INFLUÊNCIA DE PROTEÇÕES SOLARES NA RADIAÇÃO INCIDENTE EM SUPERFÍCIES INTERNAS HORIZONTAIS EM BRASÍLIA

INFLUENCE OF SHADING DEVICES ON INCIDENT SOLAR RADIATION ON HORIZONTAL INDOOR SURFACES IN BRASÍLIA

Barbara Pedrosa Primo Vieira[1]; Camilla Oliveira Carrazza[2]; Leticia Alves Mendonca[3] e Gustavo de Luna Sales[4]

[1]Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | barbarapedrosa23@gmail.com | FAU-UnB | Brasília, Brasil; [2]Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | camillaoliveiracarrazza@gmail.com | FAU-UnB | Brasília, Brasil; [3]Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | leticiamend09@gmail.com | FAU-UnB | Brasília, Brasil; [4]Doutor | gustavoluna@unb.br | FAU-UnB | Brasília, Brasil.

Resumo:
Este artigo realiza uma estimativa da influência de diferentes proteções solares na radiação solar incidente na superfície interna horizontal de modelos computacionais representativos de espaços residenciais em Brasília. Tanto a exposição deficitária quanto a exposição excessiva à radiação solar podem acarretar problemas aos usuários do espaço construído, que vão de doenças respiratórias agudas e graves ao desconforto por calor e consequente redução da eficiência energética. Foram considerados oito azimutes diferentes (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) e cinco cenários de sombreamento: (1) sem proteção solar, (2) com proteção alfa/beiral 50cm, (3) com proteção alfa/aletas 10cm, (4) com proteções betas a direita e a esquerda 50cm, (5) com proteção beta/aletas 10cm). Como parâmetros de análise, buscou-se a identificar a influência dos cenários na área de incidência da radiação solar (Wh na média diária anual), em seus intervalos máximos e mínimos, e na redução dos intervalos máximos de radiação. Os resultados apontam para a maior efetividade dos elementos horizontais de sombreamento (alfas) em termos de redução da carga térmica incidente (até 50% de redução) e aumento da área de exposição à radiação solar (de até 45 vezes) em comparação ao cenário sem proteção solar.

Palavras-chave:
Proteções Solares; Radiação Solar; Salubridade; Conforto Térmico.

Abstract:
This article estimates the influence of different solar protection systems on incident solar radiation in horizontal internal surface of computational models representing residential spaces in Brasília. Both insufficient and excessive exposure to solar radiation can pose risks to building occupants, ranging from acute and severe respiratory illnesses to thermal discomfort and a consequent reduction in energy efficiency. Eight different azimuths (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) and five shading scenarios were considered: (1) no solar shading, (2) alpha shading/eave 50 cm, (3) alpha shading/fins 10 cm, (4) beta shading on both right and left sides 50 cm, and (5) beta shading/fins 10 cm. The analysis aimed to identify the influence of these scenarios on the area of incident solar radiation (Wh average annual daily), including its maximum and minimum ranges, and the reduction of peak radiation levels. The results indicate that horizontal shading elements (alpha types) are the most effective in reducing incident thermal load (up to 50% reduction) and in increasing the area exposed to solar radiation (up to 45 times greater) compared to the no-shading scenario.

Keywords:
Shading Devices; Solar Radiation; Salubrity; Thermal Comfort.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo realiza uma estimativa da influência de diferentes proteções solares na radiação solar incidente na superfície interna horizontal de modelos computacionais representativos de espaços residenciais em Brasília. Foram considerados oito azimutes diferentes (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) e cinco cenários de sombreamento: (1) sem proteção solar, (2) com proteção horizontal/beiral de 50cm, (3) com proteção horizontal/aletas de 10cm, (4) com proteções verticais de 50cm a direita e a esquerda, (5) com proteção verticais/aletas 10cm).

Destacamos que tanto a exposição deficitária quanto a exposição excessiva à radiação solar podem acarretar problemas aos usuários do espaço construído. Por exemplo, a exposição deficitária à radiação solar reduz a capacidade de processamento de nutrientes e vitaminas pelo corpo humano, eleva da taxa de proliferação de ácaros, bactérias e fungos nos espaços internos, e reduz o potencial de eliminação de vírus transportados pelo ar sensíveis a radiação ultravioleta, como abordado por Brightman e Moss (2001). Por outro lado, o excesso de exposição dos recintos à fração radiação infravermelha contida no espectro solar, em climas tropicais de altitude como o de Brasília, ocasiona o sobreaquecimento dos ambientes, interferindo no conforto térmico e, por consequência, na eficiência energética das edificações.

Dessa forma, é fundamental o desenvolvimento de estudos que direcionem seu foco para a estimativa da influência de diferentes tipos de proteções solares na quantidade de radiação incidente em superfícies internas, na busca de um equilíbrio entre um espaço salubre, confortável e energeticamente eficiente. Tal estimativa pode auxiliar profissionais da arquitetura e engenharia na identificação do elemento de proteção solar a ser especificado no projeto. Além disso, o desenvolvimento de pesquisas sobre este tema pode fomentar a parceria entre pesquisadores das áreas de conforto ambiental, sustentabilidade, saúde e eficiência energética no espaço construído a nível de graduação e pós-graduação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Historicamente, os estudos relacionados com a promoção de espaços mais saudáveis por meio do aproveitamento das condicionantes ambientais – fração visível e ultravioleta do espectro solar e ventilação natural – encontram bases sólidas nas áreas da saúde e biologia. Por exemplo, Hockberger (2000) e Guenther e Vittori (2013) mencionam que entre os anos de 1877 e 1895 uma série considerável de estudos vieram a comprovar que a luz do Sol, especificamente a sua fração ultravioleta, era capaz de eliminar diferentes tipos de vírus e bactérias que causavam ou contribuíam para doenças responsáveis pela maioria das mortes no século XIX (tifo, sarampo, tuberculose, pneumonia, entre outras). Em grande medida, essas doenças poderiam ser evitadas por meio de “intervenções de salubridade” no espaço construído – expressão utilizada por Guenther e Vittori (2013) – em termos, dentre outros aspectos, de arquitetura e saúde pública, uma vez que estavam associadas a condições precárias de moradia, como a superlotação da habitação, pouco acesso à luz solar, ventilação e água limpa.

Problemas relacionados à falta de acesso a níveis adequados de exposição solar, devido à baixa qualidade ambiental das edificações, também são evidentes ao longo do século XX e, atualmente, no XXI. Neste contexto histórico, os principais agentes nocivos à saúde humana são as doenças respiratórias agudas e graves, incluindo as provocadas por coronavírus, além de doenças relacionadas à Síndrome do Edifício Doente – ambas sendo agravadas pelo escalonamento de doenças crônicas, como uso do tabaco, consumo de álcool e obesidade (STUCKLER e SIEGEL, 2011; GUENTHER e VITTORI, 2013; RATNESAR-SHUMATE et al. 2020). Além disso, ambientes com pouca ou nenhuma possibilidade de aproveitamento da radiação solar interferem na produção de vitamina D pelo corpo, cuja insuficiência tem sido relacionada com uma variedade de distúrbios, tais como: deficiências ósseas; cânceres de próstata, cólon e mama; hipertensão; amiloidose e Alzheimer (HOLICK, M. 2004; MELENDO et al. 2022). Por fim, a revisão da literatura sobre o tema deixa clara a importância do acesso à radiação solar nos espaços internos existindo uma ampla

margem de períodos de exposição ideais – podendo variar de minutos a horas – dependendo do benefício almejado ou tipo de agente nocivo a ser combatido. Assim, neste artigo, o parâmetro a ser analisado em termos de salubridade será o efeito dos tipos de proteção solar e azimutes selecionados na redução, ou no aumento, das áreas de piso com baixa ou nenhuma exposição à radiação solar.

Com relação ao balanço termo energético de edificações, os estudos no campo da arquitetura ganharam cada vez mais importância desde a década de 1960 – marcada pelos trabalhos desenvolvidos por Olgyay e Olgyay (1963), Givoni (1969). Assim, em termos de climas tropicais, busca-se uma arquitetura que consiga reduzir o excesso de exposição à radiação infravermelha (calor) contida no espectro solar. Como o tema do conforto térmico e eficiência energética está mais presente nas pesquisas realizadas no campo da arquitetura e urbanismo, percebe-se, de forma mais evidente, que a quantidade de radiação solar incidente no espaço construído é inversamente proporcional às necessidades impostas pelo clima. Ou seja, para climas tropicais (quente e úmido, quente e seco) a redução dos picos de radiação solar se faz necessária para se proporcionar o conforto térmico passivo. Ao passo que o inverso se faz necessário para climas frios. Tal constatação, e suas consequências para o conforto e eficiências energética, é encontrada nas bases fundamentais da arquitetura bioclimática, sendo mencionada por autores como Frota e Schiffer (2016) e Corbella e Yannas (2009).

A revisão da literatura sobre o tema evidencia a falta de níveis adequados de radiação solar, energia térmica em termos de Watts por hora, para diferentes regiões climáticas ou tipologias de edifício em termos de conforto térmico. A relação entre o conforto e o clima – tendo como resultado consequente a eficiência energética – vai muito além da carga térmica incidente no piso. Passa por aspectos relacionado com a forma, orientação, materiais construtivos, perfil dos usuários, rotina de ocupação, entre diversos outros (MALKAWI e AUGENBROE, 2004; NICOL e HUMPHREYS, 2012). Assim, neste artigo, adotou-se como parâmetro de análise o impacto dos elementos de sombreamento selecionados para o estudo sob a redução dos picos de radiação incidente no piso dos modelos simulados – principal superfície interna a receber radiação solar direta e difusa.

3. MÉTODOS

O primeiro passo para o desenvolvimento da pesquisa foi uma definição das características construtivas mais presentes nas habitações de interesse social no Distrito Federal, para possibilitar a construção de modelos computacionais representativos. Tal definição teve suporte nos parâmetros dimensionais mínimos recomendados pelo Código de Obras de Brasília e pela caracterização morfológica de fachadas de edificações no Plano Piloto da Brasília, feita por Braga (2005). Dessa forma, foi desenvolvido o modelo representativo de um quarto típico, apresentado na Figura 1, com as características descritas na Tabela 1. A este modelo foram adicionados os diferentes elementos de sombreamento representando: cenário (1) sem proteção solar, cenário (2) com proteção alfa/beiral 50cm, cenário (3) com proteção alfa/aletas 10cm, cenário (4) com proteção beta 50cm, cenário (5) com proteção beta/aletas 10cm.

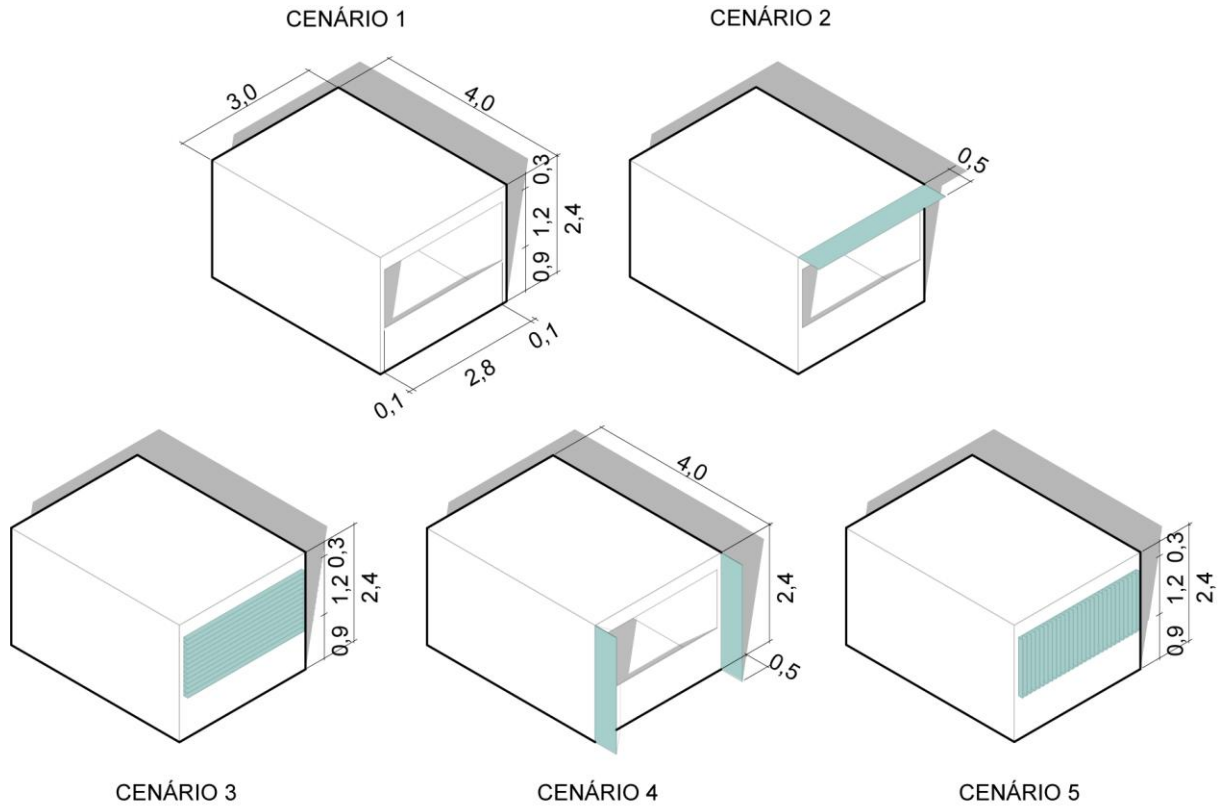

Figura 1: Modelos representativos para todos os cenários utilizados nas simulações.
Fonte: os autores (2025).

Paredes	Bloco de concreto 14x19x39cm, argamassa interna 1,5cm pintada na cor branca (absortância de 0,2)
Laje de Piso	Laje de concreto 10cm sem revestimento (absortância 0,4)
Forro	Forro de gesso na cor branca (absortância 0,2)
Janela	Vidro simples incolor 6mm (fator solar de 0,87), 1m de peitoril, com tamanho de 1,2m de altura por 2,8m de comprimento – janela em fita.

Tabela 1: Características construtivas do modelo de simulação.
Fonte: os autores (2024).

Após a construção dos modelos, foi definido que todos os cenários seriam simulados para o clima do Distrito Federal considerando oito azimutes diferentes para a orientação da janela, sendo eles: Norte (N), Nordeste (NE), Leste (L), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O) e Noroeste (NO). O arquivo do Ano Climático de Referência (TRY - 2005) foi obtido na página do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE da Universidade de Santa Catarina (UFSC). Para a estimativa da radiação solar incidente no plano horizontal do piso dos modelos estabelecidos foi utilizado o programa *Ecotect Analysis*, em sua versão aberta (v5.50) de 2005. Destaca-se que, mesmo após a descontinuidade do programa em 2011, quando possou a ser integrado ao *Autodesk Revit*, o programa *Ecotect Analysis* ainda constitui uma plataforma de simulação computacional versátil e eficaz para estimativas de parâmetros de conforto e, especificamente neste artigo, para a estimativa da radiação solar incidente em planos horizontais. Por exemplo, Marsh e Al-Oraier (2005) e Amani *et al*. (2022) identificaram resultados semelhantes para a quantificação de radiação solar direta em coberturas de edificações comparando os resultados obtidos pelo programa *Ecotect Analysis* com outros *softwares* de simulação e com medições feitas em campo.

Assim, o arquivo climático TRY da cidade de Brasília foi inserido no programa *Ecotect Analysis* (em formato *epw*.) para a simulação dos modelos e cenários descritos acima. A configuração para a realização das simulações considerou: a) malha de análises de 20x16 células, posicionado a 1 metro de altura em relação ao piso e distanciado 30cm em relação as paredes internas; b) opção

de cálculo “*Insolation Levels*” -> “*Incident Solar Radiation*”, calculando a radiação solar total, direta e difusa, incidente na malha de análise; c) simulação para um período específico (de janeiro a dezembro, das 06h às 17h); d) “*output”* dos valores em média diária anual (Wh médio por dia ao longo do ano de referência); e) número de segmentos de céu (*raytracing*) “*highest:* 2°x2°”. A Figura 2 apresenta a compilação dos resultados obtidos em escala de manchas de cor. Ou seja, cada graduação da escala é representada por uma mancha de cor – correspondente a um intervalo de radiação – Wh médio por dia ao longo do ano. Nesta escala, a cor azul mais intensa representa a região do grid onde estão os menores valores de radiação. A cor vermelha representa a região do grid onde se concentram os maiores valores de radiação.

As malhas com os resultados obtidos foram transportadas para o programa *AutoCAD*, onde foi possível quantificar as áreas (em m²) das manchas relacionadas as cores da escala dos intervalos dos resultados. Para este estudo, o intervalo máximo de radiação foi desconsiderado, sendo utilizado o intervalo correspondente a mancha de cor imediatamente abaixo do máximo. Isso se deve a uma especificidade de programa em informar, nesta última graduação da escala, somente um valor base para o intervalo – não havendo limite para o valor superior. Por exemplo, considerando o resultado do cenário (1) para a janela posicionado no azimute Leste, na Figura 2, valor máximo de radiação (Wh médio diário anual) corresponde a “1.440+”. Ou seja, 1.440(Wh) ou mais – não sendo possível conhecer a extensão desse intervalo. Assim, se considerou a mancha de cor imediatamente abaixo deste intervalo, sendo 1.260(Wh) a 1.111(Wh).

A adoção do método de quantificação da área de incidência da radiação solar nos cenários simulados foi importante para a posterior compilação e análise dos resultados obtidos, tendo em vista a diversidade de variação da distribuição e dos intervalos dos resultados.

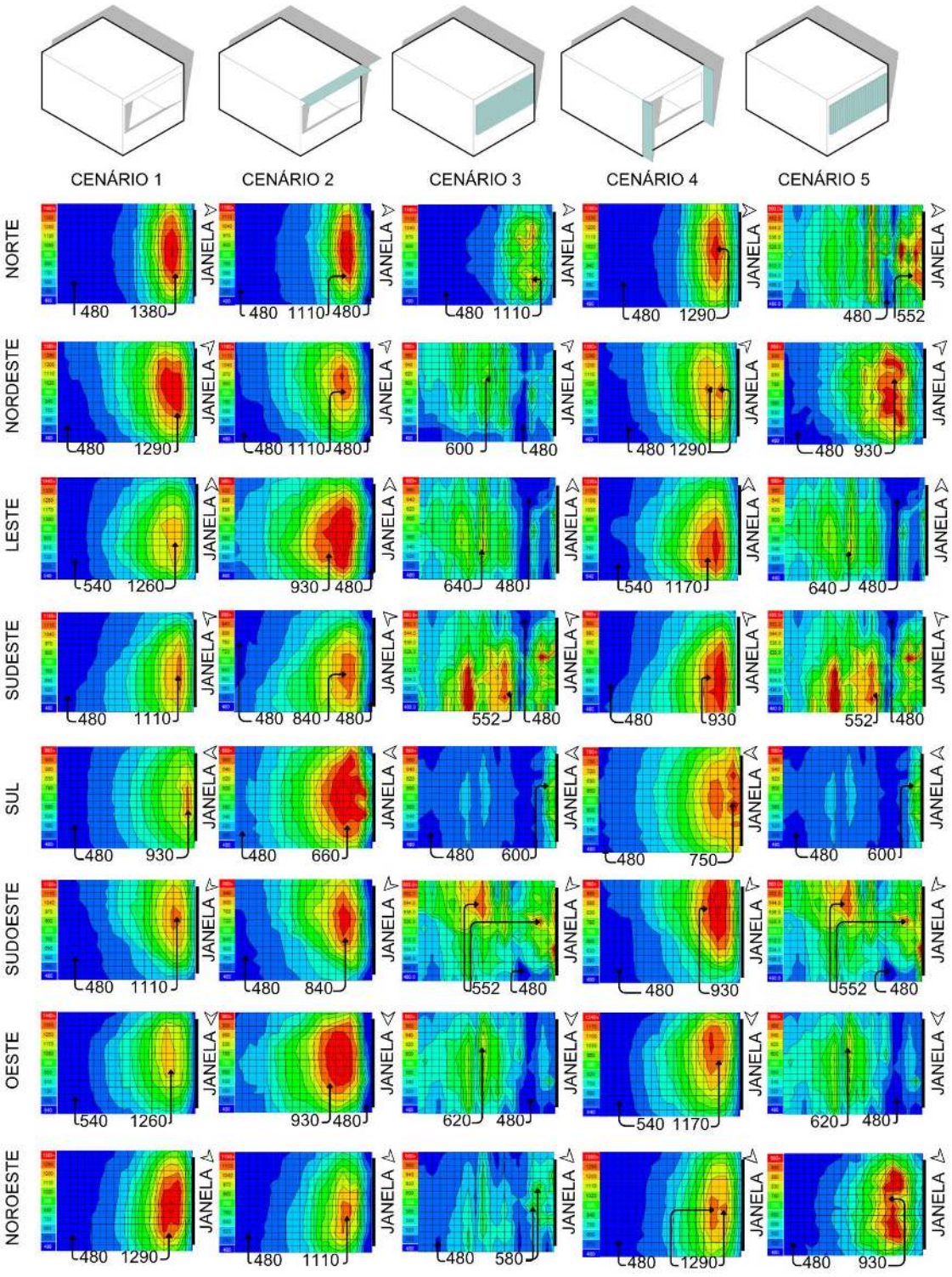

Figura 2: Resultados obtidos na simulação dos cenários para todos os azimutes considerados.
Fonte: os autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos para os intervalos máximos de incidência de radiação na média diária anual. Observando os valores do cenário (1), sem proteção solar, percebe-se que a maior intensidade de radiação incidente na superfície horizontal (piso) ocorre para o azimute Norte (1.380Wh), com área incidente corresponde a 0,45m² do piso. Próximo a este valor estão os

azimutes Leste, Nordeste, Noroeste e Oeste – se mantendo entre 1.300Wh e 1.200Wh, e entre 0,5m² e 0,4m² de área incidente. A menor intensidade de radiação (930Wh) e menor área de incidência (0,05m²) foi observada na orientação Sul, 32% menor em radiação e 88% menor em área incidente em comparação ao azimute Norte.

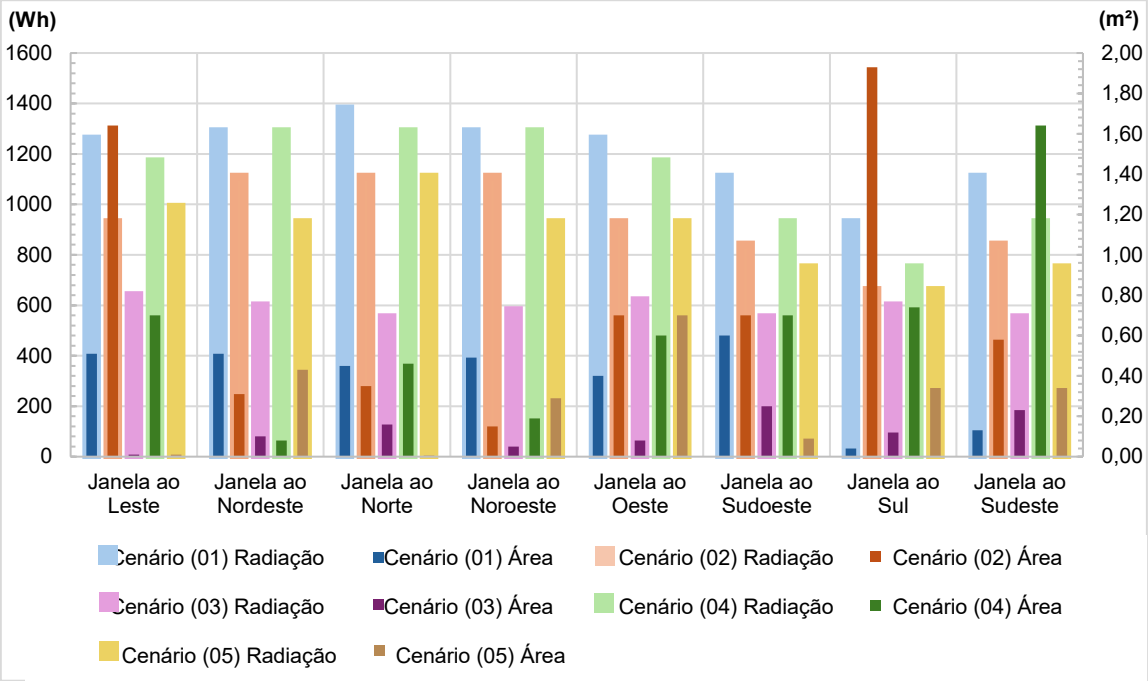

Gráfico 1: Resultados compilados considerando os intervalos de maior radiação solar (média diária anual).
Fonte: os autores (2025).

Quando consideramos as proteções solares adotadas para este estudo, percebe-se que o cenário (2), com proteção alfa/beiral 50cm, possui os melhores resultados quanto a redução dos picos de radiação (Wh) e aumento da área incidente mínima (m²). Ou seja, em tal cenário, a intensidade de radiação foi amenizada e a área de exposição à radiação foi aumentada em comparação ao cenário (1), sem proteção solar. Tomando como exemplo o cenário (2), para o azimute Leste, foi observada um pico de radiação incidente de 930Wh – 26% menor em comparação ao cenário 1 – e com área incidente de 1,6m², mais de 3 vezes a área do cenário 1. Para o azimute Sul a área incidente salta de 0,5m² do cenário (1) para 1,9m² no cenário (2) com radiação incidente 29% menor. Esse desempenho positivo também é observado nos azimutes Oeste, Sudoeste e Sudeste. No compilado de resultados dos intervalos de maior radiação destaca-se que o cenário (3) com proteção alfa/aletas 10cm apresentou as maiores reduções dos picos de radiação solar – em média 50% de redução para todos os azimutes simulados. Ou seja, tal elemento de proteção é o mais eficaz para a redução da radiação incidente no piso – fato que o torna o mais efetivo na redução da carga térmica considerando problemas relacionados ao desconforto por calor.

O Gráfico 2 apresenta os resultados obtidos para os intervalos mínimos de incidência de radiação quanto à média diária anual. O principal objetivo da análise desses resultados foi observar a influência dos elementos de proteção na redução da área dos intervalos mínimos de radiação. Assim, ao se reduzir a mancha de cor correspondente ao intervalo mínimo de radiação aumenta-se, por consequência, a área das demais manchas com intervalos de radiação imediatamente superiores nas regiões mais distantes em relação à janela. Dessa forma, a redução da área correspondente ao intervalo mínimo de radiação significa uma melhor distribuição desta radiação no ambiente, melhorando, desse modo, a salubridade em termos de potencial de eliminação de agentes nocivos à saúde humana.

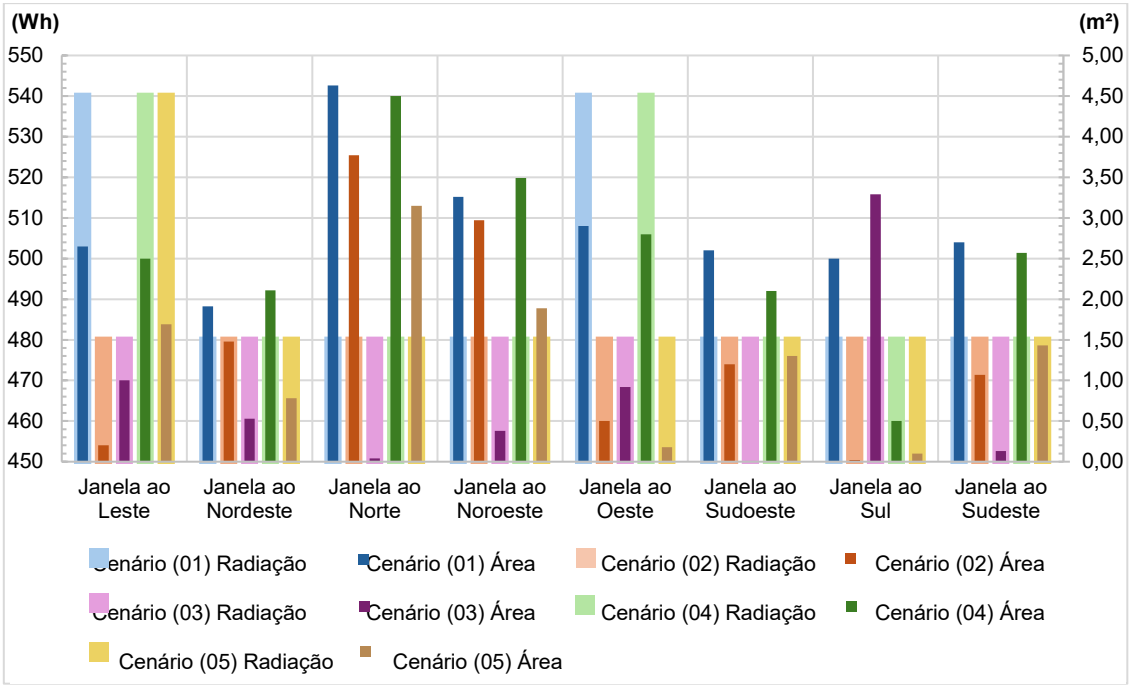

Gráfico 2: Resultados compilados considerando os intervalos de menor radiação solar (média diária anual).
Fonte: os autores (2025).

Com a exceção do azimute Sul, o elemento de sombreamento alfa/aletas 10cm, cenário (3), foi o mais eficaz para a redução da área correspondente aos intervalos mínimos de radiação. Destaca-se, por exemplo, que para o azimute Norte a área do intervalo mínimo do cenário (3) foi 45 vezes menor em comparação ao cenário (1). Na média de todos os azimutes, a área correspondente ao intervalo mínimo da radiação incidente no cenário (3) foi a menor, de “0,79m²”, enquanto no cenário (2) foi de “1,40m²”, no cenário (4) foi de “2,57m²” e no cenário (5) foi de “1,32 m²”.

5. CONCLUSÕES

A estimativa da influência das proteções solares estipuladas para este trabalho aponta para a maior efetividade dos elementos horizontais de sombreamento (alfas) em termos de redução da carga térmica incidente e aumento da área de exposição à radiação solar que, conforme apontado ao longo do trabalho, possuem claros rebatimentos sobre o conforto, eficiência energética e salubridade do espaço construído. Como abordado nos resultados, o cenário (2), modelo com proteção solar horizontal de 50cm, para a grande parte dos azimutes simulados houve uma redução considerável da radiação solar em relação ao cenário sem proteção e aos cenários com proteções verticais. Além disso, tanto para o cenário (2) quanto para o cenário (3), proteção alfa com aletas de 10cm, pode-se perceber o aumento da área de exposição a radiação solar – tanto para os intervalos máximos quanto para os intervalos mínimos de Wh diário médio anual. Dessa forma, para os azimutes Norte, Leste, Oeste, Sudoeste e Sudeste, pode-se concluir que tais elementos de proteção são os mais recomendados para edificações localizadas no Distrito Federal.

Por óbvio, os resultados apresentados neste estudo também podem ser de base para projetistas que desejem considerar o uso de elementos verticais de sombreamento. A depender o azimute da janela ou abertura, estes elementos podem proporcionar, principalmente, o aumento da área de exposição à radiação solar – beneficiando a salubridade. Além disso, este estudo foi limitado aos cenários e azimutes descritos. Como consequente avanço no tema, se faz necessário a simulação de outros recintos típicos, forma e posicionamento de janelas e outras realidades climáticas. Por fim, como possível tema de pesquisa correlato, pode-se buscar a calibração dos resultados obtidos por simulação em modelo de medição in loco em escala reduzida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANI, N.; SABAMEHR, A.; IGLESIAS, L.M. Review on energy efficiency using Ecotect simulation software for residential building sector. **Iranian Journal of Energy & Environment**, v13(3). n.284-294, 2022.

BRAGA, D. **Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília**: aspectos de conforto térmico. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2005.

BRIGHTMAN, H., MOSS, N. Sick Building Syndrome Studies and the Compilation of Normative and Comparative Values. In.: **Indoor Air Quality Handbook**. McGraw-Hill Education, edição do Kindle. SPENGLER, J.; McCARTHY, J.; SAMET, J (eds) 2001.

COBERLLA, O. e YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. Ed. Revan, 2° edição, 2009.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual do conforto térmico**. Studio Nobel, 8° edição, 2016.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Elsivier, 1°edição, 1969.

GUENTHER, R. e VITTORI, G. **Sustainable healthcare architecture.** Wiley, 2° edição, 2013.

HOCKBERGER P. E. The Discovery of the damaging effect of sunlight on bacteria. **Journal of Photochemistry and Photobiology B**: Biology. Chicago: v. 58, n. 2-3, 2 out. 2000, p. 185-191.

HOLICK, M. F. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**. Boston: v. 80, n. 6, dec. 2004, p. 1678S-1688S.

LEI Nº 6.138, DE 26 DE ABRIL DE 2018. Brasília, 26 de abril de 2018. Institui o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal – COE.

MALKAWI, A. e AUGENBROE, G. **Advanced building simulation**. Routledge, 1°edição, 2004.

MARSH, A. e AL-ORAIER, F. A comparative analysis using multiple thermal analysis tools. **International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment**", Santotini, Grécia, 2005.

MELENDO, J.M.; GARCÍA, S.; FLORES, P.; LAINEZ, J.C. Solar radiation in architectural projects as a key design factor the well-being of persons with Alzheimer's disease. **Buildings,** vol. 12, pg. 603, 2022.

NICOL, F. e HUMPHREYS, M. **Adaptive thermal comfort:** principles and practice. Routledge, 1° edição, 2012.

OLGYAY, V.; OLGYAY, A. **Design with climate:** bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press, 1°edição, 1963.

RATNESAR-SHUMATE, S.; WILLIAMS, G.; GREEN, B.; KRAUSE, M.; HOLLAND, B.; WOOD, S.; BOHANNON, J.. Simulated sunlight rapidly inactivates SARS-CoV-2 on surfaces. **The Journal of Infectious Diseases.** Maryland: v. 222, n. 2, p. 214-222, 2020.

STUCKLER, D. e SIEGEL, K. **Sick societies:** responding to the global challenge of chronic disease. Oxford University Press, 2011.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta pesquisa teve apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), a qual agradecemos.