



ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM UMA SALA DE AULA EM RELAÇÃO AO CONFORTO VISUAL E CICLO CIRCADIANO

Barbara Ludmilla das Neves de Queiroz (1); Arthur Santos Silva (2)

(1) Mestranda, Arquiteta e Urbanista, Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, ludmilla.queiroz@ufms.br

(2) Doutor em Engenharia Civil, Professor do Magistério Superior FAENG/UFMS, arthur.silva@ufms.br
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG. Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações – LADE. Avenida Costa e Silva s/nº, Bairro Universitário, Campo Grande-MS, CEP 79070-900, Tel.: (67) 3345-7378

RESUMO

As aberturas de uma edificação influenciam na iluminação natural dos ambientes internos e, como consequência, interferem no conforto visual, lumínico e no ciclo circadiano dos usuários. Para analisar como os elementos de sombreamento interferem nesses fatores, foram simulados dois modelos de sala de aula, baseados nas normas da FNDE, um sem elementos de sombreamento e outro com brises. A partir desses dois modelos foram feitas simulações para os dias 21 de setembro e 21 de junho, gerando os quatro modelos a serem analisados no plugin ALFA em termos de razão melanópica/fotópica (M/P). Como resultado pode-se notar as diferenças causadas pelos elementos de sombreamento, que foram pequenas em relação à razão M/P, entretanto no Equivalent Melanopic Lux (EML) foram de cerca de 1000 EML. Percebeu-se também que mesmo com elementos de sombreamento ainda havia a possibilidade de muito desconforto visual, principalmente por ofuscamento.

Palavras-chave: iluminação natural, iluminância, simulação computacional.

ABSTRACT

The openings of a building influence the daylighting of indoor environments, and as a consequence interfere in visual comfort, light and the circadian cycle of users. To analyze how the shading elements cause interference in these factors, two classroom models were simulated based on the FNDE norms, one without shading elements and the other with sunshades. From these two models, simulations were made for September 21st and June 21st, generating the four models to be analyzed in the ALFA plugin in terms of melanopic and photopic ration (M/P). As a result, it can be noted the differences caused by the shading elements, which were small in relation to the M/P ratio, however in the Equivalent Melanopic Lux (EML) they were around 1000 EML. It was also noticed that even with shading elements there was still a lot of visual discomfort caused mainly by glare.

Keywords: daylighting, illuminance, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O sistema visual do ser humano tem uma ligação intrínseca com a luz porque é através dela que ocorre a fototransdução responsável pela conversão da energia luminosa em visão (FIGUEIREDO, 2022). A luz pode ser obtida de forma natural ou artificial, sendo que a luz artificial é a mais fácil de se adaptar às necessidades de conforto visual pelos usuários de um edifício, embora necessite de consumo energético, além de custos de aquisição de equipamentos, operação e manutenção associados. A luz natural apresenta melhor reprodução de cores, pode aliviar tensões (LAMBERTS, 2013), possui propriedades bactericidas e germicidas, além de ser mais agradável, dinâmica (KOWALTOWSKI, 2011), abundante e gratuita.

No ano de 2002, Berson (2002 apud MARTAU, 2009) descobriu que há um terceiro tipo de fotorreceptor na retina dos mamíferos que regula o ciclo circadiano através da percepção de claro e escuro. Esta descoberta levou a questionamentos em relação a como a iluminação baseada para atender apenas ao conforto visual pode estar incompleta.

O ciclo circadiano desempenha um papel fundamental na regulação do relógio biológico do corpo humano, garantindo a coordenação e sincronização dos horários em que cada órgão desempenha as suas

respectivas funções. Quando ocorre uma perda de sincronia nesse ciclo, podem surgir várias doenças, incluindo câncer, diabetes, obesidade e problemas cardíacos (FIGUERÓ, 2010).

As características de iluminação que afetam o sistema circadiano diferem daquelas que afetam a visão. Enquanto o sistema visual responde a uma iluminação de 300 a 500 lux no plano de trabalho, o ciclo circadiano precisa de 10000 lux para estimular o despertar de uma pessoa com dificuldades para acordar de manhã (BERTOLLOTTI, 2007). A melatonina é um dos hormônios responsáveis pela regulação do ciclo circadiano, estudos recentes apontam que a sua supressão é dependente da intensidade e exposição à luz. Após uma exposição significativa a diferentes níveis de iluminância, observou-se que a partir de 200 lux ocorreu uma supressão significativa de melatonina. Outro fato importante é que uma exposição à luz fria gera uma redução na produção de melatonina com menos iluminância do que a luz quente (FIGUEIREDO, 2022).

Medidas visuais baseadas no espectro de ação da melatonina e outros fotorreceptores não visuais foram propostas como o alfa-óptico lx e o Circadian Stimuli (CS) ou Circadian Light (CLA). Esta segunda medida incorpora a sensibilidade melanópica corrigida para a transmitância espectral da lente do olho e a oposição da cor azul-amarela devido à participação de outros fotorreceptores. Isso aponta para o fato de que tanto a quantidade quanto a qualidade do ambiente luminoso interno devem ser abordadas para fornecer um ambiente luminoso interno adequado (KOSIR, 2021).

A preocupação com a iluminação nas salas de aula tem sido uma questão constante. Inicialmente, considerava-se que a iluminação natural desempenhava um papel fundamental no conforto, saúde e aprendizado das crianças. Entretanto, após a Segunda Guerra Mundial, houve uma mudança de perspectiva, e a luz artificial passou a ser considerada mais favorável devido à sua adaptabilidade e ao conforto visual que proporcionava. Mais tarde, entre as décadas de 1980 e 1990, estudos voltaram a demonstrar que a exposição a luz natural afeta não apenas os aspectos psicológicos e comportamentais, mas também a atenção, o desempenho escolar, a depressão, a sonolência e a saúde física de crianças, adolescentes e adultos. Isso se deve ao estímulo da vitamina D, a regulação do ciclo circadiano e a prevenção do raquitismo (BERTOLOTTI, 2007).

Atualmente, para que as atividades escolares possam ser feitas de forma segura, no Brasil, a iluminação deve seguir normas da NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) e do Manual de Orientações Técnicas da FNDE - Volume 3 disponibilizado pelo MEC (MEC, 2017). Ainda que estas normas considerem o conforto visual, elas não contemplam os estudos recentes sobre iluminação natural, ciclo circadiano e sua relação com as aberturas. Neste artigo são analisados estes aspectos em conjunto aos materiais utilizados, resultando na razão M/P, Equivalent Melanopic Lux (EML), Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho permitindo avaliar o estado de alerta, conforto visual e iluminação do plano de trabalho dos usuários. A análise será feita por meio do software Rhinoceros 7 e o plugin ALFA (Adaptive Lighting for Alertness) avaliando as variáveis relacionadas a abertura das janelas, com o mínimo estipulado nas normas da FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), sendo uma delas sem brise e outra com brise, com o intuito de saber se o que as normas propõem conseguem oferecer o conforto visual necessário e ao mesmo tempo estimular o ciclo circadiano corretamente.

2. OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é analisar como o elemento de sombreamento da janela de uma sala de aula interfere em sua iluminação natural e por consequência no conforto visual, lumínico e no ciclo circadiano dos usuários, por meio de simulação computacional.

3. MÉTODO

O método foi dividido em três etapas: 1) Seleção do modelo de sala de aula; 2) Modelagem da sala de aula escolhida no programa Rhinoceros 7; 3) Simulação dos modelos escolhidos no plugin ALFA e análise estatística.

3.1. Seleção do modelo de sala de aula

O projeto de sala de aula escolhido para a simulação é baseado no modelo disponibilizado pelo FNDE. As características relacionadas à construção, materiais, mobiliário e equipamentos estão nas Tabelas 1 e 2. O modelo possui medidas que podem ser vistas na Figura 1, contabilizando uma área de 46,40m², com pé direito de 3m. De acordo com o FNDE (2017) as janelas correspondem a 1/5 da área do piso do ambiente, sendo neste caso 9,28m². No modelo optou-se por duas janelas paralelas, sendo que a maior com 6,56m² de área, e a menor com 2,73m² de área; as medidas podem ser vistas na Figura 1.

Tabela 1 – Características e materiais dos elementos construtivos utilizados na simulação computacional.

Elemento construtivo	Características e materiais recomendados
Piso	Material de cor clara, liso, porém não escorregadio (porcelanato, cerâmica - PEI \geq 4, piso vinílico, piso monolítico polido tipo granitina, cimento queimado ou outro)
Parede	Material de cor clara, liso, lavável e impermeável (porcelanato, cerâmica, laminado melamínico, pintura ou outro) até a altura mínima de 0,90m (altura do encosto das cadeiras)
Teto	Material de cor clara e liso (pintura sobre laje ou forro)
Esquadrias	Material de fácil manutenibilidade, resistente e que garanta estanqueidade (vidro, alumínio, PVC, madeira tratada). Portas de entrada com visores de vidro, portas com abertura no sentido de saída da sala. Janelas com peitoril médio ou alto

Tabela 2 – Características e materiais dos mobiliários e equipamentos utilizados na simulação computacional.

Mobiliário e equipamentos	Características e materiais recomendados
Mesas para atividades (conjunto aluno)	Material impermeável e lavável (madeira aglomerada revestida)
Cadeiras fixas para alunos (conjunto aluno)	Material resistente e baixa deformação (estrutura em aço, assento e encosto em polipropileno injetado ou compensado anatômico revestido em laminado melamínico)
Mesa para professor (conjunto professor)	Material impermeável e lavável (madeira aglomerada revestida)
Cadeiras fixas para professor (conjunto professor)	Material resistente e baixa deformação (armação em aço, assento e encosto em polipropileno injetado ou compensado anatômico revestido em laminado melamínico)
Prateleiras e/ou armários para material	Material impermeável e lavável (aço, madeira aglomerada revestida)
Quadro de atividades	Tipo lousa magnética, ou quadro-negro, compensado com revestimento em laminado melamínico
Quadro de avisos	Metal, feltro, cortiça
Mural de trabalhos	Metal, feltro, cortiça

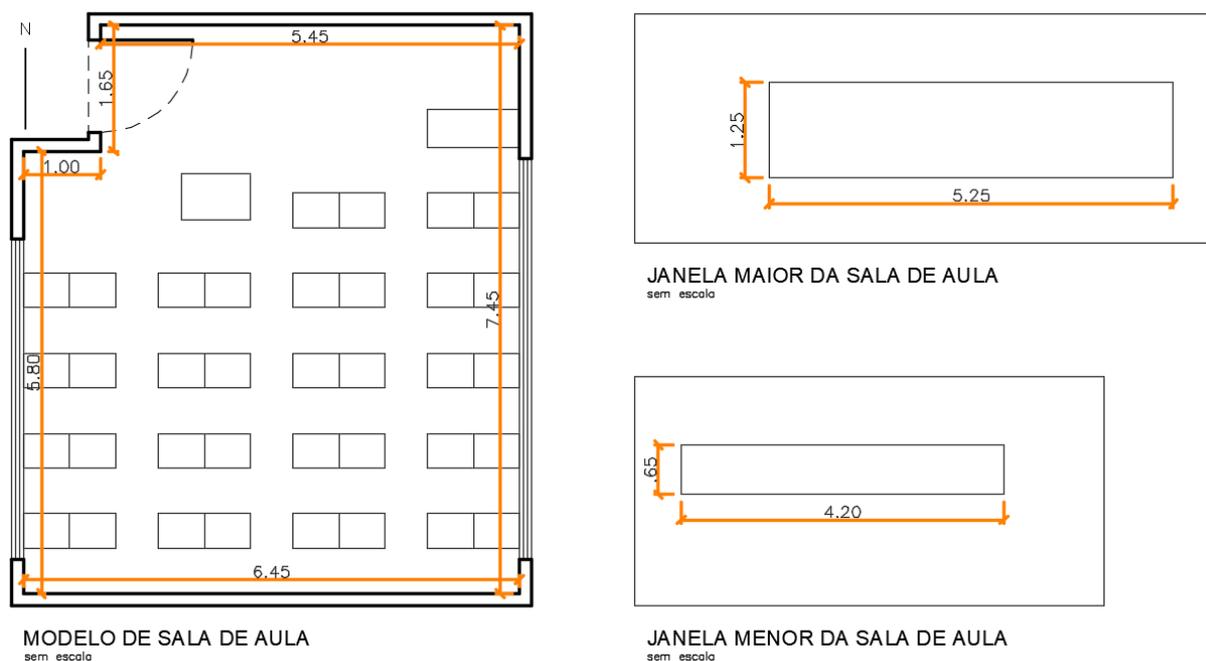


Figura 1 - Modelo de sala de aula: planta e fachadas leste e oeste

3.2. Modelagem da sala de aula escolhida no Rhinoceros 7

A modelagem da sala de aula foi feita no Rhinoceros 7, um software baseado em NURBS que faz modelagens livres em 3D (McNEEL & ASSOCIATES, 2020), e as simulações foram feitas no plugin ALFA, software criado pelo grupo Solemma, que avalia e prediz os efeitos não visuais da luz por simulação computacional (SOLEMMA, 2021). O modelo 1 foi considerado sem elementos de sombreamento; os brises do modelo 2 foram projetados de acordo com a carta solar da Figura 2 e 3, e suas medidas podem ser vistas na Figura 4.

Os materiais escolhidos para a simulação estavam disponíveis na biblioteca do plugin ALFA, e foram escolhidos de acordo com a descrição do material e sua semelhança com a tonalidade com os materiais da tabela 1. As propriedades relacionadas à especularidade, refletância fotópica (R(P)) e melanópica (R(M)) e a razão M/P, podem ser vistas na tabela 3.

A especularidade trata-se da aparência visual de reflexões especulares dos materiais, seu valor é apresentado em porcentagem, sendo que os materiais vítreos não possuem essa propriedade. Refletância é a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido. A refletância fotópica está relacionada à resposta visual dos olhos ao espectro visível da luz, enquanto a refletância melanópica está relacionada a resposta não-visual (KOSIR, 2021). Ambos os valores são apresentados em porcentagem.

A razão M/P (melanópicas/fotópicas) é uma medida espectral que, de acordo com Figueiredo (2022), “compara o potencial melanótico, referente às células ganglionares fotossensíveis (ipRGCs), com a capacidade da fonte de luz de produzir luz apropriada para a visão de detalhes no período diurno (fotópica)” (pg. 90). Tanto os materiais opacos como os vítreos possuem essa propriedade.

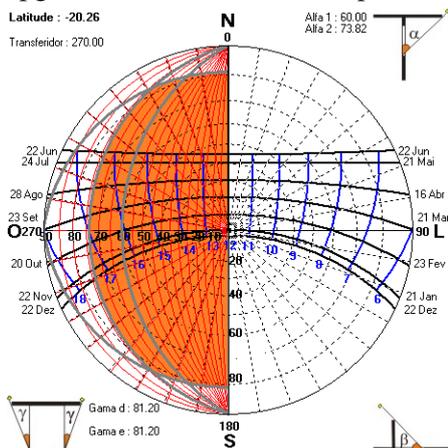


Figura 2 - Carta solar para o dimensionamento do brise de 50% de sombreamento da fachada oeste

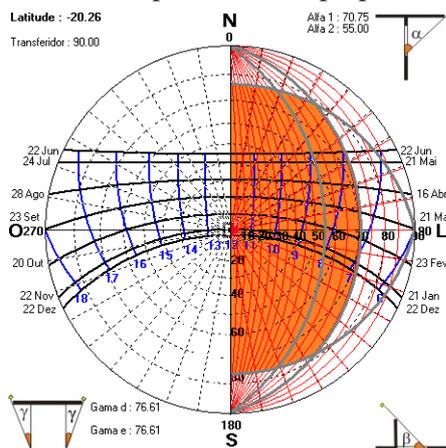


Figura 3 - Carta solar para o dimensionamento do brise de 50% de sombreamento da fachada leste

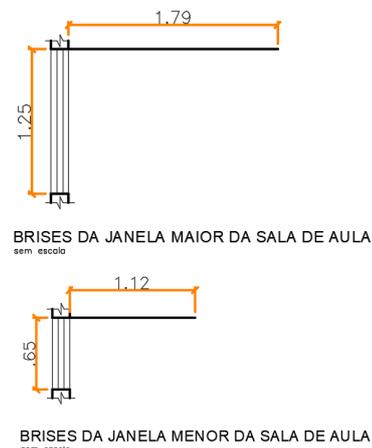


Figura 4 - Detalhamento em corte dos brises nas fachadas leste e oeste.

Tabela 3– Materiais da biblioteca ALFA usados no modelo e suas propriedades.

Elemento construtivo	Material da biblioteca	Propriedades			
		Especularidade	R(P)	R(M)	M/P
Piso	Light Grey Floor Tiles Nonslip	0,2%	41,8%	37,6%	0,90
Parede	White Painted Room Walls	0,4%	81,2%	76,8%	0,95
Teto	White Painted Room Ceiling	0,4%	82,2%	77,4%	0,94
Esquadrias	Light Brown Wooden Doors	2,0%	41,9%	30,2%	0,72
-	-	-	T(P)	T(M)	M/P
Vidro	Single Plane Clear 6mm Tvis 88%	-	88,3%	89,0%	1,01

Obs.: R(P): é a refletância no espectro fotópico; R(M) é a refletância no espectro melanópico; M/P é a razão entre as refletâncias no espectro melanópico e fotópico.

3.3. Simulação dos modelos escolhidos no plugin ALFA e análise estatística

Os dois modelos foram simulados no plugin ALFA considerando a cidade de Campo Grande, MS, Brasil. As configurações de entrada se basearam no método proposto por Potocnik e Kosir (2021). Para que a simulação seja feita é necessário especificar data e hora, em que foram feitas as simulações para os dias 21 de junho, solstício de inverno que representaria o “pior” cenário de luz solar, e para o dia 21 de setembro, equinócio de primavera, que representaria um dia neutro, o horário da simulação foi ao meio-dia. As condições de céu (Sky Condition) escolhida foi nublado (Overcast) de maneira a considerar uma condição desfavorável do ponto de vista da iluminação natural; Espectro do Solo (Ground Spectrum) sendo Uniforme (Uniform); e Albedo: 0,15.

Os grids foram espaçados a cada 0,60m para acompanhar o distanciamento entre as mesas dos estudantes, sendo divididos em quatro direções e a altura do plano de trabalho ficou na altura de 0,71m, a mesma das mesas de tamanho 5 do catálogo da FNDE (2017). Os valores do Radiance Settings estão de acordo com a metodologia de Potocnik e Kosir (2021).

O plugin ALFA gera quatro diferentes gráficos relacionados ao estado de alerta, conforto visual e iluminação do plano de trabalho. Os dois gráficos referentes ao estado de alerta que se dividem entre M/P Ratio, que avalia a oposição azul-amarelo, e a equivalente melanopic lux (EML), que mensura a absorção de luz pelo ipRGC através da melanopsina. Os outros dois gráficos estão relacionados ao conforto visual e a iluminação do plano de trabalho (FIGUEIREDO, 2022).

Tabela 4 - Outras configurações de entrada

Grids: Espaçamento (Spacing): 60,0cm Direção (Directions): 4 Rotação (Rotation): 0 Raio (Radius): 22,5cm Plano de visão (Viewplane Offset): 71,5cm Plano de Trabalho (Workplane Offset): 71cm	Radiance Settings: Ambient bounces (-ab): 8 Limit Weight (-lw): 0,001 Stop run after _passes: 180
---	--

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos são divididos pela análise da Razão M/P; análise da Equivalent Melanopic Lux (EML); análise das iluminâncias no plano de trabalho; comparativo específico entre pontos no ambiente.

4.1. Razão M/P

A razão M/P indica o estado de alerta dos usuários, a qual no plugin ALFA se considera que quando a razão M/P é maior que 0,9 (cor azul), ocorre um estado de alerta; se a razão for menor que 0,35 (cor laranja) ocorre o relaxamento. Quanto ao resultado intermediário, ele foi considerado neutro, pois não afeta o ciclo circadiano. (FIGUEIREDO, 2022).

A Tabela 5 mostra os valores dos modelos nos dias 21 de setembro e no dia 21 de junho, com e sem brise. Em todos os modelos a média da razão M/P ultrapassa 0,9 em todos os pontos analisados na sala de aula. Sendo que o modelo do dia 21 de setembro com brise apresenta a porcentagem de 62,6% dos pontos maiores de 0,9, sendo a menor de todos os modelos. Enquanto o modelo do dia 21 de junho sem brise apresenta 81,8% dos pontos maiores de 0,9, sendo a maior de todos os modelos. Percebe-se que, ao meio-dia, a razão M/P foi maior nos dias mais curtos, solstício de inverno, do que nos dias equilibrados, equinócio de primavera.

Tabela 5 - Razão M/P

Modelo	M/P Ratio	Blue Enriched (M/P > 0,9)	Blue Depleted (M/P < 0,35)	Neither (0,35 < M/P < 0,9)
21/09 sem brise	0,93	79,5%	0,0%	20,5%
21/09 com brise	0,91	62,6%	0,0%	37,4%
21/06 sem brise	0,92	81,8%	0,0%	18,2%
21/06 com brise	0,91	65,0%	0,0%	35,0%

4.2 Equivalent Melanopic Lux (EML)

A *equivalent melanopic lux* (EML) representa a absorção de luz pelos ipRGC através da melanopsina, de acordo com KOSIR (2021) é necessário no mínimo 150 EML por quatro horas até o meio-dia. De acordo com a Tabela 6, em todos os modelos o mínimo foi alcançado no meio-dia.

Tabela 6 – Equivalent Melanopic Lux (EML)

Modelo	Melanopic lux Acima de 150 eq.m.lux	Melanopic lux Acima de 4000 eq.m.lux	Melanopic lux Acima de 10000 eq.m.lux
21/09 sem brise	100%	34,6%	4,5%
21/09 com brise	100%	7,1%	0,0%
21/06 sem brise	100%	16,5%	1,5%
21/06 com brise	100%	3,0%	0,0%

Entretanto, para efeitos mais imediatos e efetivos, estudos mostram que uma exposição de aproximadamente 10000 lux desperta quem tem dificuldades para acordar (BERTOLLOTTI, 2007). A exposição entre 1000 e 4000 lux reduziu a sonolência pós-almoço tanto quanto um cochilo (FIGUEIREDO, 2022). No final da tarde, uma exposição intensa de 4000 lux pode ajudar quem tem a fase de dormir adiada e até melhorar a qualidade do sono. “*Estes estudos indicam que a luz natural, utilizada em horários e quantidades apropriadas, pode auxiliar no tratamento de distúrbios do sono porque fornece os altos níveis de iluminância necessários para manter o sistema circadiano em operação*” (BERTOLLOTTI, 2007).

Nesse sentido podemos ver na Tabela 6 que os modelos alcançam 4000 lux em menos da metade dos pontos dos modelos, sendo que no dia 21 de junho com brise menos de 5% da sala alcançam esse nível. Em relação a 10000 lux, a maior parte de seus pontos não alcançou esse nível de iluminância, inclusive nos modelos com brise nenhum ponto chega a esse nível.

4.3 Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho

Para que ocorra o conforto visual e a iluminação do plano de trabalho, a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) recomenda entre 300 e 500 lux de iluminância (mantida ao longo da vida útil) para as salas de aula. Na Tabela 7 podemos ver que todos os modelos conseguem atingir esse nível de iluminância para os dias simulados, com iluminação natural. Entretanto, iluminâncias acima de 3000 lux são inapropriadas já que podem causar desconforto visual e térmico (FIGUEIREDO, 2022). Considerando 3000 lux como limite máximo para o conforto visual, nota-se que o modelo do dia 21 de setembro sem brise poderia apresentar desconforto por ofuscamento em mais de 50% da sala.

Tabela 7 – Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho

Modelo	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/09 sem brise	99,4%	100%	73,7%	83,8%
21/09 com brise	100%	100%	18,8%	18,8%
21/06 sem brise	100%	100%	30,6%	47%
21/06 com brise	100%	100%	6%	6,8%

4.4 Comparação entre pontos

A seguir serão feitas análises e comparações entre os modelos em alguns pontos específicos no ambiente. Nos modelos com brise a razão M/P geralmente é menor em relação aos modelos sem brise como podemos ver na Tabela 8. No que se refere aos pontos, o ponto 11A é o que recebe mais iluminação neutra nos quatro quadrantes de acordo com as Figuras 5, 6, 7 e 8, ainda que suas médias não sejam as menores. O ponto 8E recebe luz azul nos quatro quadrantes nas Figuras 5 e 7, mesmo tendo médias semelhantes ao ponto 11A. Percebe-se que estar na direção da entrada de luz da janela, mesmo que no meio da sala, aumenta o contato com a luz azul, tanto em relação às médias quanto às faces atingidas.

Tabela 8 – Razão M/P por pontos de cada modelo

Ponto	21/09 sem brise	21/09 com brise	21/06 sem brise	21/06 com brise
11A	0,95	0,89	0,95	0,89
8E	0,92	0,91	0,99	0,91
4F	0,86	0,86	0,91	0,86
11J	0,99	0,93	0,93	0,94
Média Total	0,93	0,91	0,92	0,86

De acordo com a Tabela 9, o dia 21 de setembro sem brise é o que recebe a maior média, 4200 EML. Enquanto o dia 21 de junho com brise recebe a menor média, 1476 EML. O lado leste, onde está a janela maior, é o que recebe maior iluminação melancólica nos quatro modelos, de acordo com as figuras 10, 11, 12 e 13. Dado que é corroborado pela tabela 9, onde os pontos 11J recebem maior luminosidade que os outros pontos 11A, 8E e 4F.



Figura 4 – Escala da Razão M/P

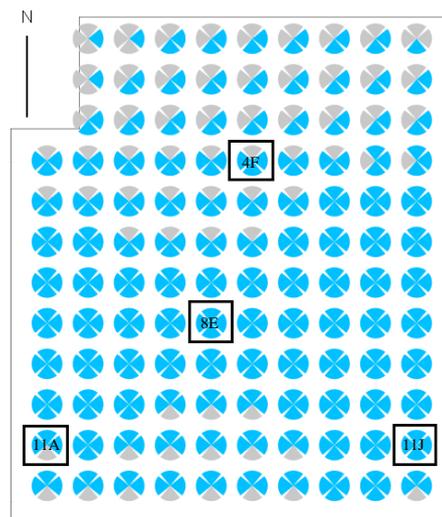


Figura 5 – Gráfico Razão M/P do modelo 21/09 sem brise

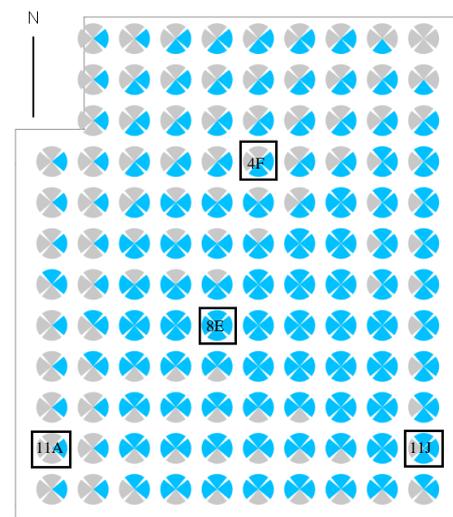


Figura 6 – Gráfico Razão M/P do modelo 21/09 com brise

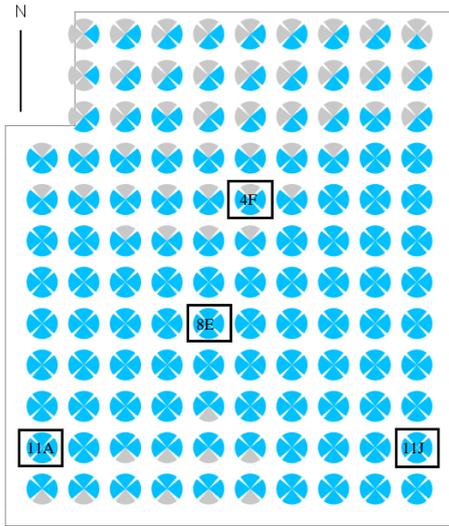


Figura 7 - Gráfico Razão M/P do modelo 21/06 sem brise

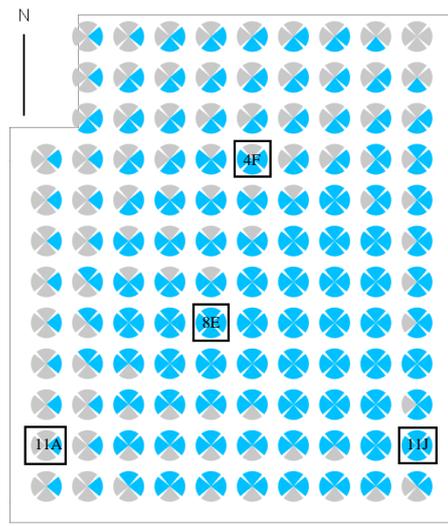


Figura 8 - Gráfico Razão M/P do modelo 21/06 com brise



Figura 9 – Escala do Equivalent Melanopic Lux (EML)

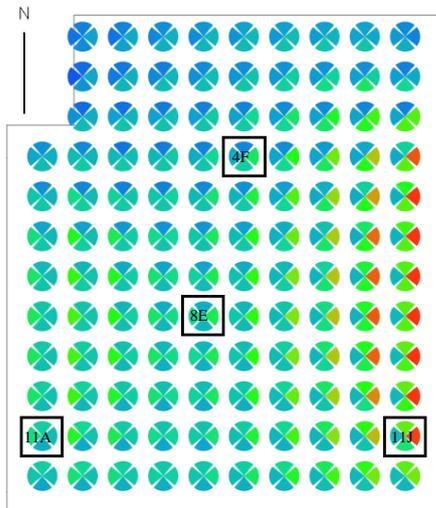


Figura 10 - Gráfico Equivalent Melanopic Lux (EML) do modelo 21/09 sem brise

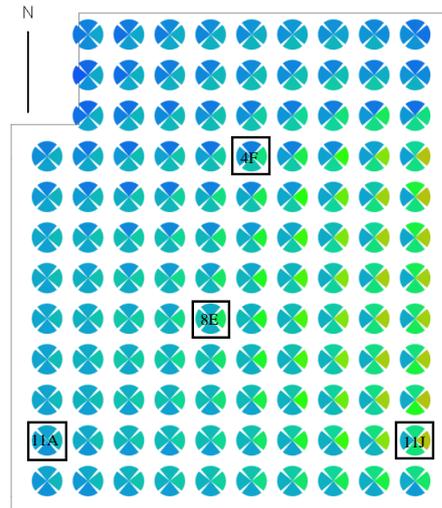


Figura 11 - Gráfico Equivalent Melanopic Lux (EML) do modelo 21/09 com brise

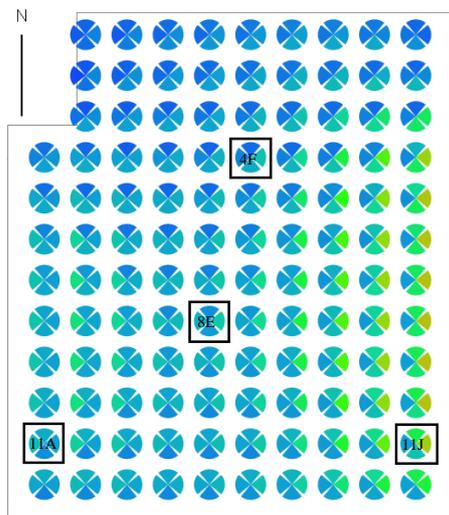


Figura 12 - Gráfico Equivalent Melanopic Lux (EML) do modelo 21/06 sem brise

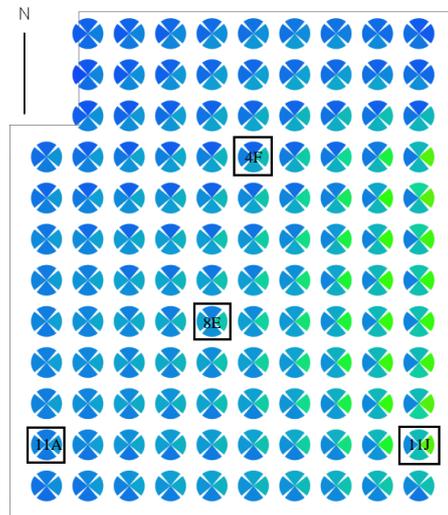


Figura 13 - Gráfico Equivalent Melanopic Lux (EML) do modelo 21/06 com brise

Tabela 9 – Equivalent Melanopic Lux (EML) por pontos de cada modelo

Modelo	21/09 sem brise	21/09 com brise	21/06 sem brise	21/06 com brise
11A	3931	1519	2597	977
8E	2730	1687	1863	1057
4F	1669	1015	1551	669
11J	7851	3066	2140	2202
Média Total	4200	2208	2823	1476

De acordo com a Tabela 10 e a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), em todos os casos o conforto visual poderia ser alcançado, já que a Photopic lux (Ev) ultrapassa os 500 lux. Entretanto, como iluminâncias acima de 3000 lux são inapropriadas (FIGUEIREDO, 2022), este valor será considerado como limite máximo para o conforto visual. Com este pressuposto, a média do modelo do dia 21 de setembro sem brise pode ser considerada visualmente desconfortável. Levando em conta os pontos do modelo podemos notar que o ponto 11J sugere desconforto no dia 21 de setembro com e sem brise, e o ponto 11A sugere desconforto no dia 21 de setembro sem brise, ambos por excesso de luz que pode gerar ofuscamento.



Figura 14 – Escala do Photopic lux (Ev)

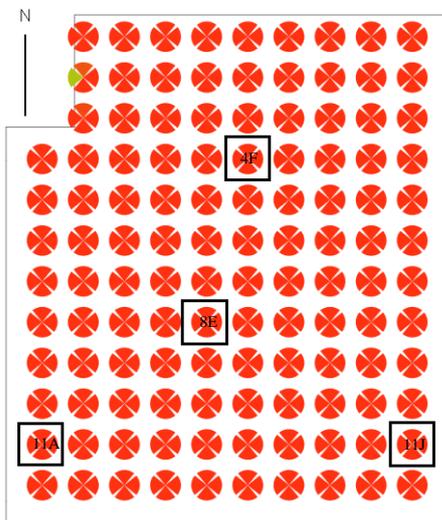


Figura 15 - Gráfico Photopic lux (Ev) do modelo 21/09 sem brise

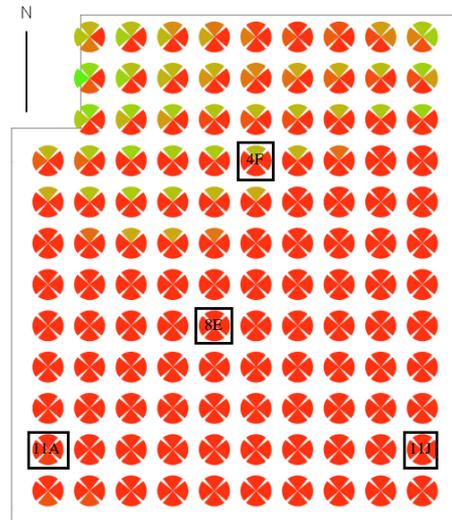


Figura 16 - Gráfico Photopic lux (Ev) do modelo 21/09 com brise

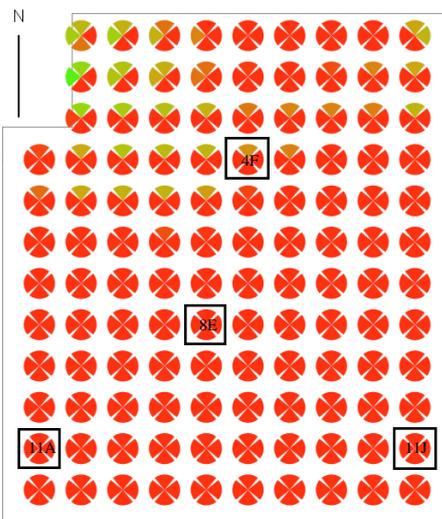


Figura 17 - Gráfico Photopic lux (Ev) do modelo 21/06 sem brise

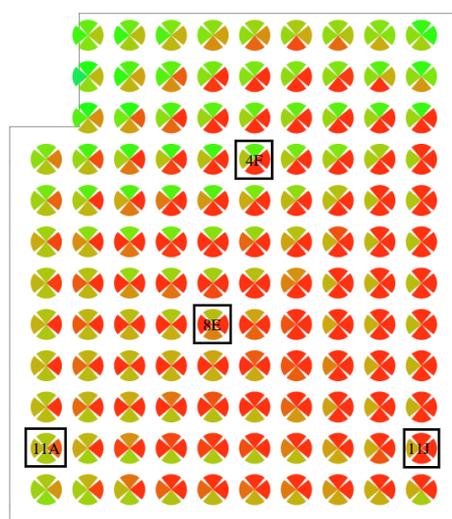


Figura 18 - Gráfico Photopic lux (Ev) do modelo 21/06 com brise



Figura 19 – Escala do Photopic lux (plano de trabalho)

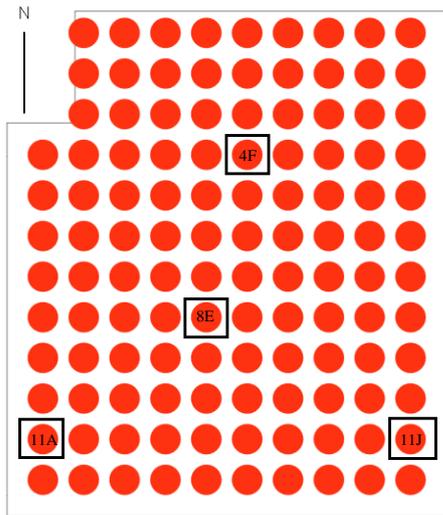


Figura 20 - Gráfico Photopic lux (plano de trabalho) do modelo 21/09 sem brise

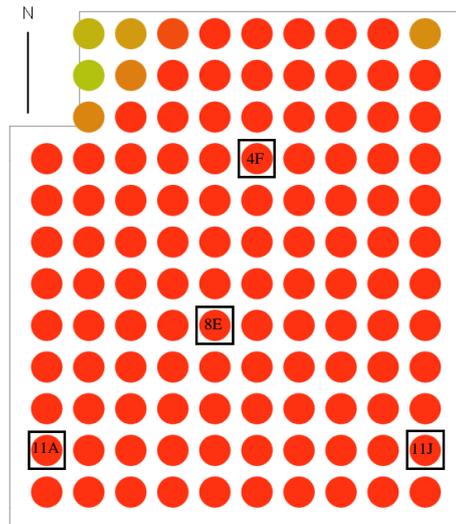


Figura 21 - Gráfico Photopic lux (plano de trabalho) do modelo 21/09 com brise

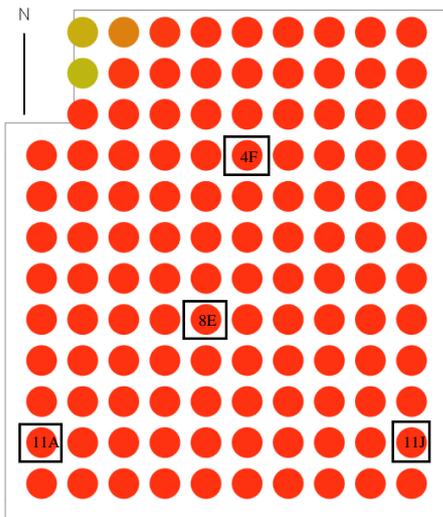


Figura 22 - Gráfico Photopic lux (plano de trabalho) do modelo 21/06 sem brise

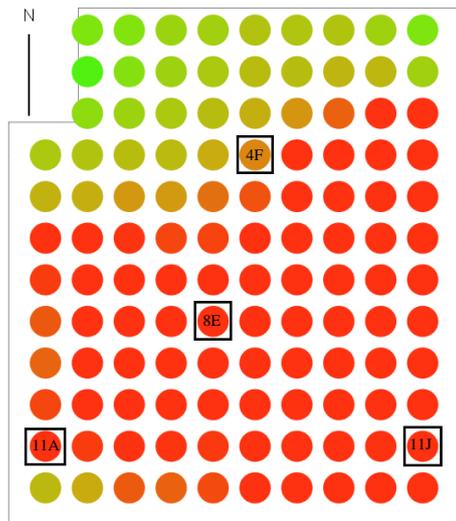


Figura 23 - Gráfico Photopic lux (plano de trabalho) do modelo 21/06 com brise

Na iluminação do plano de trabalho todas as médias ultrapassam 500 lux, de acordo com a Tabela 11, entretanto apenas o dia 21 de junho com brise não ultrapassa os 3000 lux. Podemos considerar que poderá ocorrer falta de conforto lumínico pelo ofuscamento gerado pelo excesso de luz no plano de trabalho. Podemos destacar que no dia 21 de setembro, todos os pontos selecionados poderão estar em desconforto visual. E em todos os modelos o ponto 11J pode apresentar desconforto visual.

Tabela 10 – Photopic lux (Ev) por pontos de cada modelo

Modelo	21/09 sem brise	21/09 com brise	21/06 sem brise	21/06 com brise
11A	4139	1708	2728	1099
8E	2983	1857	2028	1165
4F	1931	1185	1698	775
11J	7963	3280	2305	2202
Média Total	4414	2382	2956	1587

Tabela 11 – Photopic lux (plano de trabalho) por pontos de cada modelo

Modelo	21/09 sem brise	21/09 com brise	21/06 sem brise	21/06 com brise
11 ^a	7172	2228	4626	1504
8E	3870	2399	2642	1561
4F	3318	2013	1258	1347

11J	14460	5649	4626	3807
Média Total	5488	2498	3670	1672

5. CONCLUSÕES

Este trabalho tratou de realizar uma análise de conforto visual, desempenho lumínico e ciclo circadiano de uma sala de aula por meio de simulação computacional, usando o plugin ALFA considerando a cidade de Campo Grande, MS. Ao realizar as análises, observou-se que são muitos os caminhos a percorrer para obter alguma conclusão, pois ao comparar diferentes situações de acordo com a estação do ano e os diversos fatores meteorológicos, existem as mudanças quanto ao conforto visual, por exemplo.

A partir dos resultados obtidos observou-se que os elementos de sombreamento da janela de uma sala de aula têm uma interferência pequena na razão M/P, sendo a maior diferença entre uma janela com e sem brise de apenas 0,8 na razão M/P.

Em relação à Equivalent Melanopic Lux (EML) pode-se notar que o lado leste com a janela maior é o que recebe maior índice de iluminação melanópica. Os modelos com brise apresentaram uma média total de quase o dobro do que os modelos do mesmo dia sem brise.

O valor de Photopic lux (Ev) para o conforto visual mínimo estipulado é alcançado em todos os modelos; entretanto, o que ocorre na média total do dia 21 de setembro sem brise é que o valor máximo é ultrapassado, sugerindo desconforto por ofuscamento.

No que diz respeito ao conforto visual no plano de trabalho, de acordo com a Photopic lux, apenas nos modelos com brise é que não haveria possibilidade de desconforto visual causado por ofuscamento.

Como limitação do trabalho, não foram considerados diferentes tipos de céu para a avaliação das condições de iluminação, ou outras configurações de entorno e diferentes propriedades dos materiais. Recomenda-se que, para estudos futuros, possam ser analisados diferentes refletâncias para os materiais internos no ambiente, além de diferentes disposições, geometria e áreas de aberturas e elementos de sombreamento, para verificar o impacto destes no desempenho lumínico com ênfase na iluminação fotópica/melanópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes**. Rio de Janeiro, 2013. de trabalho - Parte 1: Interior.
- ACOSTA, I. FIGUEIRO, M. **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms**. Lighting Research and Technology, 2015
- BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; MOTAHARU, T. **Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock**. Science, v. 2002, n. 295, p. 1070-1073, 2002.
- BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. Dissertação de Mestrado. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura. FAUUSP, São Paulo, 2007.
- CASARIN, R. **Mariana Figueró: A luz e a sua relação com a saúde**. Lume Arquitetura, São Paulo, SP, Edição:44, Pgs. 8-12, Jun/Jul 2010.
- FIGUEIREDO, E. C. **Abordagem do ritmo circadiano no projeto de iluminação natural em edifícios de escritórios**. Rev. Sítio Novo, Palmas, TO, Edição especial, Pgs. 83-98, Mar 2022.
- KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Et al **O Processo de Projeto em Arquitetura**. 1ª edição. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011.
- KOSIR, M., POTOCHNIK, J. **Influence of geometrical and optical building parameters on the circadian daylighting of an office**. Journal of Building Engineering. Elsevier, 2021.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. Florianópolis, SC: 2013.
- MARTAU, B.T. **A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre**. Nr fl.: 504. Área de concentração: Arquitetura e Construção. UNICAMP, Campinas, 2009.
- McNELL & ASSOCIATES. **New in Rhino 7**. 2020. Disponível em: < <https://www.rhino3d.com/7/new/> >. Acesso em: 23 abr. 2023
- MEC, **Manual de Orientações Técnicas. Elaboração de Projetos de Edificações Escolares do Ensino Fundamental**. Volume III. 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfancia/manuais/volume-iii-projetos-ed-escolares-ed-fundamental-em-desenvolvimento>>. Acesso em: abr 2023
- SOLEMMA. **Adaptive Lighting for Alertness**. 2021. Disponível em: < <https://www.solemma.com/alfa> >. Acesso em: 23 de abr. 2023.

AGRADECIMENTOS

O trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS/MEC/Brasil); da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/Brasil) - Código de Financiamento 001; e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul (FUNDECT) à bolsa de estudos de pós-graduação.