

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO EM SALA DE AULA: ESTUDO DE CASO EM UM AMBIENTE ACADÊMICO NO PERÍODO NOTURNO

CAMPOS, Paulo Sergio de¹
CAMPOS, Thiago Prado²
SILVA, Fernando Henrique Gorski Da³
BORSATO, Carlos Roberto⁴
SILVA, Graziella dos Santos Portes⁵

RESUMO:

Um projeto de luminotécnica deve preocupar-se com a quantidade de luz que satisfaz o ambiente, tanto o excesso quanto a falta de luz proporcionam o desconforto visual, este último se agrava ainda mais principalmente no período noturno. Neste período a luz artificial torna-se intrínseca à iluminação, e que para ela seja confortável e não traga danos a visão é importante aplicar os conceitos da luminotécnica. A NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estabelece os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos. Uma iluminação adequada do ambiente afeta o desempenho das pessoas tornando-as mais produtivas e em um ambiente de ensino no período noturno é pertinente que a iluminância do local esteja dentro da norma para proporcionar um lugar estimulante e acolhedor, influenciando positivamente no aprendizado dos alunos. Com o objetivo de analisar a iluminação das salas de aulas com a norma vigente, os dados deste estudo foram coletados *in loco* e elaborado um projeto luminotécnico pelo método dos lúmens. A relevância da realização deste trabalho está no fato de que a iluminação da sala de aula deve estar de acordo com a norma, que na maioria dos casos este é um aspecto pertinente para as instituições de ensino privado, pois, a iluminação adequada o processo de aprendizagem torna-se mais eficiente e também não prejudica a saúde visual dos usuários. O trabalho se baseia em referências bibliográficas, artigos e normas vigentes, aplicando os conceitos na prática para a elaboração do projeto luminotécnico do estudo de caso e em seguida a realização de uma análise comparativa e por fim as conclusões e considerações a que se chegaram.

PALAVRAS-CHAVE: Iluminação, Iluminância, NBR ISO/CIE 8995-1:2013, Projeto luminotécnico, Método dos lúmens.

ABSTRACT: A lighting project must be concerned with the amount of light that satisfies the environment, both the excess and the lack of light provide visual discomfort, the latter being aggravated even more, especially at night. During this period, artificial light becomes intrinsic to lighting, and for it to be comfortable and not harm vision, it is important to apply the concepts of lighting technology. NBR ISO/CIE 8995-1:2013

¹Graduando de Engenharia Elétrica no Centro Universitário Campo Real. eng-paulocampos@camporeal.edu.br

²Graduado em Engenharia Elétrica. Mestrado/Especialização em Educação Profissional e Tecnológica. Professor no Centro Universitário do Campo Real.

³Graduado em Engenharia Elétrica. Professor no Centro Universitário do Campo Real.

⁴Graduado em Engenharia Elétrica. Professor no Centro Universitário do Campo Real.

⁵Doutora em Química, professora dos cursos de engenharia civil, elétrica, mecânica, produção, agronomia e administração do Centro Universitário Campo Real.

establishes lighting requirements for indoor workplaces. Adequate room lighting affects people's performance, making them more productive and in a nighttime teaching environment, it is pertinent that the lighting of the place is within the norm to provide a stimulating and welcoming place, positively influencing student learning. In order to analyze the lighting of classrooms with the current standard, the data from this study were collected in loco and a lighting project was elaborated using the lumens method. The relevance of carrying out this work lies in the fact that the lighting in the classroom must comply with the standard, which in most cases this is a relevant aspect for private education institutions, since adequate lighting in the process of learning becomes more efficient and also does not harm the users' visual health. The work is based on bibliographical references, articles and current norms, applying the concepts in practice for the elaboration of the lighting project of the case study and then carrying out a comparative analysis and finally the conclusions and considerations reached..

KEYWORDS: Lighting, Illuminance, NBR ISO/CIE 8995-1:2013, Lighting Project, Lumens method.

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de um projeto arquitetônico há de se observar diversos fatores, como o posicionamento geográfico, propósito da obra, particularidades da mesma e do observador, normas técnicas e legislação. O conforto visual é uma das características que assume grande relevância quando se trata da construção de um ambiente de ensino (LIBARDI, 2017, p.11). Conforme Barrett et al. (2015), estudos apontam que a performance do aluno pode estar ligada com a qualidade da iluminação em sala de aula.

Com o objetivo de otimizar o desempenho dos alunos, é importante analisar os fatores que estão associadas com a aprendizagem, que através desses aspectos o ambiente precisa possibilitar o conforto as pessoas que ali se encontram (LIBARDI, 2017, p.11).

Vale ressaltar que os sentidos, como a visão, são fundamentais para levar a novas descobertas. Sendo assim, a iluminação se torna intrínseco para intensificar essas descobertas (LIBARDI, 2017, p.11). Segundo Silva (2014), um ambiente corretamente iluminado, além de estimular reações distintas, deixa o local confortável e agradável, aspectos esses que intervém de modo direto na prática educacional.

Baseado nessa relevância, pelo fato da iluminação influenciar o aprendizado e o desempenho dos alunos, o presente trabalho tem como objetivo analisar a iluminação utilizada em uma determinada sala de aula, do ambiente acadêmico, no período noturno e se atende o que está disposto nas Normas da Associação Brasileira de

Normas Técnicas (ABNT). A iluminação em locais de trabalho escolar é especificada pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

A metodologia atribuída ao presente trabalho é composta de pesquisa bibliográfica e de campo aplicada a um estudo de caso. O referencial teórico é construído de pesquisas em livros, teses, textos e artigos científicos, trabalho final de graduação, e a pesquisa de campo, através da observação e coleta de dados no local referentes à iluminação. O seguimento se dá com o estudo, avaliação e interpretação desses dados, baseando-se na fundamentação teórica, com o intuito de comparar a teoria e a prática do estudo de caso.

O trabalho foi dividido em seis capítulos da seguinte forma: Introdução, Fundamentação teórica, Estudo de caso, Elaboração do projeto luminotécnico pelo método dos lúmens, Resultados e Análise comparativa, Conclusão e Considerações.

O primeiro capítulo aborda o tema de maneira genérica, evidenciando a questão da iluminação em construções de ensino, mostrando a sua importância. O segundo capítulo descreve a fundamentação teórica, onde são abordadas informações relevantes sobre iluminação, conceitos, fundamentos para elaboração de um projeto luminotécnico pelo método dos lúmens, e uma breve análise da NBR ISO/CIE 8995-1 para iluminação de sala de aula no período noturno. O terceiro capítulo, esclarece o estudo de caso realizado em uma sala de aula de uma Instituição de Ensino Superior, na cidade de Guarapuava-PR, no período noturno com a apresentação dos dados coletado *in loco*.

Já o quarto capítulo é composto pelos dados das medições de iluminação do local utilizadas na elaboração do projeto luminotécnico pelo método dos lúmens, assim como a apresentação da metodologia empregada para a obtenção dos valores de iluminação. O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos; comparando-os com os valores estabelecidos pela norma. E no sexto e último capítulo é apresentado a conclusão e considerações do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EFEITOS DA ILUMINAÇÃO DO AMBIENTE SOBRE OS SEUS USUÁRIOS

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a norma que especifica os requisitos de iluminação de ambientes de trabalho internos é a NBR

ISO/CIE 8995-1, publicada em 21 de março de 2013, cancelando e substituindo as normas NBR ABNT NBR 5413:1992 e ABNT NBR 5382:1985 (ABNT, 2013). A NBR ISO/CIE 8995-1 aponta que uma iluminação adequada proporciona às pessoas segurança em sua locomoção e também aprimora o desempenho na execução de atividades visuais de forma eficiente e conseqüentemente reduz a quantidade de erros sem causar danos visuais, podendo ser a iluminação natural, artificial ou a mistura das duas (ABNT, 2013).

A iluminação também interfere no comportamento dos seres humanos e no modo de como eles se interagem e identificam o ambiente. A luminosidade pode variar conforme a função dos ambientes e o tipo de atividades neles desenvolvidas, a iluminação é um dos principais fatores do bem-estar e conforto visual que influencia significativamente no desempenho das pessoas tornando-as mais produtivas (CASTAGNA, 2020, p.80).

Sendo assim, a iluminação apropriada é um indispensável fator que atua no desempenho do ensino, aprendizagem e sobretudo, sem afetar a saúde visual das pessoas, porém se ela for proporcionada de forma errada pode acarretar danos à saúde. A iluminação da sala de aula bem adequada e com qualidade, é pertinente que esteja dentro da norma a fim de propiciar a qualidade, conforto e bem-estar no processo de ensino dos alunos e também do professor (SANTOS, 2014, p.[3]).

Para Libardi (2017, p.14) o ambiente de ensino deve ser estimulante e acolhedor para oferecer condições que afetam de maneira positiva no processo de ensino e um dos aspectos que contribui para isso é a qualidade do ambiente construído, assim como sua iluminação.

2.2 CONCEITOS E GRANDEZAS FUNDAMENTAIS

Para uma melhor compreensão sobre os termos adotados, é preciso assimilar alguns dos conceitos presente no trabalho, conforme estabelece a norma para o entendimento a respeito das terminologias aqui empregadas.

Luz, segundo Niesker (2018, p.218) é a forma da energia radiante que um indivíduo tem a sensação visual de claridade através do estímulo da retina. Complementa Carvalho Junior (2017, p.207) que é um modelo de energia que possibilita a percepção visual. Contribui ainda Castagna (2020, p.16) que a luz pode

ser absorvida e/ou refletida dependendo do tipo de materialidade em que a luz se precipita.

Fluxo Luminoso (Φ) é a quantidade de potência de radiação emitida por uma fonte de luz e sua grandeza de medida é o lúmen (lm) (CARVALHO JUNIOR 2017, p.208). Eficiência luminosa é a razão do fluxo sobre a potência da fonte luminosa consumida, ou seja, quanto mais luz for gerada por um watt de potência maior será a eficiência luminosa, sua unidade de medida é lúmens por watt [lm/W] (SOUZA, 2019, p.18).

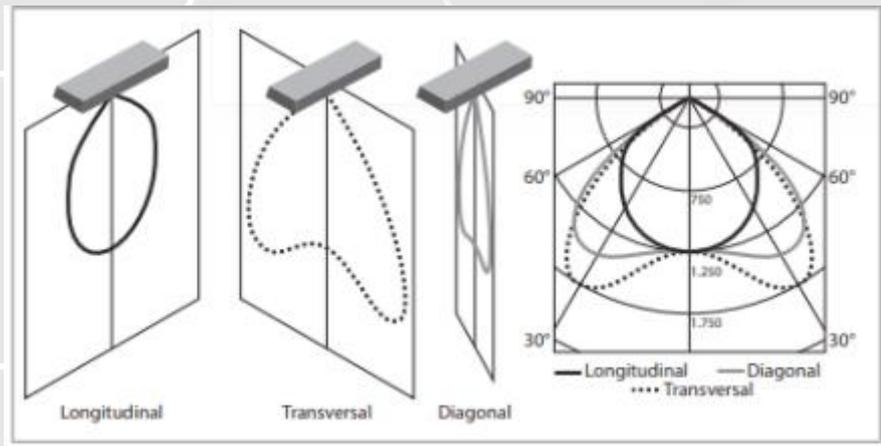
Castagna (2020, p.18) afirma que a Intensidade Luminosa é o valor da potência da radiação luminosa em uma certa direção, que uma fonte luminosa emite e essa direção é determinada mediante o ângulo sólido (ω), ângulo caracterizado pela abertura do fecho de luz da fonte luminosa. Niskier (2018, p.218) acrescenta que a grandeza de medida da intensidade luminosa é a candela (cd), determinada pela razão do fluxo luminoso (Φ) sobre o ângulo sólido conforme a equação 1 abaixo.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (1)$$

Fonte: Niesker (2018).

Carvalho Junior (2017, p.210) por sua vez escreve que a intensidade luminosa é ilustrada por meio de um diagrama polar, em modo de candelas por 1.000 lúmens do fluxo da lâmpada. Esse diagrama leva em consideração a lâmpada ou a luminária restrita a um determinado ponto do centro do diagrama, a fim de demonstrar a intensidade luminosa nas diferentes direções por vetores que sai do ponto central do diagrama, que assim resulta na curva de distribuição da intensidade luminosa (CDL), conforme figura 1 representa. Geralmente a CDL é encontrada nos catálogos dos fabricantes (CARVALHO JUNIOR, 2017, p.210).

Figura 1. Curvas de distribuição de intensidades luminosas de uma luminária.



Fonte: Carvalho Junior (2017, p.210)

E em inúmeras vezes o fluxo luminoso não irá apresentar o valor de 1.000 lm, sendo assim, deve-se multiplicar o valor obtido na CDL ou no diagrama polar pelo fator correspondente, que se obtém através da divisão do fluxo luminoso por 1.000. A finalidade dessas curvas é determinar a especificidade luminotécnica das luminárias (CARVALHO JUNIOR, 2017, p.210).

Luminância é a intensidade luminosa refletida em determinado sentido, obtida através da razão da intensidade luminosa e a área de superfície luminosa (SOUZA, 2019, p.18). Já a Iluminância é determinada pelo limite do fluxo luminoso absorvido pela área ao redor de um ponto considerado, para a região da superfície (LIBARDI, 2017, p.24). Ela é a quantidade de luz que atinge uma área e medida em lux (lúmens/m²) (CASTAGNA, 2020, p.146).

No entanto, o fluxo de luminoso não incide de maneira homogênea, consequentemente a iluminação também não será distribuída da mesma forma em todas as áreas do ambiente. Logo, para mencionar que uma área se encontra dentro dos limites de luminância exigidos, uma média de iluminação de diferentes lugares de um ambiente deve ser estabelecida (LIBARDI, 2017). A Iluminância mantida (E_m) é o valor do qual não convém diminuir em relação ao valor da iluminância média da área estabelecida segundo a NBR 8995-1 (ABNT, 2013, p.2).

Ofuscamento, segundo a NBR 8995-1 (ABNT, 2013, p.6), pode ser desconfortável como também inabilitar a sensação visual, motivado por superfícies com iluminação em excesso ou contrastes no campo de visão, visto que a inabilitação é encontrada geralmente em áreas externas e o ofuscamento desconfortável em ambientes internos. O índice de ofuscamento desconfortável (UGR) pode ser

identificado utilizando-se softwares específicos, como por exemplo das empresas *DIAL GmbH* ou *Relux Informatik AG*, que apresentam o valor conforme os fatores do ambiente analisado, ou pelo método tabular do Índice de Ofuscamento Unificado da NBR 8995-1 (ABNT, 2013) conforme a seguinte equação 2:

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

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 (esterradiano);

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

É importante ressaltar que o ofuscamento sem algum limitador pode gerar fadiga, erros e até mesmo acidentes aos usuários, se o ofuscamento desconfortável estiver dentro dos limites aceitos, na maioria das vezes não será um grande problema, como estabelecido pela NBR 8995-1 (ABNT, 2013, p.6).

O Índice de reprodução de cor (IRC ou R_a) é o valor percentual médio referente à sensação de representação da cor, um esforço de medir a correlação da cor real com a aparência da cor (CASTAGNA, 2020, p.146). A NBR 8995-1 (ABNT, 2013, p.9) complementa mencionando que o valor máximo é 100, com a diminuição da qualidade de reprodução de cor este valor diminui.

Geralmente os fabricantes disponibilizam uma tabela com informações do IRC, temperatura de cor e a eficiência luminosa. O IRC considerável é dependente da sua utilização (CASTAGNA, 2020, p.147), para a norma NBR 8995-1 (ABNT, 2013, p.9), em ambientes interiores, não se recomendada um IRC inferior a 80.

Conforme a NBR 8995-1 (ABNT, 2013, p.2) área de tarefa é definida por uma parte da região em uma zona de trabalho no qual a atividade visual será realizada. E plano de trabalho é a área de referência determinada onde a tarefa é habitualmente executada. Entorno imediato é uma área com a medida mínima 0,5 m de largura entorno da área da tarefa dentro do campo de visão.

2.3 FUNDAMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE UM PROJETO LUMINOTÉCNICO

É importante que o ambiente tenha uma boa iluminação para que as tarefas sejam realizadas de forma mais eficiente e eficaz, facilitando a execução do processo pelo usuário, e também deve trazer o conforto visual sem causar danos à saúde, principalmente em condições difíceis e por períodos longos (CREDER, 2016, p.363). Para que isso seja possível o projetista deve ter um bom conhecimento técnico para a escolha adequada de fontes luminosas e luminárias, proporcionar condições convenientes para a visão correlacionada com o trabalho visual, reduzir o consumo de energia e as despesas com a manutenção do sistema luminoso (SOUZA, 2019, p.48).

A utilização das informações ordenadas em gráficos e tabelas, auxiliam o projetista a atribuir alguns procedimentos ao projeto de iluminação, que irá orientá-lo na tomada de decisões das escolhas para o projeto (SOUZA, 2019, p.107). Há inúmeras formas para encontrar os resultados do cálculo luminotécnico, pode ser identificado utilizando-se softwares específicos, como por exemplo DIALux (*DIAL GmbH*) e ReluxDesktop (*Relux Informatik AG*), entre outros, como também por métodos simplificados de cálculo manual como o método dos lumens e o método do ponto a ponto.

Complementa Creder (2016, p.363) que em um projeto luminotécnico se deve levar em consideração outros aspectos como o nível de iluminância mantida (Em), controle do ofuscamento, a distribuição adequada da luminância, análise sobre a manutenção do sistema de luz e também avaliar a luz natural.

Inclusive é importante observar a refletância e iluminância do ambiente, Creder (2016, p.364) descreve que as faixas de refletâncias de ambientes internos mais relevantes são de 0,6 a 0,9 para o teto, para as paredes fica entre 0,3 e 0,8, planos de trabalho de 0,2 a 0,6 e para o piso entre 0,1 a 0,5. É intrínseco analisar a uniformidade da iluminância, observando que não pode estar abaixo de 0,7 e a iluminância no entorno imediato não pode ser menor que 0,5, devendo ambos estar conforme o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Valores de iluminância no entorno imediato – NBR ISSO/CIE 8995-1:2013.

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

Fonte: Creder (2016, p.364), adaptada.

A iluminância mantida das regiões do entorno imediato não pode ser menor aos valores da tabela acima, no entanto é aceitável que seja mais baixo que a iluminância da área de tarefa. A iluminância no entorno imediato tem de estar correlacionada com a iluminância da área de tarefa e que propicie uma distribuição bem equilibrada da iluminação no campo de visão, iluminâncias com alterações excessivas entorno da área de tarefa proporcionam o desconforto visual e um esforço estressante (NBR 8995-1, ABNT, 2013, p.5)

Outro fator importante que deve ser lembrado para a elaboração de um projeto luminotécnico de uma sala de aula são as lâmpadas, sua escolha é uma das etapas mais relevantes em um projeto de iluminação, já que são esses aparelhos que irão responsáveis por apresentar o ambiente aos indivíduos (CASTAGNA, 2020, p.95). As lâmpadas equipamentos que convertem a corrente elétrica em energia radiante, são fontes artificiais de luz usadas em iluminação (SOUZA, 2019, p.47).

A luz artificial exerce um papel muito relevante, ela dá suporte necessário à luz natural, nem sempre a luz natural abrange toda área do ambiente sozinha, é quando se tem a necessidade da iluminação artificial para complementar a iluminação, sem levar em consideração de sua extrema importância no período noturno (LIBARDI, 2017, p.24).

Atualmente pode-se encontrar no mercado diversas tecnologias relacionadas com a iluminação e de distintos formatos, assim como lâmpadas com mais desempenho luminoso. Com o passar do tempo as lâmpadas foram ganhando novas formas e tipos, ganhando mais eficiência e contribuindo no consumo mais eficiente da energia elétrica. Existem vários tipos de lâmpadas disponíveis no mercado, sendo as mais utilizadas atualmente em instalações elétricas prediais são as lâmpadas de LED (*light emitting diode*) que proporciona maior economia de energia, lâmpadas de descargas (fluorescentes) geralmente usadas em ambientes comerciais pela sua distribuição de luminosidade uniforme e as incandescentes que possui a emissão de

luz mais próxima a natural, porém com um alto consumo de energia (CASTAGNA, 2020, p.98).

As lâmpadas de descarga funcionam pela passagem de uma corrente elétrica entre os gases metálicos xenônio, mercúrio, sódio, entre outros CREDER (2016, p.348). Para a lâmpada produzir luz, um gás ou um conjunto de gases precisam ser excitados através de uma corrente de energia elétrica que passa em seu meio (SOUZA, 2018, p.51).

As lâmpadas de descarga são classificadas conforme a função da pressão interna. As lâmpadas de alta pressão são as de vapor de mercúrio, vapor de sódio de alta pressão, multivapor metálico, luz mista e lâmpadas especiais. Já as lâmpadas de baixa pressão são as fluorescentes e vapor de sódio de baixa pressão. Com exceção da luz mista, as lâmpadas de descarga têm por característica trabalhar em conjunto a dispositivos auxiliares como reator e ignitor, que tem como função dar a partida do acendimento e dar estabilidade na corrente elétrica do circuito (CRUZ, 2012, p.251).

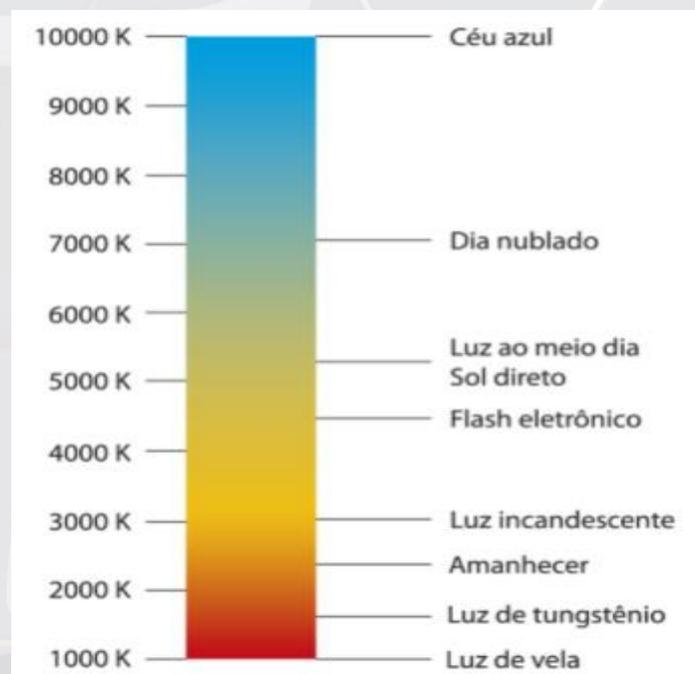
Por sua eficiência luminosa, as lâmpadas fluorescentes são as mais recomendadas para ambientes internos, permitindo uma visualização aceitável do espectro de cores, porém, elas não possibilitam a visualização perfeita das cores (CREDER, 2016, p.363). Elas são formadas por vapor de mercúrio de baixa pressão em um tubo de alcalino-silicato transparente e em seu interior uma camada de fósforo (CRUZ, 2012, p.251). Sua temperatura de cor fica na faixa de 2700K a 6500K com um índice de reprodução de cor que varia de 65 a 95, produzem entre 20 a 96 lm/W e sua vida útil fica próxima de 16.000 horas, valores que demonstram maior desempenho em relação às incandescentes, e possui basicamente três tipos de modelos, as tubulares, compacta sem reator integrado e as compactas com reator integrado (SOUZA, 2018, p.51).

A lâmpada de estado sólido ou comumente conhecida como lâmpada de LED possui como componente básico o equipamento eletrônico LED (CRUZ, 2012, p.259). O LED é um dispositivo semicondutor que transforma a energia elétrica em luz, possui uma excelente eficiência luminosa, maior vida útil em relação às lâmpadas incandescentes e fluorescente, reduz o consumo de energia, sem contar que dispõe de uma variedade de emissão cores (NIESKER, 2013, p.268). Essas lâmpadas possuem entre 20.000 a 45.000 horas de vida útil e não produzem calor. O LED, é formado por diversas camadas de material semicondutor, que libera o fluxo luminoso em uma determinada cor que decorre do material que é composto (GEBRAN, 2017,

p.158). O LED varia entre as cores amarela, azul, verde e vermelha, para que a luz branca seja emitida é necessário a combinação das cores azul, verde e vermelha ou também por um LED azul com fósforo amarelo (NIESKER, 2013, p.269).

Outro aspecto relevante das lâmpadas LED é a temperatura de cor, ela determina o tom da cor que será emitida pela lâmpada, sua unidade de medida é o Kelvin (K). Cada cor possui determinada frequência, que resulta uma temperatura específica, quanto maior a temperatura mais clara é a tonalidade do fluxo luminoso (GEBRAN, 2017, p.150).

Na Figura 2 pode-se observar algumas cores com sua respectiva temperatura. Figura 2. Temperatura das cores.



Fonte: Gerbran (2017, p.150).

Outro equipamento ao sistema de iluminação são as luminárias, elas aumentam o desempenho luminoso das lâmpadas, proporcionam também uma melhor proteção contra as adversidades que o meio pode apresentar, possibilitam a ligação com a rede elétrica, orienta o fecho luminoso, reduz o ofuscamento, além de conceder ao ambiente características estéticas visualmente agradáveis (CREDER, 2016, p.344).

Há no mercado inúmeros modelos de luminárias, cada uma com a sua funcionalidade, os principais tipos de luminárias em relação a sua instalação são as

embutidas, as sobrepostas, as pendentes, os trilhos e as luminárias de paredes (CASTAGNA, 2020, p.99). Portanto, sua escolha deve ser criteriosa, a consulta dos catálogos dos fabricantes é indispensável para poder realizar uma análise de suas atribuições, pois ela não deve compreender somente a questão estética, mas também os requisitos citados anteriormente, observando ainda que cada lâmpada possui adaptação com determinado tipo de luminária (GEBRAN, 2017, p.160).

Uma das maneiras de classificar as luminárias, segundo a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) estabelece, é em função da distribuição do fluxo luminoso que ela proporciona, que pega como base a porcentagem do fluxo luminoso total voltado para cima ou para baixo com referência de um plano horizontal (GEBRAN, 2017, p.160).

No Quadro 2, Carvalho Junior (2017, p.125) evidência a classificação das luminárias.

Quadro 2. Classificação dos sistemas de iluminação.

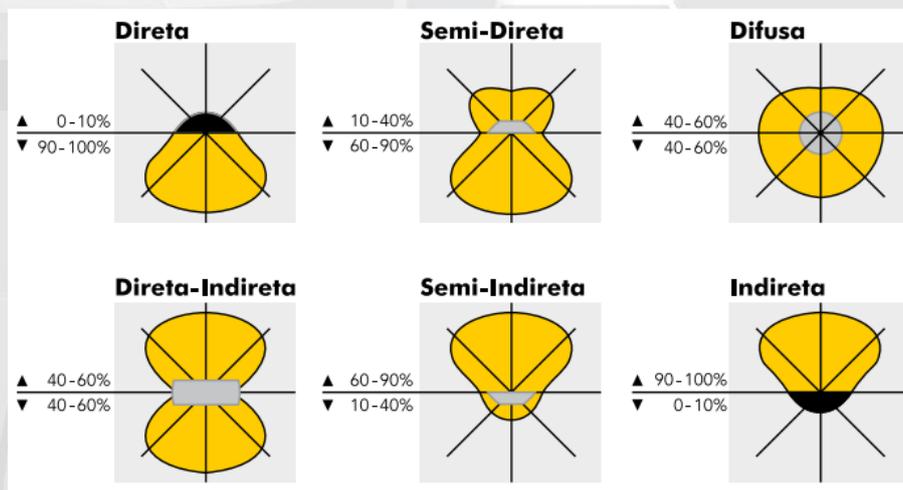
Iluminação direta	A totalidade do fluxo luminoso emitido é dirigido sobre a superfície a iluminar.	Evita que haja grandes perdas por absorção no teto e paredes. Produz grandes sombras e encadeamento
Iluminação semi-direta	A maior parte do fluxo é dirigido para a superfície a iluminar (60% a 90%), dirigindo-se o restante noutras direções.	Neste caso o contraste sombra-luz não é tão acentuado como no sistema de iluminação direta.
Iluminação difusa ou mista	O fluxo luminoso distribui-se em todas as direções.	Não há praticamente zonas de sombra nem encadeamento. Uma boa parte do fluxo luminoso chega à superfície a iluminar por reflexão no teto e paredes
Iluminação semi-indireta	Cerca de 60% a 90% do fluxo luminoso é dirigido para o teto.	Evita praticamente o encadeamento. Tem a desvantagem de proporcionar um baixo rendimento luminoso devido

		às elevadas perdas por absorção no teto e paredes.
Iluminação indireta	Neste tipo de iluminação 90% a 100% do fluxo luminoso é dirigido para o teto.	Anula o encadeamento. Tem um rendimento luminoso muito baixo devido às elevadas perdas por absorção no teto e paredes.

Fonte: Carvalho Junior (2017, p.125), adaptada.

As características das luminárias podem ser simbolizadas conforme a Figura 3, em forma de diagrama (CRUZ, 2012, p.261).

Figura 3. Diagramas de classificação de luminária.



Fonte: Itaim (2008, p. 23 [2]).

Independentemente do tipo de luminária utilizado, para que se tenha um desempenho eficiente do fluxo luminoso é indispensável a manutenção frequente, tanto da luminária quanto da lâmpada, realizando a limpeza da parte refletora da luminária e também da lâmpada.

2.4 MÉTODO DOS LUMENS

O método dos lumens ou método do fluxo luminoso é o mais usado em sistemas de iluminação em edifícios, consiste na determinação do fluxo luminoso total (equação 3) necessário para satisfazer o ambiente ao realizar uma atividade, levando

em consideração as cores do ambiente do chão, das paredes e do teto, assim como o tipo de lâmpadas e luminárias a serem utilizadas (CASTAGNA, 2020, p155).

A equação 3 determina o meio de se obter o valor do fluxo luminoso total, assim como o número de luminárias a partir do fluxo luminoso total (CREDER, 2016, p.365).

$$\phi = \frac{S \times E_m}{u \times d} \quad e \quad n = \frac{\phi}{\varphi} \quad (3)$$

Onde:

ϕ = fluxo luminoso total (lumens);

S = área do local (m²);

E_m = nível de iluminância mantida (luxes);

u = fator (ou coeficiente) de utilização;

d = fator de depreciação ou de manutenção;

n = número de luminárias;

φ = fluxo por luminárias (lumens).

Com o conhecimento das exigências da atividade a ser realizada em determinado ambiente, é fácil obter o valor do E_m , que pode ser encontrado nas normas vigentes (NBR ISO 8995-1) ou valores sugeridos em manuais de dimensionamento (SOUZA, 2018, p.116).

O fator de utilização está relacionado ao índice do local k (equação 4) e tem correlação com o fluxo total da luminária e o fluxo útil que o plano de trabalho recebe, em vista disso, a área e as cores do ambiente (teto, paredes e chão), influem no coeficiente de utilização (CREDER, 2016, p.371). Este coeficiente pode ser encontrado nos catálogos dos fabricantes ou em tabelas normatizadas pelas organizações nacionais para determinados tipos de luminárias (SOUZA, 2018, p.117).

O Quadro 3 demonstra o índice de reflexão das cores das superfícies para auxiliar na determinação do fator de utilização (CREDER, 2016, p.371).

Quadro 3. Índice de reflexão.

Índice	Reflexão	Significado
1	10%	Superfície escura
3	30%	Superfície média
5	50%	Superfície clara
7	70%	Superfície branca

Fonte: Creder (2016, p.371), adaptada.

O índice do local (k) está ligado as dimensões do local, comprimento (c), largura (l) e a altura de montagem da luminária (h_m) que é a distância da fonte luminosa (ou do teto) ao plano de trabalho, conforme a equação 4 (CREDER, 2016, p.371).

$$k = \frac{c \cdot l}{h_m(c + l)} \quad (4)$$

O fator de manutenção (d), ou de depreciação, está relacionado com o fluxo no começo da instalação e na finalização do período de manutenção do sistema de iluminação, pois o fluxo com o passar do tempo vai perdendo eficiência, seja pela redução da vida útil das lâmpadas, sujeira nos equipamentos, escurecimento do teto e das paredes, entre outras situações que afetam o sistema luminoso, o Quadro 4 ilustra a relação do fator de manutenção e os ambientes (CASTAGNA, 2020, p157).

Quadro 4. Fator de manutenção em relação ao ambiente.

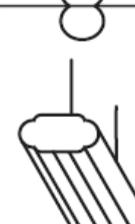
Ambiente	Limpo	Médio	Sujo
Fator de manutenção (FM)	0,9	0,8	0,6

Fonte: Souza (2018, p.120), adaptada.

Outra maneira de encontrar o valor do fator de manutenção é através dos catálogos dos fabricantes.

O espaçamento apropriado entre as luminárias, na maioria dos casos, é disponibilizado pelos fabricantes dos equipamentos (CARVALHO JUNIOR, 2016, p.218). Vale observar que o espaçamento máximo está relacionado com tipo de iluminação adotada, conforme Figura 4 (CREDER, 2016, p.372).

Figura 4. Espaçamento máximo entre as luminárias.

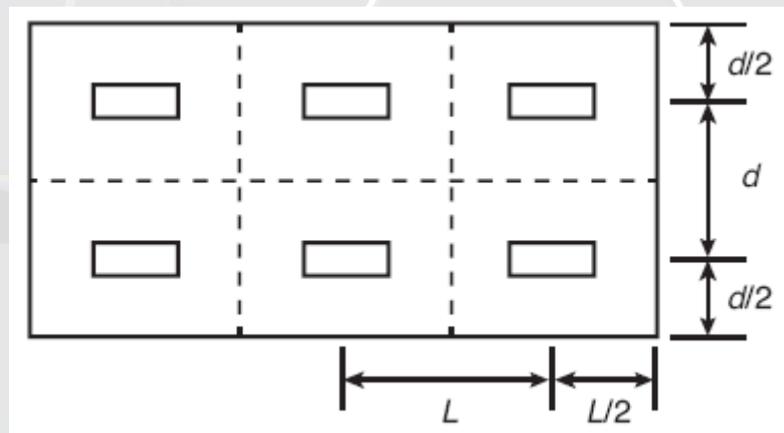
Direta	Semidireta	Geral difusa	Semi-indireta	Indireta
				
Da luminária ao piso			Do teto ao piso	
0,9	0,9	1	1	1
vezes em h_m			vezes em h_m	

Fonte: Creder (2016, p.373).

Observa-se que h_m é a altura de montagem da luminária.

Outra forma de se obter o valor de espaçamento entre as luminárias é adotar o dobro do valor da distância da luminária em relação a parede, visto que já se tenha a quantidade de luminárias necessárias (CREDER, 2016, p.372), conforme Figura 5.

Figura 5. Distribuição das luminárias.



Fonte: Creder (2016, p.372).

Os valores de intervalo entre as luminárias definidos para “L” e para “d” não devem exceder o valor da altura de montagem da luminária (h_m), porém, em alguns casos, o valor de “L” e de “d” poderá ultrapassar em até 1,5x o valor de h_m , isso ocorre

em dependência do comprimento da luminária/lâmpada utilizada no projeto (CREDER, 2016, p.372).

2.5 ANÁLISE DA NORMA TÉCNICA REFERENTE À ILUMINÂNCIA

A norma NBR ISSO/CIE 8995-1 estabelece que a iluminação na área de trabalho de salas de aula no período noturno deve ser de 500 lux e o índice de ofuscamento unificado (UGR - *Unified Glare Rating*) deve ser no máximo de 19. O UGR é a intervenção de outras fontes de luz dentro do campo de visão, formado pelo excesso de luminâncias que prejudicam a visualização de objetos.

3. ESTUDO DE CASO

No presente trabalho foi realizado um estudo de caso no Centro Universitário Campo Real localizado na rua Comendador Norberto, no bairro Santa Cruz em Guarapuava - PR, onde foram coletados os dados de duas salas de aula do bloco do Centro Tecnológico (CT) no período noturno com o auxílio de um luxímetro calibrado obteve-se os valores de iluminação e as médias forem coletadas através de uma trena digital, as salas de aula são as de número 106 e a de número 121.

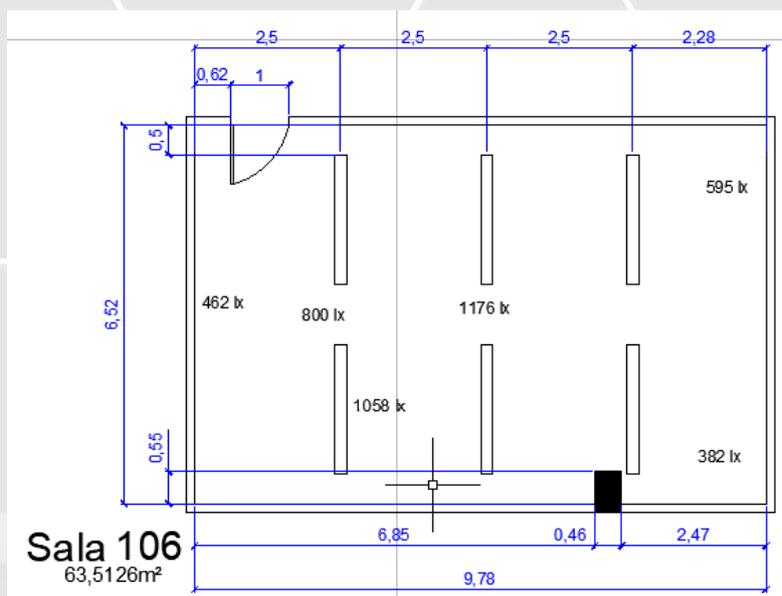
A sala 106 ilustrada na Figura 6, possui as medidas indicadas na Figura 7 realizada através do software AutoCad versão acadêmica, possui o pé direito de 3,25m, e a área de trabalho de 0,75m.

Figura 6. Sala de aula 106.



Fonte: Autor (2021).

Figura 7. Planta baixa da sala 106.



Fonte: Autor (2021).

O teto da sala é de cor branca, as paredes de cor clara e o piso de superfície média, a sala contém 6 luminárias de iluminação direta com 2,5m de distância da parede em que está o quadro assim como da outra luminária e de 0,50m da parede lateral, as luminárias contêm 2 lâmpadas e apresentou uma média das leituras do nível de iluminância de 746 lx (Figura 7).

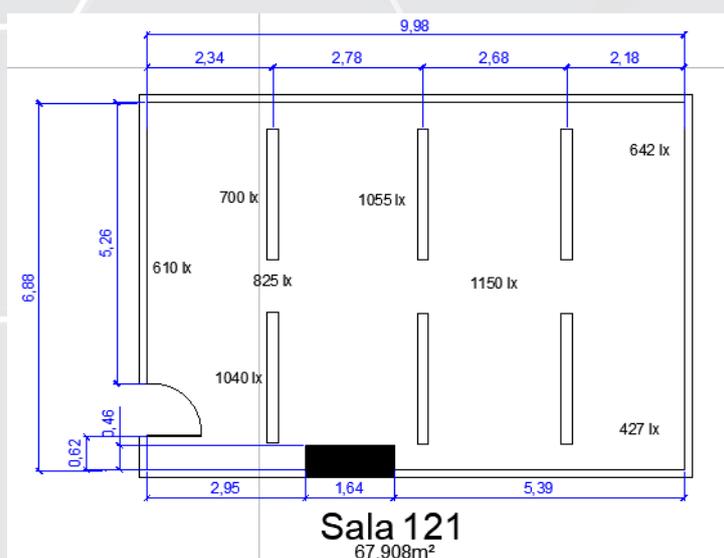
A sala 121 ilustrada na Figura 8 possui as medias indicadas na Figura 9, que também foi realizada através do software AutoCad versão acadêmica, possui o pé direito de 3,15m e a área de trabalho de 0,75m.

Figura 8. Sala de aula 121.



Fonte: Autor (2021).

Figura 9. Planta baixa da sala 121.



Fonte: Autor (2021).

A sala 121 apresenta o teto de cor branca, as paredes de cor clara e o piso de superfície média, dispõe também de 6 luminárias de iluminação direta com 2,34m de distância da parede do quadro, 2,78m da outra luminária, 2,68m da última e 0,50m da parede lateral, as luminárias contém 2 lâmpadas e apresentou uma média das leituras do nível de iluminância de 806 lx.

4 PROJETO LUMINOTÉCNICO MÉTODO DOS LÚMENS

Através dos dados coletados na instituição de ensino o projeto luminotécnico pelo método dos lúmens foi realizado para ambas as salas de aula conforme os cálculos logo adiante. Porém, para que os procedimentos adotados na elaboração do projeto possam ser entendidos facilmente é importante a organização das informações obtidas, no Quadro 5 estão evidenciados os dados coletados, os valores das dimensões foram arredondados para facilitar os cálculos.

Quadro 5. Dados coletados.

SALA	106	121
Comprimento (m)	9,7	10
Largura (m)	6,5	7
Área da coluna (m²)	0,253	0,754
Área útil da sala (m²)	62,8	69,2

Pé direito (m)	3,25	3,15
Altura área de trabalho (m)	0,75	0,75
Altura de montagem (h_m) (m)	2,5	2,4
Teto, Paredes, Piso	7, 5, 3	7, 5, 3
Quantidade de luminárias	6	6
Quantidade de lâmpadas por luminária	2	2
Fluxo luminoso das lâmpadas (lm)	4500	4500
Fator de manutenção (d)	0,9	0,9

Fonte: Autor (2021).

Utilizando-se da equação 4, o valor do índice local (k) para a sala 106 é:

$$k = \frac{(9,7 \cdot 6,5)}{2,5 \cdot (9,7 + 6,5)} = 1,56$$

E para a sala 121 o valor do índice local (k) é:

$$k = \frac{(10 \cdot 7)}{2,4 \cdot (10 + 7)} = 1,72$$

Com o valor do índice local (k) definido, o valor do fator ou coeficiente de utilização (u) pode ser encontrado na tabela de informações do modelo da luminária ilustrada no Quadro 6.

Quadro 6. Fator de utilização.

Índices Teto/Parede/Piso		70	50	30
Fator da Área K	1,50	0,65		
	2,00	0,72		

Fonte: UNICAMP ([2019] p.[2]), adaptada.

Para a sala 106 o valor do fator de utilização é de 0,65 e para a sala 121 como não tem os valores calculados, o método de interpolação foi utilizado para determinar o valor do fator de utilização conforme a equação 5, resultando no valor de 0,68 (FILHO, 2016, p.83).

$$u_2 = y_1 \cdot \frac{u - x_2}{x_1 - x_2} + y_2 \cdot \frac{u - x_1}{x_2 - x_1} \quad (5)$$

Com a equação 3, o fluxo luminoso total necessário para satisfazer o ambiente é determinado para cada sala de aula, lembrando que a iluminância mantida (E_m) conforme a NBR 8995-1 é de 500 lux e a área útil é a total menos a área da coluna. O cálculo do fluxo luminoso total para a sala 106 é de:

$$\phi = \frac{((9,7 \cdot 6,5) - 0,253) \times 500}{0,65 \times 0,9} = 53.672,65 \text{ lm}$$

Para a sala 121 o cálculo do fluxo luminoso é:

$$\phi = \frac{((10 \cdot 7) - 0,754) \times 500}{0,68 \times 0,9} = 56.573,53 \text{ lm}$$

Antes de se calcular o número de luminárias necessárias em cada ambiente, é importante saber o valor do fluxo luminoso total que cada luminária detém, este valor é obtido através da multiplicação da quantidade de lâmpadas que há em cada luminária pelo valor do fluxo luminoso da lâmpada.

Como em ambas as salas os valores do fluxo luminoso das lâmpadas são iguais, portanto, o valor total do fluxo luminoso das luminárias é de:

$$\phi = 2 \times 4500 = 9.000 \text{ lm}$$

O número de luminárias necessárias para o ambiente de cada sala é determinado pela razão do fluxo luminoso total do local pelo fluxo luminoso total da luminária conforme equação 3.

A quantidade de luminárias para a sala 106 é:

$$n = \frac{53672,65}{9000} = 5,96 \text{ lâmpadas}$$

E para a sala 121 é:

$$n = \frac{56573,53}{9000} = 6,29 \text{ lâmpadas}$$

A sala 106 necessita de 5,96 luminárias para que a iluminação atenda a norma, porém, por questões de arredondamento e de estética a sala pode ter até 6 luminárias com as características supracitadas. E para a sala 121, 6 luminárias são suficientes para satisfazer a

iluminação do ambiente, visto que por questões de estética o próximo valor seria de 8 luminárias, porém a iluminação iria trazer desconforto visual aos indivíduos.

O espaçamento apropriado entre as luminárias pode variar de 0,9 a 1,5 a medida de h_m , portanto o espaçamento máximo das luminárias para a sala 106 é de 3,75m e para a sala 121 é de 3,6m. Vale observar que o distanciamento máximo da luminária para a parede é a metade do distanciamento entre as luminárias, sendo assim, para a sala 106 é de 1,88m e da sala 121 é 1,8m.

5 RESULTADOS E COMPARAÇÃO

A NBR ISSO 8995-1, dispõe que o nível de iluminância mínima para uma sala de aula no período noturno é de 500 lux. Através dos valores coletados com o auxílio de um luxímetro percebe-se que a sala 106 em alguns lugares possui valores acima do que dispõe a norma, assim como a sala 121. No entanto, em ambas as salas há pontos medidos que estão abaixo do valor mínimo, no entanto, as médias de iluminância em cada sala supera o valor mínimo que a norma estabelece.

Com o projeto luminotécnico pode-se observar que as quantidades de luminárias são suficientes para satisfazer a iluminação das salas de aula, ultrapassando o valor mínimo de iluminação estabelecido pela NBR ISSO/CIE 8995-1:2013 sem causar ofuscamento e também danos a visão aos usuários.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES

Com os resultados obtidos pela elaboração do projeto luminotécnico pelo método dos lúmens e pelos dados coletados e calculada média do nível de iluminação em cada sala de aula, conclui-se que a sala 106 e a sala 121 se enquadram dentro da NBR ISSO/CIE 8995-1:2013 em relação a iluminação no período noturno, objeto deste estudo.

Vale ressaltar que nos pontos em que a iluminância mínima não foi atingida em ambas as salas de aula, recomenda-se fazer uma limpeza tanto das lâmpadas quanto das luminárias ou a substituição das lâmpadas que podem estar com sua eficiência luminosa reduzida para a sala 121. Já para a sala 106 se a limpeza ou a substituição das lâmpadas não for suficiente, sugere-se mudar o posicionamento das luminárias

próximas ao quadro e também as do fundo da sala em aproximadamente em 0,2m para melhorar o iluminamento dos pontos em que a iluminância está prejudicada.

Os objetivos do trabalho foram atingidos através da demonstração da elaboração do projeto luminotécnico pelo método dos lúmens para cada sala e de como avaliar se a iluminação está de acordo com o disposto na NBR ISO 8995-1, realizando a comparação dos valores obtidos e coletados.

Dentre algumas dificuldades encontradas para a elaboração do referido trabalho, resalto a condensação de informações encontradas em bibliografias, visto que o conteúdo é muito amplo, outra foi de encontrar os valores do coeficiente de utilização inerente aos cálculos para elaboração do projeto luminotécnico.

A importância da realização deste estudo se dá pelo fato de que as salas de aula devem estar de acordo com o disposto na norma, visto que a iluminação afeta o processo de aprendizagem e conseqüentemente o desempenho das pessoas, pois uma iluminação fora da norma, além de causar danos à saúde visual, pode reduzir a produtividade das pessoas usuárias do local.

Sendo assim este estudo pode ser utilizado em trabalhos futuros, na análise de iluminação de ambientes de ensino na rede pública, visto que em algumas edificações a manutenção do sistema luminoso não é frequente, ou também em análise de outros ambientes de trabalhos internos que a NBR ISO/CIE 8995-1 aborda, seja pela importância da iluminação ser o principal fator na execução da atividade ou na comparação da eficiência luminosa em cada modelo de lâmpada e/ou luminária utilizada em determinado ambiente.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**. Iluminação de Ambientes de Trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

BARRETT, P.; DAVIES, F.; ZHANG, Y.; BARRETTE, L. **The impact of classroom design on pupil's learning**: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, [S.l], v. 89, 2015. Disponível em: <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/33995/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações elétricas e o projeto de arquitetura**. 7. ed. São Paulo: Blucher, 2017. Livro digital. (1 recurso online). ISBN 9788521209997. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521209997>. Acesso em: 30 set. 2021.

CASTAGNA, Ana Cristina *et al.* **Luminotécnica**. Porto Alegre: SAGAH, 2020. Livro digital. (1 recurso online). ISBN 9786581492403. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9786581492403>. Acesso em: 22 set. 2021.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Livro digital. (1 recurso online). ISBN 9788521630739. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521630739>. Acesso em: 5 out. 2021.

CRUZ, Eduardo.Cesar Alves; ANICETO, Larry Aparecido. **Instalações Elétricas: Fundamentos, Prática e Projetos em Instalações Residenciais e Comerciais**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. 9788536503974. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536503974/>. Acesso em: 09 out. 2021.

FILHO, Adalberto.Ayjara. D. **Fundamentos de Cálculo Numérico**. São Paulo – SP: Bookman, 2016. 9788582603857. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603857/>. Acesso em: 26 nov. 2021.

GEBRAN, Amaury P.; RIZZATO, Flávio Adalberto P. **Instalações Elétricas Prediais**. Porto Alegre – RS: Bookman, 2017. 9788582604205. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582604205/>. Acesso em: 09 out. 2021.

ITAIM Iluminação. **Catálogo Geral de Produtos**. São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/itaim/itaim_catalogo_2008.pdf. Acesso em: 18 out. 2021.

LIBARDI, Ester Bisolli. **Iluminação no ambiente escolar: A influência da iluminação em escolas de ensino fundamental da rede pública municipal na cidade de Linhares - ES**. Aracruz, 2017. Disponível em: http://www.faacz.com.br/repositorio_de_tccs/2017/2017-CAU-Ester%20Bisolli%20Libardi.pdf. Acesso em: 18 set. 2021.

NISKIER, Julio; MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações elétricas**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Livro digital. (1 recurso online). ISBN 978-85-216-2343-4. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/978-85-216-2343-4>. Acesso em: 15 set. 2021.

SANTOS, Priscila Mais dos; OLIVEIRA, Claudio Roberto de. **ILUMINAÇÃO IDEAL DE UMA SALA DE AULA NO PERÍODO NOTURNO**. Disponível em: <http://conic-semesp.org.br/anais/files/2014/trabalho-1000017182.pdf>. Acesso em: 18 set. 2021.

SILVA, Camila Moreno de Camargo e. **A Importância da Iluminação no Ambiente Escolar**. Goiânia: Revista Especialize IPOG - 8ª Edição nº 009 Vol.01/2014, dezembro/2014. Disponível em: <https://ipog.edu.br/institucional/academico/revista-especialize-edicao-8/>. Acesso em: 06 ago. 2021.

SOUZA, Camila Dias de et al. **Luminotécnica aplicada**. Porto Alegre: SER - SAGAH, 2019. Livro digital. (1 recurso online). ISBN 9788595027923. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788595027923>. Acesso em: 20 set. 2021.

UNICAMP – Universidade de Campinas. **Iluminância e Cálculo Luminotécnico**. Campinas, 2019. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/tabelas/luminotecnica.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2021.