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

Avaliação dos efeitos visuais e não-visuais da luz nas salas de aula da Universidade de Brasília

Assessment of visual and non-visual effects of light in classrooms on the University of Brasília

Lorenzo Machado Bastos
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | lorenzombastos@gmail.com
Marco Túlio Bones Soares
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | tulioboones@gmail.com
Adriana Alice Sekeff Castro
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | castro.adriana@aluno.unb.br
Joára Cronemberger Ribeiro Silva
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | joaracronemberger@unb.br
Cláudia Naves David Amorim
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | clamorim.unb@gmail.com

Resumo

A luz natural como fonte de iluminação de um ambiente de estudos se mostra vantajosa para a saúde, a concentração e o conforto visual do usuário. A maioria dos projetos normalmente consideram os benefícios visuais e os relacionados à eficiência energética, porém, não levam em conta os efeitos não visuais da luz diretamente ligados às respostas neuroendócrinas, afetando o humor, o desempenho e o ritmo circadiano do usuário. Este estudo tem como objetivo avaliar as salas de aula do Campus Darcy Ribeiro da universidade de Brasília quanto aos efeitos visuais e não-visuais, buscando a sala com iluminação natural de melhor qualidade. A metodologia usada para avaliar as salas consistiu no mapeamento das salas de aula e simulação dos efeitos visuais e não visuais — usando os softwares ClimateStudio e ALFA, respectivamente — para então realizar um comparativo entre os cenários simulados. Como resultado, identificou-se os parâmetros arquitetônicos que apresentaram maior impacto nas simulações, sendo eles as proteções solares e a orientação.

Palavras-chave: Iluminação natural. Salas de aula. Efeitos não visuais da luz. Simulação computadorizada. Parâmetros arquitetônicos.

Como citar:
BASTOS, L. M. et. al. Avaliação dos efeitos visuais e não-visuais da luz nas salas de aula da Universidade de Brasília. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Natural light as a source of lighting in a study environment is beneficial for the user's health, concentration and alertness through the suppression of melatonin. Most projects typically consider the visual benefits and those related to energy efficiency, however, they do not take into account the non-visual effects of light, which are directly linked to neuroendocrine responses, affecting the user's mood, performance and circadian rhythm. This study aims to evaluate the classrooms at the Darcy Ribeiro Campus of the University of Brasília regarding visual and non-visual effects, seeking the room with the best quality of lighting. The methodology used to evaluate the rooms consisted of mapping the classrooms and simulating visual and non-visual effects — using ClimateStudio (v1.9.8389.22035) and ALFA (0.6.0.0), respectively — and then making a comparison between the simulated scenarios. As a result, the architectural parameters that had the greatest impact on the simulation results were the sun-shading structures and orientation.

Keywords: Natural Lighting. Classrooms. Non-visual effects of light. Computer Simulation. Architectural parameters.

INTRODUÇÃO

Hoje em dia é uma prática comum para os seres humanos passarem a maior parte do tempo em ambientes internos, passando cerca de 87% das horas em espaços fechados [1]. A atual situação se contrasta aos tempos mais remotos, quando as pessoas normalmente realizavam suas atividades ao ar livre e, portanto, dispondo de uma boa parte de seu tempo em contato com o sol, só recorriam aos espaços fechados em busca de proteção [2]. A iluminação de qualidade ajusta o ritmo circadiano, o que afeta positivamente a qualidade do sono, saúde, humor e das habilidades cognitivas de um indivíduo [3].

As pesquisas na área de iluminação ganharam uma nova dimensão no início do século XX. Com a descoberta das células ganglionares da retina intrinsecamente fotorreceptoras (ipRGCs), o campo dos efeitos não-visuais passou a receber atenção devido ao grande impacto nas respostas neuroendócrinas, afetando diretamente a saúde e o comportamento humano. [4]

As salas de aula, assim como os espaços de trabalho, são ambientes nos quais as pessoas permanecem durante a maior parte do dia [5], por isso a sua qualidade ambiental não pode ser ignorada. O conforto visual, um dos aspectos que compõem a qualidade ambiental, requer iluminação adequada. Diversas escolas, no entanto, apresentam desempenho abaixo do recomendado [6].

A iluminação natural é capaz de fornecer a temperatura e quantidade de luz certa para determinado momento do dia, sendo assim, considerada ideal para as funções biológicas humanas [7]. Além disso, a luz do dia pode ser utilizada a fim de reduzir a energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação artificial.

A simulação computacional é uma forma de avaliar a qualidade da iluminação natural em um projeto arquitetônico. Atualmente existem diversos softwares de análise climática que aperfeiçoaram os estudos da iluminação natural, pois, além de fornecerem resultados precisos, geram gráficos que permitem uma melhor visualização das variáveis do projeto e facilitam a manipulação dos dados [8].

O uso da luz natural, particularmente em salas de aula, têm um papel essencial, pois contribui para a regulação do ciclo circadiano, ou seja, diminui o sono devido a supressão da melatonina (hormônio do sono) o que colabora para uma maior concentração do aluno [9].

Assim, a partir do que foi apresentado, a importância da qualidade da iluminação natural se faz evidente. Além da necessidade da adequação dos efeitos não-visuais, a integração dos efeitos visuais, como ausência de ofuscamento e quantidade de luz adequada, é essencial para proporcionar condições para a execução das atividades e para a saúde do usuário.

Este artigo faz parte de uma etapa de uma tese de doutorado que investiga relações do projeto arquitetônico e a qualidade da iluminação natural em salas de aula, em especial, focada nos impactos dos efeitos não visuais da luz.

OBJETIVO

Selecionar uma sala de aula do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília que apresente os melhores resultados para os efeitos visuais e não visuais com o uso da iluminação natural.

MÉTODO

A pesquisa realizada no presente artigo têm natureza experimental simulacional e teve seu processo metodológico dividido em 5 etapas principais:

1. Seleção das salas de aula.
2. Modelagem das salas de aula no Rhinoceros 3D 7.
3. Simulações computacionais para análise dos efeitos visuais e não visuais com a luz natural.

3.1 Simulações dos efeitos visuais no programa ClimateStudio (v1.9.8389.22035), usando as métricas: *Spatial Daylight Autonomy* – sDA, *Useful Daylight Illuminances* – UDI, *Annual Sunlight Exposure* – ASE e *Daylight Glare Probability* – DGP.

3.2 Simulação dos efeitos não visuais com o programa de simulação da Solemma, ALFA (Versão 0.6.0.0), analisando as métricas: *Equivalent Melanopic Lux* – EML e *M/P Ratio*.

4. Avaliação dos resultados através de um sistema de pontuação.

SELEÇÃO DAS SALAS DE AULA

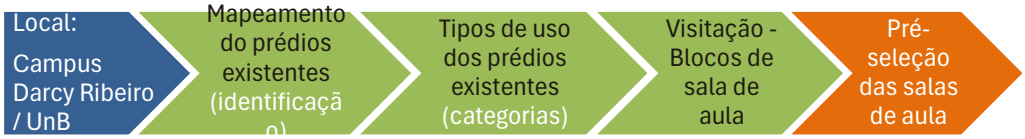
Para a seleção das salas de aula, primeiramente é feito um mapeamento e categorização dos tipos de uso dos edifícios do Campus Darcy Ribeiro através do

"Relatório de Atividades do Eixo 1 – Morfologia Arquitetônica", que faz parte dos trabalhos realizados pelo Plano Diretor da UnB. A partir do mapeamento do campus, 34 edificações são identificadas como blocos de sala de aula e seguiram para a etapa de visitação *in loco*. Os principais critérios para a seleção de uma sala de aula nesta etapa são:

1. Possuir janelas em apenas uma das paredes.
2. Possuir vista externa ≥ 6,00m.
3. Preferencialmente não estar localizada no térreo.

A existência de apenas uma abertura como fonte de luz no ambiente facilitará a avaliação precisa dos efeitos não visuais da iluminação natural. Já a presença de vista externa, além de garantir a entrada de luz natural nas salas sem obstruções, possibilita a identificação de informações locais que promovem o arrastamento circadiano [10, 11], ou seja, permite que o usuário constate o tempo e as condições climáticas ao longo do dia. Por fim, a preferência por salas que não estejam no pavimento térreo se dá para que não haja influência da refletância do solo. No caso de salas selecionadas no pavimento térreo é desejável que o solo apresente baixa refletância.

Figura 1 - Pré-Seleção das Salas de Aula



Fonte: Adriana Castro (2023) [12].

MODELAGEM

A modelagem dos ambientes é feita no software Rhinoceros 3D (Versão 7) e as referências utilizadas foram baseadas em levantamentos feitos nos locais ou nos projetos das edificações. Os arquivos dos projetos foram disponibilizados pela prefeitura da Universidade de Brasília. As salas foram modeladas com os elementos de sombreamento existentes, porém, consideradas como vazias, sem móveis ou ocupantes.

EFEITOS VISUAIS

A simulação dos efeitos visuais das salas de aula se dá através do plug-in ClimateStudio (v1.9.8389.22035), dentro do software de modelagem Rhinoceros 3D. Gomes (2023) [13] ressalta o plug-in ClimateStudio como uma ferramenta que apresenta, de forma prática e *user-friendly*, mecanismos que possibilitam a análise climática, conforto térmico, ventilação e iluminação natural. A primeira etapa é a configuração das informações sobre o clima e coordenadas de onde o ambiente a ser simulado está localizado, a partir da escolha do arquivo EPW (EnergyPlus Weather File) correspondente à região. Depois disso, atribui-se um material a cada *layer* da modelagem, nessa pesquisa os materiais são atribuídos de acordo com as especificações e semelhança visual.

As simulações dos efeitos visuais foram avaliadas seguindo as métricas e parâmetros a seguir:

Quadro 1: Parâmetros dos Efeitos Visuais

Métricas	Parâmetros	Referência
UDI	100%	(BALLARINI et al., 2019; NABIL; MARDALJEVIC, 2005) [14, 15].
	75%<UDI≤100%	
	UDI≤75%	
sDA	100%	LM 83:23 [16]
	75%<das<100%	
	sDA≤75%	
ASE	0%	
	0%<ASE≤5%	
	ASE>5%	
DGP	DGP<35%	EN 17037:2018 [17]
	35%<DGP≤45%	
	DGP≥45%	

Fonte: o autor.

O sDA permite avaliar precisamente a quantidade e distribuição da luz natural no ambiente durante o ano, sendo complementada pela métrica UDI, que delimita a quantidade de iluminância útil necessária para a qualidade visual do ambiente, inclusive identificando áreas com iluminação excedente. A simulação do ASE indica a área da exposição solar direta, já o fator DGP, por outro lado, é importante para a avaliação do conforto visual pois indica a probabilidade de um usuário sentir ofuscamento.

EFEITOS NÃO-VISUAIS

Tendo em vista a importância da consideração dos efeitos não visuais, o plug-in *Adaptive Lighting for Alertness* (ALFA) é um exemplo de software que pode ser usado para mensurar os efeitos não-visuais da luz através de simulação computacional. O ALFA usa a geometria do ambiente modelado no Rhinoceros 3D para a realização das simulações. Nesta fase também é necessário configurar um material para cada *layer* do modelo e então, configurar a localização, hora da análise, condição do céu e espectro do solo para cada cenário simulado. Cada um dos ambientes foi simulado às 9, 12 e 15 horas nos dois solstícios e nos dois equinócios, totalizando 12 cenários. A simulação no ALFA dá como principais resultados o *EML (Equivalent Melanopic Lux)* e o *M/P ratio* (Razão entre lux melanópicos e fotópicos), ao invés das métricas mel-EDI e M-DER mais atuais. As pontuações foram atribuídas seguindo os parâmetros:

Quadro 2: Parâmetros dos Efeitos Não-Visuais

Métrica	Parâmetros	Referências
EML (Vistas acima de 275)	100%	Brown, 2020 [18]
	75% < EML <100%	
	EML ≤ 75%	
M/P	M/P > 0.90	EN 17037:2018 [17]
	0.35 < x ≤ 0.90	
	M/P < 0.35	

Fonte: o autor.

O valor de EML tem que ser maior ou igual a 275, segundo Brown (2020) [18], assim como o M/P ratio é uma referência que o ALFA apresenta onde indica a maior proporção de espectros de luz azul, o que indica um ambiente mais propício para concentração [19].

VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

Para classificar as salas de aula foram definidos parâmetros para cada uma das métricas avaliadas nas fases de simulação. Cada ambiente recebeu uma pontuação de 1 a 3 pontos atribuídas aos parâmetros de cada uma das métricas.

Quadro 3: Pontuações Atribuídas aos parâmetros de cada métrica

Métrica	Parâmetros	Pontuação atribuída
UDI	100%	3 pts
	75% < UDI≤100%	2 pts
	UDI ≤ 75%	1 pt
sDA	100%	3 pts
	75% < sDA < 100%	2 pts
	sDA ≤ 75%	1 pt
ASE	0%	3 pts
	0% < ASE ≤ 5%	2 pts
	ASE > 5%	1 pt
DGP	DGP < 35%	3 pts
	35% < DGP ≤ 45%	2 pts
	DGP ≥ 45%	1 pt
EML	100%	3 pts
	75% < EML < 100%	2 pts
	EML ≤ 75%	1 pt
M/P	M/P > 0.90	3 pts
	0.35 < M/P ≤ 0.90	2 pts
	M/P < 0.35	1 pt

Fonte: o autor.

RESULTADOS

SALAS DE AULA SELECIONADAS

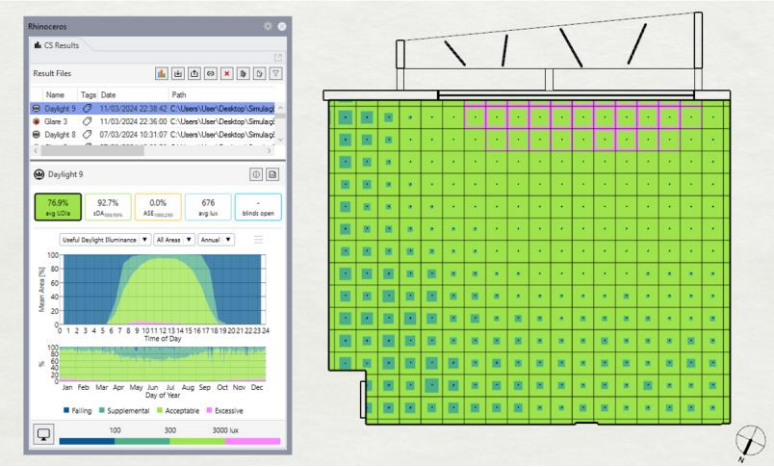
A partir dos critérios descritos, as seguintes salas foram selecionadas para análise na fase de simulações:

1. PJC - Pavilhão João Calmon;
2. FD - Faculdade de Direito;
3. FE 5 - Faculdade de Educação;
4. FACE - Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia;
5. BSAS - Bloco de Salas de Aula Sul;
6. EFL - Departamento de Engenharia Florestal;
7. BSAN - Bloco de Salas de Aula Norte.

RESULTADOS DOS EFEITOS VISUAIS

Os resultados obtidos pela simulação dos efeitos visuais são apresentados pelo ClimateStudio de forma numérica e visual como mostrado na figura 2. A partir dos resultados os dados foram extraídos e estão expressos no quadro 4:

Figura 2: Exemplo de resultado no ClimateStudio



Fonte: o autor.

Quadro 4: Resultados ClimateStudio (v1.9.8389.22035)

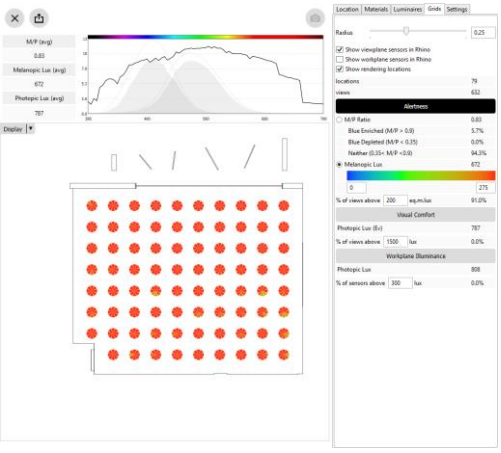
Ambiente	UDI	sDA	ASE	DGP
BSAN	94.9%	100%	0%	12.5%
BSAS	72.9%	100%	16.3%	38.3%
EFL	76.9%	92.7%	0%	8.7%
FACE	94.4%	100%	0%	18.1%
FD	51.1%	55.6%	0%	0.3%
FE	66.4%	99.1%	7.7%	55.2%
PJC	81.2%	100%	0%	26.3%

Fonte: o autor.

RESULTADOS DOS EFEITOS NÃO-VISUAIS

Os resultados dos efeitos não visuais também são apresentados de forma visual e numérica pelo software ALFA para cada hora e data simulada (Exemplo na figura 3). Os dados de EML e M/P estão expressos no quadro 5:

Figura 3: Exemplo de resultado ALFA (Versão 0.6.0.0)



Fonte: o autor.

Quadro 5: Resultados ALFA (Versão 0.6.0.0)

Salas	Equinócio de Outono						Solstício de Inverno					
	9H		12h		15h		9H		12h		15h	
	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P
BSAN	87,5%	0.95	100%	0.98	100%	1.10	61.4%	0.98	100%	0.94	100%	0.90
BSAS	72.5%	0.99	100%	0.96	100%	0.93	74.7%	0.94	98.9%	0.96	100%	0.86
EFL	91%	0.83	100%	0.82	100%	0.82	51.4%	0.85	100%	0.80	99.5%	0.76
FACE	100%	0.83	100%	0.86	100%	0.93	100%	0.86	100%	0.85	100%	0.79
FD	96,9%	0.96	83.7%	0.95	6,3%	1.07	93.3%	0.96	59.4%	0.93	0%	1.08
FE	65.4%	0.88	78.6%	0.89	85%	0.96	61.1%%	0.90	71.8%	0.88	67.9%	0.85
PJC	100%	0.91	99.8%	0.98	100%	1.08	72.7%	0.98	99.8%	0.97	79%	0.97

Salas	Equinócio de Primavera						Solstício de Verão					
	9H		12h		15h		9H		12h		15h	
	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P	EML	M/P
BSAN	100%	1.10	100%	1.10	100%	1.10	76.8%	0.99	99.6%	1.00	80.4%	0.99
BSAS	100%	0.86	100%	1.09	100%	0.92	83.1%	0.97	100%	0.97	100%	0.86
EFL	100%	0.92	100%	0.88	100%	0.87	64.7%	0.82	89.4%	0.85	71.2%	0.80
FACE	100%	0.91	100%	0.94	100%	0.93	100%	0.84	100%	0.86	100%	0.86
FD	98.7%	1.04	96.4%	1.05	34.6%	1.05	20.1%	0.96	86.4%	0.95	13.4%	0.96
FE	77.1%	1.01	86.1%	0.99	85.7%	0.96	69.3%	0.88	81.1%	0.89	82.9%	0.86
PJC	100%	1.00	100%	1.07	100%	1.08	99.8%	0.93	99.8%	0.98	99.4%	0.98

Fonte: o autor.

VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

Por fim, os resultados dos efeitos visuais e não-visuais tiveram pontuações atribuídas seguindo os parâmetros definidos no quadro 3. Essas pontuações foram combinadas para possibilitar um comparativo da qualidade integrada da luz natural em cada sala de aula. As pontuações finais estão discriminadas no quadro 6, apresentado a seguir:

Quadro 6: Pontuações finais

Ambiente	Efeitos Visuais	Efeitos Não-Visuais	Ambos
BSAN	11	66	77
BSAS	7	63	70
EFL	10	34	44
FACE	11	65	76
FD	8	54	62
FE	5	50	55
PJC	11	67	78

Fonte: o autor.

Baseando-se nas pontuações somadas dos efeitos visuais e não-visuais, os ambientes foram arranjados em uma lista, sendo organizada a partir da sala de aula que mais pontuou até a que menos pontuou. Assim, foi possível selecionar a sala de aula do PJC como a que apresentou os melhores resultados para os efeitos visuais e não visuais. As colocações finais foram:

1. PJC
2. BSAN
3. FACE
4. BSAS
5. FD
6. FE
7. EFL

CONCLUSÃO

Este artigo avaliou os efeitos visuais e não-visuais da iluminação natural de seis salas de aula da Universidade de Brasília através dos softwares ALFA e ClimateStudio. Apesar de ambos os programas apresentarem diversas funções que contribuem para a precisão e qualidade das simulações, o ALFA tem uma interface bem menos amigável e apresenta algumas limitações quando comparado ao ClimateStudio.

O emprego de um método baseado na simulação possibilita avaliar de forma objetiva os efeitos visuais e não-visuais das salas de aula. Nesse sentido, a utilização de parâmetros com pontuações fixadas para cada métrica tem papel essencial na avaliação de ambientes diferentes, esses critérios pré-estabelecidos tornam o ranqueamento das salas possível.

Sabe-se que, atualmente, existem outras métricas não-visuais como mel-EDI e M-DER [20], porém, estas métricas não existem no programa estudado, o que acarretou na adoção do EML e M/P, que podem ser convertidos para as métrica mel-EDI e M-DER posteriormente.

Os resultados da variável EML foram bastante impactados pela hora do dia, data e profundidade da sala. Já os resultados de M/P variaram mais em função da orientação da abertura. Os resultados do ClimateStudio foram muito impactados pelos elementos de sombreamento utilizados, além da orientação e da profundidade da sala.

Observando os resultados obtidos nas simulações, averigua-se que nem sempre existe uma relação clara entre resultados positivos nos efeitos visuais e os resultados dos efeitos não-visuais.

Ademais, é importante salientar algumas limitações do estudo: Os materiais utilizados para a configurações dos modelos são os disponíveis na biblioteca dos softwares. Além disso, devido à dificuldade de identificação das películas aplicadas às janelas dos ambientes reais, todos os vidros são configurados como transparentes (Transmitância visual de 88%).

Diante do que foi exposto, a importância do projeto arquitetônico integrado aos efeitos visuais e não visuais com iluminação natural para salas de aula se faz clara. Com base nos procedimentos executados durante esta pesquisa, concluiu-se que a utilização da simulação computacional dos efeitos visuais e não-visuais contribui para a avaliação objetiva da iluminação natural.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos membros do LACAM (Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética) pelo conhecimento compartilhado e pela disponibilidade e à FAP-DF pelo financiamento.

REFERÊNCIAS

[1] ALTOMONTE, S. et al. Ten questions concerning well-being in the built environment. Building and Environment, v. 180, 2020.

[2] BUTERA, F. M. Da Caverna à Casa Ecológica: história do conforto e da energia. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2009.

[3] KNOOP, M. et al. Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology, v. 52, n. 3, p. 147715351986975, 18 ago. 2019.

[4] BELLIA, L. et al. Assessment of melanopsin-based quantities: Comparison of selected design tools and validation against on-field measurements. Building and environment, v. 232, p. 110037–110037, 1 mar. 2023.

[5] TREGENZA, P.; WILSON, M. Daylighting: Architecture and lighting design. [s.l: s.n.].

[6] BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Environmental Comfort in School Buildings. Environment and Behavior, v. 38, n. 2, p. 155–172, mar. 2006.

[7] AMIRAZAR, A. et al. A low-cost and portable device for measuring spectrum of light source as a stimulus for the human's circadian system. Energy and Buildings, v. 252, p. 111386, 1 dez. 2021.

[8] FERNANDES, Júlia Teixeira; AMORIM, Cláudia Naves David. Capítulo 4. Simulação, ambiente e energia no espaço construído. São Paulo: Editora UnB, 2018, p. 127-161.

[9] ACOSTA, I. et al. Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. Solar Energy, v. 193, p. 584–596, nov. 2019.

[10] MOHAMED, A. et al. A simulation-based framework for multi-individual circadian re-entrainment using a single light schedule. Building and environment, v. 229, 2023.

[11] THAYER, A. Lighting for Healthy Living. Disponível em: https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving.

[12] CASTRO, Adriana Alice Sekeff. Relação entre Parâmetros Arquitetônicos e Efeitos Não Visuais da Iluminação Natural em Salas de Aula no Ensino Superior. Documento Projeto de Qualificação de Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Brasília; 2023.

[13] GOMES, L.; GÓES; SILVA. Guia metodológico de análise climática e avaliação da iluminação natural com Climate Studio. LaSUS FAU eBooks, 15 dez. 2023.

[14] BALLARINI, I. et al. Transformation of an office building into a nearly zero energy building (NZEB): Implications for thermal and visual comfort and energy performance. Energies, v. 12, n. 5, 2019.

[15] NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Research and Technology, v. 37, n. 1, p. 41–59, 2005.

[16] IES. LM 83:23 - Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, USA: [s.n.], 2022.

[17] CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 17037: Daylight in buildings. Brussels: [s.n.].

[18] BROWN, T. M. Melanopic illuminance defines the magnitude of human circadian light responses under a wide range of conditions. Journal of Pineal Research, v. 69, 2020.

[19] ALFA. Disponível em: https://www.solemma.com/alfa/. Acesso em: 16 março. 2024.

[20] CIE. CIE S 026:2018. CIE System for Metrology of Optical Radiation for IPRGC-Influenced Responses to Light. Vienna: [s.n.].