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

# Estímulo circadiano pela iluminação natural em salas de aula de ensino superior

## Daylighting circadian stimulus in higher education classrooms

**Ludmila Cardoso Fagundes Mendes**
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | ludmilamendes@ufmg.br
**Larissa Arêdes Monteiro**
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | lam2019@ufmg.br
**Maxuel Soledade Santos**
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | maxsoledade@ufmg.br
**Ana Stefani do Carmo Santos**
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | anastefani@outlook.com.br
**Roberta Vieira Gonçalves de Souza**
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | robertavgs@ufmg.br

**Resumo**

A luz é o principal condutor dos sistemas visual e circadiano. O impacto da luz no sistema circadiano pode ser medido usando a métrica Lux Melanópico Equivalente (EML), que é dependente da intensidade da luz e de sua densidade de potência espectral. O *plug-in* ALFA para Rhinoceros permite o cálculo desta métrica fornecendo uma relação entre luz fotópica e melanópica (M/P). Diante da importância do desempenho cognitivo para o aprendizado, esta pesquisa objetivou investigar o potencial da iluminação natural para o estímulo circadiano de estudantes em salas de aula de ensino superior através dessas métricas. Foram realizadas simulações computacionais no *plug-in* ALFA para quatro salas de aula em diferentes orientações. Os resultados mostraram que as salas investigadas possuem insuficiência de luz natural para o estímulo circadiano. Observou-se maior disponibilidade de luz natural para estímulo circadiano em locais próximos às janelas e insuficiência nos pontos mais afastados destas. A fim de proporcionar um desempenho satisfatório para os usuários, foi reconhecida a necessidade de complementar a iluminação do ambiente com iluminação artificial.

Palavras-chave: Iluminação natural. Ciclo circadiano. Simulação computacional. ALFA. Sala de aula.

**Abstract**

*Daylight is the primary driver of both the visual and circadian systems. The impact of light on the circadian system can be measured using the Equivalent Melanopic Lux (EML) metric, which depends on light intensity and its spectral power density. The ALFA plugin for Rhinoceros allows for the calculation of this metric and provides a relationship between photopic and melanopic light (M/P). Given the importance of the cognitive performance for learning, this research aimed*

Como citar:
MENDES, L. C. F. et. al. Estímulo circadiano pela iluminação natural em salas de aula de ensino superior. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

*to investigate how daylight in classrooms influences students alertness. Computational simulations were conducted using the ALFA plugin for four classrooms with different orientations. The results showed that the investigated classrooms had insufficient natural light for circadian stimulation with higher availability of circadian stimulus near the windows and insufficiency in areas farther away from them. To ensure satisfactory performance for users, the need to complement the ambient lighting with artificial lighting was recognized.*

*Keywords: Natural lighting. Circadian rhythm. Computational simulation. ALFA. Classroom.*

## INTRODUÇÃO

A discussão sobre o impacto da luz nos seres humanos foi reforçada com a descoberta das células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGC). Estas células, sensíveis à luz, desempenham um papel crucial na regulação hormonal e no ciclo circadiano de 24 horas do corpo humano [1]. Sua identificação levou à necessidade de avaliar mais precisamente como a luz afeta a produção de hormônios, com especial atenção para a melatonina, hormônio que atua na regulação do sono. Assim, a iluminação circadiana considera os efeitos não visuais da luz. Já a iluminação que considera tanto os efeitos visuais quanto os não visuais da luz, foi denominada pela *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE) como iluminação integrativa [2].

Embora ainda não exista consenso sobre como caracterizar a potência biológica da iluminação, nas últimas duas décadas foram propostas métricas para calcular o potencial circadiano da iluminação em ambientes. Dentre elas, destaca-se o Lux Melanópico Equivalente (*Equivalent Melanopic Lux – EML*), proposta pelo Lucas Group, na Universidade de Manchester [3]. Posteriormente, a CIE estabeleceu a métrica Iluminância Natural Melanópica Equivalente (*Melanopic Equivalent Daylight Illuminance* – M-EDI) [4]. As métricas EML e M-EDI são baseadas na resposta espectral dos fotopigmentos nos bastonetes, cones e células ipRGCs.

Pesquisas recentes sobre efeitos não visuais da luz [5] têm adotado as recomendações da CIE [4] que consideram 250lux como EDI melanópico mínimo durante todo o dia, medido no plano vertical a 1,2m de altura (considerada a altura média dos olhos de uma pessoa sentada). De acordo com a CIE, a luz natural deve ser a fonte prioritária para obter estes níveis de iluminação.

Lançado pelo Grupo Solemma em 2021, o ALFA (*Adaptive Lighting for Alertness*) é um *plug-in* do *software* 3D Rhinoceros e simula o potencial circadiano para a métrica EML. A adesão ao *plug-in* tem sido frequente entre pesquisadores [5, 6, 7, 8, 9]. Os valores em EML podem ser convertidos para M-EDI, com unidades em lux, multiplicando por 0,9058 o valor da iluminância melanópica calculada, conforme o método proposto por Lucas *et al*. [3].

Diferentes condições de céu, janelas com diferentes áreas e em diferentes direções oferecem uma atmosfera única e tonalidades de luz distintas. A qualidade e a intensidade da luz também variam consideravelmente. Essa diferença pode ser notável dependendo da orientação, com luz mais suave e difusa em espaços que não recebem luz solar direta, enquanto espaços que recebem luz solar direta, podem receber alta intensidade luminosa e ganho de calor, se não houver controle adequado

da luz natural [9]. Pesquisadores investigaram a influência de mudanças sazonais no estímulo circadiano, simulando a luz natural em ambientes internos para solstícios e equinócios, nos horários de 9h, 12h e 15h, com céus claro, encoberto e parcialmente encoberto [9].

A certificação WELL indica que a análise de luz circadiana, avaliada pela métrica EML, ocorra por 4 horas seguidas, com as simulações iniciando em horário até o meio-dia [11]. A NBR 15215-3:2024 *Iluminação natural - Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos* recomenda que planos de trabalho iluminados com luz natural no espectro visível atinjam iluminância mínima de 250lux em ambientes de sala de aula, no período diurno [12]. Não há na literatura especificação do tipo de céu para simulações, o que pode fazer variar consideravelmente os níveis internos de iluminação.

Souza e Pereira [10] apresentaram resultados de dados de iluminância externa medidos para Florianópolis, sendo que a iluminância global média sob céu encoberto se aproxima de 30.000lux, sob céu claro varia de 10.000 a 100.000lux, sob céu parcialmente encoberto varia entre 40.000 e 120.000lux.

Considerando a necessidade da manutenção do estado de alerta para estudantes em salas de aula, este trabalho avaliou como diferentes orientações de fachadas, datas, horários e tipos de céu influenciam os resultados de estímulo circadiano.

## OBJETIVO

Analisar como o potencial circadiano da luz natural varia em diferentes orientações de fachada, horários, estações do ano e condições de céu, tomando como estudo de caso salas de aula de ensino superior.

## METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa considerou três etapas, iniciando com a definição do objeto de estudo. Em segundo, com o desenho tridimensional dos objetos de estudo e de seu entorno, analisaram-se as métricas de luz circadiana fornecidas pelo *software* ALFA, em duas etapas: (1) avaliou-se como as métricas de luz melanópica (M), de luz fotópica (P) e da razão M/P variam quando simuladas sob diferentes tipos de céu e diferentes datas e horários; (2) analisou-se o nível de iluminância no plano de trabalho horizontal, conforme NBR 15215-3:2024 [12]. A luz fotóptica excessiva (LP), considerada acima de 1.500lux em plano vertical, foi analisada conforme recomendação [5]. Finalmente, avaliou-se o impacto da dinâmica da luz natural no atendimento aos parâmetros quantitativos da luz circadiana.

### ESTUDO DE CASO

Os objetos de estudo foram quatro salas de aula da Escola de Arquitetura, localizada na Savassi, na cidade de Belo Horizonte, ambientes de estudo e trabalho dos autores. Os ambientes analisados foram: (1) Sala 315, localizada no 3º pavimento com 155 m²,

janelas de correr nas fachadas norte e sul voltadas para um pátio interno e área de 15,2 m² cada. A sala possui *brise* conjugado vertical em concreto e horizontal metálico móvel na abertura norte. (2) Sala 412, localizada no 4º pavimento de 89,6 m² tem janelas de correr na fachada leste e área de 14,7 m²; (3) Sala 413, situada no 4º pavimento com 128 m² tem janelas de correr nas fachadas leste, e janela basculante na fachada sul com 7,4 m² e 37,4 m² respectivamente; (4) Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABCON), no 1º pavimento com 135,5 m² tem janelas de correr na fachada oeste e área de 22 m². O pé-direito das salas é de 3,30 m e os vidros são do tipo simples incolor para todos os ambientes. A Figura 1 mostra um mapa-chave com a projeção da localização das salas estudadas e entorno, com edificações variando de 3 a 20 pavimentos.

**Figura 1: Mapa-chave com localização das salas no edifício**




Fonte: os autores.

As salas 412 e 413 possuem aberturas para a lateral do lote, com edificação alta construída ao lado. A Sala 413 possui, também, abertura voltada para a rua onde há árvores altas. O Laboratório tem vista para um muro alto.

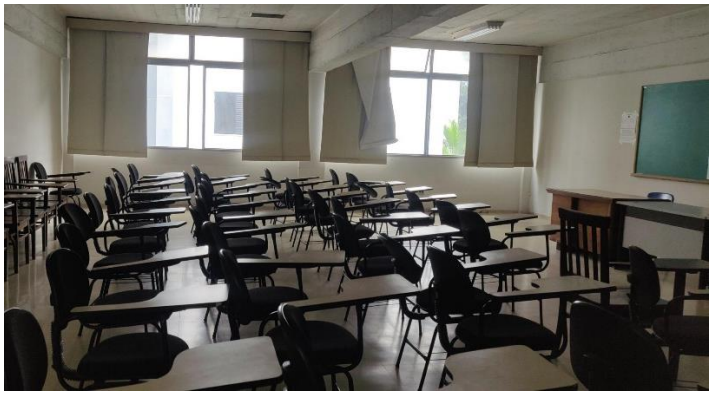
A Figura 2 apresenta visualizações internas das salas de aula, onde se pode ver as aberturas.

**Figura 2: Interior das salas 315,412, 413 e Laboratório**

**Sala 315**



**Sala 412**



**Laboratório**



**Sala 413**



Fonte: os autores.

## MÉTRICAS DE ILUMINAÇÃO

Efeitos não visuais da luz foram avaliados pela razão melanópica e fotópica (M/P) e pela Luz melanópica (LM). Para efeitos visuais da luz foi avaliada a Luz Fotópica Geral no plano vertical (LP) e a Luz Fotópica no plano de trabalho. A classificação das métricas baseou-se na certificação WELL [11], na NBR 15.215:2024 [12], na documentação do programa ALFA [13] e em estudos de outros autores [4, 5], conforme Tabela 1.

**Tabela 1: Classificação das métricas de luz circadiana**

| Métrica | Valor de referência | Classificação | Fonte |
|---|---|---|---|
| Razão M/P | ≤0,35 | Sonolência | [13] |
| | <0,35< M/P< 0,89 | Neutro | |
| | ≥0,90 | Alerta | |
| Luz melanópica (LM) >250 M-EDI ou >275 EML | <100% | Insuficiente | [4, 11] |
| | =100% | Preferível | |
| Luz fotópica no plano vertical (LP) >1.500 lux | = 0% | Bom | [5] |
| | > 0% | Ruim | |
| Luz fotópica no plano de trabalho > 250lux | =100% | Atende | [12] |
| | <100% | Não atende | |

Fonte: os autores.

### SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para criar o modelo 3D da edificação e de seu entorno, foi utilizado o *software* Rhinoceros V.6.0 e para as simulações foi utilizado o *plug-in* ALFA. Nas configurações de simulação, foi definida a cidade de Belo Horizonte: latitude de -19,92°, longitude de -43,94°, e elevação de 872 m. Foram realizadas simulações para solstícios de 21 de junho e de 21 de dezembro, para 9h e 12h, céu claro e céu encoberto, totalizando 8 simulações por ambiente.

O ALFA possui uma biblioteca com propriedades ópticas de materiais, criada a partir de dados medidos [13]. A Tabela 2 apresenta os materiais usados no modelo e suas propriedades, onde R(P) é a refletância no espectro fotópico; R(M), a refletância no espectro melanópico; M/P, a razão entre as refletâncias nos espectros melanópico e fotópico; T(P), a transmissividade no espectro fotópico; e T(M), a transmissividade no espectro melanópico.

**Tabela 2: Propriedades ópticas dos materiais utilizados nas simulações**

| **Materiais opacos** | **Especularidade** | | **R(P)** | ***R(M)*** | | ***M/P*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teto: *White Painted Room Ceiling* | 0,4% | | 82,2% | 77,4% | | 0,94 | |
| Paredes: *White Painted Room Walls* | 0,4% | | 81,2% | 76,8% | | 0,95 | |
| Piso: *Light Grey Floor Tiles Nonslip* | 0,2% | | 41,8% | 37,6% | | 0,90 | |
| Brise: *Aluminum Grey Exterior Cladding* | 2,4% | | 47,6% | 46,6% | | 0,98 | |
| Divisórias: *Munsell 2.5Y 8-2* | 0,0% | | 58,4% | 48,0% | | 0,82 | |
| **Materiais translúcidos** | ***R(P)* frontal** | ***R(M) frontal*** | ***R(P) posterior*** | ***R(M) posterior*** | ***T(P)*** | ***T(M)*** | ***M/P*** |
| Vidro: *Single Plane Clear* 6mm | 8,0% | 8,2% | 8,0% | 8,2% | 88,3% | 89,0% | 1,01 |

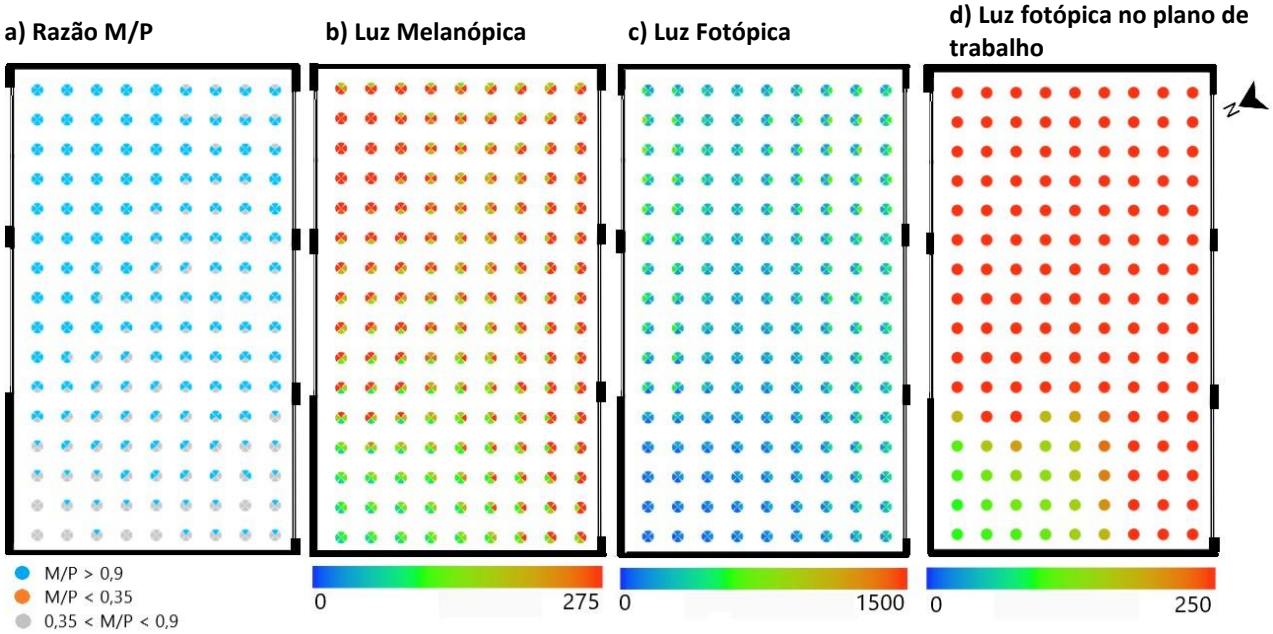
Fonte: os autores.

A configuração das malhas de pontos considerou o espaçamento de 1,0m, para contemplar a disposição das cadeiras dos alunos. Para cada ponto foram consideradas 4 direções de visão, com rotação de 0° em relação ao plano horizontal. A altura do plano de visão foi configurada a 1,2m do piso, sendo esta considerada a altura média dos olhos de uma pessoa sentada. A altura do plano de trabalho foi configurada a 0,75m do piso. Para a configuração do *Radiance*, utilizou-se: *Ambient bounces* = 8, *Limit weight* = 0,001, *Stop run after passes* = 180, onde o primeiro refere-se ao número de inter-reflexões difusas que são calculadas antes que um traçado de raios seja descartado; o segundo diz do limite de mudanças no caminho óptico da luz; e o terceiro refere-se ao número máximo de passos para as reflexões [13].

## RESULTADOS

A Figura 3 apresenta um exemplo do resultado gráfico fornecido pelo Alfa para a sala 315, céu claro, às 9h. Cada ponto indica 4 direções de visão. Conforme os parâmetros estabelecidos na Tabela 1, para a Razão M/P (a) a prevalência da cor azul indica que a iluminação natural é suficiente para a manutenção do estado de alerta na maior parte do ambiente, especialmente nas direções de visão voltadas para as aberturas. As direções em cinza representam estado neutro de atenção, presentes principalmente na direção da porta de entrada e do quadro.

**Figura 3: Resultado da simulação para a sala 315, céu claro 9h**

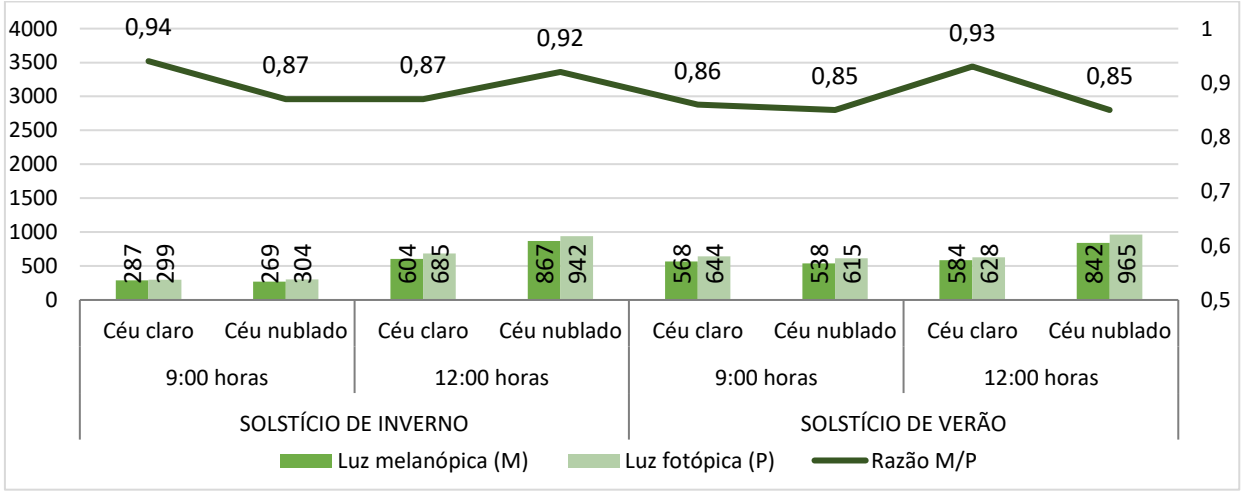



Fonte: os autores.

Para luz melanópica e luz fotópica no plano de trabalho, Figuras 3b e 3d, as direções em vermelho indicam atendimento à métrica. Nesta sala de aula, na parte frontal da sala, nas direções voltadas para a porta e para o quadro, onde não há abertura (lado esquerdo da imagem) há menores níveis de atendimento às métricas. Nesta região não há carteiras e há projeção de imagens através com *datashow.* Um aumento da iluminação poderia prejudicar esta tarefa visual, considerando-se, portanto, a iluminação da sala adequada. Tal é corroborado pela ausência de níveis elevados de iluminação no plano vertical, figura 3c, que poderiam causar ofuscamento.

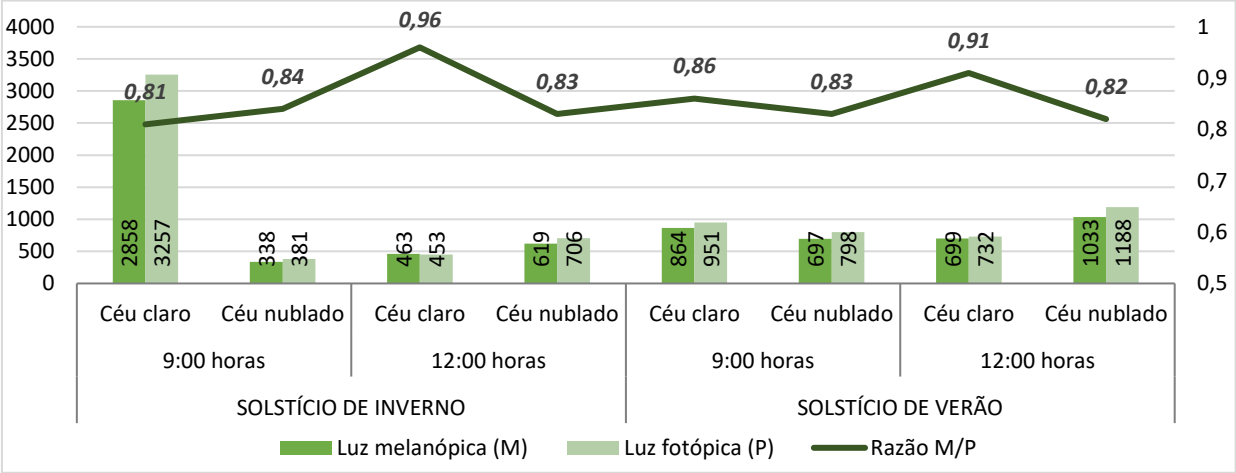
Os Gráficos de 1 a 4 exibem os valores médios obtidos nas simulações computacionais das Salas 315, 412, 413 e Laboratório para luz fotópica, melanópica e razão M/P para céus claro e encobertos às 9:00 e às 12:00.

**Gráfico 1: Valores médios de luz melanópica e luz fotópica - Sala 315 (aberturas par norte e sul)**



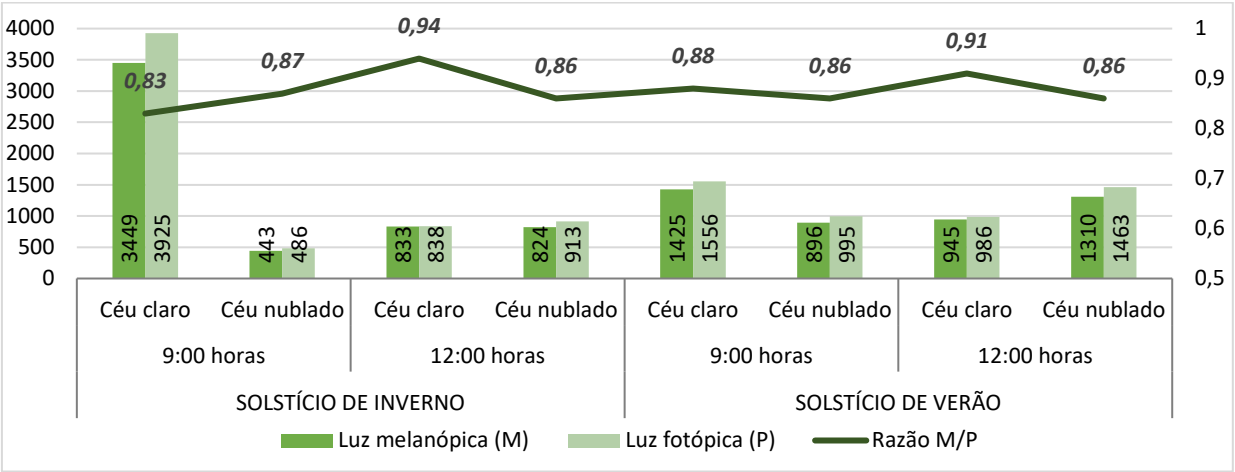

Fonte: os autores.

**Gráfico 2: Valores médios de luz melanópica e luz fotópica - Sala 412 (leste)**



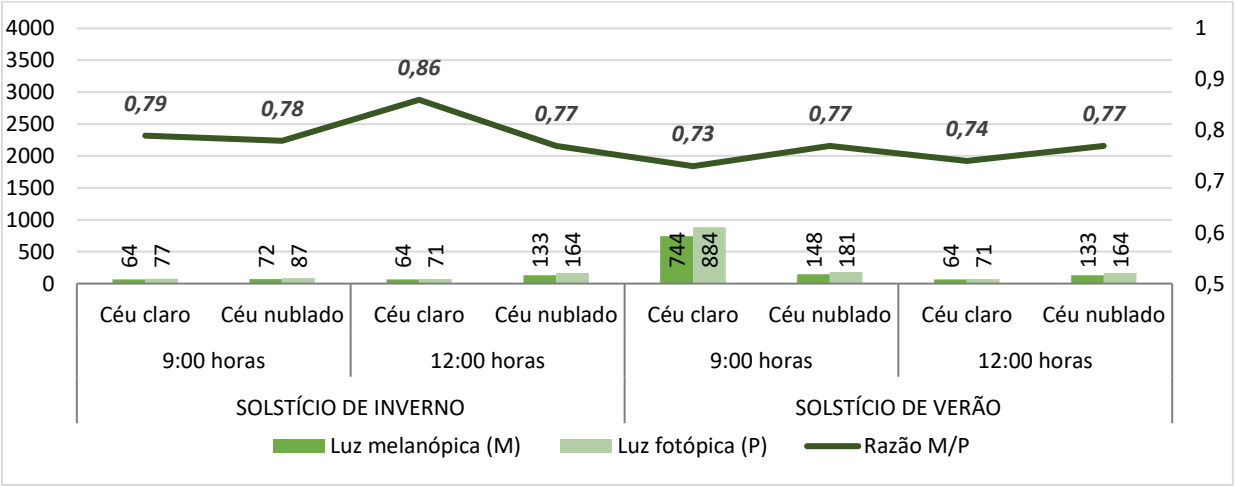

Fonte: os autores.

**Gráfico 3: Valores médios de luz melanópica e luz fotópica - Sala 413 (aberturas sul e leste)**




Fonte: os autores.

**Gráfico 4: Valores médios de luz melanópica e luz fotópica para o Laboratório (aberturas norte)**




Fonte: os autores.

A Tabela 3 apresenta os valores da razão M/P e o percentual de direções de visão que atenderam a cada métrica, com classificações de acordo com o indicado na Tabela1.

**Tabela 3: Percentual de pontos que atendem aos critérios para os ambientes analisados**

| | Métrica | SOLSTÍCIO DE INVERNO | | | | SOLSTÍCIO DE VERÃO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 9:00 horas | | 12:00 horas | | 9:00 horas | | 12:00 horas | |
| | | Céu claro | Céu encoberto | Céu claro | Céu encoberto | Céu claro | Céu encoberto | Céu claro | Céu encoberto |
| Sala 315 | Razão M/P | 0.94 | 0.87 | 0.87 | 0.92 | 0.86 | 0.85 | 0.93 | 0.85 |
| | Luz melanópica > 275 EML | 41% | 29% | 88% | 85% | 89% | 94% | 93% | 96% |
| | Luz fotópica geral >1500lux | 0% | 0% | 5% | 4% | 0% | 4% | 1% | 12% |
| | Luz fotópica no plano de trabalho em 250lux | 79% | 74% | 97% | 96% | 100% | 97% | 100% | 100% |
| Sala 412 | Razão M/P | 0.81 | 0.84 | 0.96 | 0.83 | 0.86 | 0.83 | 0.91 | 0.82 |
| | Luz melanópica > 275 EML | 100% | 35% | 47% | 58% | 78% | 63% | 66% | 84% |
| | Luz fotópica geral >1500lux | 44% | 3% | 4% | 12% | 19% | 15% | 13% | 23% |
| | Luz fotópica no plano de trabalho em 250lux | 100% | 47% | 55% | 64% | 100% | 93% | 97% | 100% |
| Sala 413 | Razão M/P | 0.83 | 0.87 | 0.94 | 0.86 | 0.88 | 0.86 | 0.91 | 0.86 |
| | Luz melanópica > 275 EML | 100% | 49% | 95% | 88% | 100% | 93% | 100% | 100% |
| | Luz fotópica geral > 1500lux | 42% | 6% | 11% | 13% | 31% | 15% | 15% | 25% |
| | Luz fotópica no plano de trabalho em 250lux | 100% | 79% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Laboratório | Razão M/P | 0.79 | 0.78 | 0.86 | 0.77 | 0.73 | 0.77 | 0.74 | 0.76 |
| | Luz melanópica > 275 EML | 5% | 5% | 5% | 14% | 39% | 16% | 61% | 25% |
| | Luz fotópica geral > 1500lux | 0% | 0% | 0% | 0% | 11% | 0% | 24% | 2% |
| | Luz fotópica no plano de trabalho em 250lux | 14% | 14% | 13% | 27% | 54% | 28% | 72% | 41% |

Fonte: os autores.

Quanto à relação M/P, de modo geral, verifica-se que as salas de aula analisadas tendem a apresentar iluminação natural de estímulo neutro.

Para a sala 315, a luz melanópica e a luz fotópica podem variar quanto às condições horárias e condições de céu. Foram observados valores médios mais elevados para o horário de 12h, com céu encoberto, independentemente da época. Os valores percentuais de atendimento aos parâmetros considerados indicam que nenhuma das condições simuladas atendeu a todas as métricas. Para essa sala, nenhuma simulação atingiu 275 EML.

Para a sala 412, os valores médios de luz fotópica e melanópica foram elevados para a condição de céu claro na manhã de inverno, sendo a iluminância considerada excessiva no plano vertical. Essa foi a única condição em que esse ambiente não sofreu influência significativa do sombreamento da edificação vizinha. Os valores reduzem significativamente sob céu encoberto para este mesmo horário. Nas demais situações, houve relativa estabilidade entre diferentes condições de céu, quando considerados os mesmos horários e época do ano. Apesar das aberturas para leste, mais contempladas com a luz solar da manhã, a sala não atinge níveis de luz satisfatórios para luz fotópica no plano de trabalho, na maioria das condições simuladas.

A mesma variação de resultados obtida para a sala 412 foi observada para a sala 413. Esta sala possui a maior área de aberturas, voltadas para sul e leste, o que explica haver dias que apresentam condições próximas ao limite máximo de 1.500 lux de iluminância

vertical. Como os valores são médios, tal indica que esta sala pode ter significativa ocorrência de ofuscamento. Essa sala apresentou os melhores resultados para a Luz melanópica, alcançando 275 EML em quatro condições. Os resultados para a Luz fotópica no plano de trabalho foram satisfatórios na maior parte das condições analisadas.

A iluminação natural no laboratório, localizado em nível inferior às demais salas, é a mais impactada pelo entorno da edificação. Para luz melanópica e luz fotópica, os valores médios estiveram abaixo do esperado pelas métricas, indicando claramente a necessidade de complementação com iluminação artificial. Nenhuma das condições simuladas apresentou níveis satisfatórios para todas as métricas analisadas. Houve atendimento à Luz fotópica geral, no solstício de inverno, e às 9h, com céu encoberto, no solstício de verão. A razão M/P foi neutra em todas as simulações.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observou-se a maior ocorrência de razão M/P neutra, o que pode ser prejudicial para salas de aula, onde é importante que os alunos estejam atentos. Verificou-se que a luz natural tende a ser mais estimulante sob céu claro. Porém, não é uma regra, pois em cinco das 16 condições que consideraram diferentes tipos de céu para mesmas datas e horários, o céu encoberto mostrou-se preferível para manter o estado de alerta. Também foi observado que horário de 12h mostrou-se mais favorável para manutenção do alerta, na maior parte das condições simuladas.

As duas diferentes condições horárias de análise também apresentaram influência para luz melanópica, que apresentou maiores percentuais de pontos com EML > 275 para o horário de 12h. A exceção foram os resultados da sala 412, que possui aberturas voltadas somente para leste, recebendo mais intensamente a luz da manhã.

Com relação à estação do ano, as simulações indicaram que o verão apresenta melhores condições para atender ao percentual de luz fotópica necessária no plano de trabalho. Essa métrica recebe forte influência da geometria das salas, do tamanho e das orientações das aberturas, conforme resultados na sala 413.

Quanto ao entorno, como esperado, a influência foi mais percebida para o ambiente localizado no pavimento térreo (Laboratório), inferior ao pavimento das demais salas simuladas.

De modo geral, para o atendimento concomitante às métricas de luz visível e não visível, há a necessidade de complementação com luz artificial.

## CONCLUSÕES

As simulações confirmaram que condição de céu, horário e estação do ano interferem nas quantidades de luz fotópica e melanópica dos ambientes. Tem-se ainda que a iluminação que adentra os ambientes, de modo geral, é fortemente influenciada pelo entorno da edificação. Entende-se que estes fatores devem ser considerados com maior especificidade na avaliação da iluminação circadiana.

O entorno construído pode contribuir para o aumento de luz natural interna, e consequentemente no estado de alerta dos usuários, como acontece nas Salas 412 e 413. Porém, construções nos arredores também são uma barreira considerável para a entrada de luz, principalmente em espaços localizados em pavimento térreo, como no Laboratório. A orientação e o tamanho das aberturas nas fachadas ditam a entrada da luz natural, que pode ser intensificada nos espaços internos de acordo com a geometria e os materiais utilizados, permitindo a reflexão da luz. Portanto, faz-se fundamental complementar a iluminação natural com luz artificial, em espaços internos de edifícios construídos, garantindo a qualidade da luz e estímulos visuais necessários à realização de tarefas nesses ambientes.

Sugere-se que as certificações que analisam a luz circadiana adotem recomendações e limites para o atendimento das métricas em percentual de direções de visão. Para salas de aula este limite pode ser relativo à área percentual do ambiente em que há carteiras e às direções de visão voltadas para o quadro.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

[1] FIGUEIRÓ, M. G., NAGARE, R. PRICE, L. Non-visual effects of light: how to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. **Light Res Teschnol**, v. 50, n. 1, p. 38-62, 2018. DOI: 10.1177/1477153517721598

[2] MARTAU, B. T.; CHAVES, N. P. Calculando na prática o projeto integrativo: como quantificar o impacto sobre o sistema circadiano humano. **LUME Arquitetura**, n. 106, p. 22-29, 2020.

[3] LUCAS, R.J.; PEIRSON, S. N.; BERSON, D. M.; BROWN, T. M.; COOPER, H. M.; CZEISLER, C. A.; FIGUEIRO, M. G.; Gamlin, P. D.; LOCKLEY, S. W.; O'HAGAN, J. B.; PRICE, L.L.; PROVENCIO I.; SKENE, D.J.; BRAINARD, G.C. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends Neurosci**, v.37, n. 1, p. 1-9, jan. 2014. DOI: 10.1016/j.tins.2013.10.004

[4] BROWN, T.M.; BRAINARD, G.C.; CAJOCHEN, C.; CZEISLER, C.A.; HANIFIN, J.P. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. **PLOS Biology**, v. 20, n. 3, 2022. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571

[5] 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

[6] POTOČNIK, J.; KOŠIR, M. Influence of geometrical and optical building parameters on the circadian daylighting of an office. **Journal of Building Engineering**, v. 42, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102402

[7] BELLIA, L.; BŁASZCZAK, U.; DIGLIO, Francesca; FRAGLIASSO, Francesca. 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

[8] 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, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111433

[9] RAVN, M.; MACH, G.; HANSEN, E.K.; TRIANTAFYLLIDIS, G. Simulating Physiological Potentials of Daylight Variables in Lighting Design. **Sustainability**, v. 14, n. 881, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su14020881

[10] SOUZA, R. V. G. de; PEREIRA, F. O. R. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 3, p. 79-94, jul./set. 2004.

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

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

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