PÁTIO COMO ESTRATÉGIA TÉRMICA PASSIVA EM REGIÃO DE CLIMA TROPICAL

Ivan Julio Apolonio Callejas (1); Luciane Cleonice Durante (2); Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (3); Leticia Mendes do Amarante (4); Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (5).

(1) Doutor. Engenheiro Civil, ivancallejas1973@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando C. da Costa, nº 2367, Boa Esperança/ Cuiabá-MT, 78060-900, (65)3615-8774
(2) Doutora. Engenheira Civil, luciane.durante@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando C. da Costa, nº 2367, Boa Esperança/ Cuiabá-MT, 78060-900, (65)3615-8774
(3) Doutora. Arquiteta e Urbanista, karyna.rosseti@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando C. da Costa, nº 2367, Boa Esperança/ Cuiabá-MT, 78060-900, (65)3615-8774
(4) Graduanda, Bolsista de Iniciação Científica, leticiamendes.arq@outlook.com.br, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando C. da Costa, nº 2367, Boa Esperança/ Cuiabá-MT, 78060-900, (65)3615-8774
(5) Mestre, Doutoranda, emeliguarda@gmail.com, Universidade de Santa Catarina, R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, s/n, Trindade, 88040-900, (48)3721-7080

RESUMO

Esta pesquisa foca em avaliar o potencial dos pátios para mitigar as temperaturas em regiões de clima tropical, como uma estratégia de projeto responsiva ao clima local, caracterizado por elevadas temperaturas durante todo o ano. Os objetos de estudo são dois pátios com fatores de forma (relação altura pelo comprimento) distintos, sendo um deles de 1,18 e, o outro, de 0,11. O objetivo é avaliar comparativamente o potencial de arrefecimento e aquecimento proporcionado pelos dois pátios, em condições extremas de frio e calor. A metodologia consiste do levantamento das características ambientais e projetuais, acompanhado do monitoramento das variáveis microclimáticas no interior e exterior dos dois pátios. O fator forma influencia a insolação diária recebida e o sombreamento proporcionado no interior do pátio, exercendo forte influência no potencial de arrefecimento e aquecimento térmico passivo. No dia frio, o pátio com fator de forma 1,18 proporciona maior efeito de aquecimento em todos os períodos. Naquele com fator de forma 0,11, durante o período diurno, o efeito é de aquecimento e, no noturno, de arrefecimento passivo que vai progressivamente diminuindo ao longo da madrugada. No dia quente, o pátio de fator de forma 1,18 proporciona maior arrefecimento térmico passivo no período diurno e em algumas horas do noturno. Naquele com fator de forma 0,11, o efeito foi contrário: durante o dia ocorre aquecimento passivo e, durante a noite, arrefecimento.
Palavras-chave: clima urbano, monitoramento microclimático, resiliência urbana.

ABSTRACT

This research focuses on assessing the courtyard's potential to mitigate temperatures in tropical regions, as a design strategy responsive to the local climate, characterized by high temperatures throughout the year. The objects of study are two courtyards with different shape factors (height-to-length ratio), one of which is 1.18 and the other of 0.11. The objective is comparatively evaluating the cooling and heating potential capacity provided by the two courtyards, in extreme conditions of cold and heat. The methodology consists of surveying the environmental and design characteristics, accompanied by monitoring the microclimate variables indoors and outdoors in two courtyards. The form factor influences the daily insolation received and the shading provided inside the courtyard, exerting a strong influence on the potential for cooling and passive thermal heating. On a cold day, the courtyard with a 1.18 form factor provides a greater heating effect in all periods. In that with 0.11 form factor, during the day, the effect is warming and, at night, passive cooling, which gradually decreases throughout the night. On a hot day, the 1.18 form factor courtyard provides greater passive thermal cooling in the daytime and some hours at night. In that with 0.11 form factor, however, an opposite effect is observed: passive heating during the day, and, cooling during the night.
Keywords: urban climate, microclimate monitoring, urban resilience.

1. INTRODUÇÃO

O pátio é um espaço descoberto, delimitado por edifícios em seu perímetro, que estabelece uma transição entre ambientes internos e externos. Promove iluminação natural, ventilação e sombreamento para os ambientes circundantes e pode desempenhar diversas funções, tais como convívio e laser (AL-HAFITH et al., 2017; SOFLAEI et al. 2017).

O pátio atua como um modificador do microclima devido a sua capacidade de regular as suas próprias trocas térmicas (secas e úmidas) e as dos edifícios circundantes com o meio exterior, controlando a ventilação e insolação incidentes (MARKUS, 2016). Isso ocorre devido ao arranjo e proporção de volumes de cheios e vazios que os pátios criam no ambiente edificado (CALLEJAS et al. 2020a; RIVERA-GÓMEZ et al., 2019), tendo como consequência, elevado potencial de proporcionar resfriamento passivo, ou seja, reduzir a temperatura dos edifícios circundantes sem recorrer a sistema movido à energia elétrica. Além disso, a depender de suas características, na escala urbana, o pátio pode contribuir para a resiliência ao fenômeno da ilha de calor, e com potencial para mitigar os efeitos do aquecimento global (ZAMANI, HEIDARI e HANACHI, 2018).

Historicamente, o recurso arquitetônico do pátio tem sido utilizado para fins de melhoria do conforto ambiental e do desempenho térmico de edifícios em climas desérticos e mediterrâneos (AL-HAFITH et al., 2017; SOFLAEI et al. 2017; RIVERA-GÓMEZ et al., 2019), com recente aumento do interesse pelo seu comportamento térmico em climas quente-secos e, especialmente, em climas quente-úmidos e frios (TABLADA et al. 2009; TALEGHANI et al., 2014).

Algumas diretrizes para se projetar um pátio eficiente em relação a sua altura e orientação já foram estabelecidas para alguns tipos de clima: para o quente-seco, a altura ideal do pátio é de dois andares, com orientação de implantação ao longo do eixo N-S, mas também sendo admitida a orientação NE-SO; para temperado, dois andares e com orientação N-S; para frio, um pavimento e orientação N-S; e para quente-úmido, como o tropical, três pavimentos e orientação NE-SO (RODRÍGUEZ-ALGECIRAS et al. 2018). No entanto, para climas quente-úmido, pesquisas sobre desempenho do pátio ainda são incipientes, principalmente no Brasil.

O pátio é uma estratégia projetual muito utilizada no ocidente, e foi trazido ao Brasil pelos colonizadores europeus e, por conseguinte, está presente em diversos edifícios históricos. No entanto, nas construções contemporâneas esse tipo de elemento arquitetônico é raramente utilizado, em especial nas regiões de clima de tropical de savana, provavelmente em virtude da falta de preservação da tradição e do conhecimento limitado sobre suas vantagens, em especial, as térmicas (CALLEJAS et al., 2020b).

Uma revisão da literatura brasileira acerca do tema revela que alguns estudos foram desenvolvidos no sentido de se fazer uma compreensão fenomenológica sobre os pátios (REIS-ALVES, 2005; PEREIRA, 2012). Outros focaram suas analises na aplicabilidade dessa solução arquitetônica sob a ótica da adequabilidade e eficiência bioclimática, principalmente durante a fase modernista e contemporânea, apresentando contribuições mais na esfera qualitativa, na qual o pátio é visto como uma estratégia social, apesar da indicação da sua capacidade de promoção de ventilação, iluminação natural e sombreamento para o edifício (POLETTO e GOMES, 2012; COSTA e COTRIM CUNHA, 2015; LIMA, 2015). O estudo de Hall, Walker e Spanton (1999) sobre a orientação solar e a forma geométrica dos pátios propõe o fator de forma do pátio, que é a relação entre sua altura (H) e seu comprimento (W), determinante no sombreamento e insolação recebidos pelas superfícies circundantes e, consequentemente, no comportamento térmico do conjunto, podendo propiciar ambientes termicamente mais amenos em climas quentes.

Poucas pesquisas analisaram o desempenho do pátio em termos de arrefecimento e conforto térmico. Sob este aspecto, destaca-se a pesquisa conduzida por Reis-Alves (2006), que investigou variáveis espaciais e subjetivas do pátio e suas influências na avaliação subjetiva do conforto ambiental em três pátios escolares. As variáveis espaciais se referem à configuração espacial do pátio, expressa pela sua forma, volume e proporções. As variáveis subjetivas compõem-se de seus elementos constituintes e materiais. O autor concluiu que o pátio proporciona melhoria do conforto térmico, porém não houve medições de variáveis ambientais (temperatura, umidade, ventilação e radiação solar) durante a realização das entrevistas que subsidiaram a conclusão, somente investigação da percepção dos entrevistados nesses ambientes, por meio de entrevistas.

A contribuição deste estudo se dá pelo aprofundamento do conhecimento sobre o uso da estratégia bioclimática do pátio em região de clima quente-úmido, por meio da identificação de fatores físicos e climáticos que podem influenciar a capacidade de resfriamento/aquecimento passivo do pátio nessa condição de clima.

2. OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo analisar o potencial de resfriamento e aquecimento térmico passivo proporcionado por dois pátios com fator de forma distintos, ambos localizados em clima de tropical de savana.

3. MÉTODO

A pesquisa classifica-se como quantitativa e descritiva em relação à sua abordagem e objetivo, respectivamente. Quanto às técnicas, trata-se de um estudo de caso que se desenvolve por meio de um experimento (CRESWELL, 2007).

O experimento consiste de um monitoramento microclimático planejado de acordo com as condicionantes do local e dos objetos de estudo, previamente selecionados à luz dos objetivos do estudo. Em seguida foi feito monitoramento microclimático visando a avaliação dos potenciais efeitos de arrefecimento ou aquecimento proporcionado pelos pátios analisados. Descrevem-se a seguir, as etapas da pesquisa.

3.1. Definição do local de estudo

A pesquisa se desenvolve no município de Cuiabá (15°36'36"S; 56°11'04"W), capital do Estado de Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil, de clima Tropical Continental semiúmido ou Tropical de Savana (Aw - classificação de Köppen-Geiger) (ÁLVARES et. al., 2013), apresentando duas estações distintas: uma chuvosa (quente-úmida entre a primavera e verão, de outubro a abril) e outra seca (quente-seca entre o outono e inverno, de maio a setembro). As temperaturas média, mínima e máxima anuais são de 27,9ºC, 23,0ºC e 30,0ºC, respectivamente. A umidade relativa e precipitação anual média são de 71,6% e 1372.2mm (CALLEJAS et al., 2019).

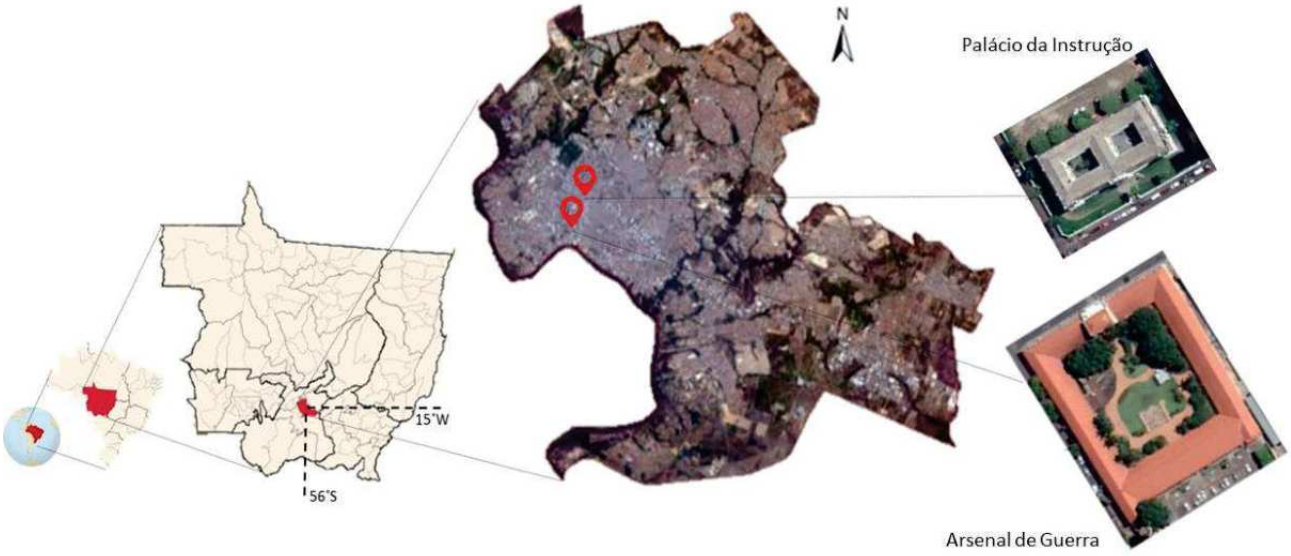

Figura 1 - Localização da cidade de Cuiabá na América do Sul e vista aérea dos pátios pesquisado.

3.2. Descrição dos objetos de estudo

Por se tratar de um elemento arquitetônico mais comumente encontrado em edifícios históricos, selecionou-se como objetos de estudo os pátios internos de dois edifícios localizados no Centro Histórico da cidade: o Palácio da Instrução e o Arsenal de Guerra.

O Palácio da Instrução foi construído em estilo neoclássico em 1914, abrigou uma tradicional 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 igual a 1,18. Para a realização das medições, selecionou-se o pátio da direita, o qual possui uma fonte em estilo barroco ao centro e em seu perímetro existem jardins, com presença de arbustos e grama, cobrindo aproximadamente 13% da área do pátio (Figura 2).



(**a**)



(**b**)

Figura 2 - (a) Vista do Edifício Palácio da Instrução (Adaptado de Lacerda, 2008, p.42, foto de Téo de Miranda);(b) do pátio direito.

O Arsenal de Guerra foi um estabelecimento militar utilizado para fabricar, reparar e guardar armamento, na então antiga Província de Mato Grosso. Construído em 1831, em estilo eclético (nos moldes franco-lusitanos), apresenta um único pavimento e um amplo pátio interno retangular orientado ao longo do eixo NE-SO (42°) com 75,20 m de largura (L), 64,30 m de comprimento (W) e 7 m de altura (H), com fator de forma igual a 0,11. Os ambientes internos são protegidos por varandas ininterruptas que circundam todo o pátio. O encontro das fachadas sudoeste com sudeste é adornado por exemplares arbóreos dos espécimes de palmeiras, enquanto no encontro da nordeste com noroeste, por espécimes de mangueiras. A projeção das copas sombreia aproximadamente 43% da área do piso do pátio e, além disso, 18% de sua área é coberta por grama (Figura 3).



(**a**)



(**b**)

Figura 3 - (a) Vista do Edifício Arsenal de Guerra (Adaptado de RD News, 2021, foto de Rodinei Crescêncio), e (b) do pátio interno.

O edifício do Palácio da Instrução segue as regras gerais indicadas por Rodríguez-Algeciras et al. (2018) para pátio implantado em região de clima quente e úmido, que estabelece que este deve apresentar três pavimentos e ser posicionado ao longo do eixo NE-SO com vistas a obter um eficiente índice de desempenho de sombreamento. Já edifício do Arsenal de Guerra não atende o parâmetro relacionado quanto ao número de pavimentos, mas atende ao requisito da orientação.

3.3. Instrumentação

As variáveis do monitoramento microclimático são radiação solar (R_g), pressão atmosférica (P_a), temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR%), temperatura do globo (T_g) e velocidade do ar (v_a) no interior e exterior do pátio.

No registro dos dados no interior do pátio utilizou-se um registrador automático da marca Onsetcomp U12, com sensores de temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR%) e temperatura do globo (T_g). Com exceção do termômetro de globo, instalado a 2,0m, os demais instrumentos foram posicionados no pátio a 1,1m, que corresponde a altura média do centro de gravidade de pessoas adultas. Os registros foram armazenados na forma de valores médios a cada 5 minutos. Todos os sensores atendem a recomendação da ISO 7726 (1998) e foram calibrados antes da realização do experimento (Figura 4a).



(**a**) (**b**)

Figura 4. Estações meteorológicas instaladas externamente e internamente ao pátio dos edifícios (a) Palácio da Instrução e (b) Arsenal de Guerra

O registro dos dados externos ao pátio foi realizado por meio de estação meteorológica automática da marca Onsetcomp Marca HOBO, instalada na cobertura do edifício (aproximadamente 12m) equipada com sensores de radiação solar (R_g), pressão atmosférica (P_a), temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR%), temperatura do globo (T_g) e velocidade do ar (v_a) (Figura 4b). Os equipamentos devem ter sido devidamente calibrados entre si.

3.4. Definição do período de medição

O período para realização das medições das variáveis ambientais deve ser previamente definido, de forma que sejam representativos dos objetivos do estudo. Assim, por exemplo, se pode selecionar datas mais próximas de equinócios, que representam condições mais amenas de exposição dos ocupantes do pátio ou datas mais próximas de solstícios de verão ou inverno, que representam condições mais desfavoráveis para exposição ao calor ou ao frio, respectivamente.

De todo o monitoramento conduzido, considerou-se para este estudo apenas dois dias caracterizado por baixa presença de nuvens e ausência de precipitação, os quais compreendem condições sinópticas extremas que ocorrem na região no ano de 2019, ou seja, o dia mais frio (07/07/2019) e mais quente do ano (16/09/2019).

3.5. Método para avaliação do impacto no ambiente térmico proporcionado pelo pátio

Na avaliação do impacto térmico do pátio nos dias extremos considerados nesse estudo, considerou-se a amplitude térmica diária (ATD) como um índice de variabilidade climática para avaliar o potencial de resfriamento passivo térmico ao longo do dia, uma vez que o ciclo diário da variação da temperatura dos pátios é afetado pela posição geográfica, altitude, características geográficas, presença ou ausência de nuvens, radiação solar, velocidade do vento, dentre outros. A ATD é calculada pela diferença entre as temperaturas do ar máxima e mínima em um dia específico conforme Equação 3. As ATDs foram calculadas tanto para as temperaturas do ar do pátio (ATD_P) quanto para as temperaturas externas (ATD_E).

$$ATD\ (°C) = T_{max} - T_{min} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
T_{max} – é a temperatura máxima diária;
T_{min} - temperatura mínima diária.

A partir das ATDs, calculou-se também a diferença entre as amplitudes térmicas diárias do meio externo e interno do pátio (ΔATD) com vistas a investigar o potencial térmico de arrefecimento do pátio no local de estudo por meio da Equação 4.

$$\Delta ATD = ATD_E - ATD_P \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:
ATD_E – a diferença entre a temperatura máxima e mínima do ar externo (◦C); e,
ATD_P - a diferença entre a temperatura máxima e mínima do ar no pátio interno (◦C).

Na sequência, partindo-se da premissa de que o pátio como uma estratégia passiva arquitetônica capaz de influenciar as variáveis microclimáticas (temperatura, umidade e velocidade do ar, bem como na temperatura radiante e insolação), procedeu-se a avaliação do arrefecimento ou aquecimento térmico para os

dias selecionados para o estudo, representativos de condições de tempo extremas. A estratégia consistiu em comparar o desempenho do ambiente do pátio em relação à condição externa de céu aberto. Desta forma, o impacto térmico (de arrefecimento ou aquecimento) foi estimado por meio do parâmetro denominado de diferença térmica horária (ΔTH) conforme Equação 5.

$$\Delta TH = T_{externo} - T_{pátio} \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:
$T_{externo}$ - é a temperatura do ar externo (sensores na alojados na cobertura do edifício);
$T_{pátio}$ - é a temperatura interna do pátio (sensores posicionados próximos à região central).

A eficiência máxima do pátio em termos de efeito de resfriamento ou aquecimento passivo (ΔT_{Max}) foi calculada por meio da Equação 6.

$$\Delta T_{Max} = T_{ME} - T_{pátio} \qquad \text{Equação 6}$$

Onde:
T_{ME} - representa a temperatura máxima externa no momento de máximo arrefecimento/ aquecimento; e,
$T_{pátio}$ - a temperatura do pátio neste instante.

4. RESULTADOS

As temperaturas externas máximas do pátio com maior fator de forma foram (H/W=1,18), em média, 1,6ºC inferiores às observadas no edifício de menor fator de forma (H/W=0,11), em ambos os dias pesquisados (Figura 5). As amplitudes das temperaturas externas (ATD_E) do primeiro edifício foram menores que as observadas no segundo, tanto no dia frio (11,9ºC e 13,7ºC, respectivamente) quanto no dia quente (10,7ºC e 11,9ºC, respectivamente). Os cursos diários de variação da temperatura do ar externo (ATD_E) obedecem aos padrões sinóticos da região (9.75-11.6ºC) (INMET, 2018).

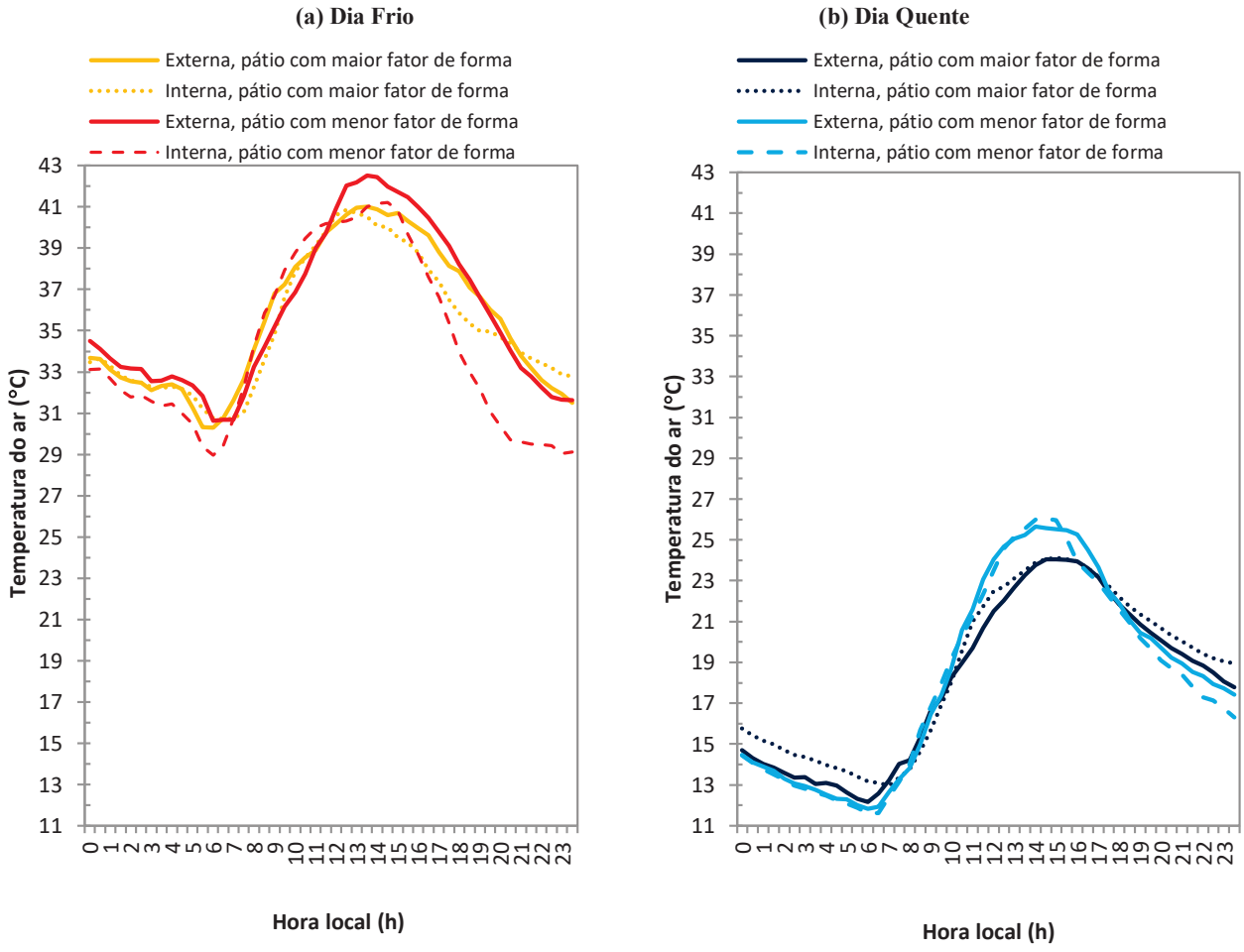

Figura 5 - Ciclo diário da temperatura do ar externa e interna nos pátios para condições de tempo extremas na região.

As variações das temperaturas do ar internas (ADT_P) relacionam-se ao curso diário da temperatura externa. No edifício de maior fator de forma, a ADT_P no dia frio foi 1,1ºC inferior que a do pátio com menor fator de forma, onde obteve-se 14,4ºC. Comportamento similar foi observado no dia quente, tendo sido obtidos 10,1ºC e 12,3ºC, respectivamente. As maiores amplitudes observadas nos dias frios estão relacionadas aos ganhos térmicos oriundos do processo de aquecimento das superfícies. As ΔDTR no pátio de maior fator de forma são positivas (0,8 e 0,6ºC, dia frio e quente, respectivamente), enquanto no pátio de menor fator de forma, negativas (-0,7 e -0,4ºC), o que pode comprometer os potenciais efeitos de resfriamento passivo na região tropical. No clima de Mediterrâneo, esses potenciais são bem superiores nos pátios de fatores de forma elevados (2,7 a 5,3°C) (RIVERA-GÓMEZ et al., 2019), sendo correlato admitir que, nesse clima, o resfriamento passivo é mais substancial. Por outro lado, nos pátios com fator de forma similares ao edifício do Arsenal de Guerra, as ΔDTR também chegam a ser negativas e, mesmo assim, ainda apresentam potencial de resfriamento passivo (ABDALLAH et al., 2019).

A hipótese inicial era de que o pátio de menor fator de forma apresentasse maior variação de temperatura, o que não foi verificado. Nesse sentido, é importante ressaltar que o ciclo diário das temperaturas externas e internas do pátio, representadas pela ATD_P e ΔATD não são dependentes somente das condições climáticas, mas também estão relacionadas à insolação e ao sombreamento, decorrentes da forma geométrica, bem como das propriedades termo físicas das superfícies circundantes do pátio. Observa-se, também, que o resfriamento radiativo noturno, resultante da diferença entre radiação atmosférica e terrestre de ondas longas, é pouco pronunciado na região, apesar das condições climáticas de céu limpo e atmosfera seca em ambos os dias pesquisados. Assim, a baixa capacidade de resfriamento noturno é um dos fatores que compromete o potencial de resfriamento dos pátios em região de clima tropical (CALLEJAS et al., 2020a).

O potencial de resfriamento e aquecimento quantificado para os pátios nos dias pesquisados pode ser observado na Figura 6. Em cada um dos pátios, tanto no dia frio quanto no quente, o comportamento das diferenças térmicas (ΔHT) é similar, diferindo-se apenas quanto à intensidade. Porém, entre pátios, o comportamento se diferencia em razão das diferentes estratégias projetuais neles presentes e do sombreamento e insolação recebida nas superfícies circundantes.

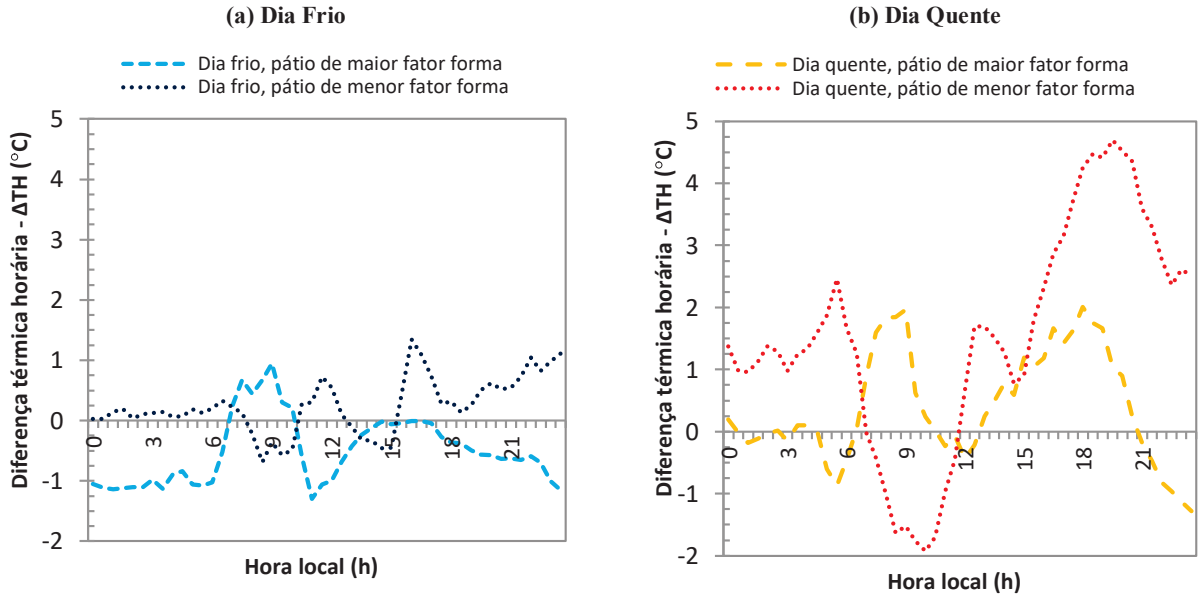

Figura 6 - Gradiente térmico entre a temperatura externa e interna ao pátio no dia (a) frio e (b) quente.

No edifício com maior fator de forma, em virtude de sua altura, das 6 às 10h, o pátio permanece menos aquecido, justificado pelo fato de que a sua altura oferece barreira para a insolação das suas superfícies circundantes, caracterizando comportamento de arrefecimento passivo com maior expressividade no dia quente do que no dia frio. Porém, das 10 às 13h, em virtude da elevação do ângulo solar, à medida que a insolação aumenta e incide nas superfícies circundantes e no piso, ocorre sobreaquecimento do pátio, com menor intensidade sendo observada no dia quente. A partir desse período, o comportamento no dia frio se distingue do dia quente. No dia frio, o sobreaquecimento se prolonga durante o período vespertino e noturno, o que é benéfico após a passagem de uma frente fria, proporcionando temperaturas mais elevadas. Já no dia quente, após as 13h, com a redução da insolação e elevação do sombreamento decorrentes do ângulo solar,

observa-se restabelecimento do resfriamento passivo que se estende até às 21h, a partir da qual volta a ocorrer sobreaquecimento, que se estende até o início da manhã. O efeito de aquecimento passivo durante o período vespertino, observado no dia frio, após a passagem de uma frente fria, ocorre em virtude de que uma parcela da energia recebida pelo pátio ser estocada na forma de fluxos condutivos, reduzindo as trocas térmicas convectivas, o que faz com que a temperatura do ar no seu interior leve certo tempo para se reaquecer. No período noturno, tanto no dia frio quanto no quente, o sobreaquecimento decorre da energia estocada em seu envelope e da forma geométrica, que recebe a energia liberada e aprisiona o calor no seu interior, devido às múltiplas reflexões da radiação de ondas longas, mantendo o ar mais aquecido por um período de tempo mais prolongado se comparado ao ar exterior (CALLEJAS et al., 2016).

Já no pátio com menor fator de forma, no dia quente, das 6 às 10h, em decorrência da sua baixa altura, o mesmo recebe grande insolação em seu interior e, consequentemente, aquecendo-se. Porém, a partir das 10h, em virtude da implantação da estratégia arquitetônica da varanda, que circunda todo o pátio, as superfícies das fachadas ficam protegidas da insolação, com a incidência ocorrendo apenas no piso. Em razão disso, no interior do pátio, observa-se efeito de progressivo de aquecimento, com surgimento e elevação do resfriamento evaporativo, com maior intensidade sendo observada no dia quente. Esse efeito, exceção à pequena intensidade de sobreaquecimento verificado no dia frio, estende-se por todo o período vespertino e noturno.

Os pátios apresentam comportamentos opostos no dia frio. No edifício com maior fator de forma, com exceção do início da manhã, observa-se efeito de aquecimento passivo, com valores médios de -0,7ºC e ΔT_{Max} de -1,3ºC. No de edifício de menor fator de forma, o efeito preponderante é de resfriamento passivo, com valores médios de +0,4ºC e ΔT_{Max} de +1,35ºC. No dia quente, em ambos os pátios, ocorre predomínio de arrefecimento passivo, com valores médios de +1,1ºC e ΔT_{Max} de +2,0ºC no de maior fator de forma, e de +2,3ºC e ΔT_{Max} de +4,7ºC no de menor.

A capacidade de arrefecimento do pátio de menor fator de forma quase duplica se comparada à do pátio de maior fator de forma, apesar das suas grandes dimensões e baixa altura, o que em tese favoreceria o sobreaquecimento. Esse desempenho somente é alcançado em decorrência da presença das varandas e de vegetação arbórea em seu interior, que controla a incidência de insolação nas superfícies das fachadas do edifício e no próprio piso do pátio, reduzindo os ganhos térmicos.

No dia frio, o padrão da diferença térmica horária (ΔTH) no pátio de maior fator forma se assemelha ao identificado em estudos de clima frios, onde também se verificou o efeito de aquecimento passivo (TALEGHANI et al., 2014). Na condição de dia quente, o padrão da ΔTH para ambos os pátios é muito parecido com o observado em climas mediterrâneos e desérticos, onde, também, em dias quentes, os pátios tem capacidade de regular as temperaturas em seu interior à medida que a temperatura externa se eleva, com o efeito se estendendo durante todo o período matutino, vespertino e parte do noturno, sobreaquecendo-se durante a madrugada.

Nos horários mais quentes do dia, ROJAS-FERNÁNDEZ et al. (2017) e RIVERA-GÓMEZ et al. (2019) verificaram atenuação de 4,4ºC e 5,5ºC, para os pátios de alto e baixo fator de forma, respectivamente. Assim, a atenuação observada em pátios similares aos pesquisados são, em média, superiores às quantificadas nesta pesquisa.

5. CONCLUSÕES

Evidenciou-se que a estratégia passiva do pátio tem potencial de aquecimento e arrefecimento térmico, para a região de clima tropical.

No dia frio, no pátio com elevado fator de forma (H/W), durante o período noturno e de madrugada, a temperatura no interior permaneceu superior à externa (efeito de aquecimento). Durante o período diurno, com exceção dos horários de maior incidência de radiação em seu interior, a temperatura interna permaneceu superior à externa, em vários horários (novamente efeito de aquecimento), devido a fatores de forma e orientação solar (que interferem no sombreamento interno). No pátio de menor fator de forma, durante o período diurno, o efeito é de aquecimento e, no noturno, de arrefecimento passivo que vai progressivamente diminuindo ao longo da madrugada.

No dia quente, condição mais frequente durante o ano no local de estudo, o pátio de maior fator de forma demonstrou ser uma estratégia adequada para atenuação da temperatura interna. Novamente, com exceção dos horários de maior incidência de radiação solar e de poucas horas durante o período noturno, o pátio foi capaz de proporcionar arrefecimento térmico passivo, condição esta que se estendeu durante algumas horas do período noturno. Já no pátio com menor fator de forma, o efeito foi contrário: durante o dia

ocorreu aquecimento passivo e, durante a noite, arrefecimento. As maiores atenuações são observadas no período noturno.

Como estratégia projetual, os pátios de maior fator de forma são recomendados para edifícios em que a utilização se dá prioritariamente durante o dia, em razão do sombreamento proporcionado e a decorrente menor sensação térmica de calor. No entanto, há de se ressaltar que, no período noturno, esse pátio permanece sobreaquecido, o que pode comprometer o desempenho térmico de seus ambientes circundantes. Já os pátios de menor fator de forma são recomendados para edifícios em que a utilização se dá no período noturno. Destaca-se que essa estratégia projetual pode beneficiar os ambientes circundantes do pátio, uma vez que há efeito de arrefecimento em seu interior durante esse período. No entanto, durante o período diurno, devido a insolação, o desempenho do pátio fica comprometido.

Assim, com vistas a aprimorar o desempenho do pátio em clima tropical, faz-se necessário o controle da entrada de radiação solar direta em seu interior nos dias quentes, uma vez que a insolação nas fachadas e piso ocasiona a elevação da temperatura do ar e da temperatura radiante, degenerando o efeito de arrefecimento passivo proporcionado por esta estratégia arquitetônica. Apesar dessa radiação solar direta ser benéfica durante os dias frios, uma vez que contribui para elevar a temperatura do ar, como a frequência de ocorrência de frentes frias é baixa, recomenda-se que os pátios na região de clima tropical sejam projetados de tal forma que possam contribuir para reduzir as elevadas temperatura interna, utilizando de forma integrada outras estratégias de resfriamento passivo, como o resfriamento evaporativo por meio de vegetação e espelhos d'água.

Portanto, a integração estratégia passiva do pátio à outros recursos projetuais proporcionam adequada capacidade de regulação térmica para regiões de clima tropical, com efeitos mais benéficos para a condição de tempo atmosférico quente do que frio. Como trabalho futuro, sugere-se a possibilidade de aprofundamento da pesquisa com vistas a avaliar se essa estratégia arquitetônica pode ser usada tanto para fins de mitigação de ilha de calor urbana quanto de enfrentamento às mudanças climáticas na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, A. S. H., MOHAMMAD, D. A., ALI, ABDEL-MONTELEB M. The influence of different courtyard ratios in university buildings on their thermal performance during the hot period: Faculties of Agriculture and Education, New Sohag University, Egypt as a case study. **IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci,** v.397, p.28-30, 2019.

AL-HAFITH, O., SATISH, B. K., BRADBURY, S., DE WILDE, P. The impact of courtyard compact urban fabric on its shading: case study of Mosul city, Iraq, **Energy Procedia**, v.122, p.889-894, 2017.

ÁLVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift. Meteorol Z**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

CALLEJAS, I. J. A., GALÁN-MARÍN, C., DURANTE, L. C., AMARANTE, L. M., GUARDA, E. L. A., MORAIS, M. L. C. N., DIZ-MELLADO, E., RIVERA-GÓMEZ,C. Contrasting the passive cooling effect produced by courtyards located in the Tropical and Mediterranean climates. **In:** J.Rodríguez Álvarez & J.C. Soares Gonçalves (Eds.) Planning Post Carbon Cities. Proceedings of the 35th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture. A Coruña: University of A Coruña, v.3, p. 1686-1691, 2020a. https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497947

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, n.15, p.6135, 2020b. https://doi.org/10.3390/su12156135

CALLEJAS, I. J. A., NOGUEIRA, M. C. J. A., BIUDES, M. S., DURANTE, L. C. Seasonal Variation of Surface Energy Balance of a Central Brazil City. **Mercator**, v.15, p.85–106, 2016.

CALLEJAS, I. J. A., BIUDES, M. S., MACHADO, N. G., DURANTE, L. C., LOBO, F. A. Patterns of Energy Exchange for Tropical Urban and Rural Ecosystems Located in Brazil Central. **J. Urban Environ. Eng**., v.13, p.69–79, 2019.

COSTA, A. E., COTRIM CUNHA, M. O pátio no Brasil. Da casa moderna à contemporânea. **Arquitextos**, São Paulo, 16, n. 181.07, 2015 <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.181/5560>.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

HALL, D. J., WALKER, S., SPANTON, A. M. Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. **Atmos. Environ.**, v.33, p.1187–1203, 1999.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, 2018. 766p.

LACERDA, L. B. **Patrimônio Histórico-cultural de Mato Grosso**. Entrelinhas: Cuiabá, Brazil, 2008.

LIMA, P. P. DE SOUZA L. **Estratégias Bioclimáticas na Arquitetura Moderna de João Pessoa: Analise aplicada em três residências produzidas entre as décadas de 1950 a 1980**. João Pessoa, 2015. 277f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba.

MARKUS, B. A review on courtyard design criteria in different climatic zones. **African Research Review**, v.10, p.181-192, 2016.

PEREIRA, M. C. PÁTIO INTERNO – ARQUITETURA DA MANDALA. **Revista Estética E Semiótica**, v. 2, n.1, p.49-62, 2012. https://doi.org/10.18830/issn2238-362X.v2.n1.2012.04

POLETTO, Â. S., GOMES, A. P. O Pátio Interno como Espaço Bioclimático de Edificações em Ouro Preto/MG. **In:** Anais da Semana de Ciência e Tecnologia, Ouro Preto, v.4, p.112-120, 2012.

RD news Portal de notícias. Disponível em: https://www.rdnews.com.br/galeria_embeds_full.php?id=390#ad-image-5. Acesso em: 24 mar. 2021.

REIS-ALVES, Luiz Augusto dos. O que é o pátio interno? - parte 1. **Arquitextos**, São Paulo, 6, n. 63.03, 2005. Disponível em: https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.063/436. Acesso em: agosto 2020.

REIS-ALVES, Luiz Augusto dos. **O pátio interno escolar como lugar simbólico. Um estudo sobre a interrelação de variáveis subjetivas e objetivas do conforto ambiental.** Rio de Janeiro: UFRJ/FAU/PROARQ, 2006.

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.

RODRÍGUEZ-ALGECIRAS, J., TABLADA, A., CHAOS-YEARS, 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**, 125: 840-856, 2018.

ROJAS-FERNÁNDEZ, J., GALÁN-MARÍN, C., ROA-FERNÁNDEZ, J., RIVERA-GÓMEZ, C. Correlations between GIS-Based Urban Building Densification Analysis and Climate Guidelines for Mediterranean Courtyards," **Sustainability**.; v.9, n.12, p.2255, 2017.

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 Buildings**, v.143, p.71-83, 2017.

TABLADA, A., DE TROYER, F., BLOCKEN, B., CARMELIET, J., VERSCHURE, H. On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments – the Old Havana case. Building and Environment, v.44, n.9, p.1943-1958, 2009.

TALEGHANI, M.; TENPIERIK, M.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. Indoor thermal comfort in urban courtyard block dwellings in the Netherlands. **Building and Environment**, v.82, 566–579, 2014.

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.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq por meio da Bolsa PIBIC N. 2826694 cedida pela Universidade Federal de Mato Grosso (Processo SEI N. 23108.068538/2020-71).