ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Potencial circadiano da iluminação artificial no *retrofit* de sala de aula universitária

Circadian potential of artificial light in university classroom retrofit

Larissa Arêdes Monteiro
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | lam2019@ufmg.br
Ludmila Cardoso Fagundes Mendes
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | ludmilamendes@ufmg.br
Hugo de Araújo e Silva
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | hugoaraujo2911@ufmg.br
Gabriela Souza Podboi Adachi
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | gabrielaadachi@ufmg.br
Roberta Vieira Gonçalves de Souza
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | robertavgs@ufmg.br

Resumo

A descoberta das células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGC) confirmaram o impacto da luz no ritmo circadiano e nos níveis de alerta em humanos. Esta descoberta levou à apresentação de métricas para avaliar os efeitos não visuais da luz. A Certificação WELL em seu tópico "Projeto de iluminação circadiana" coloca que deve-se atingir 275 Lux Melanópicos Equivalentes (EML) por, pelo menos, 4 horas em postos de trabalho, durante o dia, podendo ser usada a iluminação elétrica para atingir esta métrica. Este trabalho teve então como objetivo, analisar projeto de *retrofit* do sistema de iluminação artificial de uma sala de aula de ensino superior, quanto ao seu potencial circadiano. Esse projeto foi concebido para melhorar o conforto visual, a eficiência energética e para atender à NBR ISO/CIE 8595:2013, não tendo sido considerado o potencial circadiano da luz durante a sua elaboração. Foi feita, então, simulação computacional com o uso da ferramenta ALFA, para análise da razão melanópica/fotópica (M/P) e da métrica EML. A razão M/P apresentou resultado neutro para todas as condições simuladas. Nenhuma das luminárias testadas atingiu 275 EML em 100% das direções de visão.

Palavras-chave: Iluminação Artificial. Ciclo circadiano. Luz circadiana. Simulação computacional. ALFA.

Abstract

The discovery of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGC) has confirmed the impact of light on the circadian rhythm and alertness levels in humans. This discovery has led to the development of metrics to assess the non-visual effects of light. The WELL Certification, in its "Circadian Lighting Design" topic, states that a minimum 275 Equivalent Melanopic Lux

Como citar:
MONTEIRO, L. A. et. al. Potencial circadiano da iluminação artificial no retrofit de sala de aula universitária. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

(EML) should be achieved for at least 4 hours at workstations during the day, with electric lighting being permissible to meet this metric. The objective of this study was to analyze the retrofit design of the artificial lighting system in a higher education classroom in terms of its circadian potential. This design aimed to improve visual comfort, energy efficiency, and compliance with NBR ISO/CIE 8595:2013, without considering the circadian potential of light during its development. Therefore, computational simulation was conducted using the ALFA tool to analyze the melanopic/photopic ratio (M/P) and the EML metric. The M/P ratio yielded neutral results for all simulated conditions. None of the tested luminaires achieved 275 EML in 100% of the viewing directions.

Keywords: Artificial lighting. Circadian rhythm. Circadian light. Computational simulation. ALFA.

INTRODUÇÃO

As salas de aula são importantes espaços de aprendizagem nos quais os estudantes passam por processos cognitivos, cujo desempenho está intimamente ligado à qualidade da iluminação [1]. Projetar sistemas adequados de iluminação é então imprescindível para que os estudantes realizem com conforto diferentes tipos de tarefas visuais da sala de aula, especialmente considerando o surgimento de novas tecnologias e de novos métodos de ensino [2]. Além disso, a iluminação artificial é parte significativa do consumo de energia elétrica nos edifícios educacionais [3]. Diante desse panorama, em um *retrofit*, é fundamental aplicar estratégias aliadas à eficiência energética, como a integração com a iluminação natural e o uso de luminárias com maior eficiência luminosa, como os LEDs [1].

Além de um projeto de iluminação de qualidade permitir uma melhor integração entre o espaço educacional e o seu usuário, a luz também apresenta efeitos não visuais sobre os indivíduos [4]. Os efeitos não visuais da luz - NIF, *Non Image Forming Light Effects* - são notados no bem-estar, na qualidade do sono e no estado de alerta dos usuários de espaços de exercício intelectual. Os parâmetros de qualidade destes fatores são prejudicados pelo uso de iluminação artificial estática, por longos períodos de uso do espaço, e favorecidos quando esta iluminação é dinâmica [5]. Outro fator influenciado pela exposição à luz é o ciclo circadiano, especialmente no início e na duração da sonolência, ainda que a sua influência na qualidade do sono não seja comprovada [6]. A distribuição de irradiância espectral (SPD – *spectral power distribution)*, no nível dos olhos em ambientes internos durante o dia, responsável pelo estado de alerta, é influenciada não apenas pela SPD do céu, mas também pela refletância espectral das superfícies do ambiente [4]. Tal indica que a refletância das superfícies é importante também no período noturno para o adequado estímulo circadiano.

Para avaliar os estímulos circadianos da luz, são utilizadas métricas como o *Equivalent Melanopic Lux* (EML) e a razão M/P (luz melanópica/fotópica). O EML indica a absorção da luz por meio da melanopsina, a proteína fotossensível presente nos receptores ipRGCs (células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis) [7]. Essa métrica é utilizada pela certificação WELL, que sugere que, em ambientes de trabalho e para o melhor desempenho (2 pontos), haja pelo menos 275 EML no plano vertical por pelo menos 4 horas, começando mais tardar ao meio-dia [8]. A métrica deve ser atendida para “todas as estações de trabalho” do ambiente, indicando que a métrica foi desenvolvida pensando-se em ambientes de escritório. O horário indicado de análise

sugere que a métrica não foi pensada para ambientes que funcionam no turno da noite.

A razão M/P compara o potencial melanópico, relacionado aos receptores ipRGCs, com o potencial fotópico de fontes de luz para produzir uma iluminação fotótica apropriada para a visualização de detalhes. Ela é utilizada para avaliar os efeitos da luz na saúde, no bem-estar e nos estados de alerta, sono e relaxamento [9].

A literatura e regulamentos vigentes ainda carecem de parâmetros para análise dessas métricas no período noturno, quando os ambientes de ensino superior são ainda intensamente utilizados.

Dada a potencialidade dos NIF de intensificar o bom desempenho do indivíduo no ambiente iluminado e o desenvolvimento de métricas para a determinação dos estímulos circadianos, projetar adequadamente a iluminação dos ambientes de ensino de maneira assertiva e técnica torna-se ainda mais importante. Nesse sentido, para auxiliar no desenvolvimento de projetos, a simulação computacional é um recurso fundamental que permite aos arquitetos e *light designers* a análise e o controle dos parâmetros projetuais para melhor conforto dos indivíduos. Para este fim, o presente estudo utilizou o *plug-in* ALFA - *Adaptive Lighting for Alertness*, desenvolvido pela Solemma em 2018 [10], associado ao Rhinoceros 3D. As métricas mais apropriadas para análise do efeito da luz no ciclo circadiano levam em conta o espectro, a intensidade, o tempo, a duração e a direção da luz [11] e a simulação do *software* ALFA considera estes parâmetros e as interações espectrais entre a luz e os materiais [12], tendo sido considerada por Pearson, Aarts e Andersen, a ferramenta de simulação de espectro de luz mais precisa para simulações de iluminação elétrica interna [13].

Em estudo anterior, Monteiro *et al*. [14] analisaram o *retrofit* da iluminação artificial das salas de aula do edifício do Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). No estudo, os autores conceberam diferentes projetos de iluminação artificial, com luminárias LED de quatro fornecedores, de acordo com os parâmetros colocados na NBR ISO/CIE 8995:2013 *Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior,* avaliando a eficiência energética, de acordo com a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e considerando o conforto visual de professores e alunos do período noturno, a fim de avaliar o melhor custo benefício para o projeto. Foram especificadas, em cada projeto, luminárias de iluminação geral e luminárias para iluminar o quadro, que exige uma iluminância de 500 lux na superfície vertical. As luminárias LED possuem características diferentes para cada fabricante, o que exigiu a concepção de um projeto específico para cada fornecedor. Os autores concluíram, então, que a substituição de fontes de luz necessita de uma análise holística e que a licitação deve ser feita com base no projeto luminotécnico mais eficiente, e não apenas pela análise da luminária.

Diante dos efeitos visuais e não-visuais da iluminação no corpo humano e da possibilidade recente de simulá-los por meio de *softwares* como o ALFA, o presente trabalho propõe-se a analisar a luz circadiana no *retrofit* da iluminação artificial das salas de aula do estudo de Monteiro *et al*. [14], considerando o período noturno e

aplicando as métricas EML e M/P para uma seleção mais direcionada do projeto luminotécnico a ser considerado o mais adequado.

OBJETIVO

Analisar projeto de *retrofit* do sistema de iluminação artificial de uma sala de aula de ensino superior quanto ao seu potencial circadiano, considerando o período noturno.

MÉTODO

A metodologia do trabalho se dividiu em 4 etapas. Primeiro, foi feita a caracterização da sala de aula tipo a ser analisada, junto ao levantamento dos projetos luminotécnicos propostos para *retrofit* do sistema de iluminação artificial de acordo com [14]. Depois, foi feita a modelagem tridimensional da sala de aula com as luminárias dos quatro fornecedores. Em seguida, através da simulação computacional, calculou-se a razão melanópica/fotópica (M/P) e a métrica EML. Por fim, os resultados foram analisados e discutidos.

ESTUDO DE CASO

Dando continuidade aos estudos de Monteiro *et al*. [14], selecionou-se uma sala de aula do edifício CAD 3, no campus Pampulha, da UFMG (Figura 1). O edifício é construído por dois blocos: o Bloco 1, composto por 25 salas de aula, sendo 23 salas tipo, com áreas entre 92,6 m² e 94,6 m², e outras 3 salas com área de 64 m² e o Bloco 2, composto por Auditórios. Os dois blocos ainda abrigam outras funções administrativas, depósitos e instalações sanitárias (Figuras 1 e 2).

Figura 1 (à esquerda): Localização do Z3 no campus Pampulha



Fonte: Os autores, 2024, adaptado de Google Maps, 2024.

Figura 2 (à direita): Vista aérea - CAD 3



Fonte: Archdaily, 2020.

Conforme mencionado, anteriormente as salas de aula foram objeto de uma proposta de *retrofit* do sistema de luz artificial existente. Este projeto foi feito para substituir as atuais luminárias de lâmpadas fluorescentes por luminárias em LED com vistas à economia de energia em iluminação. Para o presente estudo, uma das salas de aula tipo foi eleita para análise (Figura 3).

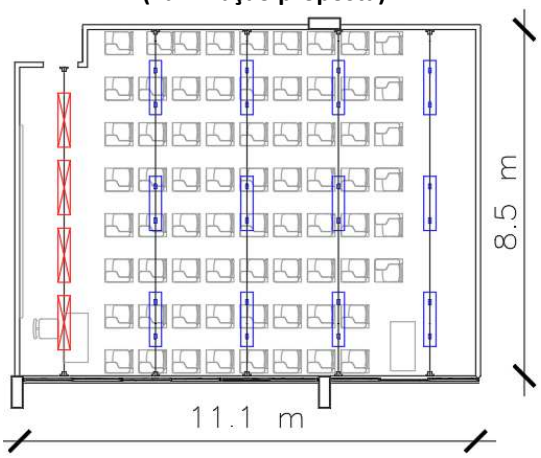
A sala de aula tipo possui 11,1 m x 8,5 m e pé direito de 3,0 m. As luminárias estão fixadas em eletrocalhas, pendentes a 0,3 m do teto. A iluminação proposta nos projetos de *retrofit* possui luminárias de LED integrado, fixadas na estrutura existente. Como exemplo, o projeto com luminárias LED do Fabricante 1 está representado na Figura 4. Como cada fabricante apresenta luminárias com especificações técnicas diferentes, quatro projetos foram feitos para fins de licitação, com quantidades diferentes de peças, a fim de atender aos níveis mínimos de iluminância no plano de trabalho, segundo a NBR ISO/CIE 8995:2013 [14] conforme apresentado na Tabela 1.

Figura 3 (à esquerda): Sala de aula tipo do CAD3 - iluminação existente



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 4 (à direita): Planta baixa da sala de aula tipo (iluminação proposta)



Fonte: Os autores, 2024.

Ressalta-se que para todos os projetos de *retrofit* foi especificada temperatura de cor de 4.000K, conforme os resultados obtidos por [15].

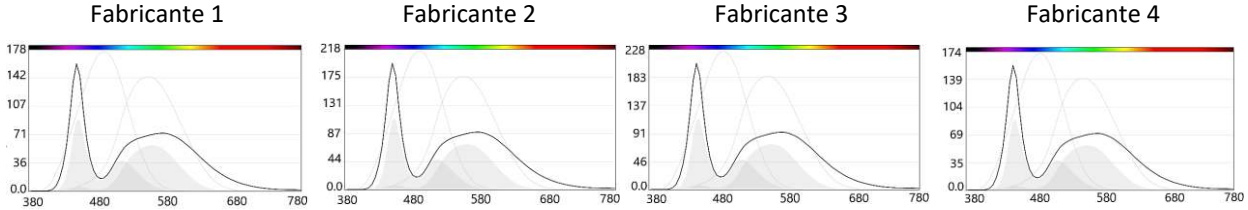
Tabela 1 – Principais características das luminárias selecionadas para o *retrofit*.

Fabricante	Potência (W)	Fluxo luminoso	TCC
Fabricante 1	36	4.450	4000K
Fabricante 2	49	5.457	4000K
Fabricante 3	38	4.440	4000K
Fabricante 4	100	4.200	4000K

Fonte: Monteiro *et al.* [14].

A Figura 5 mostra as curvas espectrais das luminárias selecionadas para a simulação. Nota-se pela escala, no eixo vertical, que as curvas apresentam diferenças significativas no potencial luminotécnico e que todas as luminárias apresentam pico de iluminação entre 380 e 480 nm.

Figura 5 – Distribuição espectral das luminárias selecionadas para o *retrofit*.



Nota: eixo horizontal (comprimento de onda em nanômetros) e eixo vertical (espectro luminoso). Fonte: Os autores, 2024.

Embora Belia, Pedace e Barbato (2013) não tenham encontrado uma correlação direta entre a Temperatura de Cor Correlata (TCC) ao nível dos olhos e os níveis de supressão

de melatonina, cumpre notar que as luminárias selecionadas apresentam alta emissão de luz no espectro de ondas curtas.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Na modelagem tridimensional da sala de aula, utilizou-se o *software* Rhinoceros e a inserção das luminárias no modelo e a simulação foi feita pelo *plug-in* ALFA. Apesar da luz natural não ser avaliada nesse estudo, as configurações de simulação no ALFA começaram pela inserção de dados da localização, com a cidade Belo Horizonte. Com isso, automaticamente o *plug-in* preenche as informações de latitude (-19,92°), longitude (-43,94°) e elevação locais (872 m).

Foram encontradas barreiras na reprodução dos projetos no *software* Rhinoceros com o *plug-in* ALFA, advindas dos arquivos *ies* disponibilizados pelos fabricantes. Para o Fabricante 1, o arquivo *ies* das peças específicas para iluminar o quadro branco não foi lido pelo ALFA. Não foi possível identificar a origem do erro na leitura do arquivo, erro que não foi identificado pelos autores do presente estudo e nem pelos criadores do *plug-in*, com os quais fez-se contato. Por isso, para o Fabricante 1, as luminárias de luz geral da sala foram utilizadas também para iluminação do quadro. Essa mesma estratégia foi utilizada para os outros 3 projetos, dos fabricantes 2, 3 e 4. Isso porque o Fabricante 2 não possui o arquivo *ies* da luminária específica para o quadro branco. O Fabricante 3 não possui o arquivo *ies* da luminária específica para o quadro com a temperatura de cor (TCC) de 4.000K e o Fabricante 4, não possui o arquivo *ies* da peça de iluminação geral utilizada no estudo base anterior [14]. No entanto, para o Fabricante 4, a luminária para luz geral foi substituída por uma peça com especificações técnicas similares à anterior, mas com eficiência energética consideravelmente melhorada.

Como o presente estudo considerou a análise do sistema de iluminação artificial, a simulação foi configurada para o horário de 22h00, de modo a desconsiderar qualquer influência da luz natural.

O ALFA conta com uma biblioteca de materiais de revestimento com dados espectrais, baseados em medições espectrofotométricas de superfícies reais [15]. A Tabela 2 mostra as características dos materiais utilizados.

Tabela 2: dados ópticos dos materiais utilizados no modelo 3D

Materials translucent	***R_front (P)***	***R_front (M)***	***R_back (P)***	***R_back (M)***	***T (P)***	***T (M)***	***M/P***
Janela = Double IGU Clear Tvis 39%	45,5%	48,3%	22,5%	28,5%	39%	38,6%	0,99
Materials opaque		***Specularity***	***R (P)***	***R (M)***	***M/P***		
Teto = *White Ceiling Panels*		0,5%	84,9%	82,7%	0,97		
Paredes = *White Painted Room Walls*		0,4%	81,2%	76,8%	0,95		
Piso = *Grey Nonscratch Floor*		1,1%	38,7%	39%	1,01		
Eletrocalha = *Grey Aluminium Façade Clading*		2,1%	20%	18,9%	0,95		
Quadro = *White Cupboard Side Surface*		1,3%	86%	84,9%	0,99		
Luminárias = *White Metal Tabel Frame*		1,5%	83,2%	80,3%	0,97		

Fonte: os autores, 2024.

Para a malha de pontos, as configurações foram: *Spacing* = 1,0, *Directions* = 4, *Rotation* = 0°, *Radius* = 0,20, *Viewplane offset* = 1,2*, Workplane offset* = 0,75. Para configuração

do *Radiance*, utilizou-se: *Ambient bounces* = 8, *Limit weight* = 0,001, *Stop run after passes* = 100.

MÉTRICAS DE LUZ CIRCADIANA ANALISADAS

Para avaliar o desempenho da luz circadiana nas salas, através das métricas utilizadas, seguiu-se a classificação mostrada na Tabela 3, de acordo com os referenciais pesquisados. Para a luz fotópica, [17] coloca que não deve ultrapassar 1500 lux de iluminância vertical.

Tabela 3: Classificação das métricas utilizadas na análise de luz circadiana

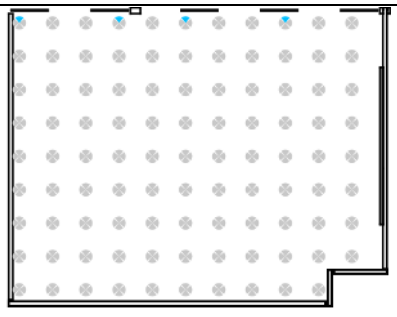
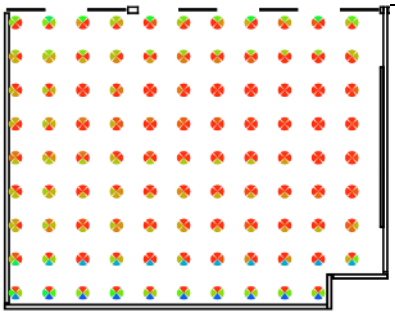
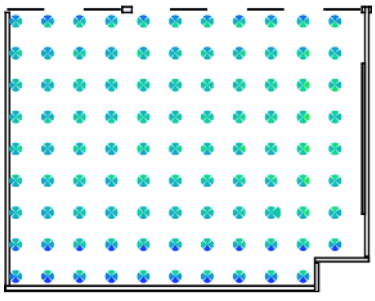
Métrica	Escala de análise	Classificação	Referência
Razão M/P	≤ 0,35	Sonolência	[16]
	< 0,35 < M/P < 0,89	Neutro	
	≥ 0,9	Alerta	
Luz melanópica (LM) > 250 m-EDI ou 275 EML	= 100%	Preferível	[8]
	< 100%	Insuficiente	
Luz fotópica geral (LP) > 1.500 lux	= 0%	Bom	[17]
	> 0%	Ruim	

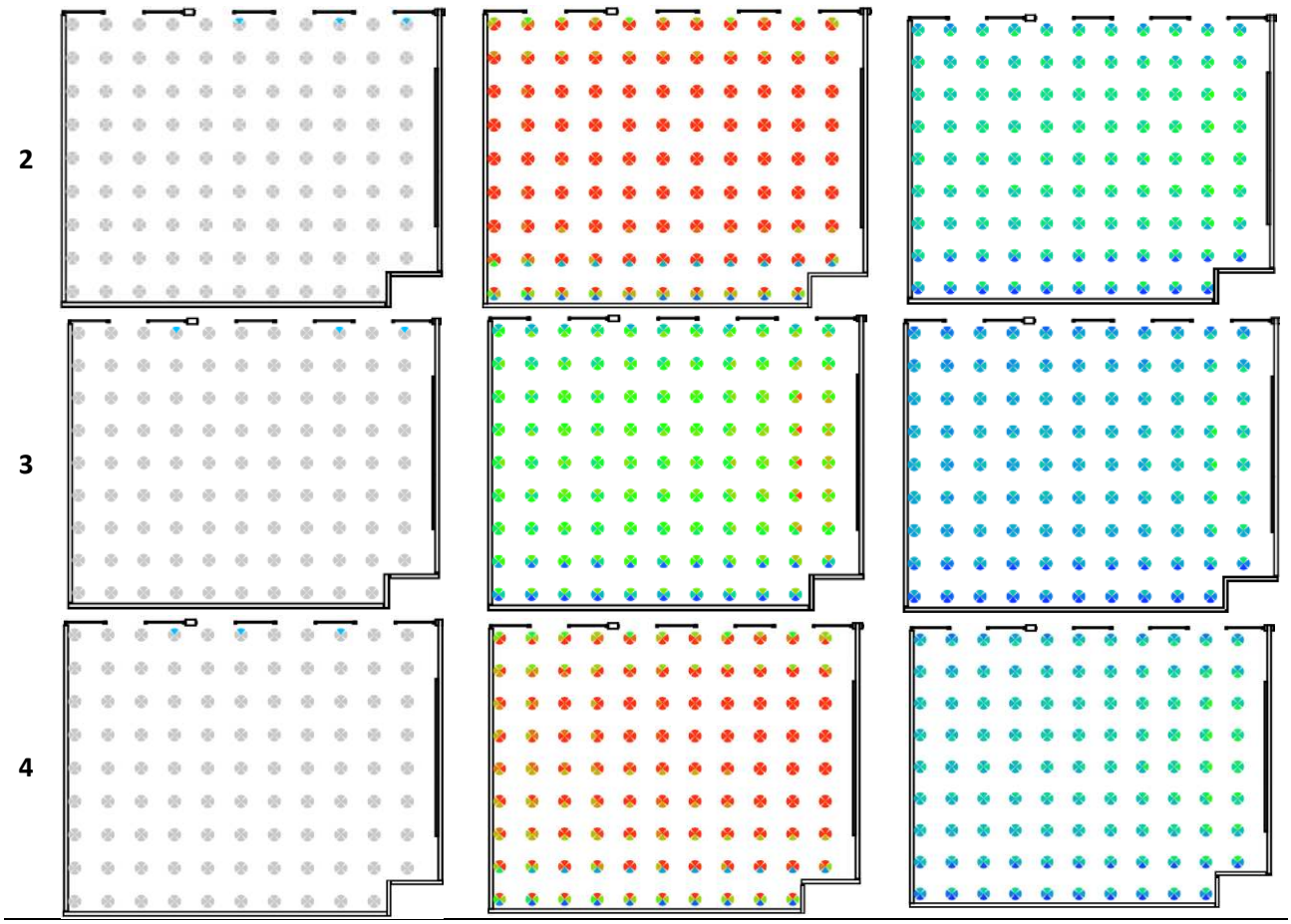
Fonte: Os autores, 2024.

RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta os resultados gráficos das simulações computacionais, para cada uma das quatro luminárias propostas. Nota-se que a razão M/P indica um ambiente neutro em todas as soluções, que as soluções 2 e 4 apresentam maiores níveis de iluminação melanópica e que a solução 3 apresenta maiores valores de luz fotópica, sendo, no entanto, inferiores ao limite máximo de 1.500 lux.

Tabela 4: Resultados gráficos das simulações computacionais realizadas para os 4 projetos analisados

Fabricante	Razão M/P	Luz Melanópica	Luz Fotópica
	M/P > 0,9 M/P < 0,35 0,35 < M/P < 0,9	0 — 275	0 — 1500
1			



Fonte: Os autores, 2024.

A Tabela 5 mostra o percentual de direções de visão em que a relação M/P se apresentou como neutra, e que atenderam aos valores limites para a luz melanópica e fotópica para cada projeto luminotécnico desenvolvido, a partir das peças de cada fabricante. Conforme resultados das Tabelas 3 e 4, a razão M/P permaneceu neutra em todos os projetos analisados, com resultados iguais para a métrica.

Tabela 5: Percentual de direções de visão que atenderam aos critérios para os 4 tipos de luminárias propostas

Métrica	Fabricante			
	1	2	3	4
Razão M/P	0.86	0.86	0.86	0.86
Luz melanópica > 275 EML	50%	77%	19%	55%
Luz fotópica geral > 1.500 lux	0%	0%	0%	0%

Fonte: Os autores, 2024.

Acredita-se que os resultados obtidos tenham ligação com a distribuição espectral das luminárias, apresentada na Figura 5. Os resultados de Razão M/P, no qual o ambiente apresenta-se como neutro em relação ao estado de alerta de seus usuários, podem indicar que o estímulo para que alunos se mantenham despertos durante as aulas noturnas seja insuficiente.

Nenhum dos projetos luminotécnicos atendeu o mínimo de 275 EML em todas as direções de visão, sendo o projeto 3 o único em que menos da metade das direções de visão atendeu à métrica. Entretanto, conforme o gráfico de cores da Tabela 4, cabe

ressaltar que à exceção do projeto 3, foram obtidos valores iguais ou acima de 275 EML para a maioria das direções de visão voltadas para o quadro. A certificação WELL indica que “todas as estações de trabalho” devem atender à métrica, sem, no entanto, especificar para quais direções de visão. Tal pode indicar que a métrica deveria estabelecer um percentual mínimo de direções de visão a serem atendidas, uma vez que as direções de visão que possuem menores taxas de atendimento são aquelas voltadas para as paredes ou para as aberturas para o exterior. Tal facilitaria a análise dos resultados de simulação.

O projeto de melhor desempenho obteve atendimento de 77% das direções de visão com EML > 275, em comparação ao resultado da luminária de pior desempenho, que atendeu a todos os critérios colocados em somente 19% das direções de visão. Isto indica a importância de análise desta métrica ao selecionar luminárias para espaços de trabalho contínuo.

Em relação à avaliação da Luz fotópica, não foram verificadas direções de visão com iluminância acima de 1.500 lux para qualquer dos projetos, tendo a métrica sido atendida satisfatoriamente para os quatro projetos. Tal fato é corroborado pela seleção prévia de luminárias com controle de ofuscamento e pelo dimensionamento adequado dos projetos luminotécnicos feitos em etapas anteriores.

CONCLUSÃO

O entendimento das novas métricas de iluminação para luz não visível pode contribuir para projetos mais eficientes, que cooperem para a criação de espaços mais estimulantes para usuários, no desempenho de suas funções no espaço. Ao mesmo tempo, tal inovação requer mão-de obra mais qualificada por exigir, além do entendimento técnico inerente a projetos luminotécnicos, a compreensão das novas métricas e o uso de *softwares* específicos de modelagem e simulação.

A diferença entre os resultados obtidos para os 4 projetos luminotécnicos analisados ressalta a importância da correta especificação de luminárias para o correto estímulo circadiano em ambientes de ensino. No entanto, as métricas não disponíveis em normas internacionais ainda não deixam claro a quais parâmetros luminosos os usuários de salas de aula devem ser submetidos no turno da noite, para que a atenção seja mantida sem afetar a qualidade do sono nas horas posteriores à aula.

Observou-se que, para a métrica EML, o desempenho das luminárias não foi uniforme para todas as direções de visão analisadas. Trabalhos futuros podem estabelecer um percentual mínimo de direções de visão que devem atender à métrica. Propõe-se também que no uso do programa Alfa se delimite um afastamento do plano de análise das paredes, para a criação de malha de pontos mais condizente com a realidade do posicionamento dos usuários.

Pode-se concluir que atender à exigência de níveis de iluminância e de conforto visual da NBR ISO/CIE 8995:2013, e à eficiência energética colocada pela INI-C, não garante necessariamente o atendimento às exigências relativas a um adequado estímulo circadiano. Assim, a especificação das luminárias deve ser feita também de acordo com

novas métricas, que devem ser estabelecidas levando em consideração os diversos turnos de trabalho e os tipos de atividades visuais realizadas nestes turnos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio da UFMG (FUNDEP) pelo fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] LO VERSO, V. R. M.; GIULIANI, F.; CAFFARO, F.; BASILE, F.; PERON, F.; DALLA MORA, T.; BELLIA, L.; FRAGLIASSO, F.; BECCALI, M.; BONOMOLO, M.; NOCERA, F.; COSTANZO, V. Questionnaires and simulations to assess daylighting in Italian university classrooms for IEQ and energy issues. **Energy and Buildings**, v. 252, p. 111433, dez. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111433

[2] LLINARES, C.; CASTILLA, N.; HIGUERA-TRUJILLO, J. L. Do Attention and Memory Tasks Require the Same Lighting? A Study in University Classrooms. **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 8374, 27 jul. 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13158374

[3] DOULOS, L.T.; KONTADAKIS, A.; MADIAS, E.N.; SINOU, M.; TSANGRASSOULIS, A. Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems. **Energy and Buildings**, v. 194, p. 201–217, jul. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033

[4] BELLIA, L; PEDACE, A; BARBATO, G. Lighting in educational environments: an example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. **Building and Environment**, v. 68, p 50–65, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.005

[5] RU, T.; KOMPIER, M.E.; CHEN, Q.; ZHOU, G.; SMOLDERS, K. C. H. J. Temporal Tuning of Illuminance and Spectrum: Effect of a Full-Day Dynamic Lighting Pattern on Well-Being, Performance and Sleep in Simulated Office Environment. **Building and Environment**, v. 228, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.10984

[6] KOMPIER, M.E.; SMOLDERS, K. C. H. J.; KRAMER, R. P.; MARKEN LICHTENBELT, W. D. van; KORT, Y. A. W. de. Contrasting Dynamic Light Scenarios in an Operational Office: Effects on Visual Experience, Alertness, Cognitive Performance, and Sleep. **Building and Environment**, v. 212, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108844

[7] FIGUEIREDO, E. C. D. Abordagem do ritmo circadiano no projeto de iluminação natural em edifícios de escritórios. **Revista Sítio Novo**, v. 7, p. 83, 28 mar. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.47236/2594-7036.2022.v7.i0.83-98p

[8] IWBI. **International WELL Building Institute. WELL v2. Circadian Lighting Design**. 2024. Available at: https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/3. Acces in: fev. 2024.

[9] MILLER, N.J.; IRVIN, A.L. M/P ratios – Can we agree on how to calculate them? **IES: Illuminating Engineering Society**, [S.I.], 27 set. 2019. Avaiable in: https://bit.ly/2RmXqIF. Access: 05 abr. 2024.

[10] REVIT NEWS. **ALFA – Um novo software de design de iluminação circadiana.** Disponível em: https://www.revit.news/2018/06/alfa-a-new-circadian-lighting-design-software/. Acesso em 13 maio 2024.

[11] NOOR, M. C.; SARADJ, F. M.; YAZDANFAR, S. A. Analytical Evolution of Measurement Methods for Light's Non-Visual Effects. **Results in Engineering,** v. 17, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100922

[12] BELLIA, L.; BŁASZCZAK U.; DIGLIO, F.; FRAGLIASSO, F. Assessment of Melanopsin-Based Quantities: Comparison of Selected Design Tools and Validation against on-Field Measurements. **Building and Environment**, v. 232, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110037

[13] PIERSON C.; AARTS, M.; ANDERSEN, M. Validation of spectral simulation tools for the prediction of indoor daylight exposure. **Proceedings of the Conference CIE 2021**, 2021, Bruges, Belgium, 1–3 September, 2021.

[14] MONTEIRO, L. A; AVELAR, P. R.; PADILHA, D. B.; MEDEIROS, H. G.; SOUZA, R. V. G. Sistema de iluminação do CAD 3 - análise pela INI-C para retrofit. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 19., 2022, Canela. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2022. P. 1-11. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2152

[15] YANG, W.; JEON, J.Y. Effects of Correlated Colour Temperature of LED Light on Visual Sensation, Perception, and Cognitive Performance in a Classroom Lighting Environment. *Sustainability* **2020**, *12*, 4051. https://doi.org/10.3390/su12104051

[16] SOLEMMA LLC. **ALFA Adaptive Lighting for Alertness** - A new circadian lighting design software. 2024. Available at: https://www.solemma.com/alfa. Access in: 20 abr. 2024.

[17] COSTA, J. F. W.; AMORIM, C. N. D.; SILVA, J. C. R. Envidraçamento Eletrocrômico e Avaliação dos Efeitos Visuais e Não Visuais da Luz Natural: Estudos de Simulação para Brasília – Brasil**. Journal of Daylighting**, V. 11, p. 1-22, 2024. DOI: https://dx.doi.org/10.15627/jd.2024.1