

ANÁLISE DE CUMPRIMENTO NORMATIVO PARA EFICIÊNCIA LUMINOTÉCNICA: ESTUDO DE CASO EM UM PRÉDIO DE MORADIA ESTUDANTIL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.XI-025>

Jéssica de Freitas Pontes (*), Agleison Ramos Omido, Christian Souza Barboza

* Universidade Federal da Grande Dourados, jessicadefreitaspontes@gmail.com

RESUMO

A concepção de um bom projeto luminotécnico é fundamental para a garantia de uma iluminação de qualidade nos ambientes internos de uma edificação. Uma iluminação de qualidade é compreendida como aquela capaz de proporcionar conforto antropométrico e segurança aos usuários dos espaços em que se aplica durante a execução de suas atividades. Tendo isso em vista, este trabalho examinou a iluminação existente em um dos apartamentos padrão, na sala administrativa e nos principais ambientes das áreas comuns da Moradia Estudantil da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada no município de Dourados (MS). As normas utilizadas para a verificação do cumprimento dos requisitos mínimos de iluminância foram a NBR 5413 (ABNT, 1992) e a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). A intensidade luminosa foi medida com o auxílio de um luxímetro em treze salas, sendo elas: hall + sala, cozinha, área de serviço, corredor, dormitório 1, dormitório 2, dormitório 3, banheiro 1, banheiro 2, circulação, sala de estudos 1, sala de estudos 2 e administração. Dentre os ambientes estudados, somente a cozinha e o dormitório 3 apresentaram uma iluminação satisfatória. Duas técnicas de dimensionamento luminotécnico foram empregadas para a definição da quantidade de luminárias necessárias em cada ambiente: o Método dos Lumens e o software DIALux evo, com as luminárias LED INTRAL LSE-100 2X18/20W-T8 e ALADIN ILUMINAÇÃO EB120 1X12W ou 2X12W. Os dois procedimentos exibiram resultados similares, sugerindo o aumento de luminárias em alguns ambientes e indicando a necessidade de manutenção do sistema de iluminação em outros.

PALAVRAS-CHAVE: Luminotécnica, Método dos Lumens, DIALux evo.

INTRODUÇÃO

O conforto ambiental caracteriza-se por ser um segmento de estudo cujo propósito é projetar edifícios levando-se em consideração a interação do ser humano com o espaço físico e as características do ambiente para promover bem-estar térmico, visual, olfativo, acústico e antropométrico às pessoas. O conforto visual consagra-se pela análise das condições de iluminação natural e artificial disponíveis para o desenvolvimento das tarefas da sociedade (Ayres et al., 2018).

Um ambiente provido de iluminação adequada evita que o desconforto e a fadiga visual ocorram em seus ocupantes, possibilitando que a movimentação e as atividades visuais sejam executadas com maior segurança e eficiência. A quantidade e a qualidade da iluminação possuem igual importância no processo de obtenção de uma boa iluminação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Segundo Giaretta (2014) o propósito geral dos projetos de iluminação artificial é corresponder aos níveis mínimos de iluminação requeridos e manter os gastos de implementação baixos. No entanto, é comum que diversos projetos possuam pouca eficiência ou até mesmo sejam inadequados para o que foram propostos em razão da procura pela economia. Tal realidade demonstra a necessidade de que um projeto luminotécnico seja concebido e seguido precisamente.

Nakayama (2007) ressalta que o papel dos designers de iluminação vai muito além dos cuidados com estética, gastos energéticos e grau de iluminação, tendo em vista que analisar antecipadamente os efeitos da luz no indivíduo e as circunstâncias de uso local e dos ocupantes é fundamental para a promoção da qualidade de vida do homem moderno. A inteligência de um projeto luminotécnico é demonstrada pela compatibilização da tipologia da edificação com o aproveitamento da luz natural e o uso da iluminação artificial como complementação para alcançar os níveis apropriados (NASCIMENTO, 2019).

OBJETIVOS

Considerando-se a importância da luminotécnica já discutida, o propósito deste trabalho é aferir, com a utilização do luxímetro, a iluminância atual das áreas comuns e privadas da Moradia Estudantil da Universidade Federal da Grande Dourados e definir a iluminância ideal com a aplicação de duas técnicas de dimensionamento diferentes: o Método dos Lumens e a utilização do software DiaLux evo. A comparação do iluminamento existente com o definido como ideal

permite a recomendação das alterações necessárias para o aperfeiçoamento do conforto visual e da segurança nesses espaços. Para o completo entendimento do estudo, algumas definições luminotécnicas são necessárias.

- **Definições luminotécnicas**

Creder (2021) caracteriza a luz como um aspecto da energia radiante que é percebida visualmente por um observador humano através de estímulos na retina ocular, causando a sensação de claridade. O olho humano é capaz de captar radiações de ondas eletromagnéticas entre 3800 e 7600 angströms (Å).

As lâmpadas são objetos capazes de produzir energia luminosa e possuem como sustentáculo as luminárias. Além da contribuição estética, as luminárias têm como objetivos proteger as lâmpadas das intempéries, aprimorar a disposição da luz e proporcionar ligação à rede elétrica. Niskier (2021) divide as lâmpadas elétricas em três grupos: lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga e lâmpadas de estado sólido (LED – Light Emitting Diode). Contudo, as lâmpadas incandescentes de uso geral foram removidas do mercado mundial e do Brasil devido ao rendimento luminoso inferior (CREDER, 2021).

Mensurado pela unidade de medida lúmen (lm), o fluxo luminoso é a potência absoluta de radiação produzida por uma fonte de luz que pode ser percebida como luminosidade pela retina. As lâmpadas possuem fluxos luminosos de eficiências distintas, de acordo com sua potência e modelo (CREDER, 2021). A Tabela 1 mostra os fluxos luminosos que são emitidos por alguns tipos de lâmpadas de uso residencial e comercial.

Tabela 1. Valores típicos de fluxo luminoso de lâmpadas. Fonte: CREDER, 2021.

Incandescente comum		Fluorescente		LED		Halógena	
Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)	Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)	Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)	Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)
25	230	20	1100	6	600	25	210
40	450	32	2700	8	800	40	450
60	800	40	3000	10	1000	50	1100
100	1500	110	7800	12	1200	70	1600

A iluminância, ou iluminamento, é a densidade superficial de fluxo luminoso atuante na superfície em que incide. A unidade de medida, lux (lx), é descrita como a iluminância de uma área de 1 m² que recebe perpendicularmente um fluxo luminoso uniformemente distribuído de 1 lúmen (CREDER, 2021). Em situações práticas é comum o uso do luxímetro, um dispositivo amplamente aplicado na luminotécnica que é capaz de aferir o fluxo luminoso recebido por uma determinada superfície através de um sensor vinculado.

A NBR 5413 (ABNT, 1992) era responsável por apresentar os valores mínimos de iluminância para o dimensionamento da iluminação artificial de interiores, como comércio, indústria, esporte e ensino. Essa norma foi atualizada na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) e, por conseguinte, cancelada. A NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) estabelece a iluminância mantida que deve ser adotada para diversos ambientes, tarefas ou atividades humanas, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Nível de iluminância mantida (Em) para algumas atividades. Fonte: CREDER, 2021.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	Observações
Áreas gerais da edificação		
Saguão de entrada	100	
Área de circulação e corredores	100	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Escritórios		
Arquivamento, cópia, circulação, etc	300	
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	
Estações de projeto por computador	500	
Bibliotecas		
Estantes	200	
Área de leitura	500	

A NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), diferentemente da NBR 5413 (ABNT, 1992), não especifica os requisitos mínimos de iluminância para residências. Sabendo-se que este trabalho inclui ambientes residenciais, optou-se por utilizar os valores médios em serviço da iluminância em residências da NBR 5413 (ABNT, 1992), descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Iluminâncias médias para residências, em lux. Fonte: ABNT, 1992.

Residências	
	Iluminâncias (lux)
Sala de estar	
Geral	100 - 150 - 200
Local (leitura e escrita)	300 - 500 - 750
Cozinhas	
Geral	100 - 150 - 200
Local (fogão e mesa)	200 - 300 - 500
Hall, escada e garagem	
Geral	75 - 100 - 200
Local	200 - 300 - 500
Banheiros	
Geral	100 - 150 - 200
Local (espelhos)	200 - 300 - 500
Quarto de dormir	
Geral	100 - 150 - 200
Local (espelho e cama)	200 - 300 - 500

De acordo com a NBR 5413 (ABNT, 1992), dentre os três dados de iluminância por local indicados, a seleção deve ser feita da seguinte forma:

- Utilizar o valor central em todas as situações.
- Escolher o maior valor caso a atividade possua contrastes e refletâncias muito baixos, erros difíceis de corrigir, trabalhos visuais críticos, precisão ou produtividade muito relevantes ou se a visão do observador estiver inferior à média.
- Optar pelo menor valor se a tarefa apresentar refletância ou contrastes altos, possuir precisão ou velocidade não relevantes ou for ocasional.

A inter-relação entre a arquitetura e a luz pode ser mensurada e avaliada através dos modelos matemáticos pertencentes aos programas de iluminação. Esses softwares são responsáveis por facilitar a concepção dos projetos com os seus recursos de cálculo, visualização e administração dos tópicos de caráter qualitativo e quantitativo, como refletância de planos, contraste, uniformidade da luz e demandas estéticas (MONEDERO, 2015).

Segundo Moraes, Alcojor e Bittencourt (2020), o DIALux evo é um software com uma área de interação que abrange diversas questões tecnológicas e projetistas, indo desde a criação de modelos, parametrização e observação de efeitos luminotécnicos, aos parâmetros de eficiência energética e performance visual, indicados pelos padrões de projeto ou pelas normas vigentes.

Conhecido como um dos softwares com maior popularidade na simulação de iluminação, o DIALux possui como maior objetivo dar suporte aos designers de iluminação em seu trabalho. É um programa gratuito, disponível em 25 idiomas e com normas regionais e internacionais inclusas, suportando pequenos e grandes fabricantes (DIAL GMBH, 2022).

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado na Moradia Estudantil, uma construção habitacional pertencente a uma instituição de domínio federal: a Universidade Federal da Grande Dourados. Essa edificação recebe os estudantes da entidade oriundos de outras cidades com vulnerabilidade socioeconômica comprovada. O principal objetivo da Moradia Estudantil é fornecer um espaço favorável para a permanência dos seus residentes na universidade. A metodologia de trabalho seguida está apresentada no fluxograma da Figura 1.

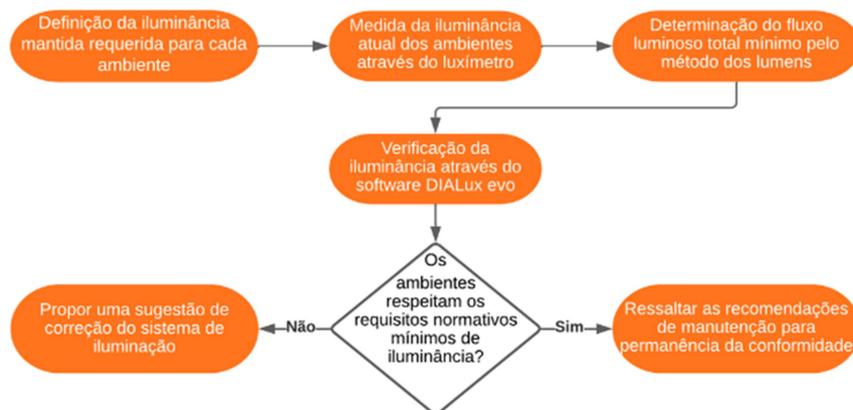


Figura 1: Fluxograma referente à metodologia de trabalho da análise luminotécnica. Fonte: Autor do Trabalho.

• A moradia estudantil da UFGD

A edificação residencial conhecida como Moradia Estudantil está situada na Rua João Ayres da Silva, número 100, no Bairro Altos do Indaiá da cidade de Dourados no estado do Mato Grosso do Sul, de coordenadas de latitude - 22°13'15.3" e longitude 54°50'30.3".

A Moradia Estudantil é um prédio de três pavimentos, um térreo e dois pavimentos-tipo, pertencente à UFGD que possui 16 apartamentos, duas áreas de estudos coletivo com computadores e uma sala administrativa. Cada apartamento comporta até seis acadêmicos, sendo mobiliado e constituído por uma sala com hall, uma cozinha conjugada com área de serviço, dois banheiros, três quartos e um corredor. O pavimento térreo contém quatro apartamentos, as salas de estudos e a administração. Os pavimentos-tipo comportam 6 apartamentos. A Figura 2 é uma fotografia da fachada frontal do prédio.



Figura 2: Fachada da Moradia Estudantil da UFGD. Fonte: Autor do Trabalho.

O projeto arquitetônico original da Moradia Estudantil foi disponibilizado pela Divisão de Projetos (DIPROJ) da Prefeitura Universitária da UFGD. A análise do projeto recebido e a confirmação das medidas in loco com trena simples possibilitaram a obtenção das dimensões principais de comprimento, largura e pé direito dos espaços internos do apartamento-padrão, da sala administrativa e dos ambientes comuns da edificação, apresentados na Tabela 4. A maioria dos ambientes em estudo são retangulares, porém alguns são compostos por uma associação de retângulos, conforme pode ser observado nas Figuras 5, 6 e 7.

Todos os espaços têm paredes e teto na cor branca. Os apartamentos possuem mobília residencial convencional, com esquadrias maxim-ar de 70x50/160cm nos banheiros e esquadria de correr de 150x120/90cm nos demais ambientes. As portas dos banheiros são de 60x210cm, enquanto que as outras são de 80x210cm. A área de circulação principal dos pavimentos dispõe de duas esquadrias de correr, sendo elas de 300x120/90cm e 150x120/90cm. As salas destinadas ao estudo contam com mesas de estudo coletivo e mesas de estudo individual com computadores. A sala de estudos 1 possui uma esquadria de correr de 300x120/90cm, uma de 190x120/90cm e uma porta de duas folhas de 160x210cm. A sala de estudos 2 é composta por uma esquadria de correr de 300x120/90cm e uma porta de 80x210cm. Por último, a administração tem uma esquadria de correr de 190x120/90cm e uma porta de 80x210cm.

Tabela 4. Dimensões dos ambientes estudados da Moradia Estudantil da UFGD. Fonte: Autor do Trabalho.

Ambiente	Comprimento (m)	Largura (m)	Pé direito (m)
Apartamento padrão			
Hall + Sala	4,58	2,75	2,60
Cozinha	2,35	2,28	2,20
Área de serviço	2,35	1,00	2,20
Corredor	6,85	1,00	2,60
Dormitório 1	3,43	2,65	2,60
Dormitório 2	3,43	2,65	2,60
Dormitório 3	3,33	2,75	2,60
Banheiro 1	2,75	1,10	2,20
Banheiro 2	2,18	1,10	2,20
Áreas comuns			
Circulação	16,56	1,85	2,60
Sala de estudos 1	10,80	4,63	2,50
Sala de estudos 2	6,00	4,63	2,50
Área administrativa			
Administração	4,63	2,62	2,50

• Definição do iluminamento ideal

Conforme descrito anteriormente, a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) determina a iluminância mantida que deve ser aderida para diversos ambientes e atividades humanas. Dentre os ambientes abrangidos por essa norma e pertencentes à construção em estudo estão os espaços gerais da edificação, como áreas de circulação e áreas de leitura. Ressalta-se que, apesar de “área de leitura” e “escrever, teclar, ler, processar dados” estarem mencionados para as bibliotecas e para os escritórios, respectivamente, optou-se por adotar a mesma iluminância mantida para as salas de estudo/computadores da moradia, dada a semelhança das atividades desenvolvidas. A Tabela 5 apresenta a iluminância mantida dos ambientes mencionados.

Tabela 5. Nível de iluminância mantida (Em) para as áreas comuns da moradia. Fonte: CREDER, 2021.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	Observações
Área de circulação e corredores	100	Nas entradas e saídas, estabelecer zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Área de leitura/ Escrever, teclar, ler, processar dados	500	

A NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) não traz os requisitos mínimos de iluminância mantida para ambientes residenciais. Sendo assim, para áreas internas dos apartamentos da moradia, optou-se por utilizar os valores médios em serviço da iluminância em residências da NBR 5413 (ABNT, 1992). Para cada local, essa norma apresenta três valores de iluminância. O valor utilizado neste trabalho será o central da Tabela 4, visto que os espaços da moradia não se enquadram nas condições da norma para o uso do menor ou maior índice. Para a sala administrativa, o nível de iluminância mínima de referência será o mesmo adotado para a atividade “escrever, teclar, ler, processar dados” para os escritórios: 500 lux.

• Condições de iluminamento reais

O Anexo B da NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) contém as informações necessárias para a determinação do nível de iluminância existente nas instalações de um ambiente de trabalho através de uma malha de cálculo. A metodologia dessa norma será utilizada por não haver uma norma específica em vigor para a medição da iluminância gerada por iluminação artificial em construções residenciais. A Equação 1 define o tamanho da malha.

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} d} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

- p = tamanho da malha, em metros (m);
- d = maior dimensão da superfície de referência, em metros (m).

O número de pontos (n) é definido pela norma como o número inteiro mais próximo da razão entre d e p. Diante da existência de casos em que a relação do comprimento versus a largura seja menor que 0,5 ou maior que 2, recomenda-se que a menor dimensão seja adotada como base para a distribuição do espaçamento entre os pontos da malha.

Os locais de referência com dimensões retangulares devem ser seccionados em retângulos menores próximos de quadrados, com os pontos de medição em seus respectivos centros. A iluminância média é a média aritmética dos dados obtidos para todos os pontos de cálculo. A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para d, p e n para cada um dos ambientes em estudo:

Tabela 6. Número de pontos de investigação (n) em função das dimensões dos ambientes estudados na Moradia Estudantil da UFGD. Fonte: Autor do Trabalho.

Ambiente	d (m)	p (m)	n	n adotado
Apartamento padrão				
Hall + Sala	4,58	0,58	8	9
Cozinha	2,35	0,36	7	9
Área de serviço	1,00	0,20	5	8
Corredor	1,00	0,20	5	8
Dormitório 1	3,43	0,47	8	9
Dormitório 2	3,43	0,47	8	9
Dormitório 3	3,33	0,46	8	9
Banheiro 1	1,10	0,21	6	8
Banheiro 2	2,18	0,34	7	8
Áreas comuns				
Circulação	1,85	0,31	7	15
Sala de estudos 1	4,63	0,58	8	8
Sala de estudos 2	6,00	0,70	9	12
Área administrativa				
Administração	4,63	0,58	8	10

A investigação dos pontos de cálculo foi realizada no período noturno, para minimizar a interferência da luz natural no estudo. O equipamento manuseado foi o luxímetro digital portátil THAL-300 da INSTRUTHERM, disponibilizado pela Faculdade de Engenharia da UFGD. Seguindo-se o modo de utilização do luxímetro no manual do equipamento, obteve-se os dados de iluminância para os pontos, exibidos nas Figuras 3, 4 e 5:

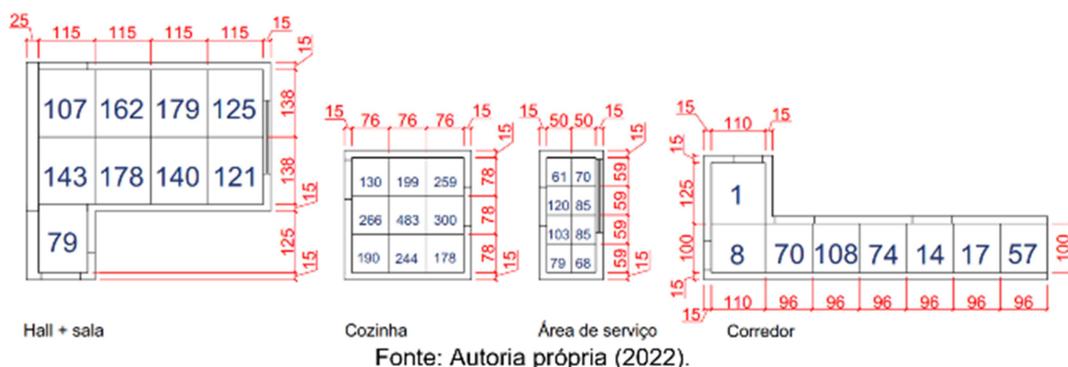


Figura 3: Iluminâncias de alguns ambientes de um apartamento padrão na Moradia Estudantil. Fonte: Autor do Trabalho.

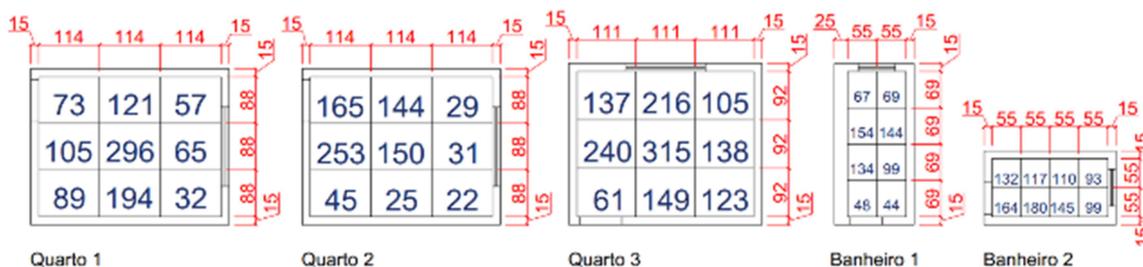


Figura 4: Iluminâncias dos demais ambientes de um apartamento padrão na Moradia Estudantil. Fonte: Autor do Trabalho.



Figura 5: Iluminâncias obtidas para os pontos de investigação das áreas comuns e da administração da Moradia Estudantil. Fonte: Autor do Trabalho.

• Método dos Lumens

O Método dos Lumens é descrito por Creder (2021) como um procedimento de cálculo luminotécnico capaz de estipular o fluxo luminoso total (ϕ) fundamental no fornecimento da iluminância apropriada para a realização de determinada tarefa. Para utilizar esse método, as Equações 2 e 3 devem ser aplicadas.

$$\phi = \frac{S \times E_m}{u \times d} \quad \text{equação (2)}$$

$$n = \frac{\phi}{\varphi} \quad \text{equação (3)}$$

sendo:

- ϕ = fluxo luminoso total (lumens);
- S = área do recinto (m^2);
- E_m = Iluminância mantida (lux);
- u = coeficiente ou fator de utilização;
- d = fator de depreciação ou de manutenção;
- n = número de luminárias;
- φ = fluxo por luminárias (lumens).

Com a iluminância mantida (E_m) apresentada na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) ou a iluminância média da NBR 5413 (ABNT, 1992) para as atividades executadas em ambientes não abrangidos pela norma mais atualizada, como residências, deve-se partir para a seleção das lâmpadas e luminárias. A razão da instalação, os aspectos econômicos, os conceitos arquitetônicos e as facilidades na manutenção são alguns dos fatores determinantes nessa escolha. O catálogo dos fabricantes reúne as características luminotécnicas dos produtos disponíveis no mercado.

Para determinar o fator de utilização (u) são necessárias duas informações: o índice do local (k) e o fator de reflexão. O índice do local associa as dimensões do ambiente (comprimento e largura) com a altura da instalação do ponto da iluminação. O fator de reflexão refere-se à refletância das paredes e tetos em função de suas cores. As Tabelas 7 e 8 definem o índice do local e o fator de reflexão, respectivamente.

Tabela 7. Determinação do índice do local (k) em função das dimensões dos ambientes. Fonte: NISKIER, 2021.

Iluminação direta e semi-direta (m)		Distância do chão ao foco luminoso (m)	
Largura do local (m)	Comprimento do local (m)	2,15 a 2,30	2,45 a 2,60
		Índice do local	
2,75 (2,60 - 2,75)	2,50 - 3,00	H	I
	3,00 - 4,30	H	I
	4,30 - 6,00	G	H
	6,00 - 9,00	G	G
	9,00 - 13,00	F	G
	13,00 ou mais	E	F
4,30 (4,00 - 4,70)	6,00 - 9,00	E	F
	9,00 - 13,00	E	F

Para os ambientes com dimensões inferiores aos valores mínimos contemplados pela Tabela 7, adotou-se o índice do local para a situação mais próxima do cenário real.

Tabela 8. Fator de reflexão de paredes e tetos. Fonte: NISKIER, 2021.

Refletâncias de paredes e tetos	
Teto branco	75%
Paredes brancas	50%

As informações da Tabela 7 e da Tabela 8 permitem a obtenção do fator de utilização (u) na Tabela 9, que considera os aparelhos da General Electric similares aos utilizados nos ambientes estudados da Moradia Estudantil.

Tabela 9. Coeficientes de utilização para aparelhos da General Electric: NISKIER, 2021.

Luminária		Teto	75%	Descrição
Fator de depreciação	Tipo	Paredes	50%	
		Índice do local	Coefficiente de utilização	
d = 0,85		J	0,27	Aparelho de embutir para lâmpadas incandescentes
		I	0,32	
		H	0,36	
		G	0,40	
		F	0,42	
		E	0,44	
		D	0,46	
		C	0,48	
		B	0,49	
		A	0,50	
d = 0,75		J	0,29	Luminária comercial
		I	0,36	
		H	0,41	
		G	0,46	
		F	0,50	
		E	0,56	
		D	0,59	
		C	0,62	
		B	0,65	
		A	0,66	

A primeira coluna da Tabela 9 informa o fator de depreciação ou manutenção (d) das luminárias escolhidas. Ressalta-se que o aparelho de embutir está instalado no teto dos banheiros e da área de serviço, com duas lâmpadas, e a 30cm abaixo do teto do corredor e da circulação, com uma lâmpada, já os demais ambientes possuem a luminária comercial.

Com o intuito de aproximar o dimensionamento da atual configuração do sistema de iluminação da edificação, foram escolhidas as seguintes luminárias:

- Luminária INTRAL LSE-100 (código 09911) para duas lâmpadas tubo LED de 18W-T8 120cm com 1850lm cada, conforme Kian (2022);
- Luminária LED de embutir redonda ALADIN ILUMINAÇÃO (código EB120) para uma ou duas lâmpadas bulbo LED 12W com 1080lm cada, de acordo com Kian (2022).

● **Software DIALux evo**

Por ser uma ferramenta tecnológica de design de iluminação, o software DIALux evo é aplicado neste trabalho como um segundo método de dimensionamento luminotécnico dos ambientes estudados. Basta configurar os espaços e inserir os modelos de luminárias e lâmpadas utilizados para que a simulação da iluminação e o cálculo sejam apresentados. O procedimento de modelagem 3D no software segue a mesma lógica de execução para todos os ambientes do estudo. Utilizando-se como exemplo a sala de estudos 1, primeiramente é necessário cadastrar as dimensões da sala, localizar as aberturas (portas e janelas), inserir o mobiliário presente e adicionar as texturas e cores das faces do ambiente e da mobília.

Quando disponível, deve-se importar o arquivo de formato “.ies” do catálogo virtual do fabricante da luminária utilizada. Caso contrário, basta selecionar uma luminária similar cadastrada na aba “Lumsearch” do software. A demarcação da área iluminada é feita na opção “Desenhar distribuição poligonal” e a iluminância prevista é inserida no item “Calculador aproximado”. Ressalta-se que a rotação, a disposição e a quantidade de luminárias podem receber ajustes para respeitar a iluminância média mínima.

No item “Lâmpadas” é feita manualmente a atribuição das características das lâmpadas instaladas nas luminárias, sendo elas modelo, corrente luminosa, potência, temperatura e índice de reprodução de cores. O plano de uso padrão das salas foi fixado em 80 cm, com exceção do corredor e da circulação, que está no nível do piso. Após executar o cálculo, o software retorna do lado direito da tela um quadro com o resumo dos resultados de iluminância prevista. A sala de estudos 1 modelada no DIALux evo é mostrada na Figura 6.



Figura 6: Modelo da sala de estudos 1 pelo software DIALux evo. Fonte: Autor do Trabalho.

No software, as linhas isométricas são linhas desenhadas para conectar pontos que possuem o mesmo iluminamento. O uso dessas linhas em conjunto com a aplicação de cores ilustrativas facilita a percepção da intensidade da iluminação disponível. Com os itens “Linhas isométricas” e “Cores falsas” ativados é possível observar a incidência da iluminância na sala, conforme pode ser visto na Figura 7.

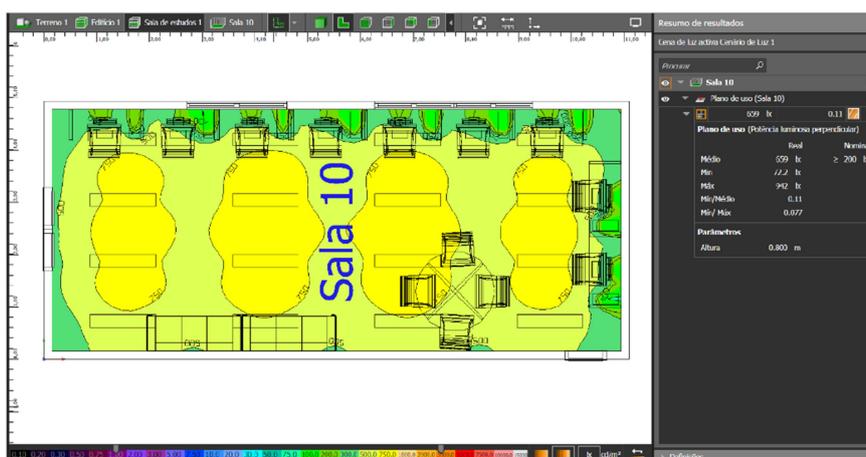


Figura 7: Dimensionamento da sala de estudos 1 pelo software DIALux evo. Fonte: Autor do Trabalho.

RESULTADOS

- Circunstâncias reais de iluminação

Aplicando-se a média aritmética nos dados informados nas Figuras 3, 4 e 5 e comparando-se com as iluminâncias necessárias para cada ambiente das Tabelas 3 e 5, foi possível analisar a conformidade da iluminação atual com os requisitos mínimos fixados por norma, como observável na Tabela 10:

Tabela 10. Iluminância média, necessária e efetiva nos ambientes em estudo. Fonte: Autor do Trabalho, 2022.

Ambiente	Iluminância média (lux)	Iluminância necessária (lux)	Iluminância efetiva (%)
Apartamento padrão			
Hall + Sala	137	150	91,33
Cozinha	257	150	171,33
Área de serviço	84	150	56,00
Corredor	44	100	44,00
Dormitório 1	115	150	76,67
Dormitório 2	96	150	64,00
Dormitório 3	165	150	110,00
Banheiro 1	95	150	63,33
Banheiro 2	130	150	86,67
Áreas comuns			
Circulação	1	100	1,00
Sala de estudos 1	163	500	32,60
Sala de estudos 2	66	500	13,20
Área administrativa			
Administração	296	500	59,20

Constata-se pela Tabela 10 que apenas a cozinha e o dormitório 3 respeitam a iluminância mínima recomendada por norma. Oito dos treze ambientes estudados apresentam uma iluminância efetiva inferior a 70%. As áreas comuns da edificação são as mais críticas, com menos de 33% da iluminância necessária.

Dentre os prováveis fatores contribuintes para as baixas taxas de iluminância efetiva, destaca-se a ausência de manutenção, visto que diversas luminárias não estão funcionando no seu máximo potencial em decorrência de defeitos e da falta de troca das lâmpadas fracas ou queimadas.

• Dimensionamento e análise do iluminamento

O dimensionamento pelo Método dos Lumens está disposto na Tabela 11. Para realizá-lo, obteve-se para cada ambiente a iluminância necessária (Tabelas 3 e 5), as dimensões principais (Tabela 4), o índice de local “k” (Tabela 7), o fator de reflexão do teto e das paredes (Tabela 8), o coeficiente de utilização “u” (Tabela 9), o fator de manutenção ou depreciação “d” (Tabela 9) e o fluxo luminoso por luminária “ ϕ ”. Com isso, o fluxo luminoso total “ Φ ” (Equação 2) e o número de luminárias “n” (Equação 3) foram encontrados. A coluna “ne” fornece a quantidade de luminárias existentes atualmente no ambiente.

Tabela 11. Dimensionamento pelo Método dos Lumens: Autor do Trabalho.

Ambiente	Ilumin. nec. (lux)	Comp. (m)	Larg. (m)	Área (m ²)	k	u	d	ϕ (lm)	Φ (lm)	n	ne
Apartamento padrão											
Hall + Sala	150	4,58	2,75	12,60	H	0,41	0,75	6144	3700	2	2
Cozinha	150	2,35	2,28	5,36	H	0,36	0,75	2977	3700	1	1
Área de serviço	150	2,35	1,00	2,35	H	0,36	0,75	1306	2160	1	1
Corredor	100	6,85	1,00	6,85	G	0,40	0,85	2015	1080	2	3
Dormitórios 1 e 2	150	3,43	2,65	9,09	I	0,36	0,75	5050	3700	2	1
Dormitório 3	150	3,33	2,75	9,16	I	0,36	0,75	5088	3700	2	1
Banheiro 1	150	2,75	1,10	3,03	H	0,36	0,85	1483	2160	1	1
Banheiro 2	150	2,18	1,10	2,40	H	0,36	0,85	1175	2160	1	1
Áreas comuns											
Circulação	100	16,56	1,85	30,64	E	0,44	0,85	8191	1080	8	5
Sala de estudos 1	500	10,80	4,63	50,00	F	0,50	0,75	66672	3700	19	6
Sala de estudos 2	500	6	4,63	27,78	F	0,50	0,75	37040	3700	11	2
Área administrativa											
Administração	500	4,63	2,62	12,13	G	0,46	0,75	17581	3700	5	2

Analisando-se a Tabela 11, tem-se que apenas 38% dos ambientes estão com a quantidade correta de luminárias e que o corredor tem uma luminária a mais além do necessário. Contudo, dentre esses espaços, apenas a cozinha apresenta uma

iluminância média acima do valor recomendado. A explicação mais viável é a falta de manutenção das luminárias, dada a existência de lâmpadas queimadas e defeituosas.

O dormitório 3 está entre os dois únicos ambientes que estão acima do limite mínimo de iluminância média, porém o Método dos Lumens propõe a necessidade do acréscimo de uma luminária. Tal divergência pode ser explicada pelas simplificações do Método dos Lumens, como a padronização da refletância das paredes e do teto e a desconsideração da refletância do mobiliário existente.

Com sete dos treze ambientes estudados em déficit de luminárias pelo Método dos Lumens, a discrepância entre a quantidade de luminárias necessárias e a quantidade existente é crítica nas áreas comuns e na área administrativa. As salas de estudos 1 e 2 estão com menos de 1/3 da quantia mínima estabelecida. O dimensionamento luminotécnico pelo software DIALux evo é mostrado na Tabela 12:

Tabela 12. Dimensionamento pelo software DIALux evo: Autor do Trabalho.

Ambiente	Altura do plano de uso (m)	Nº de luminárias	Iluminância média (lux)
Apartamento padrão			
Hall + Sala	0,80	2	284
Cozinha	0,80	1	289
Área de serviço	0,80	1	313
Corredor	0,00	3	149
Dormitórios 1 e 2	0,80	1	211
Dormitório 3	0,80	1	196
Banheiro 1	0,80	1	306
Banheiro 2	0,80	1	364
Áreas comuns			
Circulação	0,00	8	145
Sala de estudos 1	0,80	16	659
Sala de estudos 2	0,80	8	571
Área administrativa			
Administração	0,80	6	688

Comparando-se a quantidade estabelecida de luminárias pelo Método dos Lumens e pelo DIALux evo, percebe-se que os valores estão relativamente próximos. Por ser mais completo, o software oferece resultados mais realísticos. De acordo com os valores da Tabela 11, todos os ambientes do apartamento padrão possuem a quantidade correta de luminárias necessárias. Tal fato evidencia a importância de uma manutenção adequada das luminárias e das lâmpadas que as compõem para que o sistema de iluminação seja eficiente, como limpeza periódica e troca das lâmpadas após constatada a perda significativa de fluxo luminoso.

A ilustração da iluminância com linhas isográficas e cores falsas no dimensionamento pelo software torna notória a relevância da disposição correta do mobiliário dentro de um ambiente. A distribuição equidistante das fontes de luz gera recorrentemente cantos com menor incidência de fluxo luminoso. O simples rearranjo dos móveis em uma sala pode melhorar significativamente o conforto visual dos usuários da mesma. A Figura 8 destaca o posicionamento inadequado das mesas com computadores nos cantos das salas de estudos 1 e 2:

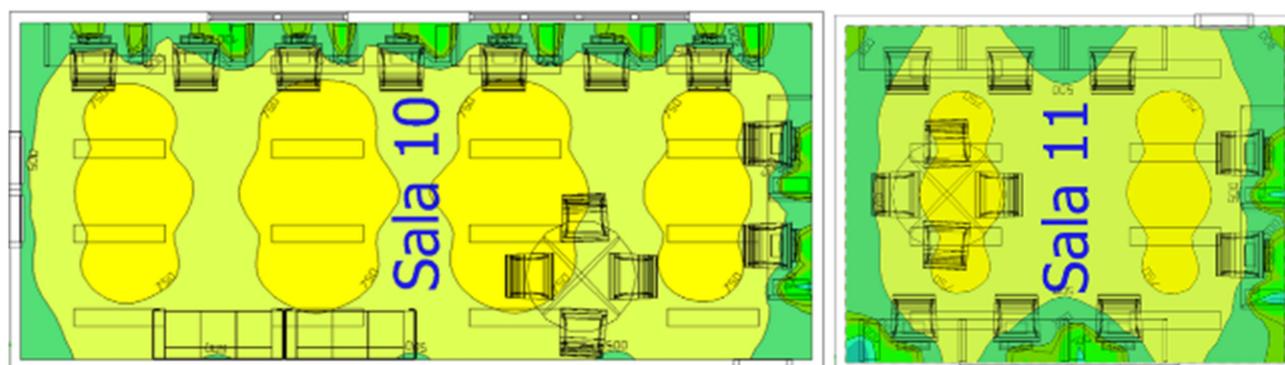


Figura 8: Sala de estudos 1 e 2, respectivamente, com linhas isográficas e cores falsas. Fonte: Autor do Trabalho.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um bom projeto luminotécnico é fundamental para que os ocupantes de uma edificação possam exercer as suas atividades com conforto e segurança. A manutenção adequada e periódica do sistema de iluminação se demonstrou igualmente essencial. Apesar de nove dos treze ambientes estudados estarem com a quantidade ideal de luminárias para o fornecimento das iluminâncias descritas na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) e NBR 5413 (ABNT, 1992), de acordo com o software DIALux evo, apenas dois deles apresentaram uma iluminância efetiva dentro do esperado.

Tendo em vista que as luminárias utilizadas no dimensionamento pelo Método dos Lumens e pelo software DIALux evo são equivalentes às luminárias existentes nos ambientes, a utilização de lâmpadas tubo LED 18W-T8 e bulbo 12W da marca Kian é capaz de fornecer a iluminação adequada, desde que a retificação do número de luminárias e sua manutenção sejam efetuadas.

Compreender os conceitos de luminotécnica permite realizar escolhas capazes de aprimorar a iluminação, como a reorganização da mobília. As salas de estudos 1 e 2 exemplificam o fato de que o posicionamento de áreas de trabalho cujas necessidades de iluminação sejam elevadas em pontos que recebem menos fluxo luminoso não é a melhor opção.

Por fim, levando-se em consideração que a edificação é composta majoritariamente por ambientes iguais aos estudados neste trabalho, recomenda-se que as adequações sugeridas sejam implementadas em todo o prédio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5810752/mod_resource/content/1/NBRISO_CIE8995-1%20-%20Arquivo%20para%20impress%C3%A3o.pdf. 23 mar. 2022.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5413: iluminância de interiores.** Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM802/NBR5413.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.
3. AYRES, Tereza Cristina de Souza et al. Avaliação da iluminação artificial em salas de aulas em uma escola da rede de ensino pública de Nova Venécia-ES. **Revista Ifes Ciência**, Nova Venécia, ano 2018, v. 4, ed. 2, 10 out. 2018. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/344/306>. Acesso em: 23 mar. 2022.
4. CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 17. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: LTC, 2021. Disponível em: Minha Biblioteca. Acesso em: 28 maio 2022.
5. DIAL GMBH. **DIALux is free and open. Two things our users love.** Lüdenscheid, 2022. Disponível em: <https://www.dialux.com/en-GB/dialux-is-free-and-open>. Acesso em: 7 jun. 2022.
6. GIARETA, Vanessa R. **Avaliação do nível de iluminância em posto de trabalho estudo de caso indústria têxtil.** Orientador: Prof. M. Eng. Massayuki Mario Hara. 2014. 48 p. Monografia (Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17648/2/CT_CEEST_XXVIII_2014_32.pdf. Acesso em: 23 mar. 2022.
7. ILUMINAÇÃO, Aladin. **Luminária LED de embutir redonda: EB 120.** Disponível em: <https://www.aladiniluminacao.com.br/p/eb-120-luminaria-led-de-embutir-redonda>. Acesso em: 15 set. 2022.
8. ILUMINAÇÃO, Kian. **LED Tube Glass.** Disponível em: <https://kian.com.br/produto/led-tube-glass/>. Acesso em: 15 set. 2022.
9. ILUMINAÇÃO, Kian. **LED Classic.** Disponível em: <https://kian.com.br/produto/led-classic/>. Acesso em: 15 set. 2022.
10. 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. 2022.
11. MONEDERO, J. **Simulación visual de la iluminación: Teoría. Técnicas. Análisis de casos.** Barcelona: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC, 2015. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/80463>. Acesso em: 7 jun. 2022.
12. MORAES, Júlia Silva de; ALCOJOR, Adrián Muros; BITTENCOURT. Avaliação integrada do desempenho visual e eficiência energética pelo DIALux evo 8 para projetos de iluminação artificial. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 11, p. e020005, 2020.** ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8653991/22229>. Acesso em: 7 jun. 2022.

13. NAKAYAMA, Midori. Mecanismos da visão e influências da luz. **Revista Lume Arquitetura**, São Paulo, n. 28, out./nov. 2007. Disponível em: <https://lumearquitetura.com.br/pdf/ed28/ed28-Aula-Rapida-Luz-visao-e-saude-Mecanismos-da-visao-e-influencias-da-luz.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.
14. NASCIMENTO, Fernanda de Vargas. **Gestão da eficiência da iluminação artificial integrada à iluminação natural em ambientes internos**: Estudo do retrofit luminotécnico. Orientador: Prof^a. Dr^a. Joana Carla Soares Gonçalves. 2019. 92 p. Monografia (Especialista em Gestão de Projetos na Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.poli-integra.poli.usp.br/library/pdfs/2b49c919240f18713c01a97db2cf0e69.pdf>. Acesso em: 4 maio 2022.
15. NISKIER, Julio; MACINTYRE, A.J. **Instalações Elétricas**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. Minha Biblioteca. Acesso em: 15 set. 2022.