Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical

Green roof implemented in a building with courtyard: a strategy for thermal cooling in tropical climate

Gabriela Kehrwald Nunes
Universidade Federal de Mato Grosso | Cuiabá | Brasil | gabriela.kehrwald@outlook.com
Ivan Julio Apolonio Callejas
Universidade Federal de Mato Grosso | Cuiabá | Brasil | ivancallejas1973@gmail.com
Luciane Cleonice Durante
Universidade Federal de Mato Grosso | Cuiabá | Brasil | luciane.durante@hotmail.com
Karyna de Andrade Carvalho Rosseti
Universidade Federal de Mato Grosso | Cuiabá | Brasil | karyna.rosseti@gmail.com

Resumo

O telhado vegetado é uma estratégia recomendada para melhorar o conforto ambiental nos espaços abertos, pelo potencial de resfriamento evaporativo decorrente do processo de evapotranspiração. Objetiva-se investigar o impacto que a implantação de telhado vegetado em uma edificação com presença de pátios pode trazer para a ambiência térmica do edifício. A pesquisa se desenvolve por meio de simulação computacional, utilizando o programa ENVI-met. Analisou-se o impacto da aplicação da estratégia por meio de mapas das diferenças das variáveis ambientais considerando cenários com a presença do telhado e outro sem sua implantação. No horário crítico das 14h, constatou-se potencial de redução da temperatura do ar em até -0,20ºC, elevação da umidade relativa do ar em até +1% e redução da temperatura média radiante em até -0,1ºC, afetando não só o ambiente do pátio, mas também os ambientes internos adjacentes, como corredores e salas, evidenciando-se ainda o carreamento dos efeitos de arrefecimento para fora da edificação. O telhado vegetado se configura como estratégia complementar para aperfeiçoar as condições ambientais de edifícios com presença de pátio focada no desenvolvimento sustentável das edificações.

Palavras-chaves: Telhado vegetado. Conforto térmico. Pátio. Resfriamento evaporativo.

Abstract

Green roof is a recommended strategy to improve environmental comfort in open spaces, due to the potential for evaporative cooling resulting from the evapotranspiration process. The objective of this research is to investigate the impact that the implementation of a green roof in a building with courtyards can have on the thermal environment of the building. The research is carried out through computer simulation, using the Envi-met program. The impact of applying the strategy was analyzed through maps of the differences in microclimatic variables considering a scenario with the presence of the green roof and another without its implementation. At the critical time of 2pm, it was observed a potential for reducing air temperature by up to -0.20ºC, increasing relative air humidity by up to +1% and reducing the average radiant temperature by up to -0.1ºC, affecting not only the courtyard environment, but also adjacent internal environments, such as corridors and rooms, also showing the carrying of cooling effects to outside the building. The green roof is a

Como citar:
NUNES, G. K. et. al. Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

complementary strategy to improve the environmental conditions of buildings with courtyards focused on the sustainable development of buildings.

Keywords: Green roof. Thermal comfort. Courtyard. Evaporative cooling.

INTRODUÇÃO

Pátios centrais constituem-se como uma zona de transição descoberta, cercada pelos cômodos da edificação, com papel no controle da radiação solar incidente, fornecimento de iluminação natural, ventilação e sombreamento [1,2]. Permitem interações entre ambiente exterior, ambiente construído e seus ocupantes, proporcionando qualidade de vida por meio de uma proposta arquitetônica sustentável [3,4]. São caracterizados como uma estratégia passiva, com potencial para proporcionar condições microclimáticas mais amenas e, ainda, mitigar as cargas térmicas dos ambientes circundantes, devido à disposição e proporção de volumes cheios e vazios que criam no espaço construído [5]. Nesse sentido, os ambientes dos pátios são afetados por seus atributos morfológicos, orientação solar e aberturas, assim como pelas características estéticas (cores, texturas e materiais) e elementos naturais (vegetação, flores, água e outros). Todos estes fatores são considerados elementos-chave para promover modificações no seu microclima [3].

Em relação à implantação de vegetação no interior dos pátios, além de beneficiar a composição paisagística, interfere na temperatura e umidade do ar, em virtude dos processos de evapotranspiração [6]. Também alteração na quantidade de radiação solar absorvida pelas superfícies, reduzindo suas temperaturas superficiais [7]. Nessa perspectiva, apesar de serem implantados no sistema de cobertura, os telhados vegetados, além de beneficiar o microclima externo, em razão do efeito de evapotranspiração, também induzem melhoria no conforto térmico, em razão do maior isolamento térmico proporcionado por suas camadas, ajudando as edificações a se tornarem termicamente e energeticamente mais eficientes. São capazes de melhor o desempenho térmico da edificação através da redução das temperaturas do ar no interior do edifício. Além disso, a implementação de telhados verdes pode levar à redução do consumo energético anual e de pico, apesar do custo inicial ser superior ao de telhados convencionais [8]. Vários estudos investigam o comportamento dos telhados vegetados na perspectiva da redução do escoamento das águas pluviais, elevação na quantidade de áreas verdes nas cidades, sua aplicação para agricultura urbana, ou, até mesmo, como estratégia para mitigar a intensidade de ilhas de calor urbanas [9]. A presente pesquisa volta seu enfoque para as áreas internas das edificações, mais precisamente aquelas que utilizam o pátio como estratégia arquitetônica, na perspectiva de identificar o impacto em termos de extensividade e intensidade de arrefecimento térmico que o telhado vegetado pode proporcionar aos ambientes, uma vez que, na literatura científica, essa temática é ainda pouco explorada.

Assim, essa pesquisa tem por objetivo avaliar os benefícios microclimáticos que a implantação de telhado vegetado no sistema de cobertura de uma edificação com pátio, localizada em clima tropical, pode trazer para a ambiência do pátio e para regiões circundantes, por meio de simulação

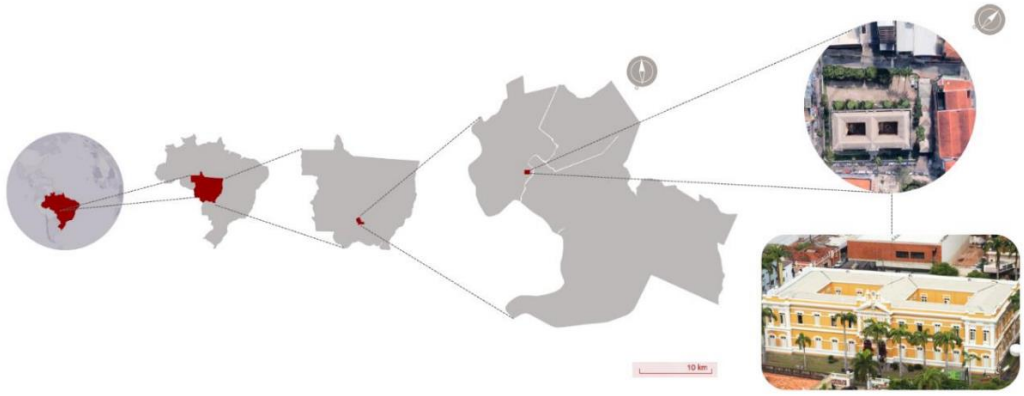
computacional, através do *software* ENVI-met. A pesquisa contribui para aprofundamento dos estudos sobre o tema, bem como fornece subsídios para estudos futuros que pretendam incorporar uma relação entre a arquitetura e o clima local.

METODOLOGIA

LOCAL DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO OBJETO DE ESTUDO

A pesquisa se desenvolve na cidade de Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso, na região Centro-Oeste do Brasil (Figura 1). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a região é categorizada como Aw, ou seja, como Tropical Semiúmido ou Tropical de Savana. O clima é marcado por duas estações predominantes: uma quente-úmida, de outubro a maio, e outra quente-seca, de junho a setembro [10].

Figura 1: Localização de Cuiabá e do edifício do Palácio da Instrução



Fonte: os autores.

O Palácio da Instrução foi construído em estilo neoclássico em 1913, abrigou uma escola cuiabana na primeira metade do século XX e, atualmente, abriga a sede do Museu de História Natural e Antropologia e Biblioteca Pública. A edificação possui dois pavimentos com dois pátios retangulares centrais simétricos orientados ao longo do eixo NE-SO (60°) com 13,7 m de largura (L), 10 m de comprimento (W) e 11,8 m de altura (H), com fator de forma máximo (AR=H/W) igual a 1,18 (Figura2). As esquadrias (portas e janelas) do edifício são de madeira, com duas folhas que abrir na condição de 90° (fator de ventilação 90%).

Para a realização das medições e simulações, selecionou-se o pátio direito, o qual possui uma fonte ao centro e arbustos e grama no perímetro, cobrindo aproximadamente 13% da área do pátio (Figura 2b). A partir da característica arquitetônica do edifício, optou-se por implantar o telhado vegetado no sistema de cobertura em apenas um dos lados do edifício, adjacente ao pátio da direita, uma vez que esse recurso possibilita uma análise visual dos impactos da implantação dessa estratégia bioclimática, uma vez que apenas as regiões adjacentes ao pátio da direita permanecerão sob influência da estratégia.

Figura 2: Características dos pátios internos da edificação



Fonte: os autores.

COLETA DE DADOS MICROCLIMÁTICOS

Para calibrar o modelo computacional, instalou-se estações meteorológicas (marca OnsetComp modelos Hobo U-30 e U-13) para monitorar as variáveis ambientais externas e internas ao edifício, com vistas a gerar um banco de dados microclimáticos (Figura 3). Uma delas foi posicionada na cobertura da edificação (Est. 01), a 14 metros de altura, registrando temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (Va) e radiação solar (Rg). A outra, no pátio direito (Est. 02), a 1,4 metros de altura, registrando temperatura e umidade relativa do ar, bem como temperatura de globo. Os dados foram coletados a cada 5 minutos durante os anos de 2019 e 2020. Nessa pesquisa, foram usados os dados temperatura e umidade do ar do dia 11 e 12/07/2019 para simular o modelo no programa ENVI-met.

Figura 3: Posicionamento das estações de monitoramento 01 (cobertura) e 02 (pátio direito)



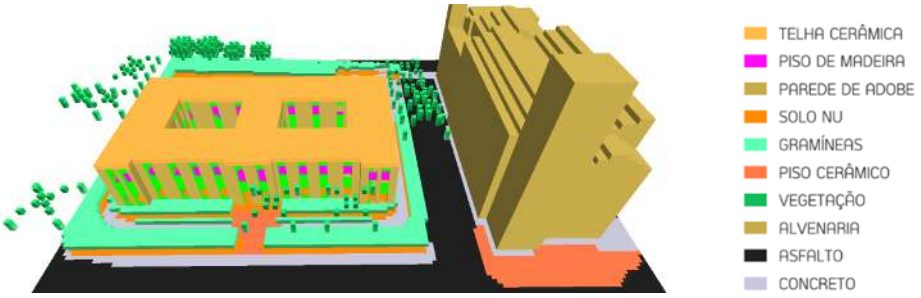
Fonte: os autores.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO LOCAL DA PESQUISA

Para a modelagem do local de estudo e posterior simulação (Figura 4), identificou-se a tipologia da edificação pesquisada a partir de planta baixa e de seu entorno com auxílio de fotografias e imagens de satélite, categorizou os elementos da área a ser modelada por meio de levantamento de campo,

definindo as propriedades termofísicas dos materiais construtivos e dos revestimentos existentes. Paralelamente, conduziu-se um levantamento das condições topográficas do terreno e da vegetação áreas de interesse. Ao final, os elementos constituintes foram categorizados em: revestimentos (solo nu, asfalto e concreto), vegetação (forração, arbustos e arbórea), sistema de cobertura (telhas cerâmicas e forro de madeira) e sistema de vedação vertical (parede de adobe de 0,80m de espessura). Para a modelagem do modelo com uso da estratégia estudada, considerou-se o modelo base com a adição de vegetação no telhado, descrito posteriormente.

Figura 4: Modelagem 3D da edificação no software ENVI-met



Fonte: os autores.

As propriedades físicas e térmicas dos materiais identificados na área da pesquisa, principalmente aquelas dos sistemas de vedações verticais e de cobertura das edificações foram obtidas conforme NBR 15.220 [11]. Para os demais materiais, como solo, revestimento asfáltico e concreto, utilizou-se os valores padrões do banco de dados do *software* ENVI-met. Para captar a influência microclimática do entorno no edifício, considerou-se grid de 142x103x55 (x,y,z), com 5 grids de alinhamento (nesting grids). Estabeleceu-se grid unitário de 1x1x1m para a representação tridimensional mais próxima possível da escala e proporção das edificações e das superfícies existentes no exterior e interior do edifício. Os grids e as dimensões dos grids unitários foram definidos a partir de pesquisas previamente realizadas na área [12].

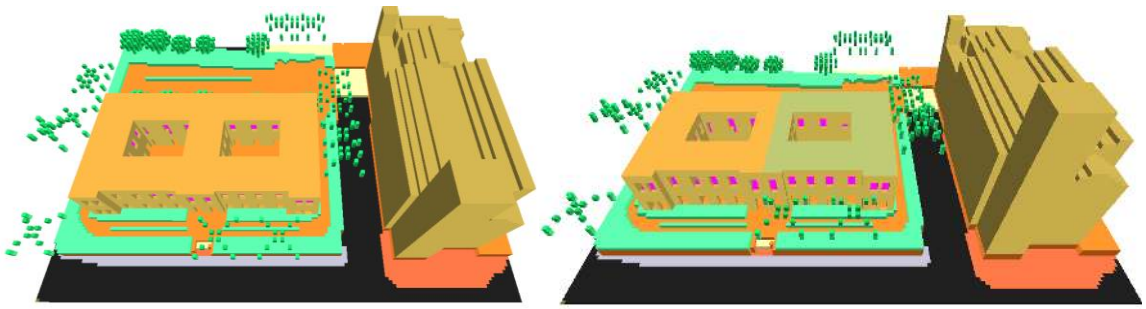
Optou-se na modelagem por manter todas as aberturas da edificação (portas e janelas) na condição de abertas em 90°, visando disponibilizar ventilação cruzada, uma vez que o enfoque é identificar a extensividade do impacto da estratégia para além do pátio, junto aos corredores e salas adjacentes.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO TELHADO VEGETADO

As vegetações dentro e fora do edifício foram consideradas para fins de calibração do modelo real da edificação (Figura 5a). Já para o cenário hipotético, considerou-se a implantação de um telhado vegetado do tipo extensivo [13] na envoltória do sistema de cobertura que margeia o pátio direito (Figura 5b), considerando os parâmetros de modelagem padrões disponibilizados pelo *software* ENVI-met, com espessuras e camadas de substrato típicas para o tipo de telhado vegetado utilizado [13], indicadas na Figura 6. O solo considerado nas camadas de base é o “solo franco”, designação dada a aqueles cuja textura e composição se aproxima do solo ideal para efeitos de cultivo. Com vistas a isolar e impermeabilizar as camadas de solo da superfície superior do telhado, o programa

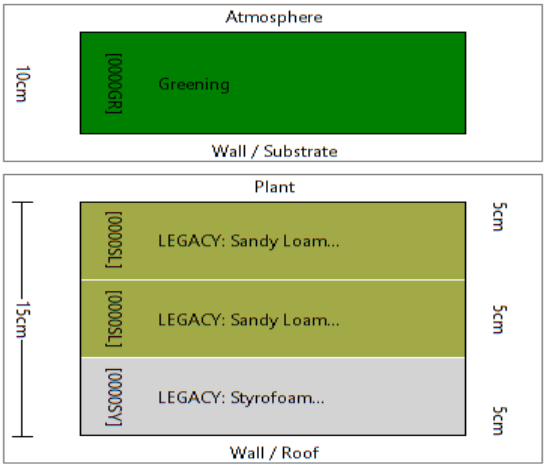
considera ainda a presença de uma camada de isopor (EPS). A espécie grama foi ajustada para a simulação para considerar um tipo encontrado na região - grama-batatais (*Paspalum notatum*) - cujo valor do índice de área foliar está indicado (Tabela 1). Essa composição foi escolhida para viabilizar sua aplicação em edificações pré-existentes, uma vez que telhados verdes do tipo extensivos são mais leves em termos físicos, adicionando pouco peso à estrutura que o suporta [13].

Figura 5: Modelagem dos cenários atual (à esquerda sem telhado vegetado) e hipotético (à direita com telhado vegetado) do edifício



Fonte: os autores.

Figura 6: Especificação das camadas de vegetação (verde floresta), substrato (verde oliva) e impermeabilizante (cinza) para o telhado vegetado simulado



Fonte: os autores.

Tabela 1: Parâmetros de modelagem da espécie grama-batatais *(Paspalum notatum)*

Parâmetros	Valor
IAF (índice de área foliar)	$3{,}0 m^2/m^2$
DAF (Densidade de área foliar, homogêneo na altura)	$0{,}30 m^2/m^3$
Altura da grama	0,10 m

Fonte: os autores.

Como citar:
NUNES, G. K. et. al. Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DO MODELO

Para a execução da simulação, utilizou-se o ENVI-guide, incorporando as abas: "Configurações Gerais" e "Forçamento Completo". Na primeira, foram estabelecidas as configurações iniciais para o período de simulação e as condições atmosféricas observadas no dia anterior à data desejada para a simulação (Tabela 2). Os dias selecionados (11 a 12/11/2019) apresentam condição sinóptica padrão para o período pesquisado (céu aberto, sem interferências de nebulosidade). Na aba seguinte, são introduzidos dados meteorológicos de temperatura e da umidade do ar observados, visando “forçar” os dados simulados a se aproximarem daqueles medidos. Considerou-se as variáveis de temperatura e umidade do ar coletados dentro do pátio a 1,5 metros de altura para conduzir o procedimento de calibração. Estes dados foram comparados com os simulados dentro do pátio, com vistas a validar o procedimento de simulação.

Tabela 1: Parâmetros de entrada para simulação no software ENVI-met

Parâmetros	Palácio da Instrução
Data de início da simulação	11/07/2019
Hora de início	20h00min0s
Duração total	28 horas
Intervalo de Registro	60 min
Velocidade do vento a 10m	1,94m/s
Direção do vento	317º
Rugosidade z0 no ponto de referência	0,1
Temperatura inicial da atmosfera	27,24°C
Umidade específica a 2500m	7,36 g/kg
Umidade relativa a 2m	50%

Fonte: os autores.

Inicialmente, conduziu procedimento de calibração por meio da simulação do modelo existente, condições reais do edifício e do entorno identificadas em campo. Para essa validação, conduziu-se análises estatísticas entre os dados simulados de temperatura e umidade do ar e os observados em campo por meio da derivação do Erro Absoluto Médio (EAM), que calcula a média dos desvios absolutos entre as variáveis simuladas e observadas, e da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), que quantifica o erro quadrático médio entre as variáveis simuladas e observadas, aplicando-se ainda o Índice de Concordância (d), uma medida descritiva que avalia a congruência das variáveis simuladas com as observadas [14]. Quanto menores forem às estatísticas EAM e REQM, mais próximos estão os dados simulados e observados. Já um valor de “d” próximo de 1 indica uma maior concordância entre os dados simulados e observados.

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS PROPORCIONADOS PELA IMPLANTAÇÃO DE TELHADO VEGETADO

Considerado calibrado o modelo computacional, realizou-se simulação e avaliação do modelo hipotético com a implantação do telhado vegetado. Para quantificar os benefícios nas variáveis ambientais de temperatura do ar (Ta), umidade relativa do ar (UR), temperatura radiante média (Trm) e velocidade do ar (va), mapas cromáticos, que expressam diferenças numéricas entre os modelos simulados, foram confeccionados ao nível dos usuários (1,5m de altura). Os horários e

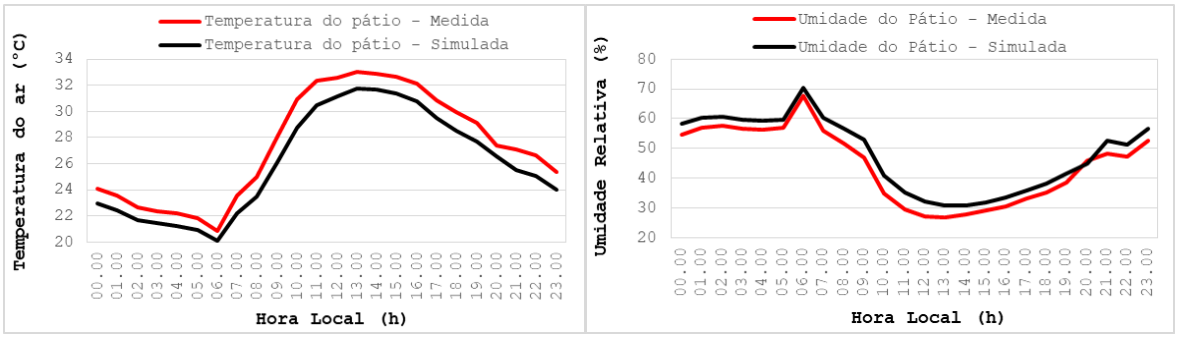
frequências das observações microclimáticas selecionadas para a produção dos mapas (6h, 14h e 20h) seguiram prescrição da Organização Meteorológica Mundial [15]. Esta estratégia permite avaliar de forma quantitativa e qualitativa as diferenças que ocorrem devido à aplicação do telhado no edifício e sua não aplicação, uma vez que ao se realizar as diferenças, o que se traduz no mapa é apenas o impacto proporcionado pela aplicação da estratégia pesquisada. Buscou-se avaliar a influência do telhado vegetado nas condições microclimáticas do pátio e dos ambientes adjacentes internos da edificação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

VALIDAÇÃO DO MODELO E DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O modelo idealizado no ENVI-met, conforme resultados da simulação do modelo real, é capaz de representar adequadamente a variação diária da temperatura e umidade do ar na Estação 02, conforme ilustrado na Figura 7. Apesar da similaridade, a curva da temperatura do ar simulada apresentou valores subestimados, comportamento também observado por Forouzandeh [16], que atribuiu em parte às diferenças devido à incidência de radiação solar nos abrigos que alojam os instrumentos de medição. De forma contrária, a curva da umidade relativa do ar simulada apresentou valores superestimados em relação a curva medida. As diferenças médias entre os dados medidos e simulados para temperatura e umidade do ar são de 1,33°C e 3,67%, respectivamente. As diferenças máximas para temperatura do ar e umidade relativa são, respectivamente, -2,17°C às 10h e 6,09% às 9h.

Figura 7: Curso da temperatura e umidade do ar medidas (vermelho) e simuladas (preto)



Fonte: os autores.

A partir dos dados, realizou-se a análise estatística entre os dados medidos e simulados, onde estimou-se baixos valores para o EAM e REQM e elevado índice de concordância. Assim, as simulações apresentam precisão aceitável na área do pátio, conforme estudos similares [7,12, 17], possibilitando que o modelo possa ser simulado com a implantação do telhado vegetado.

Tabela 2: Indicadores de desempenho de calibração

Variáveis	EAM	REQM	d
Ta (ºC)	1,00	1,37	0,97
UR (%)	0,99	3,85	0,98

Como citar:
NUNES, G. K. et. al. Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Fonte: os autores.

BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DE TELHADO VEGETADO PARA A AMBIÊNCIA DA EDIFICAÇÃO

Ao analisar o comportamento microclimático nos mapas cromáticos do pátio, corredores e salas internas, percebe-se que a implantação do telhado vegetado extensivo afeta as variáveis ambientais de forma distinta (Figura 8). Valores negativos expressam redução, enquanto positivos elevação nas variáveis pesquisadas (Ta, UR, Tmr e va). Analisou-se o recorte da área simulada nas proximidades do edifício, uma vez que o objetivo é identificar os efeitos do telhado vegetado dentro da edificação, apesar de seus efeitos se estenderem para o espaço público lindeiro.

Em relação a variável temperatura do ar, nota-se efeito de arrefecimento evaporativo devido a implantação da estratégia, o qual é capaz de beneficiar tanto o pátio, como corredores e salas adjacentes em todos os horários, apesar de menor intensidade nos horários das 6 e 20h (Figura 8a). O impacto é maior nas salas inferiores direitas e nos corredores (redução de até -0,2°C), com menor intensidade no pátio (até -0,15°C). Apesar de reduzido (-0,05°C), o efeito de resfriamento em decorrência da transpiração é carregado do pátio direito para o esquerdo, principalmente no horário das 14h. É possível visualizar ainda no mapa que o efeito do arrefecimento se estende para além da edificação, influenciando calçadas e via adjacentes, localizadas na região sudeste do edifício. Esse comportamento decorre do fluxo de ar que se estabelece dentro da edificação, uma vez que ela foi modelada com portas e janelas abertas, o que favorece a ventilação cruzada e, consequentemente, o carregamento desse efeito para fora do edifício.

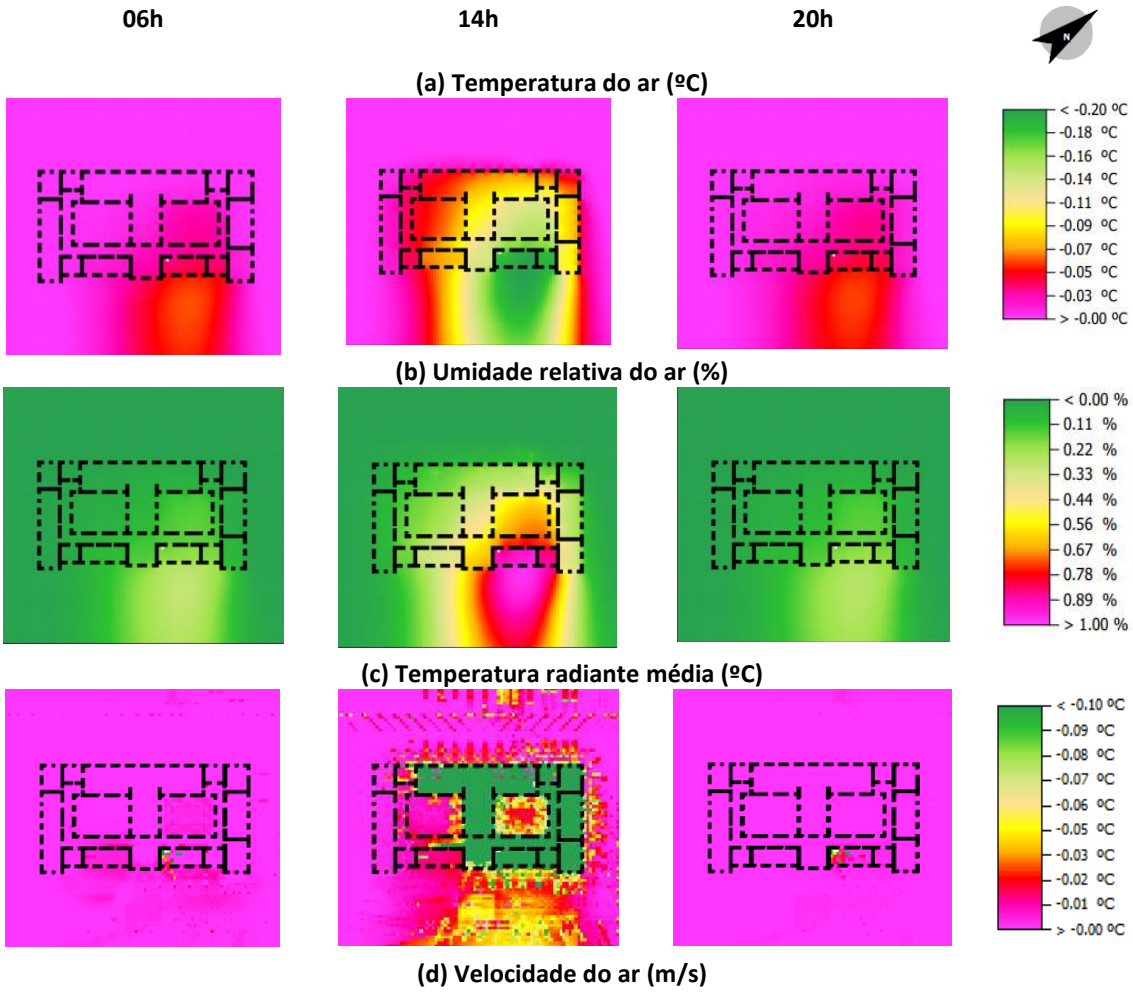
Comportamento similar é observado na umidade relativa do ar, onde a inserção do telhado vegetado beneficia não só pátio, mas também corredores e salas em todos os horários pesquisados, induzindo a um ambiente ligeiramente mais úmido (Figura 8b). As maiores elevações são observadas nas salas inferiores da ala direita e corredores adjacentes (elevação superior a 1%), com o pátio sendo menos afetado pela transpiração das espécies do telhado (elevações inferiores a 0,3%). Assim como ocorre para a temperatura do ar, o efeito de umidificação é carregado para ambos os pátios, principalmente nos horários das 14h, demonstrando-se a importância de se projetar edificações permeáveis, que favorece não só a distribuição da umidade nos espaços interiores e exteriores. Os maiores impactos nessa variável são identificados no horário das 14h.

A temperatura radiante média é menos impactada, observando-se benefícios dentro do pátio e nos corredores, com pouca influência nas salas adjacentes ao pátio (Figura 8c). Os maiores impactos são observados dentro das salas e corredores (redução de até -0,1°C), enquanto no pátio estes são reduzidos (menor que -0,05°C). De maneira semelhante ao que ocorre nas variáveis anteriores descritas, observa-se maior impacto às 14h, não ficando restrita a proximidade do local de implantação do telhado, mas também se estendendo para além da edificação. Porém, o efeito nessa variável é demasiadamente reduzido, quase não sendo observado nos horários das 6 e 20h.

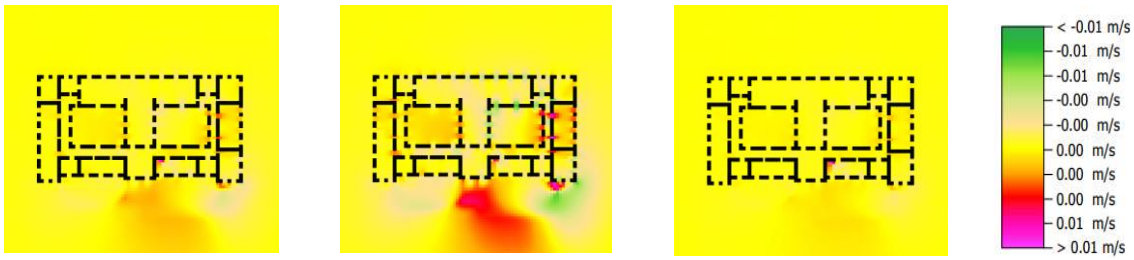
A implantação do telhado vegetado eleva a rugosidade superficial do edifício, influenciando o fluxo de ar, principalmente nas aberturas (Figura 8d). Nas regiões de barlavento, nota-se redução da

velocidade do ar quando este adentra ao edifício e pátio, comportamento presente nas aberturas localizadas na fachada superior externa e no pátio. Por sua vez, nas regiões de sotavento, verifica-se elevação da velocidade, comportamento visualizado nas aberturas da fachada externa inferior direita e nas aberturas adjacentes ao corredor do pátio. Apesar da redução ou elevação na velocidade do ar serem de baixa magnitude (inferior a 0,01m/s), o importante é perceber que as aberturas proporcionam um direcionamento do fluxo de ar, o que espalha o efeito de arrefecimento dentro dos ambientes e proporciona a retirada de calor de dentro da edificação. No presente estudo, as aberturas desempenham importante papel de dissipar o efeito do arrefecimento para além da edificação, o que influencia a ambiência térmica nas calçadas e vias adjacentes, fazendo com que o telhado seja agente amenizador na escala do edifício e também urbana.

Figura 8: Mapas cromáticos com a distribuição das diferenças provocadas pela implantação de telhado vegetado nas variáveis ambientais analisadas



Como citar:
NUNES, G. K. et. al. Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.



Fonte: os autores.

Em termos quantitativos, a incorporação de telhado vegetado proporcionou impacto reduzido nas variáveis ambientais, porém apresenta capacidade de influenciar espacialmente os ambientes adjacentes onde estão inseridos, além daqueles localizados externamente a edificação. Influencia ainda os ambientes localizados ao lado simetricamente oposto da edificação, porém em menor escala, em razão do fluxo da ventilação que se desenvolve no edifício (de Noroeste para Sudeste), que arrastra o ar na direção da porta principal de acesso em virtude das diferenças de pressões que são geradas devido às aberturas. Ressalta-se o efeito amenizador que o telhado vegetado além do edifício, configurando-se assim como uma estratégia de arrefecimento passiva em escala urbana.

CONCLUSÃO

Evidenciou-se que a estratégia de implantação telhado vegetado proporcionou arrefecimento térmico passivo, tornando a região do pátio e ambientes adjacentes mais confortáveis, principalmente durante o período vespertino, que se caracterizam como mais quentes do dia. Além disso, a transpiração das plantas contribui para elevação da umidade do ar, que aliado a um projeto permeável devidamente, favorece a distribuição da umidade para os demais ambientes da edificação. Em razão disso, constatou-se que os benefícios do telhado vegetado não se limitaram a região onde estão implantados, mas se estendem espacialmente para o pátio, corredores e salas adjacentes, assim como possui efeitos sendo carregados para fora da edificação, impactando as variáveis ambientais na escala da cidade. No entanto, os ambientes localizados na ala oposta da edificação, devido ao fluxo de ventilação que se estabelece dentro da edificação, em pouco foram influenciados pelo uso da estratégia no pátio direito. Porém, caso o telhado tivesse sido implementado em toda a extensão do sistema de cobertura, ter-se-ia um efeito que impactaria toda a edificação, bem como calçadas e vias localizadas a sotavento. Buscando beneficiar uma maior quantidade de ambientes, recomenda-se um cauteloso estudo do posicionamento das aberturas com vistas a maximizar a influência do arrefecimento dentro da edificação.

Os resultados mostrados das simulações apontam para a importância da estratégia do pátio, como elemento arquitetônico que auxilia na ventilação dentro do edifício, influenciado os fluxos de ar que se desenvolvem nos ambientes adjacentes ao pátio. Por esse motivo, os benefícios da implantação de telhado vegetado associado à arquitetura dos pátios em regiões de clima tropical atuam como estratégia bioclimática complementares, com potencial de reduzir o nível de desconforto térmico

não só das pessoas que frequentam os ambientes internos da edificação, mas também as áreas externas adjacentes à edificação.

Por fim, recomenda-se que futuros estudos explorem ainda mais os efeitos do telhado vegetado em diferentes contextos urbanos e climáticos, bem como avaliem sua viabilidade em termos de custo, manutenção e implantação em edificações já existentes, visando promover práticas de projeto mais sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Universidade Federal de Mato Grosso/Brasil por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

[1] SOFLAEI, F.; Shokouhian, M.; Shemirani, S. M. M. Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation, dimensions, and proportions**. Frontiers of Architectural Research**, v. 5, n. 2, p. 225-238, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.02.002.

[2] ZAMANI, Z.; Heidari, S.; Hanachi, P., Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 580-595, 2018.

[3] CALLEJAS, I. J. A.; Durante, L. C.; Diz-Mellado, E.; Galán-Marín, C. Thermal Sensation in Courtyards: Potentialities as a Passive Strategy in Tropical Climates. **Sustainability**, 12, 6135, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12156135

[4] DIZ-MELLADO, E.; López-Cabeza, V. P.; Rivera-Gómez, C.; Galán-Marín, C.; RojasFernández, J.; Nikolopoulou, M. Extending the adaptive thermal comfort models for courtyards. **Building and Environment,** v. 203, 108094, 2021.

[5] RIVERA-GÓMEZ, C.; DIZ-MELLADO, E.; GALÁN-MARÍN, C.; LÓPEZ-CABEZA, V. Tempering potential-based evaluation of the courtyard microclimate as a combined function of aspect ratio and outdoor temperature. **Sustainable Cities and Society**, v. 51, 101740, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101740.

[6] LI, Y., SONG, Y. Optimization of Vegetation Arrangement to Improve Microclimate and Thermal Comfort in an Urban Park. **International Review for Spatial Planning and Sustainable Development**, v. 7, n. 1, p. 18-30, 2019.

[7] HASEH, R. H.; KHAKZAND, M.; OJAGHLOU, M. Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan. **Buildings,** n. 8, p. 1-22, 2018.

[8] ROSSETI, K. A. C.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação de telhados vegetados. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium,** 4(1), 55-77, 2013.

[9] MATTOS, C. S. **Desempenho térmico de um telhado verde inserido em região semiárida**. 2015. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2015.

Como citar:
NUNES, G. K. et. al. Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

[10] CALLEJAS, I. J. A.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; DURANTE, L. C.; DE ALMEIDA LOBO, F. Patterns of energy exchange for tropical urban and rural ecosystems located in Brazil central. **Journal of Urban & Environmental Engineering**, v. 13, n. 1, 2019. DOI: https://doi.org/10.4090/juee.2019.v13n1.069079.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, Brasil, p. 1-10, 2005.

[12] SANDRIN, G. M. **Aspersores de água em pátios internos: benefícios para a ambiência térmica dos espaços de transição e internos de um edifício localizado em clima tropical.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2023.

[13] HYDROTEC MEMBRANE CORPORATION. **Garden Roof Planning Guide.** Canadá, 2007. 19 p.

[14] WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Lancaster, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

[15] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO-No. 8**. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Genebra: World Meteorological Organization. 2008.

[16] FOROUZANDEH, A. Numerical modeling validation for the microclimate thermal condition of semi-closed courtyard spaces between buildings. **Sustainable Cities and Society**, 36, p. 327–345, 2018. doi:10.1016/j.scs.2017.07.025.

[17] CALLEJAS, I. J. A; SANTOS, F. A. S.; SILVA, D. T.; DURANTE, L. C; ROSSETI, K. A. C. Espécimes Arbóreos em Pátio Interno: Benefícios Termohigrométicos para a Edificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.

Como citar:
NUNES, G. K. et. al. Telhado vegetado implantado em edificação com pátio: estratégia de arrefecimento térmico para clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.