinação da iluminância média no local.....	44
3.2.5 Conclusão da avaliação e medição.....	46
3.3 Simulação do projeto luminotécnico no DIALux Evo.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
4.1 Condições reais de iluminamento.....	58
5 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Uma boa iluminação do local de trabalho não é apenas para fornecer uma boa visualização da tarefa a ser realizada. É importante que as tarefas sejam executadas facilmente e com conforto visual. Desta forma, a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos para a atividade (CREDER, 2016). A iluminação de ambientes interiores de trabalho é regulamentada, no Brasil, pela NBR ISO/CIE 8995-1, que estabelece, entre outros parâmetros, o nível médio de iluminância de acordo com o tipo de ambiente (DEWES, 2019).

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 define os muitos requisitos necessários para se obter um ambiente de trabalho adequado, em especial às áreas internas, assegurando o bom desempenho do trabalhador naquele local. Conforme norma, os projetistas devem seguir parâmetros como iluminância, distribuição de luminância, ofuscamento, luz artificial e natural para desenvolver projetos de ambientes em que terão a presença de trabalhadores executantes de algum tipo de atividade.

Conforme a NR 17, em todos os locais de trabalho deve haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade. Essa iluminação deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos (BRASIL, 2019). Para tal, os projetistas devem seguir a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Já os métodos de medição e os níveis mínimos de iluminamento a serem observados nos locais de trabalho, exigidos pela NR 17 (BRASIL, 2019), são estabelecidos na Norma de Higiene Ocupacional nº 11 (NHO 11) da Fundacentro - Avaliação dos Níveis de Iluminamento em Ambientes de Trabalho Internos (FUNDACENTRO, 2018).

Apesar de existir uma norma para o projeto e instalação de iluminação, nem sempre são obtidos os níveis mínimos de iluminamento exigidos pela NR 17, havendo a necessidade de medição posterior com uma metodologia validada pela Secretaria de Trabalho ligada ao Ministério da Economia.

Diante das transformações tecnológicas e da necessidade de avaliação e controle da exposição dos trabalhadores aos agentes ambientais, a avaliação do nível de iluminamento interno dos ambientes de trabalho, descritos pela Norma de Higiene Ocupacional 11, constitui-se de ótima ferramenta para garantir o conforto visual, segurança e desempenho

eficiente do trabalho e estudo.

Por anos, muitos projetos luminotécnicos apresentaram deficiências em sua fase de elaboração. Na maioria das vezes o projetista não adequou o projeto aos requisitos necessários para iluminação dos ambientes internos, conforme rege em norma, desenvolvendo-o de forma visual e intuitiva. E por conta disso, a escassez em sua fase pós execução in loco vêm à tona, quando os trabalhadores se queixam do desconforto no ambiente de trabalho provocado devido à não conformidade nos princípios ergonômicos trabalhistas.

Dessa forma, de posse das normas regulamentadoras que abordam sobre a iluminância em ambientes internos e baseando-se nas muitas falhas presentes em projetos luminotécnicos, este trabalho irá realizar avaliações do nível de iluminamento em uma sala de aula, ambiente interno ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, em Ipatinga. Essas considerações serão retratadas através de simulações no software DIALux Evo com representações de plantas em 3D, que irão estimar o modelo luminotécnico ideal para o espaço com base em sua finalidade. Para isso, conceitos básicos de luminotécnica serão previamente apresentados e servirão como fundamental referência no decorrer deste trabalho.

1.1 Justificativa

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho é o aprimoramento sobre projetos luminotécnicos desenvolvidos com base no cumprimento das normas técnicas brasileiras. Ademais, o conhecimento e expansão ao utilizar ferramentas computacionais que auxiliam na execução e eficiência desses projetos.

1.2 Objetivo Geral

Esse trabalho dispõe-se da avaliação do nível de iluminamento de uma sala de aula típica pertencente ao IFMG - *Campus* Ipatinga. Essa análise será com base na Norma de Higiene Ocupacional nº 11 e a sua aplicação no desenvolvimento de um projeto luminotécnico considerado ideal para o respectivo local escolhido.

1.3 Objetivos Específicos

- Estudar a norma NBR ISO/CIE 8995-1, relativa aos projetos de iluminação de ambientes internos;
- Estudar a Norma de Higiene Ocupacional nº 11 (NHO 11);
- Medir o nível de iluminamento de ambiente interno ao IFMG Campus Ipatinga baseando-se nos procedimentos descritos na NHO 11;
- Desenvolver e apresentar simulações de um projeto luminotécnico em 3D no software DIALux evo, exibindo condições ideais de iluminamento de uma sala de aula típica pertencente ao IFMG.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

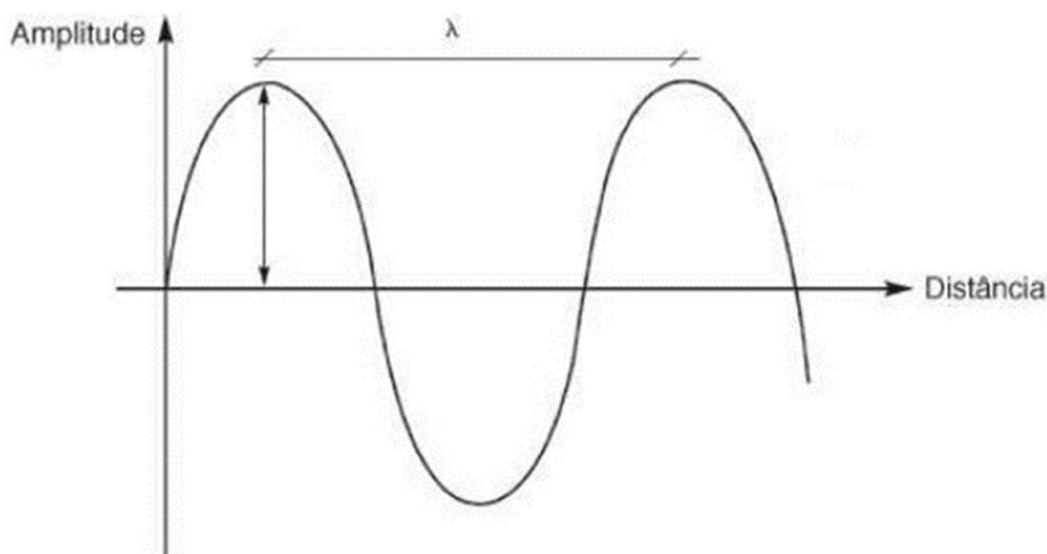
2.1 Noções de Luminotécnica

2.1.1 Luz

A luz é o aspecto da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, determinado pelo estímulo da retina ocular (CREDER, 2016). Essa fonte de radiação é emitida através de ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos e somente uma pequena faixa pode ser vista pelo olho humano. As radiações emitidas em comprimento de onda menores (tons de azul e violeta), provocam uma maior sensibilidade ao olho humano, observado em ambientes mais escurecidos. Enquanto as radiações com comprimento de onda maiores (tons de vermelho e laranja) propiciam ao olho humano uma menor sensação luminosa observada em ambientes mais iluminados (MAMEDE FILHO, 2017).

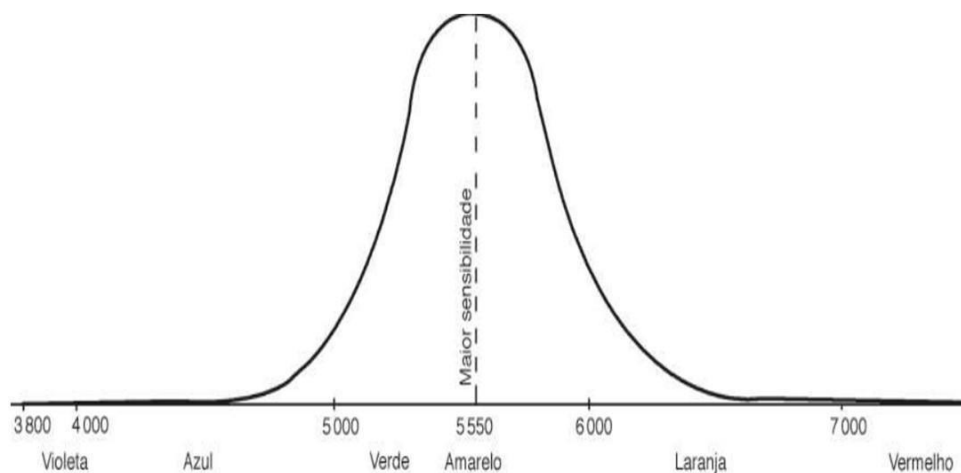
O comprimento de onda (λ) é identificado através da distância entre duas cristas sucessivas de uma onda, conforme mostra no gráfico distância x amplitude, na figura 1. O olho humano é sensibilizado através da amplitude de onda da luz, logo, em meio aos comprimentos de onda desta ocorre a sensação da visão. Na figura 2, observa-se o espectro da luz visível ao sistema humano e os seus extremos, identificados como radiações infravermelhas (maior comprimento de onda) e radiações ultravioletas (menor comprimento de onda) (CREDER, 2016).

Figura 1 - Comprimento de onda.



Fonte: CREDER, 2016.

Figura 2 - Espectro da luz visível em função do comprimento de onda.



Fonte: CREDER, 2016.

2.1.2 Iluminância - lux (lx)

A Iluminância é definida como a relação entre o fluxo luminoso, em lumens, que incide perpendicularmente sobre uma superfície plana, pela área dessa superfície em m², como mostra a equação 1 (CREDER, 2016).

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

Sendo:

E = iluminância (lux)

ϕ = fluxo luminoso (lúmen)

A = área (m²)

2.1.3 Refletância (ρ)

Sabe-se que objetos refletem luz diferentes uns dos outros, portanto, dois objetos postos em um ambiente de uma determinada luminosidade originam luminâncias diferentes. A refletância é definida como a relação entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo luminoso incidente de uma dada superfície (MAMEDE FILHO, 2017).

2.1.4 Luminância (L)

A luminância é medida em candela por metro quadrado e definida a partir da sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro (MAMEDE FILHO, 2017). Ou seja, é a intensidade luminosa de uma determinada superfície reflexiva captada pelo olho humano em uma determinada direção. Visto que, objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, entende-se porque a mesma iluminância pode dar origem a luminâncias diferentes (OSRAM, 2021). Pode ser representada pelas equações 2 e 3 abaixo:

$$L = \frac{I}{s} \times \cos\alpha \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (2)$$

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

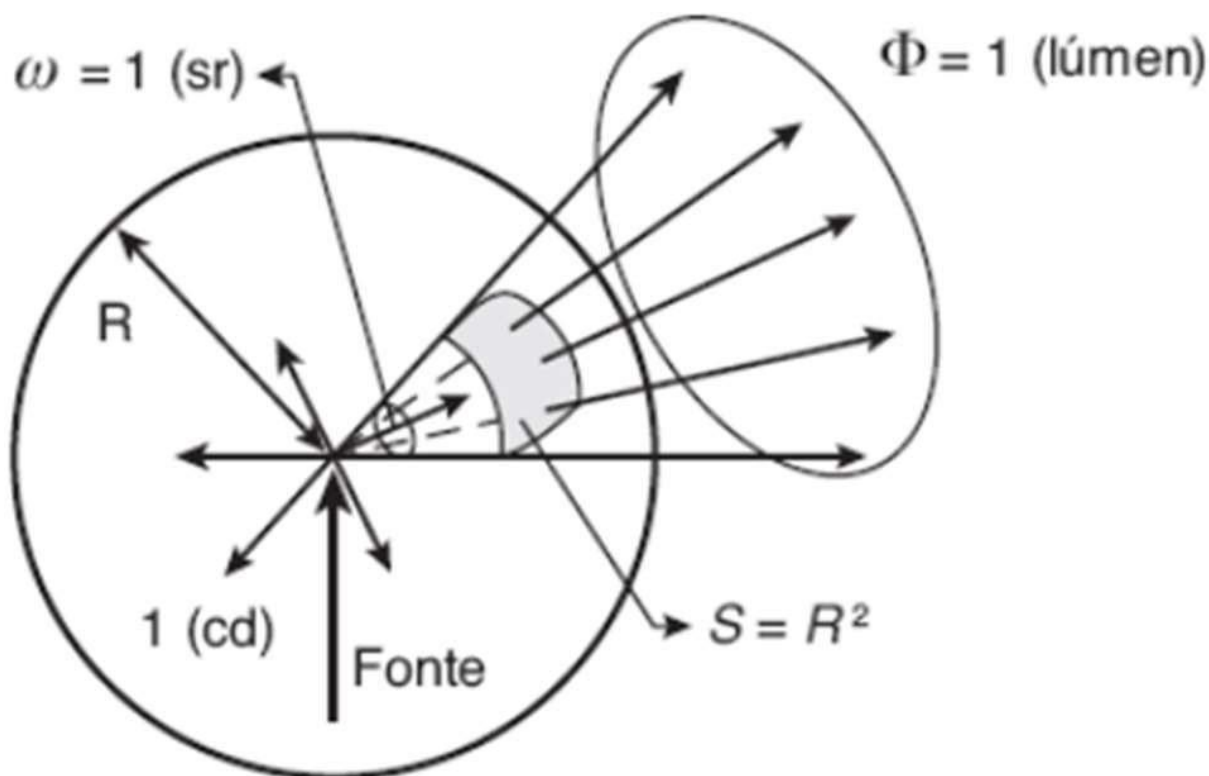
Sendo L a luminância (cd/m²), I a intensidade luminosa (cd), S a área (m²) e α o ângulo em graus. A equação 3 se torna útil ao passo que é difícil medir a intensidade luminosa de uma superfície não radiante através de reflexão. Sendo E a Iluminância sobre essa superfície e ρ a Refletância ou Coeficiente de Reflexão. Este coeficiente é geralmente encontrado em tabelas, cujos valores são função das cores e dos materiais utilizados (OSRAM, 2021).

2.1.5 Fluxo Luminoso (Φ) - Lúmen

O fluxo luminoso é definido como a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Têm o lúmen como sua unidade do Sistema Internacional de Unidades e é considerado como uma base no cálculo luminotécnico (CREDER, 2016).

O lúmen é a quantidade de luz irradiada por meio da abertura de 1 m² em uma esfera cujo raio é de 1 metro. Esse fluxo luminoso emitido no interior desta abertura é igual a 1 candela, intensidade luminosa adotada como referência. Logo, em cada m² da superfície dessa esfera há 1 lúmen, ou seja, em $4\pi R$ emitirá 12,56 lúmens como é visualizado na figura 3 (CREDER, 2016).

Figura 3 - Definição de lúmen.



Fonte: CREDER, 2016.

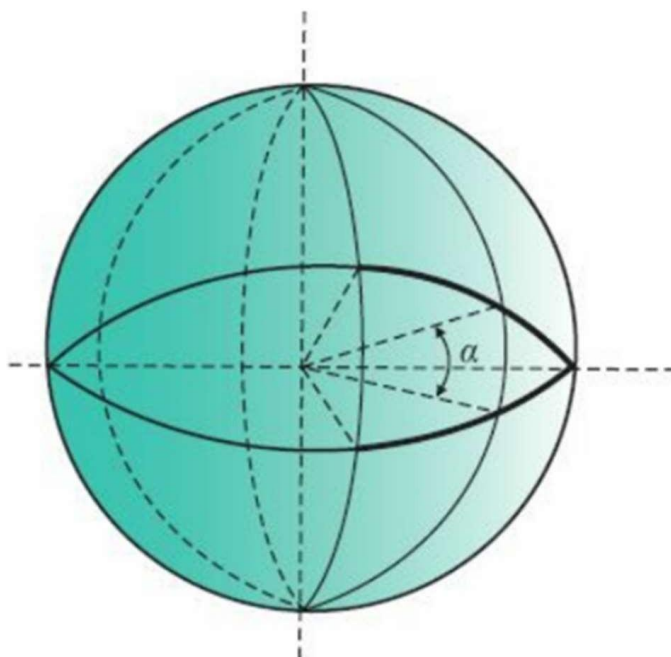
2.1.6 Intensidade luminosa - candela (cd)

Medida em candela (cd), a intensidade luminosa define-se como a potência de radiação visível em uma direção específica emitida por uma fonte de luz (MAMEDE FILHO, 2017). É necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direção, visto que, a fonte luminosa não irradia uniformemente em todas as direções em forma de esfera. A intensidade luminosa pode ser definida como o fluxo luminoso (Φ) em um determinado ponto em uma certa direção (β). (OSRAM, 2021). A intensidade luminosa é dada pela equação 4 abaixo:

$$I = \frac{\partial \Phi}{\partial \beta} \quad (4)$$

A figura 4 demonstra graficamente um ângulo sólido em que se uma fonte luminosa localizada no centro de uma esfera de raio unitário emitir em todas as direções a mesma intensidade luminosa, cada metro quadrado da esfera será iluminado pelo mesmo fluxo luminoso (MAMEDE FILHO, 2017)

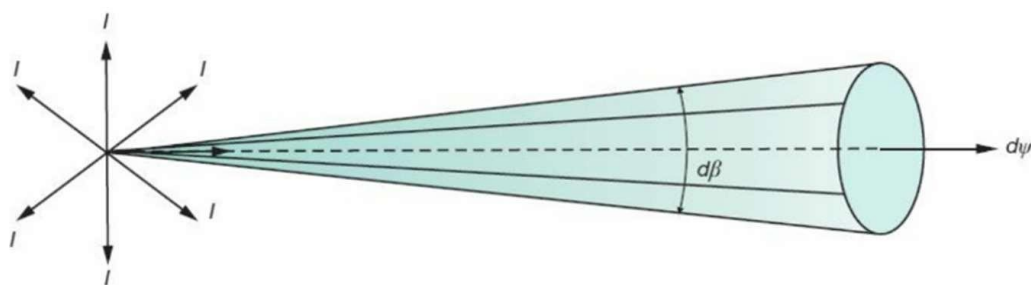
Figura 4 - Demonstração gráfica do ângulo sólido.



Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

A Figura 5 representa a definição da equação da intensidade luminosa conceitualmente.

Figura 5 - Representação do conceito de intensidade luminosa.



Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

2.1.7 Eficiência luminosa - lm/W

Eficiência luminosa é conhecida como a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa e a potência (W) consumida por esta fonte. O tipo de vidro difusor da luminária, por sua vez, pode influenciar a eficiência luminosa de uma fonte. Através da eficiência luminosa das fontes de radiação podem ser elaborados projetos mais eficientes,

selecionando-se lâmpadas de maior eficiência luminosa (MAMEDE FILHO, 2017). A eficiência luminosa é dada pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{\psi}{P_c} \quad (5)$$

Sendo:

η - Eficiência Luminosa, em lúmens/W

ψ - fluxo luminoso emitido, em lúmens.

P_c - potência consumida, em W.

2.1.8 Temperatura de cor (Tcp)

A unidade de medida da temperatura da cor é dada em Kelvin (K), entretanto, não está relacionada ao calor físico de uma ou mais luminárias e sim à tonalidade de sua cor, ou seja, luz quente ou luz fria. Conforme a NBR ISO/CIE 8995-1, existem três tipos de aparência de cor: quente, intermediária e fria. Entretanto, em aspecto visual humano torna-se difícil a percepção de tonalidades diferentes entre as lâmpadas. Logo, por parâmetros definidos em norma, as cores quentes apresentam uma temperatura de cor abaixo de 3300K, as cores neutras ou intermediárias entre 3300K a 5300K e as cores frias acima de 5300K.

A escolha da aparência de cor em um sistema de iluminação de um ambiente depende das cores utilizadas na sala, os mobiliários, o clima e principalmente a aplicação das atividades. Quanto maior a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz em uma área. Logo, em um espaço cujo sistema há menores valores de temperatura de cor (K) apresentará luz quente, ou seja, luzes com uma tonalidade mais amarelada. Observa essa característica em ambientes com uma proposta de aconchego e conforto, com uma atmosfera mais íntima e exclusiva, como exemplo as salas de estar, quartos, restaurantes e bares. Da mesma forma, em um espaço que possui maiores valores de temperatura de cor (K) apresentará luz fria, ou seja, luzes com uma tonalidade mais azulada. Um bom exemplo são os escritórios, salas de aula, bibliotecas e outros que demandam atenção para a realização de alguma atividade, apresentando uma atmosfera formal, precisa e estimulante (OSRAM, 2021).

2.1.9 Índice de reprodução de cores (IRC)

A tonalidade da cor irradiada por objetos sob a luz natural pode não ser igual à tonalidade quando exposto sob uma iluminação artificial. Dessa forma, como maneira de representar as propriedades de reprodução de cor de uma fonte luminosa, adotou-se uma escala, identificada como Índice de Reprodução de Cores, termo conhecido como IRC ou RA, no Brasil, e CRI, internacionalmente (OSRAM, 2021).

Quanto maior o IRC de uma luminária, mais próximo do real a cor do objeto é apresentada ao sistema visual humano. Portanto, ao projetar o sistema luminotécnico de determinados ambientes, torna-se imprescindível a escolha de lâmpadas que apresentam valores de IRC próximos a 100%, como o caso de alas hospitalares e salas de cirurgia. Entretanto, as lâmpadas que possuem esse índice tão alto apresentam baixa eficiência luminosa e conseqüentemente alto consumo de energia e grande dissipação de calor, sendo assim, torna-se necessária a avaliação de escopo do projeto luminotécnico a fim de atender à demanda do cliente (OSRAM, 2021).

2.2 Lâmpadas e Luminárias

As lâmpadas elétricas são as responsáveis pelo fornecimento de energia luminosa. Já as luminárias são aparelhos destinados à fixação da lâmpada e encarregadas pela sustentabilidade, melhor distribuição luminosa e melhor proteção contra intempéries. Ademais, proporcionam um aspecto visual estético e agradável ao ambiente e geralmente contribuem para uma boa instalação, conservação e manutenção da lâmpada (CREDER, 2016).

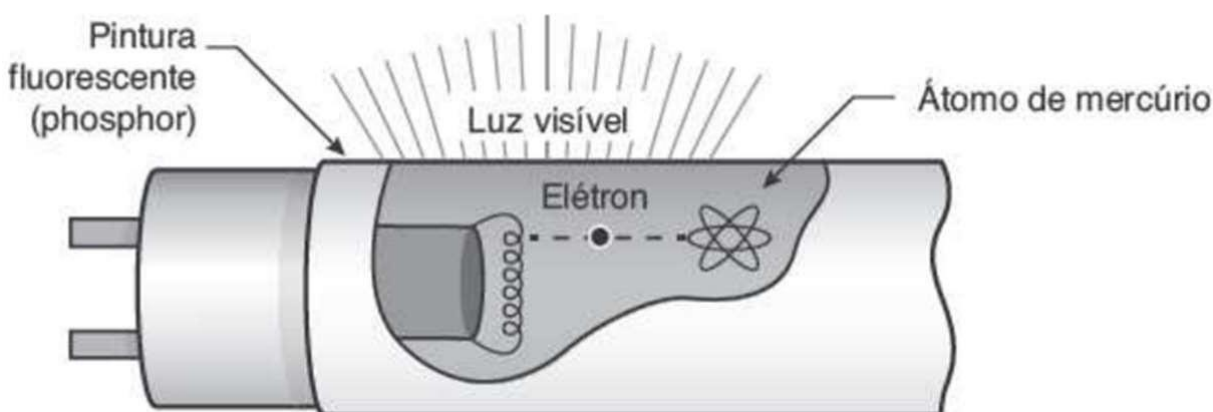
As lâmpadas podem ser classificadas através do seu processo de emissão de luz e do seu desempenho. A metodologia de emissão de luz fragmenta as lâmpadas em incandescentes, descargas e LED (estado sólido), enquanto o método que avalia o desempenho, desmembra as lâmpadas por meio das características como vida útil, rendimento luminoso e índice de reprodução de cores (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.1 Lâmpadas Fluorescentes

É considerada um dos tipos de lâmpada de descarga e caracteriza-se por funcionar

através da passagem da descarga elétrica num meio de gases metálicos (CREDER, 2016). A lâmpada fluorescente é formada por um tubo em que há a fixação de um material fluorescente onde, na presença de gases ou vapores metálicos, ocorre a descarga elétrica, ou seja, a emissão de energia sob forma de radiação. Dessa forma, a radiação ultravioleta produzida se transforma em luz visível na presença do material fluorescente (NISKIER E MACINTYRE, 1996). A figura 6 mostra os principais componentes de uma lâmpada fluorescente.

Figura 6 - Lâmpada Fluorescente.



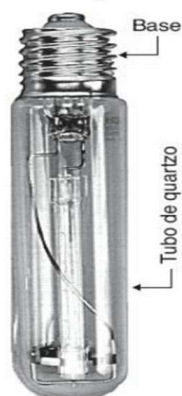
Fonte: CREDER, 2016.

Esse tipo de lâmpada de descarga evidencia uma boa eficiência luminosa e uma boa vida útil com muitas horas de operação. Ademais, inicialmente apresenta um elevado custo para implementação, entretanto o seu custo de manutenção é bem reduzido e viável. Logo, por apresentar uma excelente performance, são muito utilizadas no desenvolvimento de projetos de iluminação de interiores, como escritórios, salas corporativas, supermercados e áreas industriais. Ao contrário das lâmpadas incandescentes, o índice de reprodução de cores (IRC) das lâmpadas fluorescentes possui um rendimento um pouco inferior, não representando um destaque ideal das cores (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.2 Lâmpadas halógenas de tungstênio

A lâmpada halógena de tungstênio é uma variação da lâmpada incandescente, onde o filamento é retido em um tubo de quartzo no qual é adicionado iodo. Para funcionar, o tungstênio evapora do filamento e é combinado com o gás no interior do tubo, processo que gera o iodeto de tungstênio (MAMEDE FILHO, 2017). A Figura 7 mostra os principais componentes de uma lâmpada halógena.

Figura 7 - Lâmpada halógena.

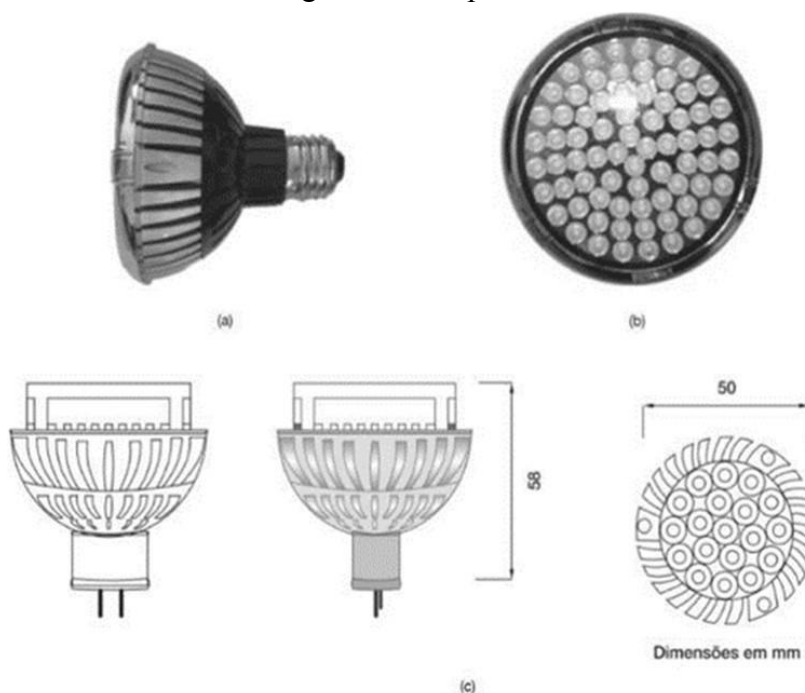


Fonte: FILHO, 2017.

2.2.3 Iluminação de estado sólido – LED

A Lâmpada LED é fabricada com o diodo LED, um material semicondutor que emite luz quando há passagem de corrente elétrica. As lâmpadas LED possuem mais durabilidade com duração de 50.000 horas enquanto as fluorescentes duram 6.000 horas e as incandescentes 1.000 horas. Além disso, utilizam 82% menos energia elétrica que uma incandescente e são mais ecológicas (SANTOS et al., 2015). A figura 8 mostra os principais componentes de uma lâmpada LED.

Figura 8 - Lâmpada LED.



Fonte: CREDER, 2016.

2.2.4 Classificação das Luminárias

A luminária é o principal equipamento auxiliar utilizado na iluminação de diversos ambientes, sua tarefa é abrigar a lâmpada controlando e distribuindo a luz. Entretanto, devido às suas inúmeras formas e formatos, o fluxo luminoso final apresenta-se inferior ao irradiado pela lâmpada (OSRAM, 2021). Logo, as luminárias devem ser classificadas de acordo com a distribuição do seu fluxo luminoso em direta, indireta, semidireta, semi-indireta, direta-indireta e difusa.

2.2.4.1 Direta

O fluxo luminoso apresenta-se em linha reta ao plano de trabalho, um exemplo são as luminárias refletoras espelhadas (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.4.2 Indireta

O fluxo luminoso dirige-se em oposição ao plano de trabalho. Geralmente esse grupo contém as luminárias cuja proposta é decorativa em determinado ambiente (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.4.3 Semi-direta

Uma parcela do fluxo luminoso alcança o plano de trabalho enquanto a outra parte sofre reflexão e atinge ao mesmo plano (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.4.4 Semi-indireta

Uma parcela do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho de forma indireta quando a outra parte é tendente ao mesmo de forma direta (MAMEDE FILHO, 2017).

2.2.4.5 Direta-indireta

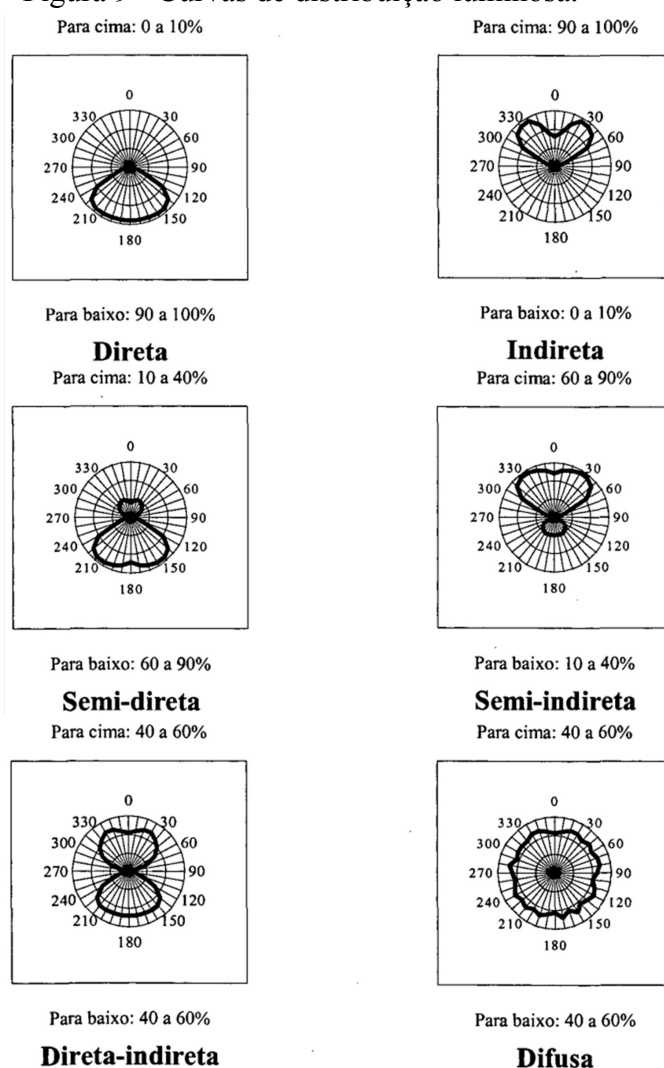
O fluxo luminoso emitido é praticamente o mesmo para cima e para baixo da luminária (GHISI, 1997).

2.2.4.6 Difusa

O fluxo luminoso possui a mesma intensidade em todas as direções (GHISI, 1997).

A classificação das luminárias de acordo com a distribuição de seu fluxo luminoso pode ser observada na figura 9.

Figura 9 - Curvas de distribuição luminosa.



Fonte: GHISI, 1997.

2.2.5 NBR ISO 8995-1

Segundo a norma brasileira regulamentadora que trata sobre iluminação de ambientes de trabalho, existem procedimentos de verificação da iluminação do espaço. Portanto, para facilitar as tarefas realizadas no local, é importante que seja dada atenção a todos os parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.2.5.1 Iluminância

A iluminância não deve apresentar um valor menor do que o calculado para aquela área no projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.2.5.2 Índice de ofuscamento unificado

O índice de ofuscamento unificado deve ser fornecido pelo fabricante da luminária. A instalação, o leiaute e o acabamento das superfícies devem estar de acordo com o projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.2.5.3 Índice de reprodução de cor (IRC)

O IRC deve ser especificado no projeto e as lâmpadas instaladas devem possuir esta característica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.2.5.4 Aparência da cor (Tcp)

A Tcp tem seus dados fornecidos pelos fabricantes da lâmpada e seu valor não pode ser inferior ao do projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.2.5.5 Luminância da luminária

Os dados da luminância da luminária são, normalmente, fornecidos pelo fabricante e são baseados em sua emissão máxima. A luminância média é calculada em um ponto inicial de 0° , intercalado de 15° em 15° em um plano C, cuja elevações em ângulos γ são 65° , 75° e 85° (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.2.5.6 Tolerância nas medições

Pode haver discrepâncias entre os valores calculados em projeto e o medido na área instalada, visto que, as lâmpadas podem trabalhar fora do seu desempenho ideal projetado. A tolerância esperada é de 10% para as medidas de luminância e iluminância (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.3 Principais Métodos de Cálculos de Iluminação

Ao realizar o desenvolvimento de um projeto luminotécnico em um ambiente, deve-se inicialmente estabelecer qual o conjunto de lâmpada-luminária que melhor se aplica ao espaço. Ou seja, definir a quantidade de lâmpadas e luminárias que irão fornecer as condições ideais de iluminância àquele local, com base na classe de tarefas visuais que ele apresentará.

A quantidade dessas grandezas pode ser definida por meio de dois principais métodos de cálculo, sendo eles:

- Método dos Lúmens;
- Ponto a Ponto.

O primeiro método chamado de Lúmens trabalha de uma forma bem simplificada e muito utilizada pelos projetistas para aproximar do nível de iluminamento no local. Enquanto o Método Ponto a Ponto, mais complexo, calcula o iluminamento em todo e qualquer ponto da superfície deste ambiente (MAMEDE FILHO, 2017).

2.3.1 Métodos dos Lúmens

O método de Lumens determina o fluxo luminoso necessário para alcançar um iluminamento médio adequado para o ambiente (MAMEDE FILHO, 2017). Esse método segue a equação 6.

$$\psi t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} \quad (6)$$

Sendo:

ψt - fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, em lumens;

E - iluminamento médio requerido pelo ambiente a iluminar, em lux; S - área do recinto, em m²;

F_{dl} - fator de depreciação do serviço da luminária (valor obtido na tabela 1 que será apresentada logo abaixo);

F_u - fator de utilização do recinto.

2.3.1.1 Fator de depreciação do serviço da luminária – F_{dl}

Devido à sujeira acumulada tanto no refletor quanto na lâmpada e à redução do fluxo luminoso, o sistema de iluminação perde o nível inicial de iluminação. O fator de depreciação do serviço da luminária compara o fluxo luminoso no fim de seu limite útil antes da manutenção e o fluxo emitido no início de sua operação (MAMEDE FILHO, 2017). Essa relação é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Fator de depreciação do serviço da luminária (F_{dl}).

Tipo de aparelho	F _{dl}
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	
Calha aberta e chanfrada	0,80
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para 2 lâmpadas incandescentes	0,70
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	0,70
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	0,60
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	0,60
Luminária comercial para lâmpada <i>high output</i> com colmeia	
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

2.3.1.2 Fator de Utilização

O fator de utilização é a relação entre o fluxo luminoso que chega no ambiente e o fluxo total emitido pelas lâmpadas. O fator de utilização pode ser definido como a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto. Para saber o fator de utilização é preciso definir o índice de recinto (K) e conhecer as refletâncias médias do teto (ρ_{te}), refletâncias médias das paredes (ρ_{pa}) e refletâncias médias do piso (ρ_{pi}). A refletância média indica as reflexões médias das superfícies do ambiente do projeto que são funções da tonalidade das superfícies iluminadas (MAMEDE FILHO, 2017):

a) Teto

Branco: $\rho_{te} = 70 \% = 0,70$.

Claro: $\rho_{te} = 50 \% = 0,50$.

Escuro: $\rho_{te} = 30 \% = 0,30$.

b) Paredes

Claras: $\rho_{pa} = 50 \% = 0,50$.

Escuras: $\rho_{pa} = 30 \% = 0,30$.

c) Piso

Escuro: $\rho_{pi} = 10 \% = 0,10$.

Abaixo contém algumas cores com os seus respectivos coeficientes de refletância percentual, ρ_{pe} , ou seja:

- 80 a 70 %: branco – branco-claro
- 65 a 55 %: amarelo-claro
- 50 a 45 %: verde-claro – rosa – azul-celeste – cinza-claro
- 40 – 35 %: bege – amarelo-escuro – marrom-escuro
- 30 a 25 %: vermelho – laranja – cinza médio
- 20 a 15 %: verde-escuro – azul-escuro – vermelho-escuro
- 10 a 5 %: azul-marinho – preto

O índice de recinto K é dado pela equação 7.

$$K = \frac{A \times B}{H \times \rho_x (A + B)} \quad (7)$$

Sendo:

K - Índice do recinto;

A - Comprimento do recinto, em m; B - Largura do recinto, em m;

H_{lp} - Altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho, em m.

2.3.2 Método do Ponto a Ponto

O método de iluminação ponto a ponto é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação à área iluminada. O cálculo desse método consiste na quantificação de um ponto de uma superfície a uma determinada distância de uma fonte luminosa puntiforme (NISKIER E MACINTYRE, 2000). O fluxo luminoso estabelece dois tipos de iluminação, o horizontal e o vertical (MAMEDE FILHO, 2017).

a) Iluminamento horizontal: é a soma do fluxo luminoso de todas as luminárias em um plano horizontal determinado pela equação 8 (MAMEDE FILHO, 2017).

$$E_h = \frac{I \times \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (8)$$

Em que:

E_h - iluminamento horizontal (lux);

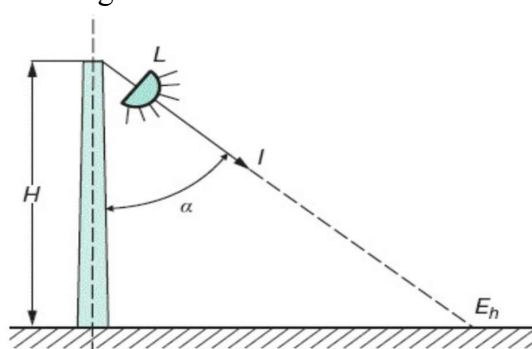
I - intensidade do fluxo luminoso (cd);

α - ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

H - altura vertical da luminária (m).

A Figura 10 representa geometricamente os parâmetros da Equação 10.

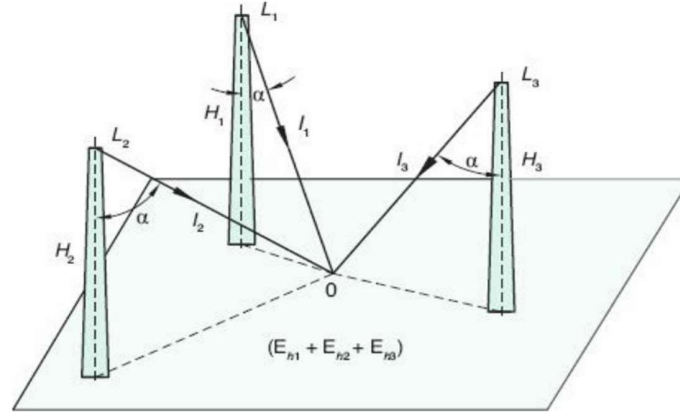
Figura 10 - Iluminamento horizontal



Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

A Figura 11 ilustra a combinação de várias fontes de luz no plano horizontal no ponto O.

Figura 11 - Contribuição das fontes de luz.



Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

b) Iluminamento vertical: é a soma do fluxo luminoso de todas as luminárias em um plano vertical determinado pela equação 9 (MAMEDE FILHO, 2017).

$$E_v = \frac{I \times \sin^3 \alpha}{D^2} \quad (9)$$

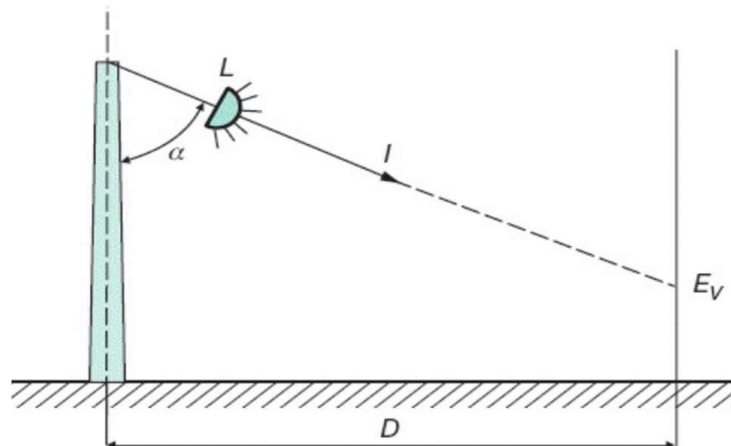
Em que:

E_v - iluminamento vertical (lux);

D - distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical (m).

A Figura 12 representa geometricamente os parâmetros da Equação 9.

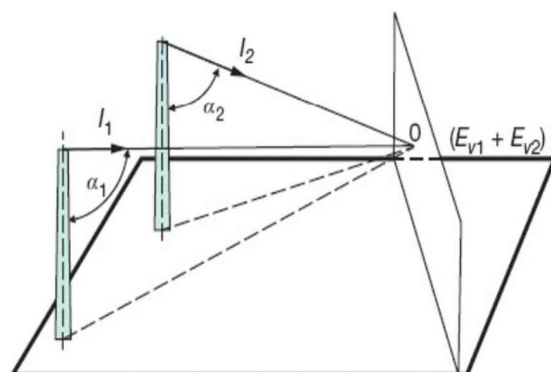
Figura 12 - Iluminamento vertical



Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

A Figura 13 ilustra a combinação de várias fontes de luz no plano vertical no ponto O.

Figura 13 - Contribuição das fontes de luz.



Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

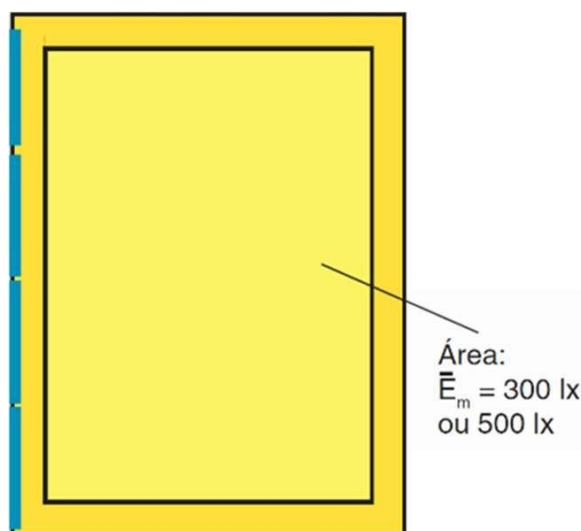
2.4 Recomendações Normativas

2.4.1 Considerações para áreas de tarefa e áreas do entorno

2.4.1.1 Escola com um arranjo desconhecido do local de trabalho

Para salas de aula ordinárias, todo o espaço é considerado área de trabalho (figura 14). Para escolas primárias e secundárias mantém-se iluminância de 300 lux. Já para aulas noturnas e educação de adultos, considera-se 500 lux (FUNDACENTRO, 2018). Ou seja, será considerada iluminância mantida ($\bar{E}_m$) de 500 ou 300 lux para toda a área da sala.

Figura 14 - Sala com um arranjo desconhecido.

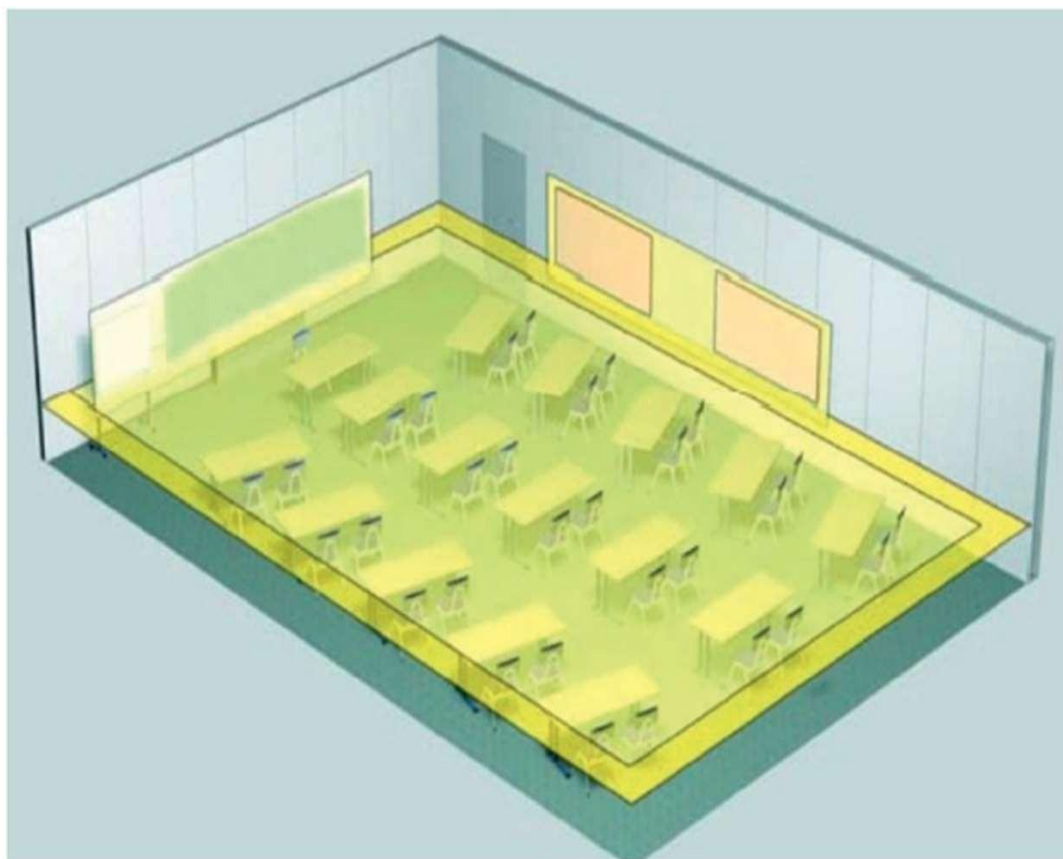


Fonte: ABNT NBR ISO/CIE8995-1, 2013.

2.4.1.2 Sala de aula com um arranjo flexível de mesas

Para salas de aula com arranjo flexível de mesas, a sala inteira é considerada como plano de trabalho menos uma faixa marginal de 0,5 m de largura (figura 15). A uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e médio na área da tarefa. Sendo assim, uma uniformidade planejada $U1 \geq 0,6$ pode ser considerada já que é o suficiente para alcançar uma uniformidade mínima de 0,7 nas mesas individuais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Figura 15 - Sala com um arranjo flexível de mesas.



Fonte: ABNT NBR ISO/CIE8995-1.

2.4.2 Requisitos para o planejamento da iluminação

Na tabela 2 contém os requisitos de iluminação para determinados ambientes segundo a NHO 11. Na coluna 1 é listada os ambientes que podem estar presentes em uma edificação de ensino. Já a coluna 2 apresenta a iluminância mantida na superfície de

referência. E, o índice de reprodução de cores mínimo (IRC) é estabelecido na coluna 3 também de acordo com a coluna 1. As recomendações presentes na coluna 4 são para exceções e aplicações especiais.

Tabela 2 - Níveis mínimos de iluminamento E (lux) em função do tipo de ambiente, tarefa ou atividade.

<i>Tipo de ambiente, tarefa ou atividade</i>	<i>E (lux)</i>	<i>IRC/Ra</i>	<i>Observações</i>
Sala de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	80	
Sala de leitura	500	80	– Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	80	– Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	80	– Em salas de leitura, 750 lux.
Sala de arte em artesanato	500	80	
Sala de arte em escolas de arte	750	90	– T _{cp} > 5.000 K.
Sala de desenho técnico	750	80	
Sala de aplicação e laboratórios	500	80	
Oficina de ensino	500	80	
Sala de ensino de música	300	80	
Sala de ensino de computador	500	80	– Vide nota 2.
Laboratório linguístico	300	80	
Sala de preparação e oficinas	500	80	
Sala comum de estudantes e sala de reunião	200	80	
Sala dos professores	300	80	

Fonte: FUNDACENTRO, 2018.

2.4.3 Malha de cálculo para projeto do sistema de iluminação

O tamanho da malha recomendada para determinar as iluminâncias para a área da tarefa, local de trabalho ou arredores depende da geometria do sistema de iluminação, da

distribuição da intensidade luminosa das luminárias, da precisão requerida e das quantidades fotométricas a serem avaliadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). A tabela 3 apresenta o tamanho sugerido das malhas.

Tabela 3 - Tamanhos da malha.

Ambiente	Maior dimensão da zona ou sala d	Tamanho da malha p
Área da tarefa	Aproximadamente 1 m	0,2 m
Salas/zonas de salas pequenas	Aproximadamente 5 m	0,6 m
Salas médias	Aproximadamente 10 m	1 m
Salas grandes	Aproximadamente 50 m	3 m
NOTA Recomenda-se que o tamanho da malha não seja excedido.		

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO/CIE8995-1, 2013.

O tamanho da malha é dado pela equação 10.

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

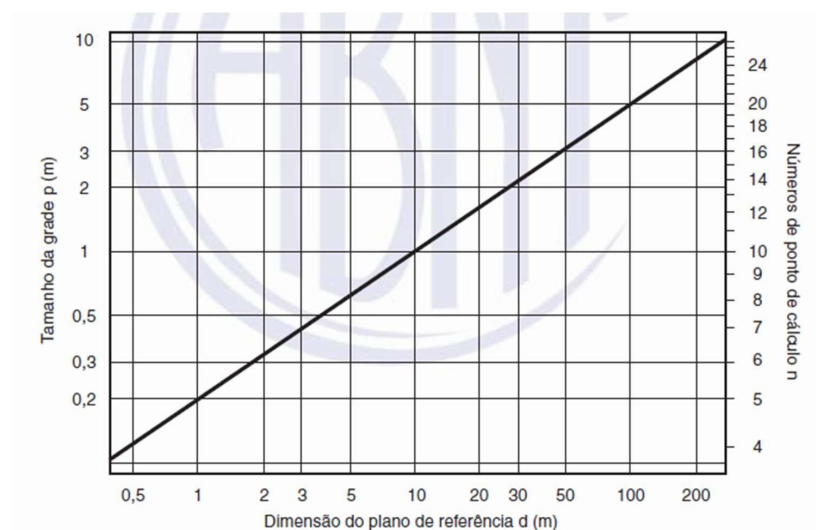
Onde:

ρ é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

d é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m).

Para este trabalho, será usado um ambiente de superfície retangular com as dimensões mostradas posteriormente. Portanto, para calcular a iluminância média as superfícies retangulares são divididas em retângulos menores, quase quadrados, em que em seu centro se localizam os pontos de cálculo. A partir da média aritmética de todos os pontos de cálculos a iluminância média é encontrada. Quando a relação entre o comprimento e a largura da área estão entre 0,5 e 2, o tamanho da malha ρ e o número de pontos podem ser determinados com base na maior dimensão d da área de referência. A recomendação da norma em todos os casos é que a menor dimensão seja tomada como base para o estabelecimento do espaçamento entre pontos da malha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). O gráfico 1 mostra a reta do tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência como mostrados nos valores da tabela 3.

Gráfico 1 - Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência.



Fonte: ABNT NBR ISO/CIE8995-1, 2013.

2.4.4 Controle do ofuscamento

O ofuscamento define-se como a sensação de excesso de luz produzida por áreas excessivamente brilhantes. Existem dois tipos de ofuscamento: o ofuscamento inabilitador que causa deficiência direta da visão e o ofuscamento desconfortável que prejudica o senso de bem estar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.4.4.1 Índices de ofuscamento desconfortável pelo método UGR

Segundo a norma, o Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) foi desenvolvido pela CIE 117-1995 para parametrizar, calcular e determinar o índice de ofuscamento de desconforto causado por um sistema de iluminação. A tabela 5 mostra o limite máximo para algumas tarefas, inclusive o de sala de aula. Os métodos são baseados na Equação 11 e os detalhes relacionados a ele são dados pela CIE.

Tabela 4 – Exemplos dos limites máximos de UGR_L

Desenho técnico	≤ 16
Leitura, escrita, salas de aula, computação, inspeções	≤ 19
Trabalho em indústria, exposições, recepção	≤ 22
Trabalho bruto, escadas	≤ 25
Corredores	≤ 28

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE8995-1, 2013.

Para salas de aula, não é recomendado que o valor do índice de ofuscamento ultrapasse 19 UGR_L. As tabelas UGR são fornecidas pelo fabricante e incorporadas em programas de cálculo de iluminação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.4.4.2 Índice de ofuscamento de um sistema de iluminação interno

O método do índice de ofuscamento unificado da CIE (UGR) classifica o ofuscamento direto causado pelas luminárias de um sistema de iluminação interno. O UGR é obtido pela equação 11 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

$$UGR = 8 \times \log \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{\rho^2} \right) \quad (11)$$

Em que:

L_b é a luminância de fundo expressa em candelas por metro quadrado, calculada como E_{ind}/π , na qual E_{ind} é a iluminância indireta vertical no olho do observador;

L é a luminância média em candelas por metro quadrado das partes luminosas da luminária na direção do observador;

ω é o ângulo sólido em sr das partes luminosas da luminária visível a partir da posição do observador;

ρ é o índice de posição Guth para cada luminária individual.

Este método está limitado às luminárias diretas e diretas/indiretas com um componente indireto de até 65%. Em luminárias com componente indireto maior que 65%, o ofuscamento pode ser excluído devido ao ofuscamento potencial da componente direta ser muito baixo. Segundo a publicação 117 da CIE, não convém que o método UGR seja mais utilizado para as grandes fontes de luz (ângulo sólido > 1 sr) ou para as pequenas fontes de luz (ângulo sólido $< 0,0003$ sr) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.4.4.3 Método tabular

O método tabular é comparado com uma tabela-padrão que lista os índices UGR

para 19 salas-padrão e diferentes combinações de refletância para uma determinada luminária. Para os cálculos para salas-padrão do método tabular, presume-se que os observadores veem as luminárias ao longo e através de suas linhas de visão ao longo do eixo da sala. A montagem das luminárias é feita em uma grade regular sobre o plano da luminária, os pontos médios das luminárias definidos a uma distância de 0,25 vez a distância H entre o plano da luminária e a altura do olho do observador e os pontos médios das luminárias mais próximas das paredes, definidos como a metade mais distante da parede tanto como os pontos médios da luminária uns com os outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.4.5 Procedimentos para determinação da iluminância média.

2.4.5.1 Cálculo da iluminação média

A NHO estabelece as seguintes etapas para medição de um ambiente de trabalho retangular iluminado com fontes de iluminação com padrão regular, igualmente distribuídas em duas ou mais fileiras.

- Efetuar as medições na área central, nos pontos r1 a r4 e nos pontos r5 a r8, conforme a Figura 16, e calcular a média aritmética R das oito medições.
- Efetuar as medições nos pontos q1 a q4, localizados em lados opostos do ambiente de trabalho, e calcular a média aritmética Q das quatro medições.
- Efetuar as medições nos pontos t1 a t4 localizados em pontos opostos do ambiente de trabalho e calcular a média aritmética T das leituras.
- Efetuar as medições em dois cantos opostos p1 e p2 do ambiente de trabalho e calcular a média aritmética P das duas leituras.

A iluminância média do ambiente é dada pela seguinte equação:

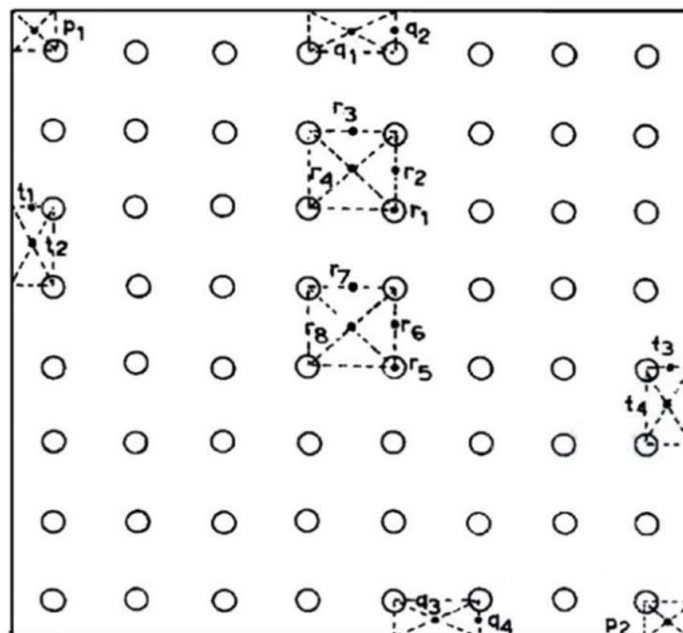
$$\bar{I} = \frac{R(N-1)(M-1) + Q(N-1) + T(M-1) + P}{NM} \quad (12)$$

Sendo:

N = quantidade de luminárias por fila;

M = número de filas.

Figura 16 - Ambiente de trabalho retangular, iluminado com fontes de iluminação com padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras.



Fonte: FUNDACENTRO, 2018.

2.4.6 Fator de Manutenção.

Com o tempo de uso, é comum o fluxo luminoso do sistema de iluminação diminuir, seja por envelhecimento da lâmpada ou acúmulo de sujeira na luminária. Logo, para garantir um valor adequado de iluminação, é determinado um fator de manutenção que deve ser utilizado pelo projetista durante o desenvolvimento do projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

O fator de manutenção (MF) é determinado pela equação 13.

$$MF = FMFL \times FSL \times FML \times FMSS \quad (13)$$

Em que:

FMFL é a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada;

FSL é o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada;

FML considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias;

FMSS considera a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies da sala.

2.5 Software DIALux Evo

O DIALux Evo é um software desenvolvido para a elaboração de projetos de iluminação profissional, em que permite aos engenheiros e projetistas planejar, calcular e visualizar a iluminação de áreas interiores e exteriores de diversos ambientes. É utilizado na modelagem desde edifícios inteiros e salas individuais até iluminação de estacionamentos e vias públicas (DIAL GMBH, 2023).

O software conta com uma infinidade de recursos e funções em 3D que facilitam a modelagem do espaço. Possui uma apresentação clara e compreensível por meio de tabelas, imagens, gráficos de cores e valores que espelham a realidade. Ademais, contribui para um bom desenvolvimento de um projeto luminotécnico atendendo às considerações e requisitos presentes em normas técnicas atuais. Trata-se de um programa gratuito, disponível em mais de 20 idiomas e com suporte para pequenos e grandes fabricantes no mercado luminotécnico (DIAL GMBH, 2023). Na figura 16 observa-se a logo do software.

Figura 16 - Logo DIALux Evo.



Fonte: DIAL GMBH, 2022.

3 AVALIAÇÃO DA ILUMINÂNCIA: ESTUDO DE CASO

3.1 Local de pesquisa

3.1.1 Instituto Federal de Minas Gerais Campus Avançado Ipatinga

Este trabalho foi desenvolvido em uma sala de aula do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) *Campus* Ipatinga. A instituição comporta alunos do ensino técnico, curso superior de Engenharia Elétrica entre outros meios de aprendizagem e estudos profissionalizantes. As principais atividades do *campus* são realizadas dentro de salas de aula, portanto, foi desenvolvido um projeto luminotécnico como estudo de caso, em que o objetivo principal é apresentar condições ideais de iluminação para uma sala de aula. A figura 17 é uma imagem da sala de aula 203 utilizada no projeto.

Figura 17 - Sala de aula 203 do IFMG.



Fonte: Elaborada pelas autoras, (2023).

A instituição de ensino está localizada no município de Ipatinga - MG, na Rua Maria Silva, número 125 do bairro Veneza. Na figura 18 observa-se a fachada da instituição.

Figura 18 - IFMG *campus* Ipatinga.



Fonte: Elaborada pelas autoras, (2023).

3.1.2 Características

Local:

- Sala de aula 203.

Atividades:

- Estudo (leitura, ensino, pesquisas, atividades acadêmicas);
- Uso de computadores;
- Uso de Projetores;
- Uso de quadro branco.

Objetivos da iluminação:

- Proporcionar boas condições de estudo;
- Garantir conforto visual;
- Evitar fadiga por causa da iluminação;
- Proporcionar mais foco e atenção na realização de atividades.

Dimensões físicas do recinto:

- Altura do peitoril da janela: 1,2m;
- Altura e comprimento das 2 janelas respectivamente: 1,2 x 2,6 [m];
- Comprimento e altura da porta respectivamente: 2,1 x 1,0 [m];
- Largura e comprimento da sala respectivamente: 8,10 x 6,10 [m];
- Pé direito da sala: 3,80m.

Composição do recinto:

- 40 mesas e cadeiras para alunos;
- 1 Mesa e cadeira para o professor;
- Quadro Branco.
- Projetor
- Ar condicionado

3.1.3 Materiais de construção e equipamentos**Teto:**

- Pintado na cor branco.

Paredes:

- Pintadas na cor bege.

Piso:

- Cerâmica esmaltada na cor grafite.

Mobiliário:

- Mesas de fórmica esmaltadas na cor telecinzento;
- Cadeiras esmaltadas na cor azul semáforo.

3.1.4 Características do fornecimento de energia elétrica

- Tensão estável na rede (127/220V);
- Acendimento não individualizado (interruptor na entrada da sala);
- Pontos de energia próximo às mesas.

3.2 Procedimentos para avaliação e medição de lúmens na sala de aula no IFMG

3.2.1 Abordagem preliminar do local

Para realizar a medição da quantidade de lúmens presentes na sala de aula modelada, através do método Ponto a Ponto, deve-se inicialmente fazer uma avaliação preliminar no local. Essa análise do ambiente baseia-se em observar a sua aparência de cor e contrastes, presença de luz externa e sombras excessivas, disposição das mobílias e das luminárias e a definição do plano de trabalho no recinto, ou seja, onde se concentram as atividades desenvolvidas no local (FUNDACENTRO, 2018).

As atividades em sala de aula no IFMG iniciam pela manhã e se estendem até a noite, neste caso, existem momentos do dia em que há a presença de fonte de luz externa. A norma de higiene ocupacional nº11 recomenda que as medições sejam feitas no ambiente interno sob as condições mais desfavoráveis, ou seja, no período noturno quando toda a iluminação depende unicamente das fontes instaladas no espaço. Ademais, os avaliadores responsáveis pela medição devem poupar o uso de roupas claras e se posicionarem de modo a não causar sombras e reflexões no local, a fim de não influenciar na aferição (FUNDACENTRO, 2018).

3.2.2 Equipamento de medição

É possível aferir a iluminância em um ambiente através de um pequeno aparelho chamado luxímetro. Entretanto, as fontes luminosas presentes em um local não possuem uma distribuição uniforme, apresentando iluminâncias diferentes em pontos diferentes, sendo considerada a iluminância média final (MAMEDE FILHO, 2017).

Este instrumento precisa ser constantemente calibrado e certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), bem como possuir especificação técnica, informada pelo fabricante, que permita a realização dessa medição de acordo ao tipo de lâmpada utilizada no projeto luminotécnico, neste caso, LED (FUNDACENTRO, 2018).

Logo, para a realização da medição da iluminância (unidade de medição em lux) na específica sala de aula do IFMG foi utilizado o testador multifunções modelo HTM-401 da marca Hikari Ferramentas, que se destaca por ser 4 em 1, como é observado na figura 19. Este

equipamento é projetado para combinar as funções: medidor de luz (luxímetro), medidor de som (decibelímetro), medidor de umidade (higrômetro) e medidor de temperatura (termômetro). O luxímetro proporciona medidas em lux com escala de 20 a 20000 lux, capaz de realizar as medições em muitos pontos in loco, conforme procedimento normativo apresentado no item abaixo.

Figura 19 - Testador multifunções, modelo HTM-401 da marca Hikari.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

3.2.3 Projeto de iluminação existente

Há no ambiente 9 luminárias não espelhadas que apresentam uma curva de distribuição luminosa direta. Elas estão divididas igualmente em 3 linhas e 3 colunas no espaço. As lâmpadas tubulares de LED instaladas na sala de aula são do fabricante Elgin com potência de 20W cada uma. Como em cada luminária possui 2 lâmpadas, há 40W por

luminária. Na figura 20 mostra a identificação das lâmpadas instaladas no local.

Figura 20 - Lâmpadas atualmente instaladas na sala de aula.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Na Tabela 5 encontram-se dados técnicos da lâmpada instalada na sala de aula.

Tabela 5 - Dados técnicos fornecidos pela fabricante da lâmpada.

Potência	10W	20W
Código Elgin	48TUBLED1000	48TUBLED2000
Tensão	110 - 240V	110 - 240V
Frequência	50/60Hz	50/60Hz
Fator de Potência	>0,92	>0,92
Vida Útil	25000 h	25000 h
Fluxo Luminoso	900 lm	1850 lm
Ângulo de abertura	220°	220°
Temperatura de Cor	6500K branca fria	6500K branca fria
IRC	>80 (R9>0)	>80 (R9>0)
Eficiência Luminosa	90 lm/W	92,5 lm/W
Dimensões	Ø T8 x 604mm	Ø T8 x 1212mm
Base	G13	G13

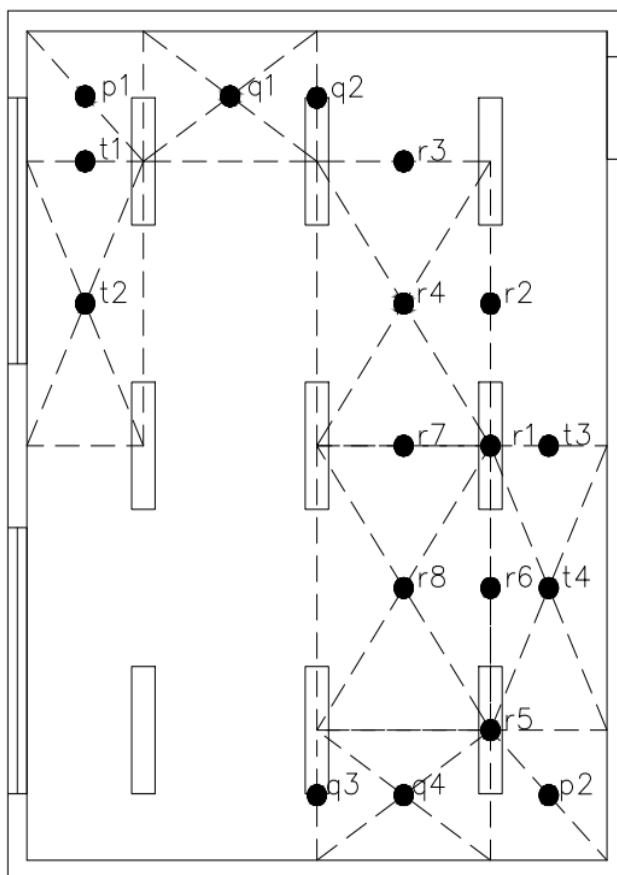
Fonte: ELGIN, 2021.

3.2.4 Procedimento para determinação da iluminância média no local

A medição da iluminância, ponto a ponto, no ambiente deve ser realizada com base na definição do plano de uso da tarefa visual ali executada. Esse plano pode ser horizontal ou vertical e a fotocélula do luxímetro utilizado deve estar diretamente perpendicular a ele, em uma distância de 0,75m da superfície, durante a aferição (FUNDACENTRO, 2018). Neste caso, por se tratar de uma sala de aula com um arranjo flexível de mesas, há um único plano de trabalho retangular no local, considerado horizontal, e com 0,80m de altura.

Na NHO nº11 apresenta o procedimento que deve ser seguido para o cálculo da iluminância média em um ambiente de trabalho com área retangular conforme explicado no tópico 2.4.5. Entretanto, este layout foi adaptado à realidade da sala de aula que será projetada, considerando sua área, a quantidade de luminárias e a sua distribuição no espaço. Logo, foram redimensionados os pontos que serão medidos conforme apresentado na figura 22.

Figura 22 - Representação gráfica do local avaliado.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

O primeiro passo do procedimento utilizado para encontrar a iluminância média na sala de aula do IFMG, seguiu os tópicos apresentados em norma (conforme a imagem 22):

- Realizar as medições centrais do local, nos pontos r1 a r4 e r5 a r8 e em seguida obter a média aritmética dessas oito medições, considerado o valor em (R);
- Realizar medições nos pontos localizados em lados opostos ao plano de trabalho, ou seja, nos pontos q1, q2, q3 e q4. Em seguida, obter a média aritmética dessas aferições, considerado o valor em (Q);
- Realizar medições nos pontos também localizados em lados opostos ao plano de trabalho, ou seja, agora nos pontos t1, t2, t3 e t4. Em seguida, obter a média aritmética dessas aferições, considerado o valor em (T);
- Como últimas medições, aferir os dois cantos opostos do ambiente de trabalho, nos pontos p1 e p2 e calcular a média aritmética dessas leituras consideradas como (P).

Posto em prática parte do procedimento descrito conforme a NHO nº11, os valores encontrados in loco estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados obtidos nos pontos indicados na Figura 22.

Ponto	Resultado (lux)	Média
p1	130	185,50
p2	241	
t1	132	218,25
t2	201	
t3	260	
t4	280	
q1	206	262,50
q2	239	
q3	325	
q4	280	
r1	350	345,50
r2	287	
r3	325	
r4	315	
r5	390	
r6	365	
r7	370	
r8	362	

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Tendo encontrado todas as médias aritméticas, apresentadas na tabela 6, é possível calcular a iluminância média (I) deste local de trabalho através da equação 12 e o seu resultado é apresentado logo em seguida.

$$\bar{I} = 281 \text{ lux}$$

3.2.5 Conclusão da avaliação e medição

Após a realização da medição na sala de aula foi feito o desenvolvimento do projeto luminotécnico no software DIALux Evo, que será apresentado posteriormente, a fim de comparar e avaliar se os valores medidos podem ser considerados ideais para o ambiente.

De antemão, já é possível pontuar que a iluminância média encontrada in loco não atende aos valores estabelecidos conforme a norma de higiene ocupacional nº11 para a classificação do tipo de ambiente e atividade desenvolvida nele, como mostra na Tabela 8, adaptada.

A NHO nº11 permite uma tolerância de luminância no local da tarefa de até 10% abaixo da luminância mínima recomendada por norma (FUNDACENTRO, 2018). Logo, sendo a luminância mínima 500 lx, todos os pontos medidos não devem apresentar valores menores que 450 lx. Entretanto, conforme mostra a tabela 6 todos os pontos medidos estão abaixo e ultrapassam a margem dos 10% permitido.

Tabela 7 - Níveis mínimos de iluminamento E (lux) em função do tipo de ambiente, tarefa ou atividade.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	E_m (lux)	IRC/ R_a	Observações
28. Construções educacionais			
Salas de aula noturnas, classes e educação de adultos	500	80	-

Fonte: FUNDACENTRO, 2018 (adaptado).

3.3 Simulação do projeto luminotécnico no DIALux Evo

Para dar início à simulação do projeto luminotécnico no software DIALux Evo,

foi necessário realizar o levantamento de campo no ambiente escolhido para avaliação dos níveis de iluminação, neste caso, uma sala de aula específica do IFMG. Neste levantamento foram considerados uma série de medidas para que o desenho seja o mais compatível com o real, logo, as principais informações coletadas são: largura, comprimento, pé direito da edificação, posicionamento das janelas e porta, plano de trabalho e altura da luminária em relação ao piso. Essas características são importantes e devem ser levantadas, visto que podem influenciar na eficiência do sistema como um todo.

Feito isso, as informações são transferidas para uma planta baixa em 2D e em seguida importada para o DIALux Evo, para que a partir daí haja a criação e desenvolvimento do projeto luminotécnico em representação 3D. Entretanto, inicialmente, no software, é realizada a classificação do ambiente para que o programa trabalhe considerando os valores e parâmetros estabelecidos pela Norma de Higiene Ocupacional nº11, como tipo de ambiente, tarefa ou atividade, quantidade ideal de iluminância (lx) e índice de reprodução de cores (IRC), como já apresentado anteriormente na Tabela 8. Neste caso, no software, adotou-se a área “Instituições de Formação - Locais de Formação” e aplicação “Sala de aula para ensino noturno e formação de adultos”.

A primeira etapa desse projeto caminhou para a criação e nomeação da edificação da sala de aula e, em seguida, houve a definição das características como cores e texturas das paredes, janelas e porta e a distribuição correta da mobília pertencente ao local. Feito essa modelagem em 3D, inicia o projeto luminotécnico, na aba “Luz” do software, em que é feita a escolha da lâmpada e luminária a ser utilizada e a distribuição equidistante destas no ambiente.

Para escolha da luminária, deve-se importar o arquivo de formato “.ies”, quando disponível, do catálogo virtual do fabricante da luminária utilizada. O fabricante escolhido para o projeto é da marca Intral - Reatores e Luminárias, 100% nacional e presente no mercado por pouco mais de seis décadas nas áreas residencial, comercial e industrial. A Intral apresenta certificações ISO e PROCEL e desde 2008 apostou na tecnologia LED, com soluções mais econômicas, maiores eficiências energéticas e alta durabilidade, sem aquecer o ambiente e com acendimento instantâneo.

O modelo da luminária escolhida foi o LSE-100 da linha comercial e residencial de luminárias para lâmpadas tubo LED. Ela é um produto que permite a instalação de qualquer lâmpada LED tubular T8 de 1200mm (mais comum na substituição de sistemas antigos com lâmpadas tubulares fluorescentes). Essa luminária é construída em chapa de aço

tratada e apresenta um refletor facetado em alumínio anodizado brilhante de alta refletância e pureza. Ademais, é de sobrepor em modulação 65x1250mm, conforme mostra a figura 23.

Figura 23 - Luminária LSE-100.



Fonte: Intral, 2023.

Para características, ver a Tabela 8.

Tabela 8 - Luminária modelo LSE-100.

MODELO	LAMP. TUBO LED INDICADA (w)	LAMP. FLUORESCENTE EQUIVALENTE (w)	COMPRIMENTO NOMINAL DA LAMP. (mm)
LSE-100 7A 2x600mm	2x9-10w	2x20w	600
LSE-100 14A 2x1200mm	2x18w-20w	2x40w	1200
LSE-100 7A 4x600mm	4x9w-10w	4x20w	600
LSE-100 15A 4x1200mm	4x18w-20	4x40w	1200

Fonte: Intral, 2023.

A lâmpada LED tubular que deverá ser instalada nesta luminária deve apresentar uma aparência de cor branco frio e com uma temperatura de cor correlata (T_{cp}) acima de 5300K, recomendada para aplicações em escritórios e salas de aula. Visto que, quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a tonalidade da luz emitida no ambiente e melhor é a concentração e execução da tarefa visual ali desenvolvida (FUNDACENTRO, 2018).

Feito a escolha da lâmpada e luminária, deve-se prosseguir para a distribuição dessas pelo ambiente, que pode ser feito de forma manual ou automática pelo software, seguindo a área do local. Como o espaço simulado trata-se de uma sala de aula para formação de adultos, alguns dos parâmetros adotados pelo software, definidos conforme a normas utilizada, foram:

A. Potência

- 500 lx para tarefa visual;
- 300 lx ao redor da área de trabalho;
- 100 lx para área de fundo.

B. Tempo de utilização

- a. Hora de início: 8h;
- b. Hora de fim: 20h;
- c. Dias de semana: 5 dias.

C. Manutenção e outros

- a. Reprodução de cores (IRC): 80;
- b. Altura do plano de trabalho: 0,80m;
- c. Zona marginal do plano de trabalho: 0,00m;
- d. Intervalo de manutenção para luminária: 1 ano;
- e. Intervalo de troca para lâmpadas: 3 anos.

Dessa forma, para atender aos diversos parâmetros listados acima, houve a distribuição manual de 16 luminárias, com 2 lâmpadas tubo LED de 18W cada, por toda a área da sala. Observa-se nas figuras 24, 25 e 26 a sala de aula modelada no DIALux Evo e na figura 27 a disposição das luminárias no recinto.

Figura 24 - Sala de aula modelada no DIALux Evo - Vista 1



Fonte: Elaborado pelas autoras

Figura 25 - Sala de aula modelada no DIALux Evo - Vista 2.



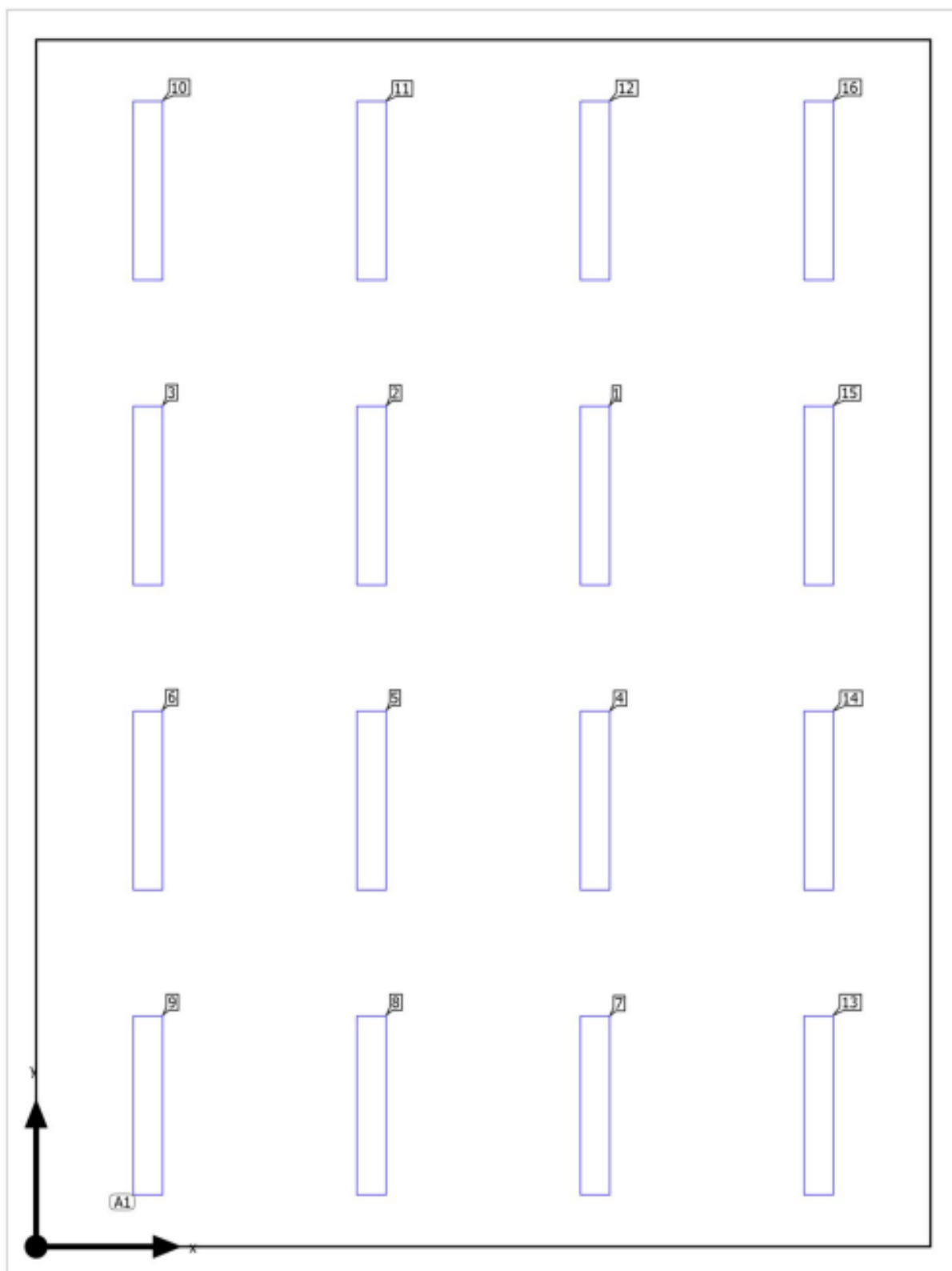
Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Figura 26 - Sala de aula modelada no DIALux Evo - Vista 3.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Figura 27 - Arranjo das luminárias na sala de aula.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Em seguida, solicita-se ao software os cálculos e relatório descritivo do projeto luminotécnico. Este relatório é bem representativo e descreve características como folha de dados da luminária, a potência, fluxo e rendimento luminoso do sistema. Bem como as linhas isográficas, desenhadas a fim de conectar zonas de mesmo nível de iluminamento, e cores falsas cuja finalidade é representar os pontos de maior e menor incidência luminosa através das cores presentes no espectro. Esses trilhos e tons permitem uma melhor visibilidade e intensidade da iluminação disponível no ambiente.

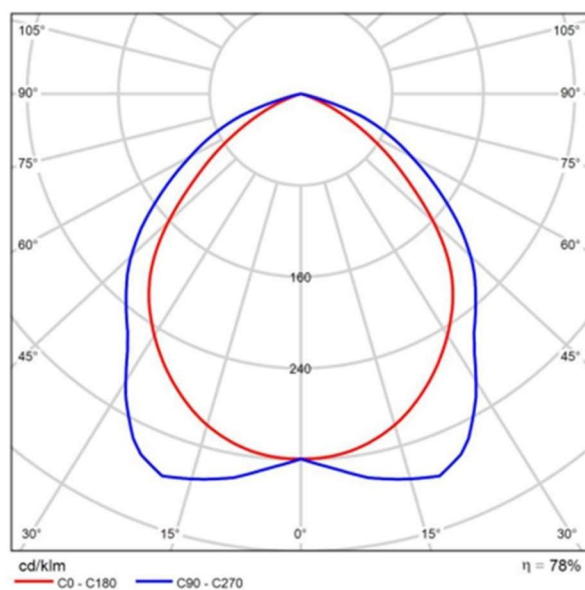
Na Tabela 9 apresenta-se a folha de dados da luminária utilizada, complementando as informações já apresentadas. Enquanto a figura 28 mostra a curva de distribuição luminosa apresentada pela luminária, classificada como direta, visto que o seu fluxo luminoso se apresenta em linha reta ao plano de trabalho, característica das luminárias espelhadas (MAMEDE FILHO, 2017).

Tabela 9 - Folha de dados da lâmpada e luminária.

P	39.6 W
$\Phi_{\text{Lâmpada}}$	3036 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	2380 lm
η	78.39 %
Rendimento luminoso	60.1 lm/W
CCT	5500 K
CRI	80

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Figura 28 - Curva de distribuição luminosa - Direta.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Na Tabela 10 observa-se uma lista de luminárias, disponibilizada pelo software, que mostra que para a quantidade de luminárias utilizadas no ambiente houve um fluxo luminoso total igual a $\Phi = 38080$ lm, um rendimento luminoso igual a 60,1 lm/W e uma potência total de 633,6 W. A tomada de decisão dessas informações teve como base a ABNT NBR ISO/CIE8995-1 e a Norma de Higiene Ocupacional nº11. Segundo ambas as normas, para as salas de aula com arranjo flexível de mesas, a área de trabalho deve ser considerada a sala inteira, logo, foi criado um plano de uso do tamanho da área da sala contendo uma altura de 0,80m, como mostrado na figura 29. E por fim, na tabela 11 apresenta o cálculo do projeto luminotécnico com a sua validação conforme normas.

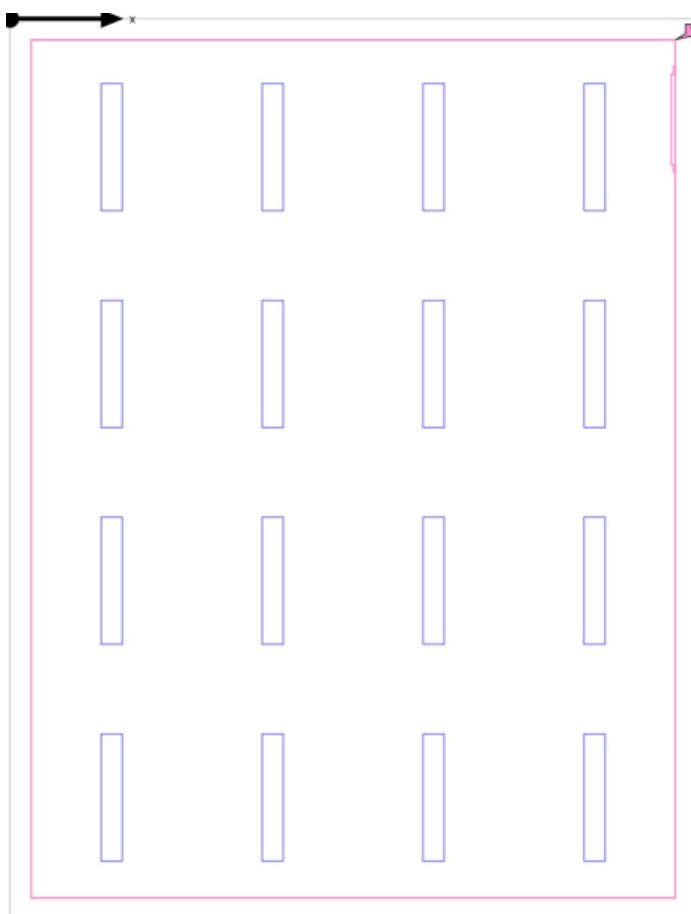
Tabela 10 - Lista de luminárias - DIALux Evo.

Lista de luminárias

Φ_{total} 38080 lm		P_{total} 633.6 W		Rendimento luminoso 60.1 lm/W		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ	Rendimento luminoso
16	Ainda não é um membro DIALux	09911	LSE-100 14A 2X18W TuboLED 1200mm 19/04/2016	39.6 W	2380 lm	60.1 lm/W

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Figura 29 - Plano de trabalho da sala de aula.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Tabela 11 - Cálculo do projeto luminotécnico e a sua validação conforme normas.

Propriedades	$\bar{E}$ (Nominal)	E_{min}	E_{max}	g_1 (Nominal)
Plano de uso (SALA DE AULA 1)	556 lx	341 lx	710 lx	0.61
Potência luminosa perpendicular	(≥ 500 lx)			(≥ 0.60)
Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Na figura 30 estão representandas, em planta 2D, todas as linhas isográficas presentes no projeto. Em cada linha há a sua indicação de lux naquela região, o que reforça a ideia proposta pelo software de mostrar a quantidade de lux em todos os pontos do local. Ficando evidente valores mais altos onde a atividade visual é desenvolvida e valores mais baixos nos arredores de onde essa tarefa é executada, cujo esforço visual é muito menor.

Figura 30 - Linhas isográficas.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Enquanto na figura 31, também em planta 2D, fica estampado por meio de cores falsas os pontos com maiores e menores níveis de iluminância no ambiente, considerando a iluminância média estabelecida. Observa-se nesta figura regiões nas cores amarelo e verde, em que representa zonas acima e pontual em relação à iluminância média no espaço (500 lx), respectivamente.

Figura 31 - Cores falsas.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Como o gráfico das cores falsas segue a régua do espectro luminoso, durante o desenvolvimento do projeto luminotécnico pode haver distribuições inviáveis e incoerentes quanto às luminárias e móveis no ambiente, fazendo com que haja pontos e/ou zonas sinalizadas em vermelho. Essa cor indica que deve haver reajuste na modelagem do desenho, reforçando a importância em definir um plano de trabalho e a relevância da disposição correta das luminárias e do mobiliário pertencente ao espaço, visto que a distribuição equidistante das fontes luminosas gera cantos com menor incidência de fluxo luminoso. Na figura 32 tem-se a

ilustração do espaço com suas linhas isométricas e cores falsas, conforme o dimensionamento pelo software.

Figura 32 - Linhas isométricas e as cores falsas exibidas no projeto.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Condições reais de iluminamento

O projeto luminotécnico existente é composto por lâmpadas de 20W, são classificadas como branco frio e apresentam temperatura de cor igual a 6500K, o que atende às condições normativas para o espaço. Entretanto, foi encontrada uma iluminância média na sala de aula inferior ao que é recomendado pela NHO nº11, com apenas 56% da iluminação indicado em norma, como observa-se na tabela 12.

Tabela 12 - Iluminância efetiva.

Iluminância média medida (lux)	Iluminância média recomendada (lux)	Iluminância atingida (%)
281	500	56

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

Esse percentual de lux abaixo do recomendado pode se dar por vários motivos e um deles é identificado como a falta de manutenção no projeto de iluminação existente. Na figura 33 é possível observar que uma das lâmpadas em uma luminária da sala está com defeito e, por consequência, há uma redução na emissão do fluxo luminoso total no ambiente.

Figura 33 - Lâmpada in loco com defeito.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Outro fator contribuinte é o tipo de luminária. No local as luminárias instaladas não são de superfície refletiva e apresentam um fluxo luminoso de 1850 lm como mostrado na tabela 6. Superfícies reflexivas proporcionam maiores e melhores condições de iluminação em um ambiente, principalmente por possuir uma curva de distribuição luminosa direta, com 90% do seu fluxo luminoso direcionado para baixo e perpendicular ao plano de trabalho.

Conforme explicado no tópico 2.4.6 o fator de manutenção determina a periodicidade necessária de manutenção para que o ambiente possua a iluminância adequada. Para o ambiente de medição escolhido, o fator de manutenção calculado foi de 0,8, recomendando-se um intervalo de manutenção das luminárias de 1 ano e um intervalo de troca das lâmpadas de 3 anos.

5 CONCLUSÃO

A realização de um projeto luminotécnico de acordo com requisitos normativos garante não somente uma boa iluminação do ambiente, mas também qualidade das tarefas executadas e conforto visual dos ocupantes. Uma iluminação adequada fornece mais segurança, mais eficiência e evita fadiga visual e desconforto dos indivíduos que frequentam o ambiente.

Foi possível observar que apenas o bom desenvolvimento de um projeto luminotécnico não assegura a sua permanência e por isso uma manutenção adequada é tão importante para garantir a iluminação necessária no ambiente. Assim como o cálculo e a instalação incorreta do sistema de iluminação, a negligência com a periodicidade da manutenção pode diminuir significativamente o nível do fluxo luminoso do espaço e, como consequência, compromete a qualidade da iluminação do ambiente.

Tendo em vista que a instalação do sistema de iluminação existente na sala de aula não atende às condições estabelecidas conforme a NHO nº 11, foi desenvolvido um projeto luminotécnico no software DIALux Evo através do método de cálculo ponto a ponto, em que apresenta condições aplicáveis e assertivas para o local e o tipo de atividade desenvolvida nele. Ademais, para que o ambiente não só possua, mas com o tempo, também forneça uma iluminação necessária exigida pela NBR ISO/CIE 8995-1 e pela NHO nº11, um bom plano de manutenção pode ser efetivo para controlar a iluminância média do recinto.

Dessa forma, este trabalho atingiu o objetivo proposto de avaliação do nível de iluminamento de uma sala de aula típica do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Ipatinga* com base na NHO nº11 e sua aplicação na realização de um projeto luminotécnico adequado ao ambiente proposto. Além disso, a NBR ISO/CIE 8995-1 foi estudada e aplicada ao medir as condições reais do ambiente e para o desenvolvimento do projeto no software DIALux Evo, em que propõe o nível de iluminância ideal do espaço.

Portanto, assim como foi medido em uma sala de aula do Instituto Federal de Minas Gerais, sugere-se uma aferição dos demais ambientes da instituição em um possível trabalho futuro como a biblioteca, laboratório de informática, auditório e outros. Dessa maneira, é possível mensurar se, além do projeto de instalação, a manutenção do sistema de iluminação está adequada.

REFERÊNCIAS

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

BRASIL, Ministério da Economia – Secretaria de Trabalho. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. NR 17 Ergonomia. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-17.pdf. Acesso em: 06 de out de 2023.

CREDER, Hélio; atualização e revisão Luiz Sebastião Costa. Instalações elétricas. 16 ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2016.

DEWES, Claudia et al. **Análise de eficiência energética em sistemas de iluminação: um estudo de caso na escola de educação básica de araranguá.** 2019.

DIAL GMBH. **DIALux Evo is the software for your lighting design.** Lüdenscheid, 2023. Disponível em: <https://www.dialux.com/en-GB/dialux>. Acesso em: 10 set. 2023.

ELGIN. **Lâmpada tubular T8 LED.** Disponível em: <https://www.elgin.com.br/Produtos/Iluminacao/lampadas-tubulares/lampada-tubular-t8-led>. Acesso em 18 out. 2023.

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. ISBN 978-85-216-3372-3.

FIORINI, Thiago Moraes Sirio. Projeto de iluminação de ambientes internos especiais. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)– Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo,** 2006.

SIMPLÍCIO, Rafael de Freitas. **Projeto luminotécnico de uma academia de ginástica.** 2021.

FUNDACENTRO. Norma de higiene ocupacional [texto]: avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho: procedimento técnico / Fundacentro; equipe de elaboração: Irlon de Ângelo da Cunha ... [et al.]; colaboração: Milda Jodelis. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2018/8/nho-11-avaliacao-dos-niveis-de-iluminamento-em-ambientes-internos-de-trabalho>. Acesso em: 06 de set. de 2023.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. 1997.

INTRAL. **Luminária LSE-100**. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/produtos/luminarias-para-lampadas-tubo-led/luminarias-para-lampadas-tubo-led/luminaria-lse-100>. Acesso em: 15 set. 2023.

NISKIER, J., MACINTYRE A.C. **Instalações elétricas**. Livros Técnicos e Científicos Editora.

NISKIER, Julio. **Manual de instalações elétricas**, 1ª ed., LTC NTC – Normas Técnicas da COPEL – Atualizada. Instalações

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

PONTES, Jéssica de Freitas et al. **Análise de cumprimento normativo e eficiência luminotécnica em prédio público: estudo de caso na moradia estudantil da UFGD**. 2022.

SANTOS, Talía Simões dos et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 595-602, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040125106> CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. Livros Tecnicos e Cientificos, 2007.