AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE MATERIAIS EMPREGADOS EM PROJETO DE REQUALIFICAÇÃO VIÁRIA NA CIDADE DE FORTALEZA

Nara G. M. Peixoto (1); Larissa V. S. Ribas (2); Leonardo M. Monteiro (3); Verônica T. F. Castelo Branco (4)

(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo FAU USP*, nara.peixoto@usp.br

(2) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da UFC, larissa.ribas@det.ufc.br.

(3) Ph.D., Professor Livre-Docente em Arquitetura e Urbanismo FAU USP*, leo4mm@usp.br

(4) Ph.D., Professora Associada do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, veronica@det.ufc.br

*Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, R. do Lago, 876 - Butantã, São Paulo - SP, CEP 04280-000.

RESUMO

Projetos de requalificação urbana recentes na cidade de Fortaleza/CE têm focado na mitigação de vulnerabilidades da cidade frente às mudanças climáticas. O objetivo desse trabalho é inferir o comportamento térmico dos materiais utilizados na via (blocos de concreto intertravado), nas calçadas (concreto poroso) e no mobiliário urbano (madeira) de uma requalificação realizada na cidade, a fim de evidenciar os impactos de suas aplicações no meio urbano. Como método, foram medidas as condições meteorológicas e as temperaturas das superfícies dos materiais ao longo de um ciclo diário (9 às 19h) na estação seca. Os resultados apontam que há diferenciação no comportamento térmico em função das características termo físicas dos materiais, bem como a exposição solar. A temperatura superficial de todos os materiais investigados nesse trabalho se manteve de 68 a 80% superior a temperatura do ar durante o período analisado, o que contribui para aquecer a baixa atmosfera. Durante o período de maior incidência solar, a temperatura superficial do pavimento intertravado utilizado na via foi menor que aquela encontrada no concreto poroso da calçada. Por outro lado, quando sombreada, a calçada esteve mais fria que as outras superfícies, o que indica que esse material permite a rápida dissipação do calor. Assim, a utilização de materiais porosos pode ser uma solução eficiente no combate à formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), desde que adotadas estratégias de sombreamento adequadas ao clima local.

Palavras-chave: conforto térmico, ilhas de calor urbana, concreto poroso, requalificação viária.

ABSTRACT

The recent urban projects in the city of Fortaleza/CE focused in the urban vulnerabilities mitigation. This paper has as the objective to infer the thermal behavior of the materials used in the road (interlocking concrete blocks), sidewalks (porous concrete), and street furniture (wood) of a city redevelopment to highlight the impacts of their applications on the urban environment. The meteorological conditions and surface temperatures were measured over a daily cycle (9 AM to 7 PM) during the dry season. The results show that there is differentiation in the thermal behavior as a function of the thermophysical characteristics of the materials, as well as solar exposure. The surface temperature of all the materials analyzed in this work remained 68 to 80% higher than the air temperature during the analyzed period. During the period of greater solar incidence, the surface temperature of the interlocked sidewalk of the road was lower than the porous concrete of the sidewalk. However, when shaded, the sidewalk had a lower temperature than the other surfaces, which indicates that this material allows rapid heat dissipation. It highlights the shading importance for more effective cooling of materials used in construction. We conclude that porous materials can be effective in mitigating urban heat islands formation, provided that shading strategies appropriate, to the local climate, are adopted.

Keywords: thermal comfort, urban heat islands, porous concrete.

1. INTRODUÇÃO

A paisagem na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) sofre modificações desde meados do século XX devido à urbanização, o que repercute nas condições climáticas da cidade. O estudo de Moura (2008) identificou a formação de ilhas de calor em Fortaleza com valores superiores a 5ºC em partes da cidade onde se verifica maior adensamento urbano e intenso fluxo de pessoas e veículos. Pétalas e Mota (2013) analisaram o comportamento horário e mensal das variáveis bioclimáticas da cidade e verificaram que o horário de maior desconforto acontece às 13hs durante o verão, gerando extremo estresse fisiológico com mais de 80% da população insatisfeita.

Na tentativa de mitigar os efeitos das mudanças climáticas, desde 2013 o governo local firmou parcerias com agências internacionais como o Banco de Desenvolvimento da América Latina e o *International Council for Local Environmental Initiatives* (ICLEI). Em 2020 foi publicado o Plano Local de Ação Climática (PLAC), da cidade de Fortaleza por meio dos projetos Urban-LEDS I e II em parceria com a ONU-Habitat (PMF, 2020). O plano aponta quatro principais vulnerabilidades para a cidade: chuvas extremas, aumento da temperatura, secas prolongadas e elevação do nível do mar. Apoiadas pelo eixo de mobilidade do PLAC, algumas obras de requalificação foram realizadas na cidade, sobretudo em áreas turísticas ou próximas às áreas de proteção ambiental.

Nos projetos de requalificação viária em andamento, o pavimento intertravado foi adotado nas áreas urbanas como alternativa ao pavimento asfáltico, atuando como possível mitigador de efeitos da temperatura e aumento da drenabilidade. Esse pavimento consiste em um revestimento composto por blocos de concreto maciços e juntas permeáveis que promovem o intertravamento entre as peças. Uma maior área superficial porosa tende a reduzir o volume de escoamento superficial e retardar o tempo de pico do fluxo de escoamento (GILBERT e CLAUSEN, 2006). Além disso, a cor mais clara dos blocos de concreto também influencia na reflexão e absorção de calor, que resulta no menor potencial de aquecimento das superfícies do pavimento.

A análise do comportamento térmico dos materiais empregados é importante em áreas urbanas, onde há elevada quantidade de superfícies pavimentadas, tais como ruas e estacionamentos. Essas superfícies absorvem e armazenam calor durante o dia, o que contribui para a formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICU). As ICU promovem a elevação da temperatura em áreas urbanas em comparação às áreas rurais circundantes. A utilização de pavimentos com menor absorção e retenção de calor pode reduzir a amplitude térmica durante o dia e retardar o aquecimento da superfície, bem como contribuir para mitigar efeitos sobre o microclima local, favorecendo o ambiente, a saúde humana e a demanda por energia elétrica (XU *et al*., 2021).

Entretanto, nos projetos citados há poucos estudos qualitativos/quantitativos dos possíveis efeitos positivos dessas intervenções na mitigação das vulnerabilidades da cidade. Cabe salientar que quando o pavimento poroso é construído sobre um solo muito impermeável, a taxa de evaporação e redução do escoamento diminui em relação a solos mais permeáveis (BRASWELL, WINSTON e HUNT, 2018). Além disso, o entupimento frequente dos vazios de ar, do próprio pavimento, pelos detritos pode diminuir os possíveis efeitos benéficos e aumentar custos de manutenção no médio prazo. Assim, faz-se necessário aferir se de fato a implementação do pavimento intertravado e materiais porosos na cidade de Fortaleza trazem as melhorias possíveis apontadas na literatura.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é inferir o comportamento térmico dos materiais (pavimento intertravado – blocos de concreto; calçadas - concreto permeável e mobiliário urbano - madeira) empregados nas obras de requalificação viária na cidade de Fortaleza/CE, a fim de evidenciar os impactos de suas aplicações no meio urbano com relação a mitigação de formação de ICU. Para tanto, foram medidas as condições meteorológicas e as temperaturas das superfícies dos materiais ao longo de um ciclo diário (9 às 19h), na estação seca, em região de clima tropical semiúmido.

3. MÉTODO

3.1. Escolha do local de estudo

Como objeto de estudo foi escolhida a rua Ana Bilhar na cidade de Fortaleza, que é classificada como via local (PMF, 2017) e está localizada no bairro Varjota, na zona turística da cidade (Figura 1). Os bairros vizinhos, Meireles e Aldeota, possuem os mais altos Índice de Desenvolvimento Econômico Humano (IDH) da cidade, acima do IDH médio de 0,754. Apesar disso, o bairro Varjota possui IDH um pouco menor

(0,717), o que se reflete no perfil majoritário de edificações residenciais unifamiliares com até dois pavimentos. Devido a quantidade crescente de bares e restaurantes ao longo das ruas Ana Bilhar e Frederico Borges, a PMF executou o projeto de requalificação desse Polo Gastronômico com o objetivo de incentivar o trânsito de pedestres e a atividade econômica na região.

As obras de requalificação foram concluídas em 2020, incluindo: infraestrutura de drenagem urbana; adaptação da fiação elétrica para rede subterrânea; instalação de iluminação em LED; requalificação de vias e passeios; colocação de jardineiras nas esquinas; implantação de *parklets,* espaços de lazer e convívio; implantação de mobiliário urbano, como bancos, lixeiras, paraciclos e jarros; cruzamento com travessias elevadas e acessibilidade com rampas, piso tátil e sinalização, como apresentado na Figura 2. O trecho da via escolhido possui 12,4 m de largura e sentido único de tráfego Leste-Oeste.



Figura 1 – Localização do bairro e características do entorno. Fonte: Adaptado de MENDES (2018).

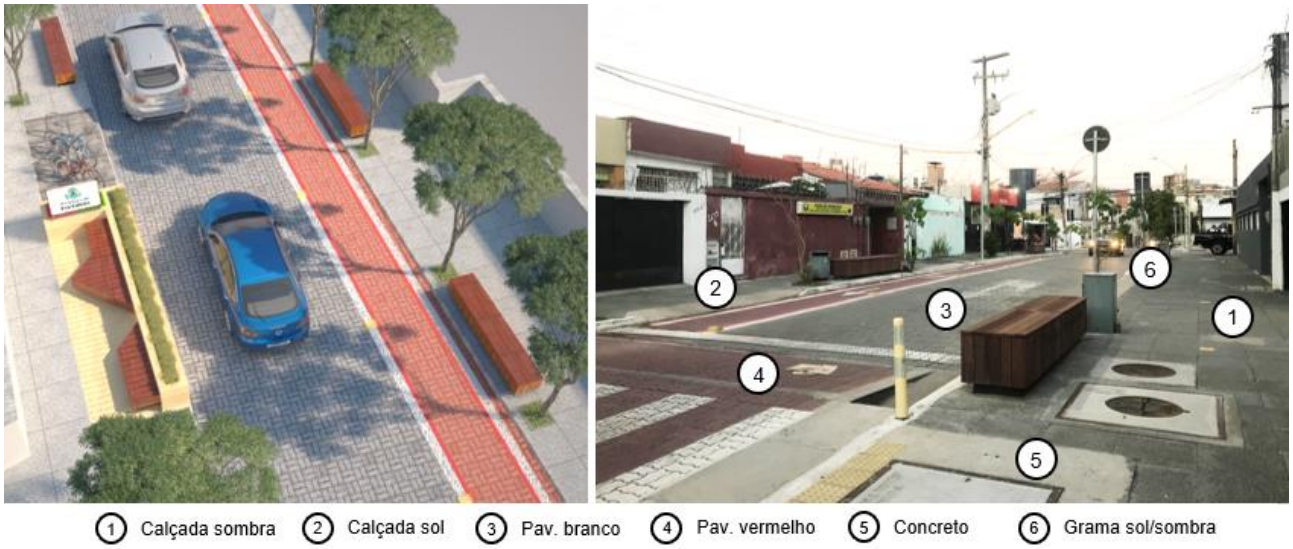

Figura 2 – (À esquerda) Imagem do projeto de requalificação. Fonte: PAULA (2023). (À direita) Resultado após execução com indicação dos pontos de medição de temperatura de superfície. Fonte: elaborada pelos autores.

Os materiais empregados na requalificação viária, ilustrados na Figura 3, incluem passeios de concreto poroso (conhecido como piso drenante), blocos de pavimentação intertravados em concreto, mobiliário urbano em madeira e estruturas de drenagem em concreto. Os blocos intertravados de concreto possuem espessura determinada com base na carga de tráfego esperada e são, normalmente, colocados sobre uma camada de areia de 20 a 40 mm de espessura. As juntas são seladas com areia para conectar os blocos, proporcionar resistência a tensões de cisalhamento e oferecer drenagem para águas pluviais. Já o piso drenante empregado nos passeios é comumente feito com concreto poroso, diferentemente do pavimento intertravado a base/sub-base do piso é formada por materiais granulares que criam vazios para a passagem de

água como se fosse um filtro. No projeto foram utilizados blocos de concreto intertravado do tipo H8, com dimensões de 22 cm de largura, 11 cm de comprimento e 8 cm de altura, e blocos de piso drenante com 40 cm de largura, 40cm de comprimento e 6 cm de altura.



Figura 3 – Materiais analisados no projeto: (à esquerda) piso drenante; (ao centro) piso intertravado e (à direita) madeira e concreto.

3.2. Coleta de dados

A escolha do período de coleta dos dados baseou-se nas condições climáticas da cidade. A Figura 4 apresenta os dados do comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano baseados em um série temporal de 30 anos da estação meteorológica do Aeroporto Pinto Martins, em Fortaleza. A intensa insolação durante todo o ano proporciona baixa amplitude térmica com temperaturas entre 24ºC e 32ºC durante todo o ano, que são características de climas tropicais quentes. Verifica-se que entre agosto e dezembro há menor precipitação que nos períodos de janeiro a julho. Para planejamento do dia da coleta, também foi consultada a base de dados meteorológicos de precipitação em dias anteriores.

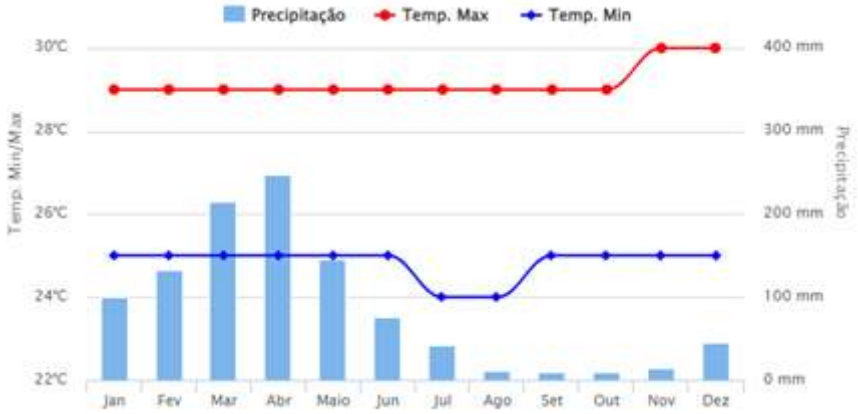

Figura 4 – Média anual de temperatura (à esquerda). Fonte: Climatempo.com. Acesso em 20 de março de 2023.

A coleta de dados ocorreu no dia 16 de dezembro de 2021 entre 9hs e 19hs para capturar o período sem chuvas e com forte insolação típicos do período seco na cidade. De fato, não foram registradas chuva no dia e em um período de 7 dias antes dessa data. Foram utilizados os seguintes equipamentos: Estação meteorológica sem fio Vantage Vue do fabricante Davis (Figura 5a); Câmera Térmica FLIR C2 do fabricante FLIR (Figura 5b); Termômetro Pistola MT-350 de mira laser do fabricante Minipa (Figura 5c).

A estação meteorológica permaneceu posicionada em posição fixa a 1,2m durante todo o período de medição. Por um período de 30 minutos foram feitas medições de adaptação à condicionante do local e por isso foram válidos os resultados reportados a partir das 9hs. O equipamento foi protegido por um guarda-sol devido à necessidade de não incidência de radiação solar direta nos sensores de temperatura do ar, por risco de coleta de dados adulterados em função da carga solar (LAMBERTS *et al.,* 2016). Nesses casos, indica-se que o guarda sol tenha a cor clara, sendo escolhida a cor amarela disponível no mercado. A estação registrou temperatura do ar, umidade, velocidade e direção dos ventos a cada 1 minuto.

A câmera térmica e a pistola laser foram utilizadas a cada 1 hora a partir do início das coletas para registros de Temperatura de Superfície (T_{sup}). Os registros da pistola laser foram feitos a 30 cm da superfície dos pontos móveis indicados na Figura 3. Foram escolhidos pontos na via com diferentes colorações (cinza ou vermelha) de modo a identificar se há alguma alteração na T_{sup}. Ao longo do dia alguns pontos medidos ficaram sombreados, e então a medição foi realizada em outro ponto de modo a capturar a radiação solar direta. Para isso, considerou-se que todos os pontos da via de mesma coloração e à mesma distância da

calçada possuem igual valor de T_{sup}. No caso das calçadas, cujo revestimento é de placas de concreto permeável, foram feitas medições nas duas condições, em regime de sol e sombra. A partir das 12hrs foram realizadas também medições em superfície de grama (jardim ao lado do *parklet*) e concreto (infraestrutura de esgoto) de modo a captar a T_{sup} de toda a infraestrutura implementada.



Figura 5 – (a) Posição da estação meteorológica durante a medição; (b) Câmera térmica e (c) Termômetro pistola de medição.

3.3. Análise da variação da energia térmica dos materiais

O comportamento térmico dos pavimentos depende da sua composição, uma vez que cada material tem sua própria capacidade de armazenamento de calor, que é afetada pela absorção térmica, refletividade e emissividade superficial. Com a variação de temperatura causada pela radiação solar incidente, as energias térmicas estocada e liberada pelos materiais do revestimento, durante o período de análise, foram estimadas de acordo com a Equação 1.

$$Q = C \cdot \Delta T \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Q é a energia térmica do material, em J; C é a capacidade térmica, em J/°C; e, ΔT é a variação de temperatura do material durante o período de coleta, em °C.

A capacidade térmica representa a quantidade de energia térmica necessária para elevar a temperatura de uma determinada quantidade de material em 1 grau Celsius (ou Kelvin). Quanto maior a capacidade térmica de um material, mais energia térmica é necessária para aquecê-lo ou resfriá-lo. Essa propriedade pode ser expressa pela Equação 2.

$$C = c \cdot m \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
C é a capacidade térmica, em J/°C; c é o calor específico do material, em J/(kg °C); e, m é a massa do material, em kg.

A transferência e o armazenamento de calor também são função da cor do material e da rugosidade da sua superfície. A cor do revestimento altera as propriedades óticas de reflexão da luz solar incidente, que interfere na absorção de calor do material. Em geral, cores mais claras possuem maior refletividade. Enquanto a rugosidade da superfície pode aumentar a transferência de calor por convecção, especialmente se o pavimento estiver molhado. A rugosidade não será objeto de estudo deste trabalho.

4. RESULTADOS

4.1. Condições climáticas

A estação meteorológica registrou temperatura do ar acima de 30ºC desde o início das medições. A maior temperatura (32,7ºC) foi registrada às 13:45hrs e a partir desse momento foi registrada diminuição gradativa da temperatura de ar (Figura 6). Em relação à ventilação natural, o sentido predominante de ventilação na cidade é Sudeste, conforme o padrão de regime de ventos (Figura 7). Isso indica que as edificações do entorno de baixo gabarito tiveram pouca influência no regime de ventos. Estudos anteriores apontam

modificação do sentido prioritário do vento ou diminuição da velocidade em detrimento da existência de edificações verticalizadas com mais de 10 pavimentos no entorno (NAZARETH, 2020). O sentido Leste-Oeste de circulação de veículos na via também influencia o fluxo de vento predominante com velocidade média de 1,5 m/s ao longo do dia. Desde o início da medição, a mesa teve que ser ancorada com um barbante devido à alta incidência de ventos. Ao entardecer, a velocidade do vento em alguns momentos superou 2 m/s, indicando haver maior fluxo de vento nesse período.

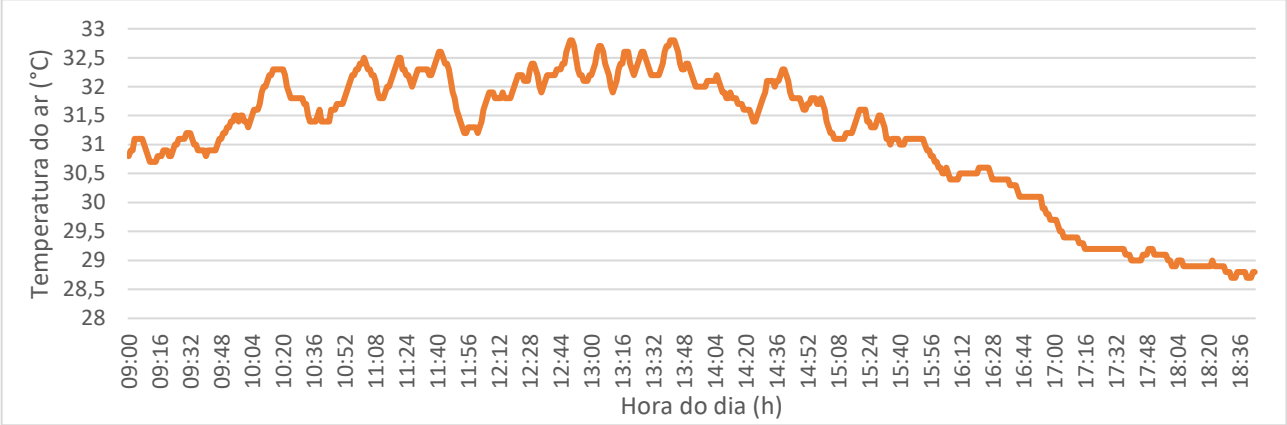

Figura 6 – Temperatura do ar medida a 1,2m do pavimento, durante o dia

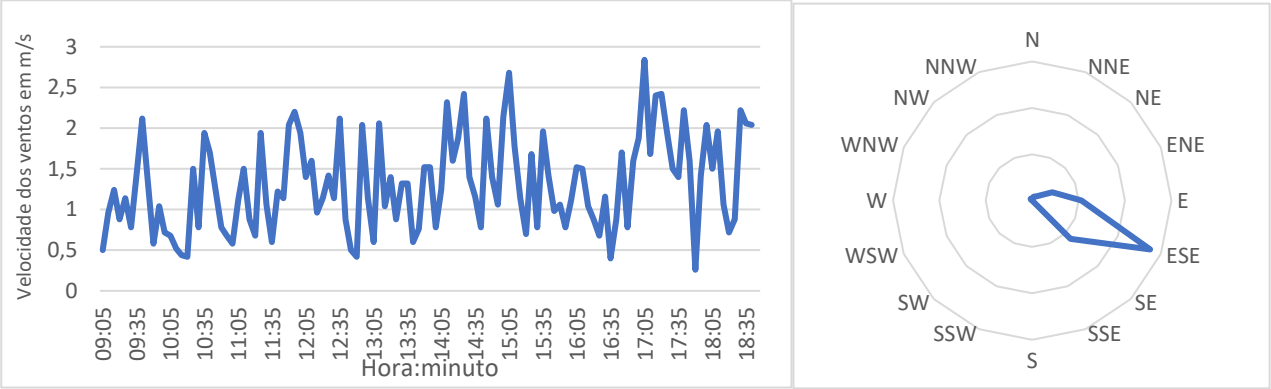

Figura 7 – Velocidade (à esquerda) e direção predominante (à direita) dos ventos no local, medidos a 1,2m do solo.

Durante quase todo o período de medição não havia pedestres na rua, o que também está associado aos efeitos da pandemia na dinâmica das pessoas. Por volta das 17hrs a diminuição da temperatura e a maior vazão de ventilação coincidiram com a saída dos moradores de suas casas. Observou-se que os moradores passaram a utilizar os bancos de madeira e fazer manutenção das áreas verdes. Isso indica que a infraestrutura implementada é mais bem aproveitada no período da noite.

4.2 Comportamento térmico dos materiais

A partir da medição das temperaturas superficiais dos materiais foi possível observar a variação de temperatura ao longo de um dia (Figura 8). É possível observar que, em geral, o comportamento térmico dos materiais se divide em duas etapas: elevação das temperaturas superficiais, período entre 9hs e 13:10hs; e, redução das temperaturas superficiais no período entre 13:10hs e 18:40hs. Esse comportamento é semelhante à variação de temperatura do ar medida pela estação meteorológica e pode estar associado ao aumento do fluxo de vento no segundo período de medição.

Durante toda a primeira etapa, a superfície porosa das calçadas (piso drenante), expostas à incidência direta de luz solar, apresentou as maiores temperaturas, alcançando valores máximos da ordem de 59°C. Após o pico, as temperaturas superficiais da calçada reduziram gradualmente, com aumento da taxa de resfriamento a partir das 16:10hs. O piso drenante da calçada sombreada apresentou os menores valores de temperatura superficial ao longo de todo o período, pouco superior a 30°C, com variação próxima à observada para a temperatura do ar circundante. Esse fato indica a importância do sombreamento na mitigação da absorção de calor por materiais usados na construção e, consequentemente, no conforto térmico dos pedestres no meio urbano.

Os vazios porosos do piso drenante aumentam a área de superfície disponível, o que pode limitar a transferência de calor para subcamadas e manter o calor na superfície do pavimento, justificando sua elevada temperatura durante o dia e menores liberações de calor durante a noite (KEVERN *et al*., 2008). Ademais, os vazios do pavimento poroso tendem a aumentar o movimento do ar e a convecção no pavimento, facilitando a dissipação de calor do pavimento para o ar. Isso pode explicar o rápido resfriamento das calçadas, cuja temperatura resfriou até 30°C a partir das 17:10h. Outro fator que facilita esse mecanismo é a umidade dentro da estrutura do pavimento, que evapora à medida que a superfície aquece e tira calor do pavimento, semelhante ao resfriamento evaporativo de áreas com coberturas vegetais (EPA, 2012).

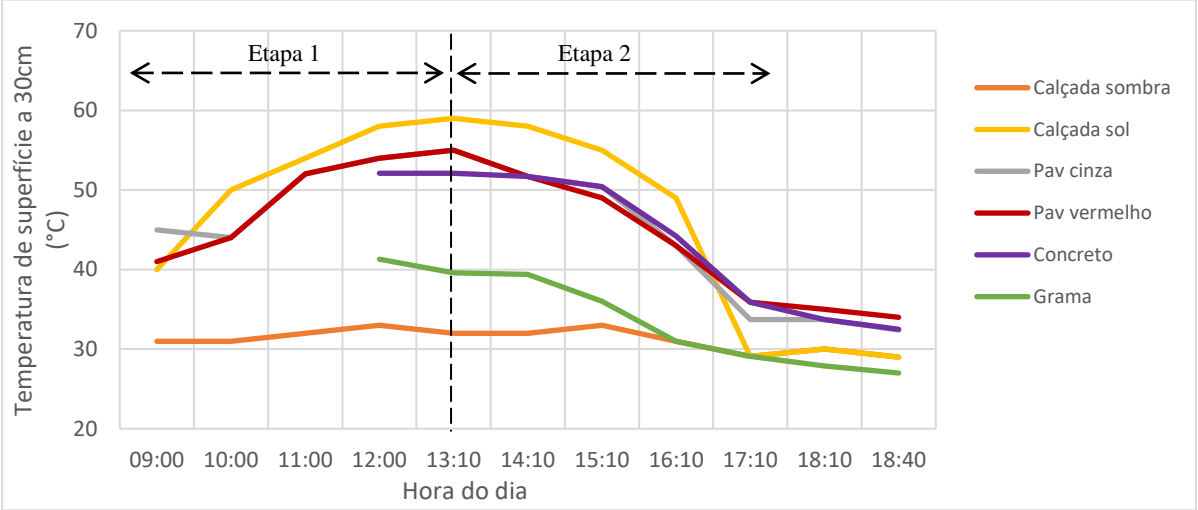

Figura 8 – Temperatura de superfície de diferentes materiais medidos a 30cm do solo.

O comportamento térmico observado para o pavimento intertravado não apresentou diferenças significativas em função da cor dos blocos. Esse resultado pode ser explicado pelos semelhantes valores de absorbância das pinturas geralmente empregadas nos materiais. O estudo de Dornelles, Caram e Sichieri (2013) indicou valores de absorbância para pintura cinza clara de 71%, para o cinza escuro usado em concretos de 72% a 75% e para o vermelho escuro de 68%. Considerando isso, o comportamento dos pavimentos intertravados cinza e vermelho foi analisado concomitantemente.

A temperatura superficial máxima dos blocos intertravados de concreto atingiu 55°C às 13:10hs, com posterior redução contínua da temperatura. É possível observar, entretanto, que a taxa de liberação de calor do pavimento intertravado é, em média, 30% mais lenta que a do piso drenante. Após a diminuição da incidência solar essa diferença torna-se mais pronunciada alcançando 55%. As temperaturas superficiais desses materiais diferem cerca de 5°C no período entre 17:10hs e ao final da medição (19:00hs). O concreto convencional utilizado nos dispositivos de drenagem apresenta comportamento térmico semelhante àquele encontrado para os blocos intertravados. Verificou-se que a temperatura superficial de todos os materiais analisados nesse trabalho se manteve de 68 a 80% superior a temperatura do ar durante o período analisado, o que contribui para aquecer a baixa atmosfera. Essa tendência, observada inclusive durante o período noturno, corrobora para o aumento do consumo de energia e a formação de ICU (XU *et al*., 2021).

De forma simplificada, o comportamento dos materiais pode ser explicado em função da energia térmica estocada e liberada por esses revestimentos. As propriedades termofísicas dos materiais foram adotadas a partir de valores usuais encontrados na literatura específica (Tabela 1). Dentro de certa variação de temperatura, o calor específico do concreto é reduzido à medida que sua porosidade aumenta (WU *et al*., 2017). No estudo de Ramos *et al*. (2021), o aumento do índice de vazios do concreto poroso de 15 para 30% resultou na redução dos valores médios de condutividade térmica de 0,55 a 0,44 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Enquanto que, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), a condutividade térmica do concreto convencional é próxima a 1,75 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Tabela 1– Propriedades termofísicas dos materiais utilizados no projeto.

Material	**Utilização no projeto**	**Densidade** (ABNT, 2005)	**Calor específico (J/kg.°C)** (Wu *et al.*, 2017)	**Condutividade (W/m.K)** (Ramos *et al.*, 2021)	**Emissividade (%)** (Frota e Schiffer, 2003)
Concreto convencional	Pavimento intertravado	2.200 – 2.400	1.025	1,28 – 1,75	0,90 – 0,96
Concreto poroso	Piso drenante	1.800 – 2.200	910	0,44 – 0,55	0,85 - 0,90
Madeira (compensado)	Mobiliário	450 - 550	2.300	0,07 - 0,15	0,90 – 0,95

Assim, materiais com menor calor específico tendem a apresentar temperaturas de superfície mais elevadas em comparação com materiais com maior calor específico. Isso se deve ao fato de que materiais com menor calor específico possuem menor capacidade de armazenar energia térmica, o que resulta em uma rápida absorção de calor quando expostos a fontes externas de energia térmica, como a radiação solar. Além disso, materiais mais porosos tendem a apresentar maior absorção de água, o que pode afetar a condutividade térmica do material e, consequentemente, a dissipação de calor.

4.3 Imagens Térmicas

As imagens térmicas, obtidas através de câmeras que detectam a radiação infravermelha emitida pelos corpos, confirmam os comportamentos dos materiais mencionados e discutidos anteriormente. De forma geral, as áreas mais claras ou brancas nas imagens indicam as regiões mais quentes, enquanto as áreas mais escuras ou azuis indicam as regiões mais frias. A emissividade é a propriedade térmica que mede a capacidade que o material tem de irradiar energia em referência à um corpo negro ideal. Valores típicos da emissividade para a maioria dos materiais de construção estão entre 0,85 e 0,95 (FROTA e SCHIFFER, 2003).

A imagem térmica da Figura 9 foi capturada às 10hs, durante o período de insolação. Nela é possível observar que a superfície do passeio é mais quente se comparada a superfície do pavimento na via. Na imagem da Figura 10, entretanto, há uma inversão desse comportamento térmico, compatível com a maior emissividade das superfícies de concreto denso, uma vez que esses materiais apresentam uma maior emissão de radiação infravermelho em comparação com as superfícies porosas do piso drenante no passeio. Esses resultados sugerem que a utilização de piso drenante pode ser uma solução eficiente no combate à formação das ICU, uma vez que esse material permite uma rápida dissipação do calor.



Figura 9 – Imagem térmica de superfície do pavimento poroso e pavimento intertravado às 10 hs.

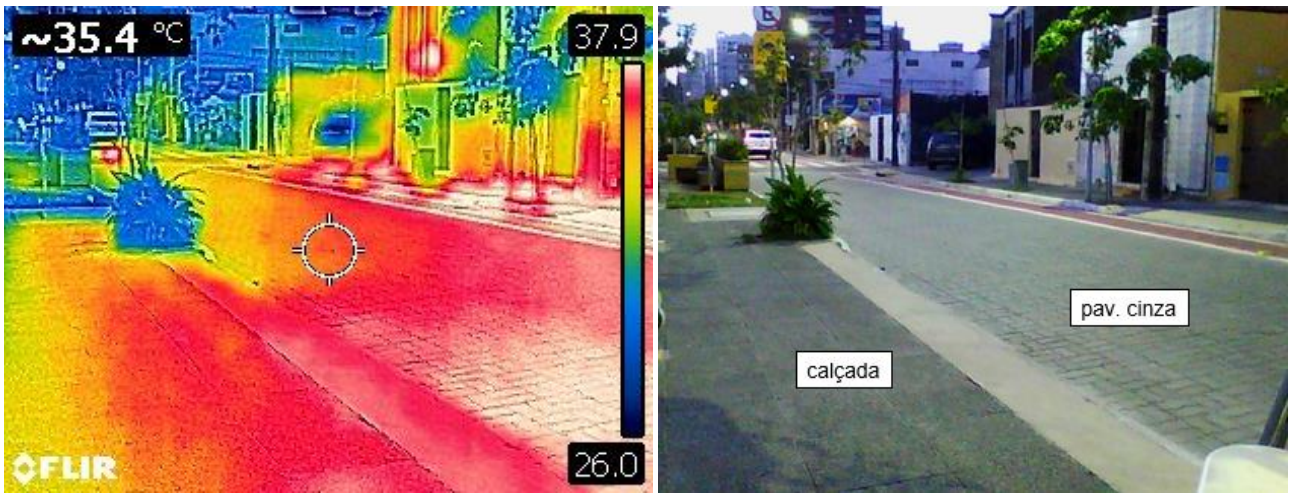

Figura 10 – Imagem térmica de superfície do pavimento poroso e pavimento intertravado às 17:50 hs.

A Figura 11 apresenta imagens térmicas do mobiliário urbano de madeira às 12hs e às 14hs. A combinação do alto calor específico com a alta emissividade da madeira indica que ela é capaz de absorver grande quantidade de energia térmica e de irradiar calor de sua superfície para o ambiente. Esse comportamento pode justificar os valores da sua temperatura de superfície atingir 65°C durante o período de incidência solar direta. A baixa condutividade térmica da madeira, entretanto, indica que ela é capaz de reduzir a transferência de calor por condução e funcionar como um isolante térmico, o que pode ajudar a manter o conforto térmico ambiente.

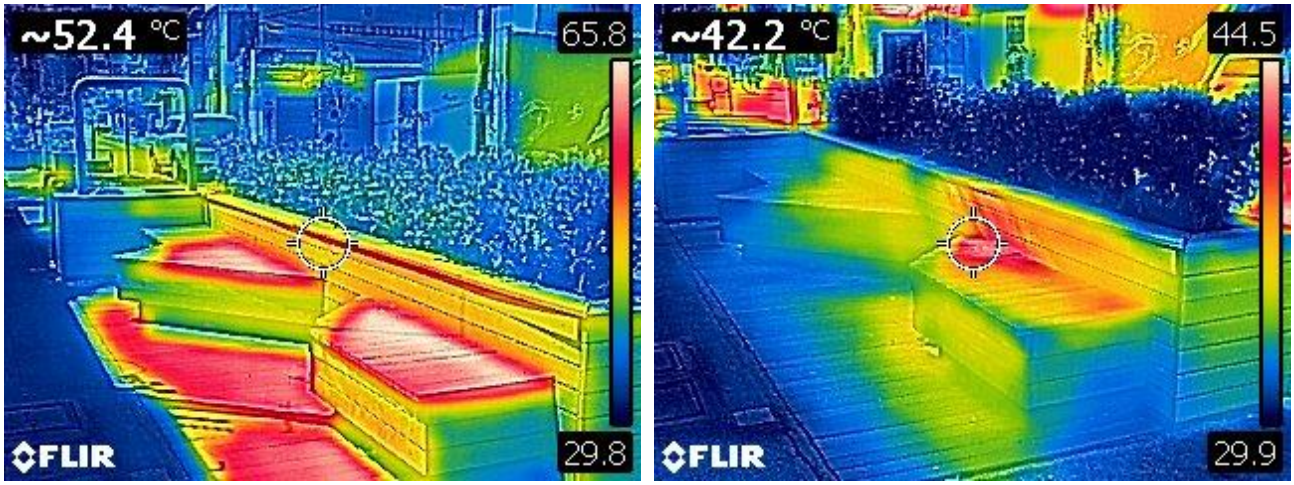

Figura 11 – Imagem térmica de superfície de *parklet* de madeira às 12hs (esquerda) e às 14hs (direita).

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo investigar o comportamento térmico dos materiais empregados em uma obra de requalificação urbana na cidade de Fortaleza/CE. A partir da medição das temperaturas superficiais desses materiais foi possível observar a variação de temperatura ao longo de um dia. Como resultado foram apresentadas primeiramente as condições climáticas de temperatura do ar, umidade e velocidade dos ventos do dia da medição. Posteriormente, foram analisados os valores obtidos nas medições de temperatura de superfície, comparando-os com as condições climáticas e valores encontrados na literatura. Além disso, as imagens térmicas foram apresentadas como uma ferramenta que auxilia a compreensão visual dos resultados analisados.

Os resultados indicaram que há diferenciação no comportamento térmico dos materiais em função das características termofísicas deles, bem como do tipo e exposição solar. Já quanto a cor, a pintura cinza ou vermelha do pavimento intertravado não gerou variações significativas na temperatura de superfície medida, o que pode estar associado à semelhante absorbância dessas pinturas. A temperatura superficial de todos os materiais analisados nesse trabalho se manteve de 68 a 80% superior à temperatura do ar durante o período analisado, o que contribui para aquecer a baixa atmosfera. Essa tendência, observada inclusive durante o período noturno, corrobora para o aumento do consumo de energia e a formação de ICU.

O concreto poroso do piso drenante presente nas calçadas apresentou maiores temperaturas superficiais, chegando a 59ºC. A taxa de liberação de calor dessa superfície foi, em média, 30% mais rápida que do pavimento intertravado com concreto convencional. Isso ocorre porque o concreto poroso possui menor calor específico se comparado ao concreto convencional, logo menor capacidade de armazenar energia térmica, o que resulta em uma rápida absorção de calor quando exposto a fontes externas de energia térmica, como a radiação solar.

Por outro lado, o piso drenante da calçada sombreada apresentou os menores valores de temperatura superficial ao longo de todo o período de medição, pouco superior a 30°C, com variação próxima à observada para a temperatura do ar circundante. Conforme a incidência solar diminuiu, a calçada exposta ao sol apresentou taxa de resfriamento mais acentuada, 55% mais rápida que o pavimento intertravado. As imagens térmicas indicaram o rápido resfriamento da madeira utilizada no mobiliário do projeto quando sombreado. Observou-se que somente ao final do dia os moradores passaram a utilizar os bancos de madeira e fazer manutenção das áreas verdes. Isso indica a importância do sombreamento na mitigação da absorção de calor por materiais usados na construção e, consequentemente, para o conforto térmico dos pedestres no meio urbano.

Assim, a implementação de materiais com propriedades termofísicas mais vantajosas têm potencial para mitigar efeitos ambientais e, simultaneamente, aprimorar o bem-estar térmico da população que habita os grandes centros urbanos. Especialmente em regiões de clima quente, como é o caso de Fortaleza/CE, essas iniciativas se tornam particularmente relevantes. Para trabalhos futuros, pretende-se realizar medições de temperatura interna nos pavimentos, medir o albedo ao longo do dia e comparar a presente medição com valores encontrados em outros períodos do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: 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, 2005.

BRASWELL, A. S.; WINSTON, R. J.; HUNT, W. F. Hydrologic and water quality performance of permeable pavement with internal water storage over a clay soil in Durham, North Carolina. *Journal of Environmental Management, v. 224*, p. 277–287, 2018.

DORNELLES, K.A.; CARAM, R.M.; SICHIERI, E.P. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído -ENCAC/ELACAC, Brasília, 2013.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Pavements. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/epa_heat_island_coolpavements_compendium.pdf. Acesso em: 12 abr. 2023.

FROTA, A. B.; SHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Ed. Studio Nobel, 2003.

GILBERT, J. K.; CLAUSEN, J. C. Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut. *Water Research, 40*(4), p. 826–832, 2006.

KEVERN, J.; SCHAEFER, V.R.; Wong, K. Temperature Behavior of a Pervious Concrete System. Under review for the 2009 Transportation Research Board Annual Meeting, 2008.

LAMBERTS et al., 2016. Desempenho térmico das edificações. Santa Catarina: UFSC, 2016.

MENDES, S.M. Corredor Gastronômico da Varjota em Fortaleza: Dinâmicas Urbanas e conflitos socioespaciais. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

MOURA, M.O. O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: UFC – Programa de Pós-graduação em Geografi a, 2008. 319 p.

NAZARETH, S.B.M 2020. Impactos da Verticalização no microclima em cidade Tropical Úmida: o centro da cidade de Fortaleza/CE. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2020.

PAULA, I. Polo Gastronômico da Varjota deve ser entregue até maio; confira imagens do projeto. Jornal O Povo, Fortaleza, 06.01.2020, Noticia, Disponível em: https://www.opovo.com.br/noticias/fortaleza/2020/01/06/polo-gastronomico-da-varjota-deve-ser-entregue-ate-maio-imagens-projeto.html. Acesso em 8 de março de 2023

PÉTALAS, K, V.; MOTA, F. S. B. Avaliação das condições bioclimáticas da região costeira do Nordeste brasileiro: o município de Fortaleza, CE. Revista Brasileira de Climatologia, v. 13., 2013.

PMF - Prefeitura Municipal de Fortaleza. Secretária Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. Lei complementar n° 236 de 11 de agosto de 2017. Parcelamento, uso e ocupação do solo. Fortaleza, 2017.

PMF - Prefeitura Municipal de Fortaleza. Secretária Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. Plano Local de Ação Climática da cidade de Fortaleza. Fortaleza, 2017.

RAMOS, M. O.; PINHEIRO, I. G.; SOUZA JUNIOR, L. G.. Influência da porosidade na condutividade térmica, resistência mecânica e coeficiente de permeabilidade do concreto permeável. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.5, p.515-528, 2021.

XU, L.; Wang, J.; Xiao, F.; EI-Badawy, S.; Awed, A. Potential strategies to mitigate the heat island impacts of highway pavement on megacities with considerations of energy uses. Applied Energy, 281, 116077, 2021.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) através da concessão de bolsa de estudo de Doutorado, nº de processo 2021/02915-2, e da Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - por meio do Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP). Os autores também agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – e à FUNCAP - Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Agradecemos também ao Departamento de Engenhara de Transportes e ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFC pelo empréstimo dos equipamentos de pesquisa.