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

Arranjo espacial de pátios: impactos da verticalização e fragmentação volumétrica no conforto térmico

Spatial arrangement of courtyards: impacts of verticalization and volumetric fragmentation on thermal comfort

Ivan Julio Apolonio Callejas
UFMT | Cuiabá | Brasil | ivancallejas1973@gmail.com
Letícia Mendes do Amarante
UFMT | Cuiabá | Brasil | leticiamendes.arq@outlook.com.br
Gabriela Kehrwald Nunes
UFMT | Cuiabá | Brasil | gabriela.kehrwald@outlook.com
Luciane Cleonice Durante
UFMT | Cuiabá | Brasil | gabriela.kehrwald@outlook.com
Karyna de Andrade Carvalho Rosseti
UFMT | Cuiabá | Brasil | karyna.rosseti@gmail.com

Resumo

A orientação e forma geométrica dos pátios, especialmente a proporção entre altura e comprimento, impactam na radiação solar recebida. Objetiva-se investigar se o arranjo espacial proporcionado pela alteração do gabarito do edifício e pela fragmentação do volume do pátio são fatores que interferem no conforto térmico. A configuração de um pátio localizado em clima tropical foi alterada considerando: a) elevação do gabarito original de 4 para 8 e 12m; e, b) fragmentação de um para dois e quatro volumes. Simulou-se, com o uso do *software* ENVI-met, cenários com o pátio existente e hipotéticos, com diferentes fatores de forma, derivando-se a sensação térmica pelo Índice Térmico Climático Universal. O pátio com gabarito de 12m reduziu a sensação térmica média diária em 0,75°C em relação ao pátio original, enquanto o fragmentado em quatro volumes e 4m de altura, apenas 0,36°C. Ao se variar os dois fatores, o pátio com gabarito de 12m e fragmentado em quatro volumes, a redução foi de 3,5°C. Conclui-se que fatores individuais impactam em menor proporção enquanto os combinados em maior intensidade na sensação térmica, devido ao efeito de compactação, reduzindo os ganhos térmicos no envelope interno. A pesquisa demostra o impacto que o arranjo espacial dos pátios proporciona em sua ambiência térmica interna.

Palavras-chaves: Arrefecimento térmico. Conforto térmico. Insolação. Índice UTCI. Arranjo espacial.

Como citar:
CALLEJAS, I. J. A. et. al. Arranjo espacial de pátios: impactos da verticalização e fragmentação volumétrica no conforto térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20, 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

The orientation and geometric shape of the courtyard, especially the proportion between height and length, impact on the solar radiation received. Our objective is to investigate whether the spatial arrangement provided by the change in the building's height and the volumetric fragmentation of the courtyard are factors that affect thermal comfort. The courtyard configuration located in a tropical climate was changed considering: a) raising the original height from 4 to 8 and 12m; and, b) fragmentation from one to two and four volumes. Simulations using ENVI-met software of scenarios with the existing courtyard and hypothetical ones with different form factors were carried out, deriving thermal sensation by the Universal Thermal Climatic Index (UTCI). The courtyard with an 12m height reduced the average daily thermal sensation by 0.75°C compared to the original courtyard, while the one fragmented into four volumes and 6m high only 0.36°C. When both factors were varied, the courtyard with a 12m height and fragmented into four volumes, the reduction was 3.5°C. We concluded that individual factors had a smaller impact while the combined ones had a greater impact on the thermal sensation due to the compacting effect, reducing thermal gains in the interior envelope. This research demonstrates the impact that the courtyard spatial arrangement provides on its interior thermal ambiance.

Keywords: Thermal cooling. Thermal comfort. Sunlight. UTCI index. Spatial arrangement.

INTRODUÇÃO

Uma das atuais preocupações relacionadas ao meio ambiente são aquelas decorrentes dos impactos dos fenômenos do aquecimento global, sendo a arquitetura uma das formas de contribuir para amenizar esses efeitos climáticos, por meio da avaliação de como as edificações e seus arranjos podem interferir no microclima urbano e no conforto térmico. Nesse sentido, edificações com pátios internos apresentam-se como possível estratégia bioclimática para mitigação térmica em regiões de clima quente, como os desérticos e tropicais [1]. No entanto, verifica-se que a avaliação da eficácia da arquitetura dos pátios em reduzir o desconforto térmico ainda é incipiente nas regiões tropicais [2], principalmente no Brasil.

As interações entre a geometria das edificações e as propriedades da superfície sob condições meteorológicas específicas geram microclimas. Nesse sentido, os ambientes dos pátios são afetados por seus atributos morfológicos (proporções entre sua altura e largura, denominada de fator de forma), pela orientação solar, pelas aberturas existentes em seu perímetro, assim como por suas características estéticas (cores, texturas, materiais e entre outros) e elementos naturais (vegetação, flores, água e outros). Todos estes fatores são considerados elementos-chave para promover modificações em seu microclima [3].

Especificamente em relação aos atributos morfológicos dos pátios relacionados ao fator de forma, verifica-se que esta proporção interfere no sombreamento, alterando a quantidade de radiação solar absorvida pelas superfícies, o que reduz a temperatura superficial, consequentemente impactando na temperatura e umidade do ar no interior do pátio [4]. Portanto, constituem-se em uma estratégia bioclimática, com potencial para proporcionar condições microclimáticas mais amenas e, ainda, mitigar as cargas térmicas do edifício e de suas zonas anexas, devido à disposição e proporção de volumes que criam no ambiente construído [5].

Diante desta perspectiva, este artigo tem por objetivo investigar se o arranjo espacial proporcionado pela alteração do gabarito do edifício e pela fragmentação do volume do pátio são fatores que interferem no conforto térmico dos usuários. O enfoque é quantificar a contribuição do arranjo estrutural na ambiência térmica no interior de um pátio, em nível da escala urbana dos edifícios.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

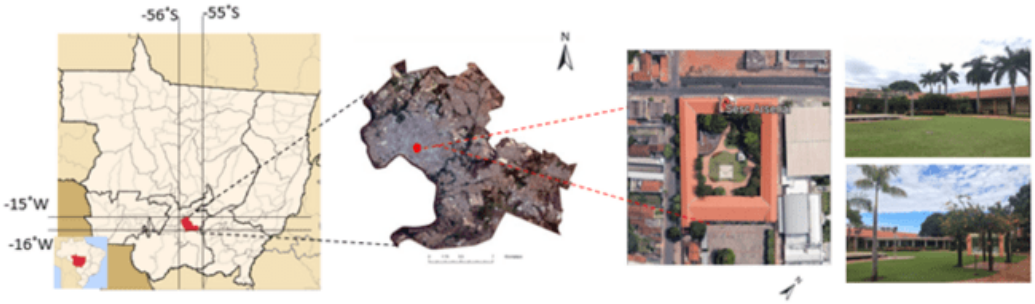
Esta pesquisa se desenvolve no município de Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso, situada na região Centro-Oeste do Brasil, nas coordenadas geográficas 15°35'56" latitude Sul e 56°06'05" longitude Oeste. O clima no município, segundo a classificação Köppen-Geiger, caracteriza-se como clima tropical de savana, com médias de temperatura acima de 18°C em todos os meses do ano, com estações secas prolongadas.

DEFINIÇÃO DO LOCAL DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada no Edifício Arsenal de Guerra, localizado no bairro Centro Sul da cidade de Cuiabá. Esta edificação possui uma conformação retangular, com um pátio central descoberto. O sistema de vedação vertical desta edificação é composto por material vernacular do tipo adobe, com paredes de espessuras de aproximadamente 0,80m. O sistema de cobertura é composto por estrutura de madeira sob telhas cerâmicas, ático e forro em madeira.

Para a análise do comportamento climático e as possíveis interferências da geometria do pátio nas variáveis microclimáticas, levou-se em consideração o entorno imediato do prédio, uma vez que este interfere no seu microclima (Figura 1).

Figura 1: Localização do Edifício do Arsenal de Guerra no perímetro urbano de Cuiabá (à esquerda); entorno (à direita)



Fonte: os autores.

MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E UMIDADE

Foi instalada uma estação meteorológica, na cobertura do edifício, na altura aproximada de 14 metros, com a finalidade de monitorar a temperatura, umidade e velocidade do ar do entorno. No pátio da edificação, instalou-se um datalogger da marca HOBO U-13 a 1,5m de altura da superfície do pátio, com a finalidade de monitorar os dados de temperatura e umidade relativa em seu interior (Figura 2).

Figura 2: Indicação do posicionamento das estações (à esquerda), Est.01 - instalada no nível do telhado (ao centro); Est.01 – instalada no nível do solo no interior do pátio (à direita)



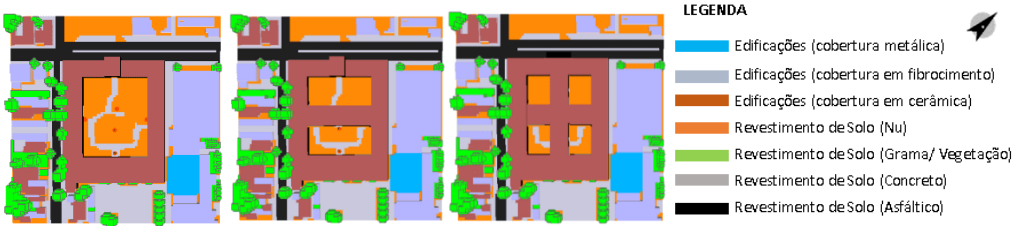
Fonte: os autores.

CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO E SEU ENTORNO

Para o mapeamento de superfícies existentes no entorno, realizou-se levantamento dos sistemas construtivos das edificações, sendo estes classificados em: a) sistema de vedações: alvenaria de blocos cerâmicos revestidos interna e externamente com argamassa (característica presente na maior parte das edificações do entorno) e alvenaria de adobe 80 cm (Edificação do Arsenal de Guerra); b) sistemas de cobertura: telha de fibrocimento, telhas metálicas e telhas cerâmicas. Os revestimentos de solo foram identificados como sendo solo nu, gramíneas, vegetação arbórea, asfalto nas vias e concreto nas calçadas. As propriedades físicas dos materiais foram consultadas na NBR 15220 [6]. A vegetação existente dentro do pátio somente foi considerada no cenário real para calibração do modelo, sendo posteriormente suprimida na avaliação considerando os cenários hipotéticos.

Com vistas a investigar o impacto do arranjo espacial proporcionado pela alteração do gabarito do edifício e pela fragmentação do volume do pátio (volume de vazios/ cheios), a configuração do pátio foi considerada com altura de 4 metros (original) e elevação do gabarito do pátio para 8 metros e 12 metros e, a fragmentação do pátio foi considerada mantendo-o com a configuração original (uma) e dividindo-o em dois e quatro pátios internos, com proporções semelhantes (Figura 3).

Figura 3: Mapeamento das superfícies da região da pesquisa e arranjos espaciais hipotéticos do pátio: pátio original (à esquerda); fragmentado em dois (ao centro); fragmentado em quatro (à direita)



Fonte: os autores.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO AMBIENTE URBANO

Para simulação computacional utilizou-se o programa ENVI-met que, a partir de um modelo tridimensional do ambiente urbano, avalia as condições climáticas do mesmo. Os dados de entrada consistem na forma das edificações, sistemas construtivos de

vedação vertical e horizontal e tipos de superfícies do solo. Os dados de saída das simulações se referem às condições climáticas locais (temperatura, umidade e velocidade do ar, temperatura radiante média, entre outros) [7].

As simulações dos modelos ilustrados na Figura 4 correspondem à área de 196x196x50m (x,y,z), considerando um grid de 98x98x25, o que permite estabelecer um grid unitário de 2x2x2,5m para a representação tridimensional das edificações e das superfícies existentes no exterior e interior do edifício. As simulações foram conduzidas por meio do recurso “Metereology: basic settings” and “Metereology: Simple forcing” do programa, versão 4. Na primeira, são introduzidas as configurações indicadas na Tabela 1 (condições de tempo atmosférico do início das simulações). Já a segunda, permite simular o modelo alterando-se a dinâmica dos valores meteorológicos de fundo para a temperatura e umidade ao nível de 2,0m (grid mais próximo daquele em que se realizou a medição), dentro de um ciclo de 24 horas. O dia selecionado apresenta condição sinóptica padrão para o período pesquisado (céu aberto, sem interferências de nebulosidade).

Figura 4: Receptores do modelo computacional para calibração e avaliação da influência da variação do arranjo espacial do pátio: pátio sem fragmentação (à esquerda); fragmentado em dois (ao centro); fragmentado em quatro (à direta)



Fonte: os autores.

Tabela 1: Parâmetros de entrada no programa ENVI-met

Parâmetros	Valor
Data de inicio da simulação	11/08/2019
Hora de início	20h00min0s
Duração total	48 horas
Intervalo de registro	60 min
Velocidade do vento a 10m	1,94 m/s
Direção do vento	317º
Rugosidade z0 no ponto de referência	0,1
Temperatura inicial da atmosfera	25,20˚C
Umidade específica a 2500m	7,36 g/kg
Umidade relativa a 2m	40%

Fonte: os autores.

MÉTODO PARA VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

A validação dos dados simulados foi realizada mediante a aplicação dos métodos estatísticos do Erro Absoluto Médio (EAM) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), que calculam a média o erro quadrático médio entre as variáveis simuladas e observadas (medidas), respectivamente e, do Índice de Concordância (d), uma medida descritiva que avalia a congruência das variáveis simuladas com as observadas [8].

Destaca-se que quanto menores os valores de EAM e REQM, maior será a proximidade entre os valores simulados e observados, enquanto um valor de d mais próximo de 1 indica uma maior concordância entre os dados simulados e observados. Em razão da diminuta altura entre os dados simulados e medidos, optou-se por não fazer a correção dos últimos pelo procedimento de gradiente térmico vertical.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO ARRANJO ESPACIAL NAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DO PÁTIO

Os dados gerados nas simulações foram utilizados para quantificar o impacto do arranjo espacial proporcionado pela alteração do gabarito do edifício e pela fragmentação do volume do pátio. Posicionaram-se receptores no pátio (cada um representando um quadrante) (Figura 4), visando obter os valores médios das variáveis ambientais, e, assim, representar a distribuição espacial das alterações propostas ao edifício. Estes dados serviram para gerar o ciclo médio diário das variáveis de temperatura, umidade, velocidade do ar e temperatura radiante média. Como para as variáveis de temperatura e umidade do ar os impactos foram discretos, optou-se por não os apresentar na pesquisa. Em todos os cenários, as demais variáveis ambientais foram derivadas para 2,0m de altura, inclusive na apresentação do índice UTCI, descrito na sequência.

Considerou-se o Índice Térmico Climático Universal (UTCI) para captar a modificação na sensação térmica dentro do pátio devido à modificação do arranjo espacial proporcionado pela alteração do gabarito e fragmentação do volume do pátio. Para tanto, considerou-se que os usuários estivessem caminhando no pátio, derivando-se o UTCI por meio do *software* RayMan 1.2, a partir dos dados ambientais de temperatura do ar (Ta), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Va) (ajustado para 10m de altura, conforme recomendação estabelecida para o ambiente de referência [9]), e temperatura radiante média (Trm) [10].

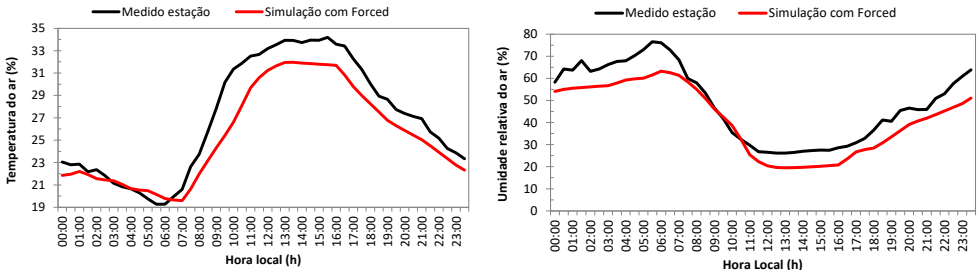
Tomou-se como referência sempre o modelo original para a análise comparativa dos efeitos proporcionados pela alteração do gabarito e fragmentação do edifício, sendo os modelos testados indicados da seguinte forma: Xm_Yfrag, onde X = 4 (original), 8 e 12m (altura do edifício) e Y = 1 (original) ,2 e 4 (fragmentações/ pátios).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CALIBRAÇÃO ENTRE OS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS

Os resultados da calibração dos dados medidos e simulados no modelo do ENVI-met, a 2m do solo, utilizando a ferramenta de “Simple Forcing” são apresentados na Figura 5. Observa-se que o modelo idealizado representou adequadamente a variação diária da temperatura e umidade do ar. Apesar da similaridade, a curva simulada quase sempre apresentou valores inferiores aos medidos aos medidos a 1,5m. Em termos quantitativos, as diferenças médias entre os dados medidos e simulados para as temperatura e umidade do ar são de 1,53°C e 7,04%, respectivamente. Já diferenças máximas são de 4,75°C às 10h e 13% às 6h, ambas no período matutino.

Figura 5: Variação horária dos dados simulados e medidos para a temperatura do ar (à esquerda) e umidade relativa do ar (à direita)



Fonte: os autores.

Pela análise estatística de desempenho do procedimento de calibração (Tabela 2), constatou-se que há um adequado ajuste entre curvas medidas e simuladas, indicando que o modelo idealizado reproduz com alto grau de confiança o ambiente microclimático real, possibilitando a criação de futuras simulações hipotéticas.

Tabela 2: Estatística de desempenho dos modelos simulados e medidos

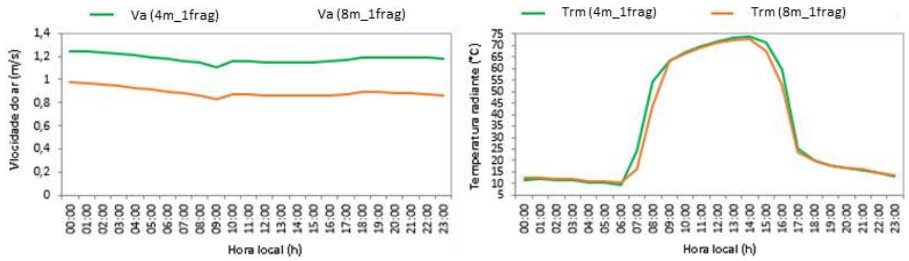
Variáveis	EAM	REQM	d
Temperatura do ar (Ta, °C)	1,65	1,97	0,93
Umidade relativa do ar (UR, %)	7,21	7,98	0,92

Fonte: os autores.

ANÁLISE DO EFEITO DA VERTICALIZAÇÃO E FRAGMENTAÇÃO DO PÁTIO DO EDIFÍCIO

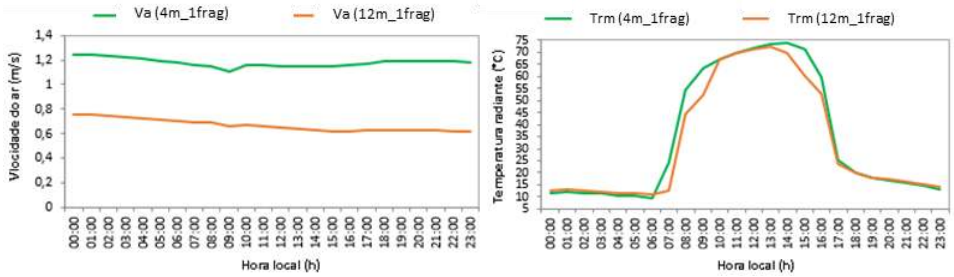
Não foram identificados impactos nas variáveis temperatura e umidade do ar nos cenários hipotéticos simulados. Já as variáveis velocidade do ar e temperatura radiante média tiveram seus valores diminuídos na condição da verticalização do pátio para 8 e 12m de altura (Figuras 6 e 7, à esquerda)). A elevação do gabarito para 8 e 12m implicou em uma redução média da velocidade do ar de 0,2 e 0,4m/s, respectivamente. Esse comportamento decorreu do fato da elevação do gabarito ocasionar uma barreira física à penetração do ar para o interior do pátio. Por outro lado, a elevação do gabarito (elevação da relação H/W) proporcionou áreas mais sombreadas dentro do pátio, o que induziu a uma redução na temperatura radiante de 2,5 e 4,5°C durante o período diurno, respectivamente (Figura 6 e 7, à direita). O efeito da elevação da relação comprimento/largura é uma estratégia para proporcionar sombra no interior dos pátios e tem sido reportada como um fator que influencia na temperatura radiante [10, 11].

Figura 6: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e da temperatura média radiante (à direita) do pátio verticalizado em 4 e 8m, sem fragmentação



Fonte: os autores.

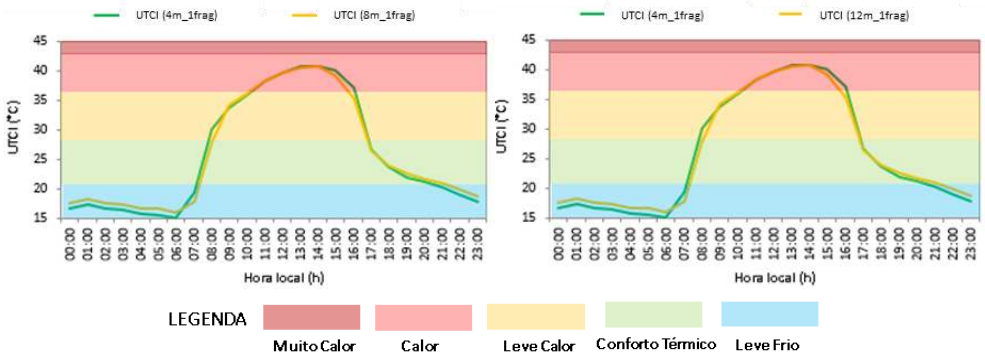
Figura 7: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e da temperatura média radiante (à direita) do pátio verticalizado em 4 e 12m, sem fragmentação



Fonte: os autores.

O impacto da verticalização pouco afetou a sensação térmica no pátio, expressa pelo índice UTCI. A elevação do gabarito para 8 e 12m implicou em uma redução média da sensação térmica diurna de 0,37 e 0,75°C de UTCI, respectivamente, com efeitos mais pronunciados no início da manhã e no final da tarde, devido ao sombreamento proporcionado pelo edifício (Figura 8). No período noturno, os pátios com gabaritos mais elevados permaneceram mais quentes em virtude do aprisionamento de ondas longas em seu interior, o que os mantém mais aquecidos durante esse período.

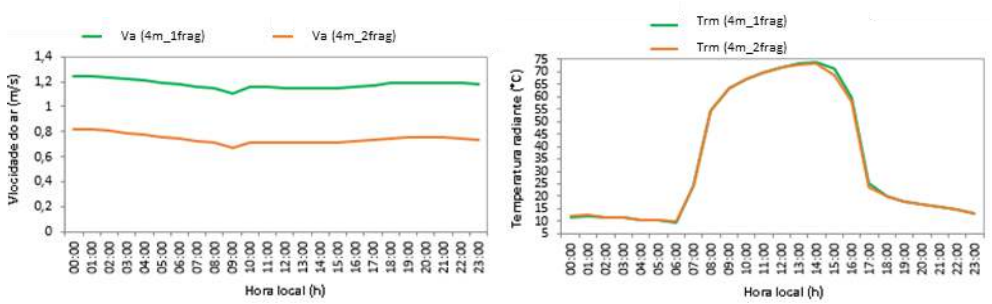
Figura 8: Variação horária da sensação térmica no pátio original (4m) e sem fragmentação em relação aos pátios com altura de 8m (à esquerda) e 12m (à direita)



Fonte: os autores.

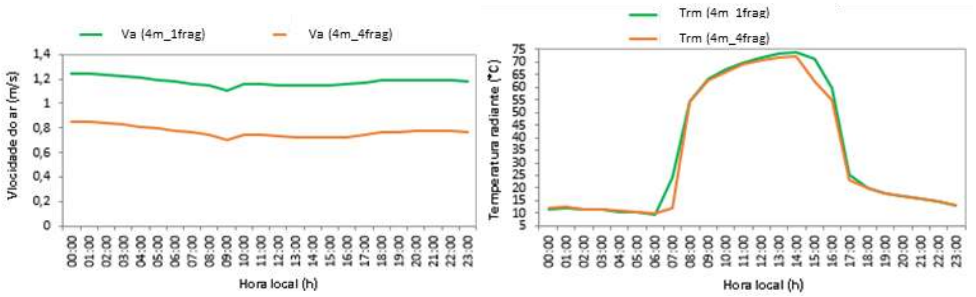
Na condição de fragmentação do pátio em dois e quatro recintos, a variável velocidade do ar apresentou comportamento similar ao observado na verticalização (Figuras 9 e 10, à esquerda), porém com reduções médias mais elevadas de 0,44 e 0,41m/s, respectivamente. Já temperatura radiante média não apresentou diferenças significativas se comparada ao cenário do pátio sem fragmentação, com redução de 0,5 e 2,6°C durante o período diurno, respectivamente no pátio com dois e quatro recintos (Figuras 9 e 10, à direita). Logo, sob este aspecto, a fragmentação do espaço tem menor impacto do que a verticalização na melhoria da ambiência térmica do pátio.

Figura 9: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e da temperatura radiante média (à direita) do pátio verticalizado em 4m sem fragmentação e 4m fragmentado em 2 pátios



Fonte: os autores.

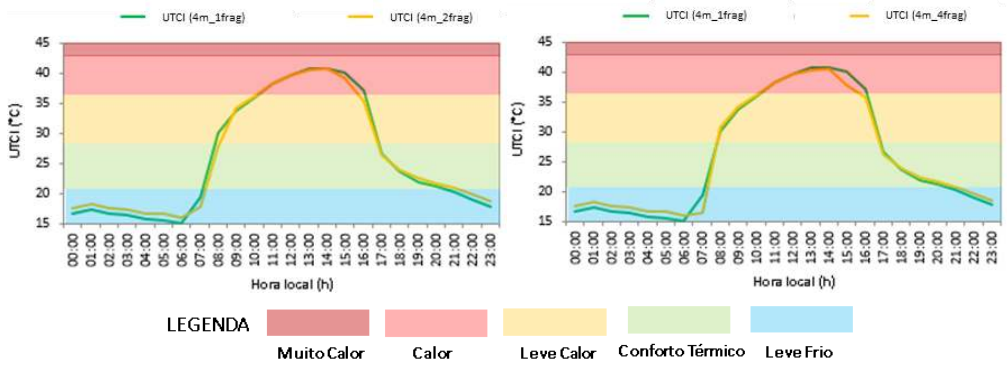
Figura 10: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e da temperatura radiante média (à direita) do pátio verticalizado em 4m sem fragmentação e 4m fragmentado em quatro pátios



Fonte: os autores.

O impacto da fragmentação pouco afetou a sensação térmica no pátio, expressa pelo índice UTCI. A fragmentação do pátio em dois e quatro recintos implicou em redução de 0,36°C de UTCI na sensação térmica, em ambos, com efeitos mais pronunciados no inicio da manhã e no final da tarde (Figura 11). Assim como ocorreu na verticalização, no período noturno, os pátios mais fragmentados permaneceram mais quentes, em virtude do aprisionamento de ondas longas em seu interior.

Figura 11: Variação horária da sensação térmica no pátio com original (4m) fragmentado em dois pátios (à esquerda) e quatro pátios (à direita)

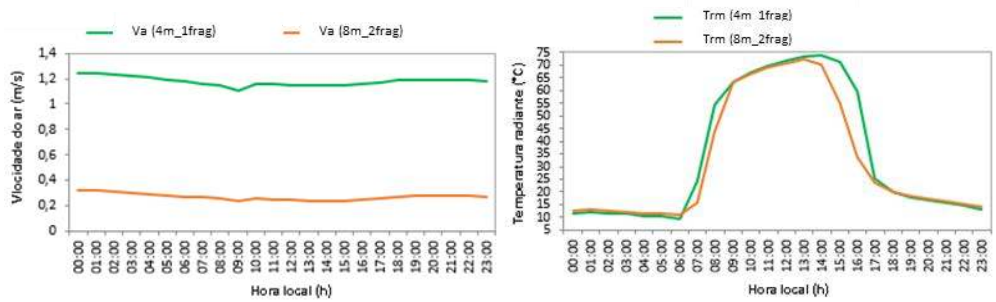


Fonte: os autores.

Ao combinar as estratégias de verticalização (8 e 12m) e fragmentação (2 e 4 pátios), notou-se acentuada redução da velocidade do ar, com diminuição de aproximadamente 0,9m/s para o cenário de 8m/2pátios e 0,7 m/s para o cenário de 12m/2pátios (Figuras 12 e 13, à esquerda). Comportamento semelhante foi observado

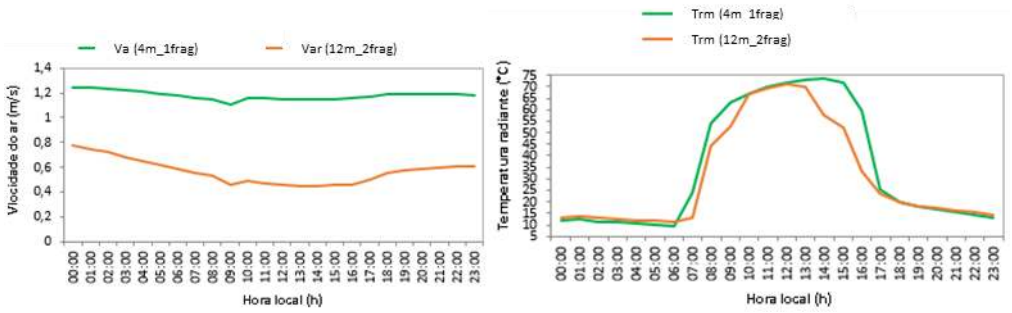
na temperatura radiante média, que apresentou diferenças significativas se comparada ao cenário do pátio sem fragmentação, com redução de 5,2 e 7,6°C durante o período diurno, no cenário 8m/2patios e 12m/2pátios, respectivamente (Figuras 12 e 13, à direita). Portanto, o efeito combinado da verticalização e fragmentação reduziu excessivamente a circulação de ar dentro dos pátios, porém também proporcionaram menores níveis de temperatura radiante em seu interior.

Figura 12: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e da temperatura radiante média (à direita) do pátio verticalizado em 4m sem fragmentação e 8m fragmentado em dois pátios



Fonte: os autores.

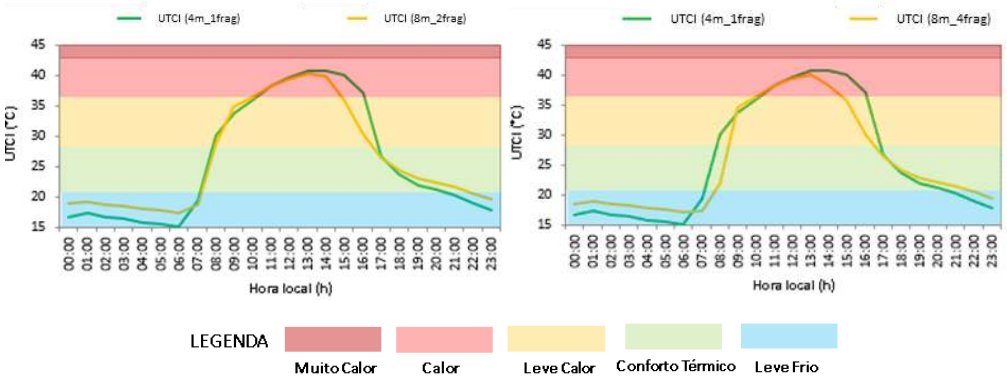
Figura 13: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e da temperatura radiante média (à direita) do pátio verticalizado em 4m sem fragmentação e 12m fragmentado em dois pátios



Fonte: os autores.

A associação da verticalização (8 e 12m) e fragmentação (2 e 4 pátios) reduziu a sensação térmica no período diurno no interior dos pátios, com diminuições médias de 0,8 e 1,5°C nos cenários de 8m/2pátios e de 12m/2pátios, respectivamente. A compactação e a elevação do gabarito produziram maior sombreamento no interior dos pátios, afetando a sensação térmica no início da manhã e no final da tarde (Figura 14). Porém, devido a maior relação H/W, estes pátios permaneceram mais aquecidos do que o de referência (original), no período noturno.

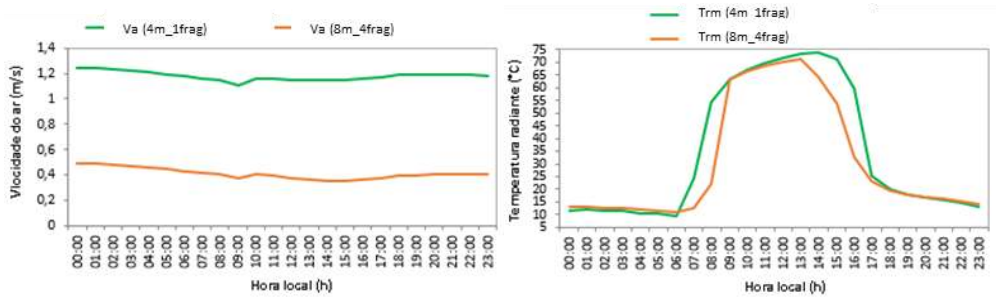
Figura 14: Variação horária da sensação térmica no pátio com 8m e fragmentado em dois pátios (à esquerda) e 8m fragmentado em quatro pátios (à direita)



Fonte: os autores.

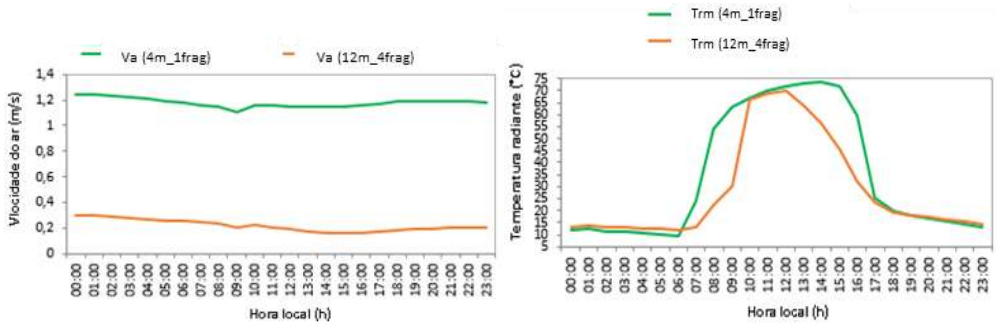
Para os cenários 8m/4pátios e 12m/4pátios, os comportamentos foram semelhantes aos discutidos anteriormente. Para a variável de velocidade do ar, ocorreu acentuada redução, com diferenças alcançando 0,9m/s no cenário com 8m/4pátios e, 1,1m/s no cenário 12m/4pátios (Figuras 15 e 16, à esquerda). Comportamento semelhante foi observado na temperatura radiante média, que apresentou diferenças significativas se comparada ao cenário do pátio sem fragmentação, com redução de 8 e 11,8°C durante o período diurno, respectivamente nos cenários 8m/4pátios e 12m/4pátios, respectivamente (Figura 15 e 16, à direita). Similarmente, o efeito combinado da verticalização e fragmentação reduziu a circulação de ar nos pátios, também proporcionando menores níveis de temperatura radiante em seu interior.

Figura 15: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e temperatura radiante média (à direita) do pátio verticalizado em 4m sem fragmentação e 8m fragmentado em quatro pátios



Fonte: os autores.

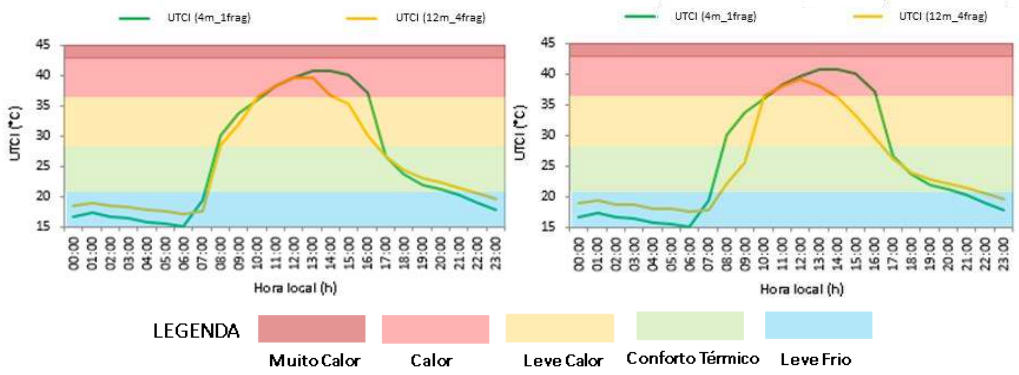
Figura 16: Variação horária da velocidade do ar (à esquerda) e temperatura radiante média (à direita) do pátio verticalizado em 4m sem fragmentação e 12m fragmentado em quatro pátios



Fonte: os autores.

Para os cenários 8m/4pátios e 12m/4pátios, os comportamentos observados para a sensação térmica no pátio também são semelhantes aos discutidos anteriormente. Pátios mais compactos e mais altos reduziram entrada de insolação, o que, apesar de proporcionar fluxos de ar com menores intensidades, reduzem a temperatura radiante média, sendo capazes de influenciar positivamente a sensação térmica. No caso pesquisado, a sensação térmica apresentou diferenças significativas se comparada ao cenário do pátio sem elevação do gabarito e fragmentação, com redução de 2 e 3,5°C durante o período diurno (Figura 17). Constata-se, portanto, que ambos os efeitos são benéficos para a ambiência térmica do pátio.

Figura 17: Variação horária da sensação térmica no pátio com 12m fragmentado em dois pátios (à esquerda) e fragmentado em quatro pátios (à direita)



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

As condicionantes relacionadas à conformação e proporção do pátio exerceram influência nas variáveis ambientais no seu interior. Percebeu-se que a configuração original do pátio com elevada proporção de comprimento/largura permitiu a entrada de grande quantidade de radiação solar, fazendo com que seu interior se aqueça.

Em relação à medida de verticalização do gabarito, nota-se que esta proporcionou incremento da rugosidade superficial e elevação das áreas sombreadas, provocando alterações nas variáveis ambientais, com maiores diferenças observadas na velocidade do ar e temperatura radiante média, em pouco afetando a sensação térmica no pátio, devido ao baixo incremento da relação entre H/W, em virtude do comprimento do pátio pesquisado.

Já o efeito fragmentação dos pátios também provocou redução nas variáveis ambientais, com maior impacto na velocidade do ar, uma vez que a rugosidade superficial foi fortemente afetada com essa estratégia. Como não houve elevação do gabarito, essa estratégia em pouco impactou as áreas sombreadas dentro dos pátios, fazendo que as temperaturas radiantes sofressem as menores reduções entre os cenários hipotéticos pesquisados, o mesmo ocorrendo com a sensação térmica. É uma estratégia de baixo impacto e que deve ser analisada com cuidado para não prejudicar o desempenho do pátio.

Por sua vez, os efeitos combinados da verticalização e fragmentação foram o que mais impactaram as variáveis ambientais, reduzindo a velocidade do ar e a temperatura radiante média. Apesar da redução da velocidade do ar, foram observados os maiores impactos na sensação térmica, uma vez que os pátios ficaram mais compactos e altos, reduzindo a entrada de insolação e a temperatura radiante.

Como o arranjo espacial se configura como uma estratégia benéfica para a melhoria da ambiência térmica dos pátios em clima tropical, sugere-se estudos morfológicos preliminares antes da sua implantação visando incrementar a sua habitabilidade.

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] GÓMEZ, C. R.; 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 City and Society**, v. 51, p. 101740, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101740

[2] GHAFFARIANHOSEINI, A.; BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. **Building and Environment**, p. 154-168, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001

[3] 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.

[4] 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**, v. 12, p. 6135, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12156135

[5] CALLEJAS, I.J.A., KRÜGER, E. Microclimate and thermal perception in courtyards located in a tropical savannah climate. **Int J Biometeorol**, v.66, p.1877–1890, 2022. https://doi.org/10.1007/s00484-022-02329-8

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro. 2003.

[7] ROSSETI, K. A. C.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; CALLEJAS, I. J. A.; KUHNEN, I. A. e NOGUEIRA, J. S. Efeitos da incorporação de vegetação em telhados de zona urbana em clima tropical continental, **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 6, 2 ed., p. 121-128, 2015.

[8] 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.

[9] BŁAŻEJCZYK K. ; BROEDE P.; FIALA D. ; HAVENITH, G.; HOLMÉR, I. ; JENDRITZKY, G. ; KAMPMANN, B. ; KUNERT, A. Principles of the new universal thermal climate index and its application to bioclimatic research in European scale. **Misc Geogr**, v.14, p. 91–102, 2010.

[10] BORGES, V. C. D.A. L., CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C. Thermal sensation in outdoor urban spaces: a study in a tropical savannah climate, Brazil. **Int J Biometeorol**, v. 64, n. 3, p. 533–545, 2020. DOI: https:// doi.org/ 10. 1007/ s00484- 019- 01830-x

[11] SOFLAEI. F.; SHOKOUHIAN, M.; ABRAVESHDAR, H.; ALIPOUR, A. The impact of courtyard design variants on shading performance in hot- arid climates of Iran. **Energy and Buidings**, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.027

[12] RODRÍGUEZ-ALGECIRAS, J.; TABLADA, A.; CHAOS-YERAS, M.; DE LA PAZ, G.; MATZARAKIS, A. Influence of aspect ratio and orientation on large courtyard thermal conditions in the historical centre of Camagüey-Cuba. **Renewable Energy**, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.082