ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO ARBÓREO NA CARGA TÉRMICA DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (1); Renata Mansuelo Alves Domingos (2); João Carlos Machado Sanches (3)

(1) Doutoranda em Arquitetura, Arquiteta e Urbanista, emeliguarda@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade, 88040-900, Florianópolis-SC

(2) Doutoranda em Engenharia Civil, Engenheira Civil, mansuelo.alves@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade, 88040-900, Florianópolis-SC

(3) Doutor em Urbanismo, Arquiteto e Urbanista, joao.sanches@unemat.br, Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Barra do Bugres, 78390-000, Barra do Bugres-MT

RESUMO

Garantir um abastecimento energético seguro e sustentável é um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta no século XXI, pois o crescimento populacional e o aumento dos padrões de vida pressionam as matrizes existentes. Diante disso, a sombra das árvores pode reduzir a demanda energética dos edifícios, principalmente para o uso do sistema de refrigeração artificial. Neste sentindo, este estudo tem como objetivo investigar a influência do sombreamento arbóreo na carga térmica de uma Habitação de Interesse Social, localizada no Centro-Oeste brasileiro. Os procedimentos metodológicos consistem em: i) contextualização climática da região de estudo; ii) caracterização do objeto de estudo e dos cenários de investigação; e iii) análise da carga térmica conforme metodologia de balanço térmico por meio de simulação computacional. Os resultados mostram que todas as fachadas apresentaram melhor desempenho na distância de 1,5m, com menores valores de carga térmica, e à medida que se afasta da habitação, esses valores aumentam gradativamente. O deslocamento do sombreamento arbóreo apresentou influências diferentes para cada fachada, sendo favorável no eixo positivo (3+) para as fachadas leste e oeste, e centralizado (0) para as fachadas norte e sul. Neste contexto, observa-se que o uso da estratégia da vegetação possui um caráter bioclimático passivo e contribui para a redução do consumo energético das edificações, principalmente as de baixa renda.

Palavras-chave: balanço térmico, vegetação, habitações, simulação computacional.

ABSTRACT

Ensuring a secure and sustainable energy supply is one of the greatest challenges that society faces in the 21st century, as population growth and increased living standards put pressure on existing energy sources. In this regard, tree shading can reduce the energy demand of buildings, especially for artificial cooling systems. Therefore, this study aims to investigate the influence of tree shading on the thermal load of a Social Interest Housing located in the Brazilian Midwest. The methodological procedures consist of: i) climate contextualization of the study region; ii) characterization of the object of study and investigation scenarios; and iii) analysis of the thermal load using the thermal balance methodology through computational simulation. The results demonstrate that all facades perform better at a distance of 1.5m, with lower thermal load values, and as one moves away from the building, these values gradually increase. The displacement of tree shading has different influences on each facade, being favorable in the positive axis (3+) for the east and west facades, and centered (0) for the north and south facades. In this context, it is observed that the use of vegetation as a strategy has a passive bioclimatic character and contributes to the reduction of energy consumption in buildings, especially those with low income.

Keywords: thermal balance, vegetation, housing, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

Ter um abastecimento energético seguro e sustentável é um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta no século XXI, pois o crescimento populacional e o aumento dos padrões de vida pressionam as matrizes existentes. Dessa forma, o aumento da demanda por energia, quando não é pensado de forma limpa e sustentável, contribuirá para os efeitos negativos na qualidade de vida e no ambiente. Em outras palavras, a maneira como os recursos energéticos são escolhidos e distribuídos afetará as condições econômicas e climáticas no futuro.

As edificações residenciais representam mais de 40% do uso de energia e até um terço das emissões globais de gases do efeito estufa em países em desenvolvimento e desenvolvidos (IEA, 2012). No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2020), o setor residencial consome cerca de 25% do total de energia consumida no país. Assim, os edifícios apresentam um potencial significativo para a redução de CO_2 por meio da redução do consumo energético para resfriamento e/ou aquecimento. Com o aumento das temperaturas devido aos impactos do aquecimento global, principalmente em áreas com clima tropical como o Brasil (GUARDA et al., 2020), a demanda por refrigeração artificial aumenta, resultando em um aumento no consumo de energia em todo o país. Além disso, a presença de edifícios altos e a impermeabilização do solo nas áreas urbanas ampliam a quantidade de radiação solar refletida e armazenada nos chamados "cânions urbanos", o que influencia o consumo de energia dos edifícios.

Diante disso, a sombra das árvores pode reduzir a demanda energética dos edifícios, principalmente no uso do sistema de refrigeração artificial, uma vez que reduz o impacto da radiação solar nas paredes e nos telhados. Aminipouri et al. (2019) demonstraram que o plantio de árvores nas ruas pode reduzir a temperatura média radiante em até 1,3°C, mostrando assim o potencial de mitigar as mudanças climáticas de forma local.

Neste contexto, uma das medidas é o aumento de espaços verdes urbanos nas cidades, o qual tem sido amplamente discutido e aceito pelos planejadores como forma de mitigar principalmente os efeitos das ilhas de calor urbano e, consequentemente, contribuir para a redução do consumo energético dos edifícios (ABOELATA e SODOUDI, 2020; MARIANI e PANGALLO, 2005; YUMINO et al., 2015). Callejas et al., (2010) destacam que o sombreamento proporcionado pela arborização é um importante instrumento para atenuar a temperatura do ar, a umidade do ar e a sensação térmica, principalmente em pátios abertos. Dessa forma, as árvores podem ser grandes aliados na regulação do clima e no alcance do conforto térmico no ambiente urbano (SABRIN et al., 2021).

Conforme Balogun, Morakinyo e Adegun (2014), a vegetação tem um efeito direto na redução do consumo energético e, consequentemente, na redução das emissões dos gases de efeito estufa, devido à absorção de carbono no processo da fotossíntese. Os autores destacam que, principalmente as árvores, interceptam a radiação solar antes que ela aqueça as superfícies verticais dos edifícios. Calcetano e Martineeli (2016) relatam que as árvores podem reduzir a carga de resfriamento no verão, seja de forma direta ou indiretamente. Desta forma, as árvores têm um potencial capaz de reduzir a temperatura do ar, melhorar a qualidade do ar e reduzir o consumo energético das edificações

Ichinose, Lei e Lin (2017) estudaram cinco municípios localizados em regiões quentes e frias da China, e analisaram os efeitos do sombreamento de árvores em residências com o objetivo de investigar sua influência no consumo de energia. Os resultados mostraram reduções na demanda energética para resfriamento entre 10% e 20%, enquanto a demanda para aquecimento apresentou um aumento de 20%. Balogun, Morakinyo e Adegun (2014) estudaram o efeito do sombreamento de árvores na temperatura interna e a demanda energética para resfriamento em dois edifícios na Nigéria. Os autores conseguiram economizar até 1500kWh por mês, resultando em uma economia de energia de quase 40% nos meses mais expressivos. Hsieh et al., (2018) analisaram quatro cenários em Nanjing, China, que incluíram: sem sombreamento, caso real, com maior sombreamento e com maior transpiração. Os autores demonstraram que, em comparação com o modelo sem sombreamento, o modelo do caso real obteve uma redução de energia de 10,3%, enquanto o modelo com maior sombreamento apresentou uma redução de 12,4%. Tsoka, Leduc e Rodler (2021) concentraram-se no impacto que as áreas verdes urbanas e observaram que o efeito de sombreamento de árvores densas pode levar a uma economia de energia dos edifícios de 54%.

Neste sentindo, o Brasil é um país com alta incidência de radiação. Além disso, ainda há uma falta de estudos sobre a influência que as árvores exercem no consumo energético das edificações residenciais, principalmente na região central do país. Portanto, é importante investir em edificações visando melhorar a qualidade do meio ambiente e a qualidade de vida dos usuários. Além disso, é fundamental beneficiar famílias de baixa renda com preços acessíveis de energia elétrica. Nesse contexto, o uso de árvores pode funcionar como uma ótima intervenção, uma vez que apresenta baixo custo e atua como uma medida reguladora do microclima.

2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo investigar a influência do sombreamento proporcionado por árvores na carga térmica de uma Habitação de Interesse Social, localizada no Centro-Oeste do Brasil.

3. MÉTODO

3.1. Contextualização climática da região de estudo

Para a investigar a influência do sombreamento na demanda de carga térmica, buscou-se compreender o perfil climático da região de estudo por meio de referências históricas do clima. O estado de Mato Grosso está localizado no Centro-Oeste Brasileiro e apresenta cerca de 90% do seu território representado pelo tipo climático Aw (tropical com chuvas de verão) e aproximadamente 10% pelo tipo climático Am (tropical com clima de monção). Essa classificação climática é comum em várias regiões ao redor do mundo, localizadas entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, sendo o segundo tipo de clima mais prevalente, abrangendo 11,5% da área terrestre (PEEL, FINLAYSON e MCMAHON, 2007) (Figura 1). Para este estudo, escolheu-se a cidade de Cuiabá, situada no Centro-Sul de Mato Grosso, com uma população média de 590.118 habitantes (IBGE, 2017). Conforme Callejas (2012), o município está localizado em três importantes ecossistemas brasileiros: o Pantanal ao Sul, a floresta Amazônica ao Norte e o Cerrado em seu entorno. Desta maneira, torna-se importante a investigação dos impactos deste tipo climático nas edificações.



Figura 1: Tipo climático Aw no mundo. Fonte: Adaptado de Peel, Finlayson e McMahon (2007) e Jorge et al. (2018)

3.2. Caracterização do objeto de estudo

Tomou-se como objeto de estudo uma Habitação de Interesse Social unifamiliar (HIS), amplamente construída nas diferentes regiões brasileiras. Jorge et al. (2018) destacam que essas habitações são distribuídas sem considerar a região de implantação e suas características climáticas, resultando em edifícios com baixo nível de adequação climática e habitabilidade. A habitação em estudo está localizada na Zona Bioclimática 7 (ABNT, 2005), na cidade de Cuiabá-MT, e possui uma área total de 39,18m², sendo constituída pelos ambientes Sala/Cozinha (17,44m²), Quarto 1 (7,78m²), Quarto 2 (7,57m²) e Banheiro (1,75m²). A cobertura possui duas águas com beirais de 30 cm. O pé-direito é de 3,00m (Figura 2).

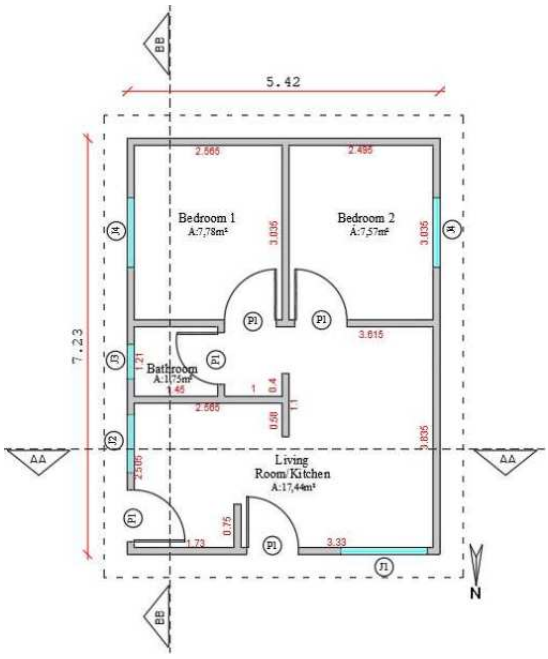
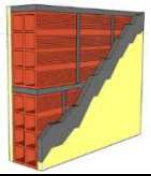
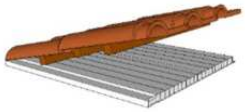




Figura 2: Planta baixa da HIS (à esquerda) e Imagem da HIS (à direita)

O sistema construtivo vertical (paredes internas e externas) é em alvenaria comum e o sistema construtivo horizontal (cobertura) em telha cerâmica e forro de Policloreto de Vinila (PVC). Para determinação das propriedades termofísicas dos materiais construtivos, foi utilizada a norma brasileira NBR 15.220 (ABNT, 2005), expressas em Absortância (α), Resistência Térmica (R), Transmitância e Térmica (U) (Tabela 1). A resistência térmica da câmara de ar é de 0,21 m²K/W, apresentando alta emissividade e espessura superior a 5cm.

Tabela 1: Propriedades termofísicas do sistema construtivo da HIS. Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

HIS	Composição	Espessura (cm)	α	R (m²K/W)	U (W/m²K)	CT (J/m²K)
Paredes 	Argamassa externa	2.50	0.30	0.299	3.344	164.61
	Tijolo cerâmico	9.00	0.85			
	Argamassa interna	2.50	0.30			
Cobertura 	Telha cerâmica	1.00	0.85	1.064	0.939	41.92
	Forro de PVC	1.00	0.30			

As esquadrias dos quartos e sala são do tipo veneziana, metálicas e compostas por vidro de correr, contendo quatro folhas (duas fixas e duas móveis). Já as esquadrias da cozinha são tipo basculante, com dimensões de 1,50 x 1,00m (Sala), de 1,20 x 1,00m (Quarto 1 e 2) e de 1,00 x 1,00m (Cozinha). As portas externas são feitas de chapas metálicas, enquanto as portas internas são de madeira.

3.3. Simulação computacional e cenários de investigação

Optou-se pela utilização do software EnergyPlus (versão 8.7) desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). Esse software possibilita a inserção de arquivos climáticos, geometria da edificação, inserção das propriedades termofísicas dos materiais construtivos, schedules de ventilação natural e/ou artificial, ocupação, cargas de equipamentos, iluminação, e outros parâmetros. O EnergyPlus é validado pela ASHRAE Standard 140 (2004).

Para a modelagem da geometria, utilizou-se o plugin Open Studio, no qual todos os ambientes destinados a permanência prolongada foram definidos como zonas térmicas, incluindo o ático. Os beirais foram representados no modelo por meio de superfícies, a fim de caracterizar o sombreamento das paredes externas.

Os padrões de ocupação e ganhos internos foram baseados no Regulamento Técnico para a Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações (INMETRO, 2012), que especifica os perfis de ocupação, assim como o uso da iluminação e equipamentos para edifícios. Portanto, foram consideradas duas pessoas por dormitório e quatro pessoas na sala, com uma taxa metabólica de 45W/m² para os quartos com atividades de dormindo/descansando, e de 60W/m² para sala com atividades de sentado/assistindo TV.

A densidade de potência instalada recomendada para iluminação é de 5,0 W/m² para dormitórios e de 6,0W/m² para sala (INMETRO, 2012). As cargas internas dos equipamentos devem ser modeladas apenas para a sala, considerando um período de 24 horas e uma potência de 1,5 W/m² (INMETRO, 2012). Por fim, os padrões de iluminação e ocupação foram considerados para os ambientes de permanência prolongada, levando em conta os dias de semana e finais de semana (Tabela 2).

Tabela 2: Padrões de ocupação e iluminação para dias de semana e finais de semana (INMETRO, 2012)

PEI	Dormitórios		Sala/Cozinha	
	Dia de Semana	Finais de Semana	Dia de Semana	Finais de Semana
Ocupação	21h às 08h (ocupação de 11horas)	21h às 10h (ocupação de 13horas)	14h às 21h (ocupação de 7horas)	11h às 21h (ocupação de 10horas)
Iluminação	21h às 22h	21h às 22h	17h às 21h	11h às 12h e das 17h às 21h

As simulações computacionais foram realizadas considerando dois cenários de habitações: um com sombreamento arbóreo e outro sem sombreamento. Esses cenários foram analisados comparativamente para as fachadas Norte (0°), Sul (180°), Leste (90°) e Oeste (270°), levando em consideração as seguintes condições de operação e uso:

i) **Cenário 1 (sem sombreamento):** Edificação na condição Condicionada Artificialmente (*input: Zone Ideal Load*), considerando o ano todo (8.760 horas), com pessoas, equipamentos e iluminação. O

objetivo foi obter a carga térmica para resfriamento em kWh, utilizando a metodologia de Melo e Lamberts (2008);

ii) **Cenário 2 (com vegetação):** Edificação na condição Condicionada Artificialmente (*input: Zone Ideal Load*), considerando o ano todo (8.760 horas), com pessoas, equipamentos e iluminação. O objetivo foi obter a carga térmica para resfriamento em kWh, utilizando a metodologia de Melo e Lamberts (2008), porém com a adição de árvores de grande porte em cada fachada separadamente.

A investigação do cenário 2 envolveu o distanciamento da vegetação arbórea da habitação em 1,5m, 3,0m e 4,5m. Além disso, também foi investigado o deslocamento da vegetação arbórea ao longo dos eixos, considerando a árvores centralizada (eixo_0), a árvore deslocada 3,0m para direita (eixo_3-) e a árvore deslocada 3,0 para esquerda (eixo_3+). Portanto, tanto o distanciamento quanto o deslocamento foram analisados para as quatro fachadas da habitação, com o objetivo de investigar a influência do sombreamento arbóreo, principalmente seu impacto no consumo energético em relação ao distanciamento e deslocamento (Figura 3).

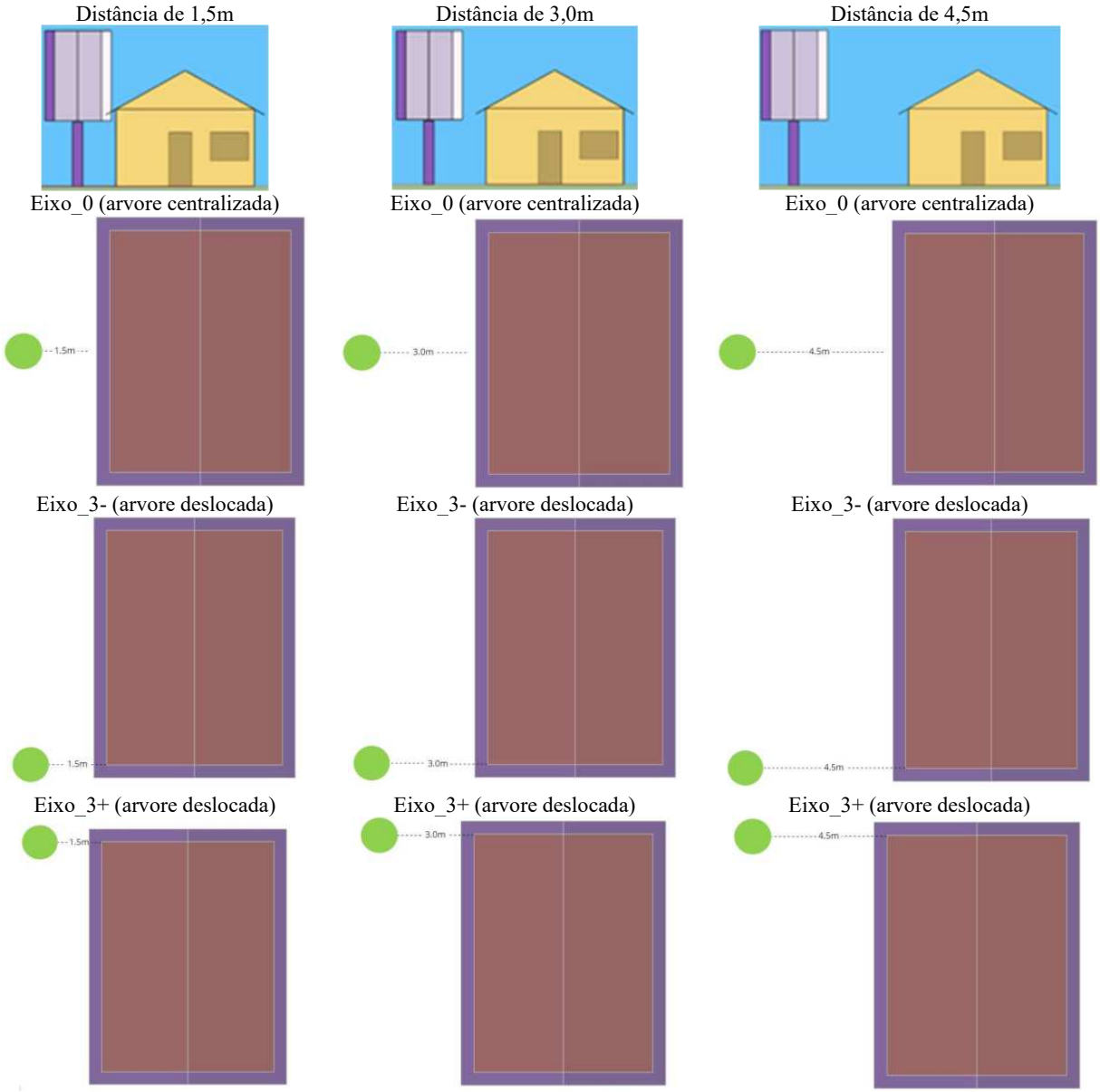


Figura 3: Esquema do distanciamento e deslocamento da árvore em relação a edificação

3.4. Análise da carga térmica conforme metodologia de balanço térmico

A carga térmica é definida como a quantidade de calor do ar que deve ser removida ou adicionada para manter condições adequadas de conforto térmico. Essas cargas são resultado de ganhos de calor provenientes de fontes internas, como iluminação, pessoas, equipamentos, condicionamento artificial (HVAC), ventilação e infiltrações, além de fontes externas, como transferência de calor através da envoltória (ASHRAE, 2021).

Pedersen et al. (1997) apresentaram a metodologia de balanço térmico, que calcula a carga térmica por meio de quatro processos: balanço de energia na superfície externa, condução de calor no interior da parede, balanço de energia na superfície interna e balanço de energia para o ar interno. Dessa forma, o balanço térmico é influenciado pela magnitude da carga interna e pelas trocas de calor através dos fechamentos horizontais e verticais. O software EnergyPlus permite quantificar a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente de permanência prolongada, baseando-se no comportamento térmico e energético das edificações no clima em que estão inseridas (MELO e LAMBERTS, 2008).

Nesta pesquisa, utilizou-se o sistema de condicionamento de ar ideal, por meio da modelagem do *Input: HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem* do software EnergyPlus. Os valores do *Output: Zone Ideal Loads Zone Total Colling Energy* (em J) foram utilizados para quantificar a carga térmica total de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada (em kWh). Esses valores levaram em consideração iluminação, equipamentos, infiltração e energia necessária para o condicionamento artificial (HVAC), com o termostato ajustado para a região, considerando uma temperatura de aquecimento de 22,54°C e uma temperatura de resfriamento de 29,26°C. Os resultados obtidos no Output foram quantificados em kWh/mês para cada fachada e cenário de análise.

4. RESULTADOS

A demanda de carga térmica das duas tipologias nas quatro orientações de fachadas foi quantificada somando-se as cargas térmicas de cada ambiente de permanência prolongada das tipologias. Foram consideradas a carga térmica total (iluminação, pessoas, equipamentos, infiltração e condicionamento artificial) para cada mês e o ano todo. Vale ressaltar que foram realizadas 36 simulações de distanciamento e deslocamento, conforme previsto nos cenários 1 e 2, sendo analisadas separadamente para cada fachada.

O cenário sem sombreamento (cenário 1), foram observados os maiores valores de carga térmica, com uma média mensal de 367,4kWh. O mês de outubro registrou o maior consumo, com 545,7kWh, enquanto o mês de julho apresentou os menores valores, com 154,5kWh. No cenário com sombreamento arbóreo (cenário 2), observou-se um comportamento semelhante ao cenário 1, com os meses de outubro e julho apresentando os maiores e menores valores de consumo energético, respectivamente. Assim, é possível fazer uma comparação entre os deslocamentos e distanciamentos em relação ao cenário 1.

Na fachada leste, os menores valores anuais de carga térmica foram obtidos no eixo E_1.5_3+ (335 kWh), enquanto os maiores valores foram registrados no eixo E_4.5_3- (360 kWh), apresentando uma diferença de 7% entre os eixos. Destaca-se que o eixo E_1.5_3+ apresenta uma diferença de 8% em relação ao cenário sem sombreamento para o mesmo mês (Figura 4). Em relação ao distanciamento e deslocamento, em valores mensais, verifica-se que a proximidade do sombreamento arbóreo da habitação e o deslocamento positivo (E_1.5_3+) apresentam diferenças de 10% em relação ao cenário sem sombreamento, e conforme se afasta da habitação, essa diferença reduz gradualmente para 8% e 6% nas distâncias e deslocamentos de E_3.0_3+ e E_4.5_3+, respectivamente. Considerando o deslocamento negativo (3-), observa-se que as diferenças são menores, em torno de 3%. No deslocamento zero (centralizada), o comportamento foi intermediário, ou seja, as diferenças foram em torno de 5% em relação ao cenário sem sombreamento.

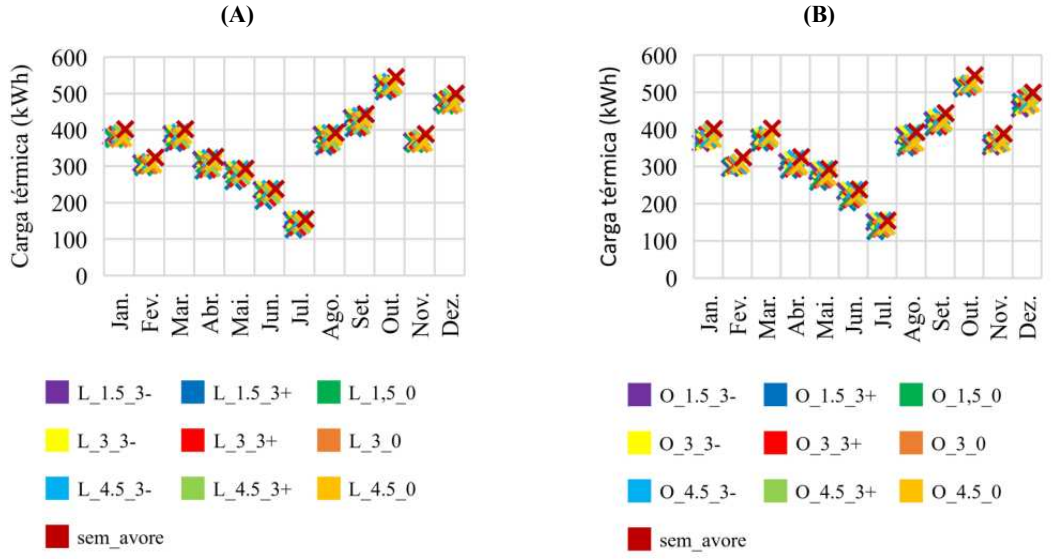


Figura 4: Carga térmica das fachadas leste e oeste

Na fachada oeste, os eixos W_1.5_3+ e W_4.5_3- apresentaram os menores e maiores valores de carga térmica, sendo 335kWh e 345kWh, respectivamente, com uma diferença de 5% entre os cenários. Essa fachada apresentou um comportamento semelhante à fachada leste em relação ao distanciamento e deslocamento. Portanto, observa-se que o distanciamento de 1.5m e o deslocamento positivo (3+) apresentam uma diferença de 10%, enquanto para mesma distância e com deslocamento negativo (3-), a diferença foi de 5% em relação ao cenário sem sombreamento (Figura 4).

A fachada norte apresentou um comportamento semelhante à fachada leste. O eixo N_1.5_0 apresentou os menores valores mensais de carga térmica, com 548kWh, enquanto os eixos N_4.5_3-, N_4.5_0 e N_4.5_3+ obtiveram os maiores valores, com 365.kWh, apresentando diferenças de 5% entre os eixos (Figura 5). Ao analisar o distanciamento e deslocamento, observa-se que a proximidade do sombreamento arbóreo da habitação e o eixo centralizado (N_1.5_0) apresentam diferenças de 7% em relação ao cenário sem sombreamento. Nos deslocamentos de 3.0m e 4.5m e eixo centralizado, observou-se uma redução de 3% e 1%, respectivamente, em relação ao cenário sem sombreamento.

Este mesmo comportamento é verificado nos deslocamentos positivos (3+) e negativos (3-). Por fim, a fachada sul apresentou os menores valores anuais nos eixos S_1.5_3-, S_1.5_0, S_1.5_3+, com 363kWh, e o maior valor mensal de carga térmica no eixo S_4.5_3-, com 366kWh (Figura 5). Em relação ao distanciamento e deslocamento, em valores mensais, observa-se que em todos os eixos analisados a diferença em relação ao cenário sem sombreamento foi de 1%. Isso se deve à latitude e longitude da região de implantação da habitação, que é 15° 35’ Sul, 56° 5’ Oeste, tornando as fachadas oeste e leste mais significativas em termos de redução da carga térmica no cenário com sombreamento arbóreo, enquanto as fachadas norte e sul apresentam menores reduções de consumo nesse cenário.

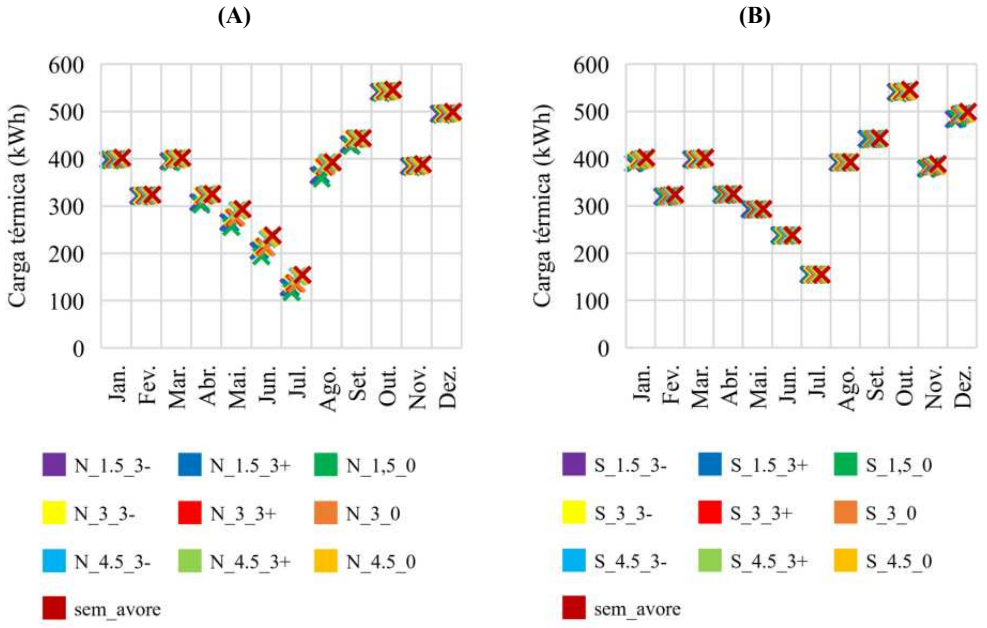


Figura 5: Carga térmica das fachadas norte e sul

Na investigação das médias anuais, observa-se que o cenário sem sombreamento apresenta maiores valores de carga térmica por resfriamento, totalizando 4.409kWh, seguido pelas fachadas sul e norte, com valores em torno de 4.300kWh para ambas (Figura 6). Nas fachadas leste e oeste, os eixos 1.5_3-, 3_3- e 4.5_3- apresentaram pior desempenho em termos de carga térmica por resfriamento, com valores anuais de 4.264kWh, de 4.293kWh, de 4.320kWh para a fachada leste, e de 4.154kWh, de 4.202kWh e de 4.252kWh para a fachada oeste, respectivamente. Por outro lado, os eixos 1.5_3+, 1.5_0 e 3_3+ apresentaram melhor desempenho em carga térmica, com valores anuais de 4.022kWh, 4.138kWh e 4.097kWh para fachada leste, e 4.022kWh, 4.075kWh e 4.093kWh para a fachada oeste, respectivamente.

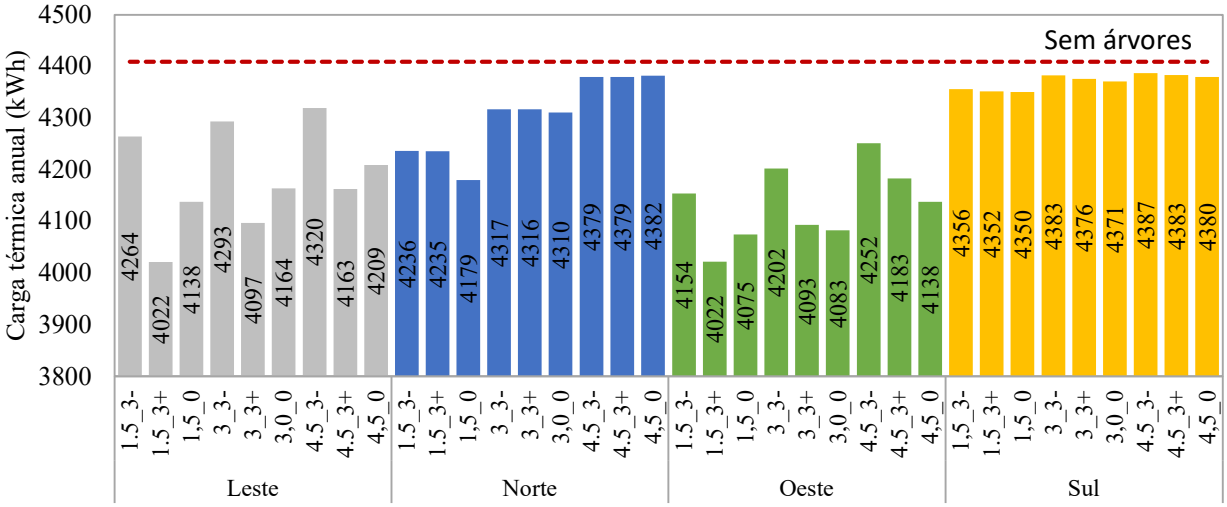


Figura 6: Carga térmica anual das fachadas analiadas

Observa-se que o deslocamento negativo (3-) resultou em maiores valores de carga térmica. Isso ocorre devido ao fato de que, ao se deslocar o sombreamento arbóreo no sentido de menor dimensão da habitação, sua influência será menor, resultando em maiores valores de carga térmica. Isso acontece porque o sombreamento se projetar em uma área menor da envoltória. Por outro lado, no deslocamento positivo (3+) e centralizado (0), a projeção do sombreamento arbóreo na envoltória será maior, resultando em menores valores de carga térmica.

Nas fachadas norte e sul, a influência do sombreamento foi menor em comparação com as fachadas leste e oeste. Nessas fachadas, o distanciamento foi mais significativo em relação ao deslocamento. Portanto, a distância de 1.5m e 4.5m apresentou menores e maiores valores de carga térmica, respectivamente. Comparando com o cenário sem sombreamento arbóreo, essas fachadas apresentaram diferenças de aproximadamente 4% para a fachada norte e de 1% para a fachada sul.

5. CONCLUSÕES

Em relação ao distanciamento, todas as fachadas apresentaram um melhor desempenho na distância de 1,5m, com valores menores de carga térmica. À medida que se afastam da habitação, esses valores aumentam gradativamente. O deslocamento do sombreamento arbóreo teve influências diferentes para cada fachada. Nas fachadas leste e o oeste, os deslocamentos favoráveis ocorrem no eixo positivo (3+), enquanto nas fachadas norte e sul ocorrem no eixo centralizado (0).

Dessa forma, os melhores casos ocorreram nas fachadas leste e oeste, na distância de 1,5m e eixo 3+, resultando em uma diferença de 10% em relação ao cenário sem árvores. Nas fachadas norte e sul, os melhores casos foram com distanciamento de 1,5m e eixo 0 e 3+, respectivamente, com uma diferença de 6% em relação ao cenário sem arborização. No entanto, os piores casos também ocorreram nas fachadas norte e sul, com distanciamento de 4,5m e eixo 3-, os quais não apresentaram diferença em relação ao cenário sem arborização.

Neste contexto, observa-se que a proximidade das árvores nas envoltórias das edificações resulta em melhores condições internas e reduz a demanda de carga térmica. Além disso, o uso da estratégia da vegetação possui um caráter bioclimático passivo e contribui para a redução das emissões de dióxido de carbono, sendo um potencial para a mitigação das mudanças climáticas. Também é uma alternativa eficiente para a redução do consumo energético das edificações, principalmente as de baixa renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220**. 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**. 2013.

ABOELATA, A.; SODOUDI, S. **Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo**. Build. Environ., V. 168, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106490

AMINIPOURI, M.; RAYNE, D.; LINDBERG, S.; THORSSON, A. J.; KNUDBY, K.; ZICKFELD, K.; MIDDEL, A.; KRAYENHOFF, E. S. **Urban tree planting to maintain outdoor thermal comfort under climate change: The case of Vancouver's local climate zones**. Build. Environ., V. 158, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.022

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING. **Standard 55**. 2013.

BALOGUN, A. A.; MORAKINYO, T. E.; ADEGUN, O. B. **Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings**. Energy Build., V.88, 2014. DOI: ttps://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Balanço energético anual nacional, ano base 2017. 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 17 abr. 2023.

BODACH, S.; HAMHABER, J. **Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil**. Energy Policy, V.38, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.009

CALLEJAS, I. J. A. **Avaliação Temporal Do Balanço De Cidade De Cuiabá-Mt Cidade De Cuiabá-MT**. Doutorado (tese). Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.; CAMPOS, A. C. S. **Estudo do sombreamento arbóreo, atenuação da radiação solar e microclima dos pátios escolares: elementos para se pensar a sustentabilidade urbana**. IV Encontro Latino-Americano Sobre Edif. e Comunidades Sustentáveis, Vitória, 2011.

DALBEM, R.; GRALA DA CUNHA, E.; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A.; OLIVEIRA, R.; SILVA, A. C. S. B. **Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept**. Energy, V.167, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.053

DOMINGOS, R. M A.; PEREIRA, F. O R. **Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and photovoltaic generation in houses of social interest in Brazil**. Energy Build, V.243, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111013

FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Déficit Habitacional no Brasil. 2018. Disponível em: ttps://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/Publicacoes/capacitacao/publicacoes/deficit-habitacionalBrasil_2015.pdf. Acesso em: 17 abr. 2023.

GUARDA, E. L. A; DOMINGOS, R. M A; JORGE, S. H. M.; DURANTE, L. C.; SANCHES, J. C. M.; LEÃO, M.; CALLEJAS, I. J. A. **The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: A case study in the Brazilian Savannah**. Sustain. Cities Soc., V. 52, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101843

HOFFMAN, S.; JORGE, M.; GUARDA, E. L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; BLUMENSCHEIN, R. N. ANDRADE, K. R. **Climate Change Impact on Energy consumption and Thermal performance in low-income houses in Brazilian Savanna**. 2018.

HSIEH, C. M.; LI, J. J.; ZHANG, L.; SCHWEGLER, B. **Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use**. Energy Build., V.159, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.045

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Cidades. 2017. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br. Acesso em: 17 abr. 2023.

ICHINOSE, T.; LEI, L.; LIN, Y. **Impacts of shading effect from nearby buildings on heating and cooling energy consumption in hot summer and cold winter zone of China**. Energy Build., V.136, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.064

IEA – INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook. 2012. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2012. Acesso em: 17 abr. 2023.

IEA – INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook. 2018. Disponível em: www.iea.org/weo. Acesso em: 17 abr. 2023.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R)**. 2012.

JENSEN, C. L.; GOGGINS, G.; ROPKE, I.; FAHY, F. **Achieving sustainability transitions in residential energy use across Europe: The importance of problem framings**. Energy Policy, V.133, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110927

MARIANI, L.; PANGALLO, G. S. **Approccio quantitativo all'analisi degli effetti urbani sul clima quantitative approach to the analysis of the urban effects on climate**. 2005.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **O método do balanço térmico através de simulação computacional no programa EnergyPlus**. 2008. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.brtelefones. Acesso em: 17 abr. 2023.

PEDERSON, C. O.; FISHER, D. E; LIESEN, R. J. **Development of a heat balance procedure for calculating cooling loads**. 1997.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L; McMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrol. Earth Syst. Sci., V.11, 2007. DOI: https://doi.org/10.5194/HESS-11-1633-2007

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. **A review on buildings energy consumption information**. Energy Build, V.40, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007

SABRIN, S.; KARIMI, M; NAZARI, R.; PRATT, J.; BRYK, J. **Effects of Different Urban-Vegetation Morphology on the Canopy-level Thermal Comfort and the Cooling Benefits of Shade Trees: Case-study in Philadelphia**. Sustain. Cities Soc., V.66, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102684

SIMPSON, J. R.; McPHERSON, E. G. **Potential of tree shade for reducing residential energy use in California**. J. Arboric., V.136, 1996. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/61736. Acesso em: 17 abr de 2023

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Metodologia e Climatologia Florestal**. Curitiba-PR, 2015

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. **Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures**. Energy Build, V.158, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.003

TSOKA, S.; LEDUC, T.; RODLER, A. **Assessing the effects of urban street trees on building cooling energy needs: The role of foliage density and planting pattern**. Sustain. Cities Soc., V.65, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102633

TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; GONÇALVES SOARES, J. C. **Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones**. Build. Environ, V.133, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.038

YUMINIO, S.; UCHIDA, T.; SASAKI, K.; KOBAYASHI, H.; MOCHIDA, A. **Total assessment for various environmentally conscious techniques from three perspectives: Mitigation of global warming, mitigation of UHIs, and adaptation to urban warming**. Sustain. Cities Soc., V. 19, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.010