XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Simulação computacional microclimática em fração urbana de área central de Natal-RN, Brasil

Simulación microclimática computacional en una fracción urbana del área central de Natal-RN, Brasil.

Computational microclimatic simulation in an urban fraction of the central area of Natal-RN, Brazil

Clima e Planejamento urbano

Barros Moreira de Carvalho, Guilhardo
Doutorando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, guilhardobarros@gmail.com

Pessoa Sampaio, Ana Lígia
Doutorando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, analigiasampaio@hotmail.com

Dantas de Araújo, Virgínia Maria
Doutora em Arquitetura e Urbanismo, Professora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, virginia.dantas@ufrn.br

Medeiros Cortês, Marina
Doutora em Arquitetura, Professora adjunta do Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, marina.cortes@ufrn.br

Collado Mendes da Silva, Angela
Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, colladomsilva@gmail.com

Resumo

A maneira como as cidades crescem e se urbanizam pode intervir nas condições microclimáticas locais e afetar o conforto ambiental e a qualidade de vida das pessoas que vivem nesses espaços. Nesse sentido, análises microclimáticas surgem como ferramentas essenciais para compreender essas dinâmicas e propor estratégias de mitigação. Assim, esse artigo busca compreender a relação entre configuração urbana, vegetação e conforto térmico com base na análise microclimática de duas ruas paralelas no bairro Tirol, em Natal-RN, as ruas Apodi e Jundiaí, que possuem configurações espaciais similares, mas coberturas vegetais distintas. A análise foi feita a partir de simulações no software ENVI-met, após aplicação de dois métodos de análise bioclimática, comparando os resultados da simulação com dados coletados *in loco*. Os resultados confirmam que áreas arborizadas reduzem temperaturas e formam ambientes mais confortáveis, mas as simulações apresentaram limitações, com discrepâncias dos resultados quando comparados com algumas medições.

Palavras-chave: Simulação. ENVI-met. Análise microclimática. Vegetação. Natal-RN.

Resumen

El crecimiento y la urbanización de las ciudades pueden influir en las condiciones microclimáticas locales, afectando el confort ambiental y la calidad de vida. En este contexto, los análisis microclimáticos son herramientas clave para comprender estas dinámicas y proponer estrategias de mitigación. Este estudio analiza la relación entre configuración urbana, vegetación y confort térmico a partir del estudio microclimático de dos calles paralelas en el barrio Tirol, en Natal-RN: Apodi y Jundiaí, que presentan configuraciones espaciales similares, pero diferentes coberturas vegetales. Se realizaron simulaciones en ENVI-met tras aplicar dos métodos de análisis bioclimático, comparando los resultados con datos medidos in situ. Los hallazgos confirman que las áreas arboladas reducen la temperatura y mejoran el confort térmico. Sin embargo, las simulaciones presentaron limitaciones, con discrepancias en algunos resultados respecto a las mediciones.

Palavras-chave: Simulación. ENVI-met. Análisis microclimático. Vegetación. Natal-RN.

Abstract

The way cities grow and urbanize can influence local microclimatic conditions, affecting environmental comfort and the quality of life of those inhabiting these spaces. In this context, microclimatic analysis emerges as essential tools for understanding these dynamics and proposing mitigation strategies. Thus, this study aims to investigate the relationship between urban configuration, vegetation, and thermal comfort based on a microclimatic analysis of two parallel streets in the Tirol neighborhood, Natal-RN—Apodi and Jundiaí streets—which share similar spatial configurations but have distinct vegetation cover. The analysis was conducted through simulations using the Envi-MET software, following the application of two bioclimatic analysis methods and comparing the simulation results with in situ data collection. The findings confirm that tree-covered areas contribute to lower temperatures and more comfortable environments. However, the simulations presented limitations, with discrepancies observed when compared to certain field measurements.

Keywords: Simulation. ENVI-met. Microclimatic analysis. Vegetation. Natal.

Introdução

O crescimento das áreas urbanas sem o devido planejamento do seu impacto ambiental, também em escala local, tem gerado transformações significativas no microclima das cidades e vem influenciando diretamente o conforto térmico e a qualidade de vida nesses espaços (Ascione et al., 2024; Crank *et al.*, 2020; Gusson, 2020; Shinzato *et al.*, 2019). Dentre outros fatores, a configuração espacial das ruas e a cobertura vegetal podem desempenhar papéis cruciais na modificação dessas condições e afetar variáveis microclimáticas como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade dos ventos e a temperatura radiante média (Ascione et al., 2024; Gusson, 2020; Pereira; Brandão; Barbosa, 2021; Shinzato *et al.*, 2019; Werneck, 2022. Nesse sentido, uma análise microclimática urbana se torna uma ferramenta importante para se compreender as dinâmicas e propor estratégias que mitiguem o aquecimento urbano.

Assim, como parte de um trabalho mais amplo desenvolvido para uma disciplina de pós-graduação, este artigo tem como objetivo geral realizar uma análise microclimática comparativa entre duas ruas paralelas localizadas no bairro do Tirol, em Natal-RN, a partir de uma abordagem quantitativa, com o auxílio do *software* ENVI-met para simulações computacionais, e de uma abordagem qualitativa, fundamentada nos métodos de análise bioclimática.

Os métodos computacionais em várias escalas têm se mostrado ferramentas indispensáveis na análise de diversos fenômenos espaciais. Em particular, estudos em microescala beneficiam-se significativamente desses modelos, permitindo a simulação de diferentes cenários e a análise detalhada do perfil térmico em espaços abertos (Bruse; Fleer, 1998; Crank *et al.*, 2020; Gusson, 2020; Shinzato *et al.*, 2019; Sinsel *et al.*, 2022). A simulação computacional possibilita a compreensão de eventos climáticos e a avaliação de estratégias antes de sua implementação, seja em cenários reais ou hipotéticos (Gusson, 2020; Pereira; Brandão; Barbosa, 2021; Shinzato *et al.*, 2019; Werneck, 2022). Essa abordagem tem encontrado ampla aplicação tanto em trabalhos didáticos quanto em pesquisas, servindo como uma alternativa eficaz aos estudos de campo para a obtenção de informações diagnósticas.

O *software* utilizado foi o ENVI-met (Bruse; Fleer, 1998) desenvolvido no Instituto de Geografia da Universidade de Mainz, na Alemanha. Trata-se de um modelo tridimensional de clima urbano que simula a interação entre a superfície, as plantas e a atmosfera em ambientes urbanos. Ele

opera na microescala tridimensional, com uma camada atmosférica limitada a 2.500m de altura (Bruse; Fleer, 1998; Shinzato *et al.*, 2019; Sinsel *et al.*, 2022). Destaca-se nessa área por sua capacidade de calcular o balanço de energia considerando variáveis como radiação, reflexão, vegetação, fluxo de ar, temperatura e umidade relativa do ar, turbulência local (Bruse; Fleer, 1998; Pereira; Brandão; Barbosa, 2021; Shinzato *et al.*, 2019; Sinsel *et al.*, 2022). Essas funcionalidades são cruciais para a análise das condições do microclima.

Os resultados obtidos na simulação foram comparados com dados climáticos coletados *in loco* em cada rua e da estação climatológica, considerando as variáveis ambientais. A combinação dessas abordagens permite uma análise abrangente das interações entre o espaço construído, a vegetação e o microclima, fornecendo subsídios para a formulação de estratégias de planejamento voltadas à melhoria do conforto térmico, a sustentabilidade nas cidades tropicais e o enfrentamento às mudanças climáticas.

Métodos e Técnicas

O método da presente pesquisa parte de uma pesquisa maior, dividida em análises qualitativa e quantitativa de microclimas urbanos. Com o objetivo de investigar a relação entre a forma urbana e o conforto ambiental, analisando como os aspectos urbanísticos de uma fração do bairro Tirol, em Natal-RN, influenciam a sensação térmica em espaços abertos. O estudo utiliza uma abordagem bioclimática baseada nos métodos de Katzschner (1997) e Oliveira (1985), integrando dados climáticos e biológicos para avaliar o clima urbano. Com o diagnóstico, foram definidos quatro pontos em duas ruas paralelas, as ruas Apodi e Jundiaí, com diferentes níveis de cobertura arbórea, permitindo compreender o impacto da vegetação na sensação térmica. Para isso, foram elaborados mapas de topografia, uso do solo, vegetação e altura das edificações, combinando bases cartográficas, imagens de satélite e levantamento in loco.

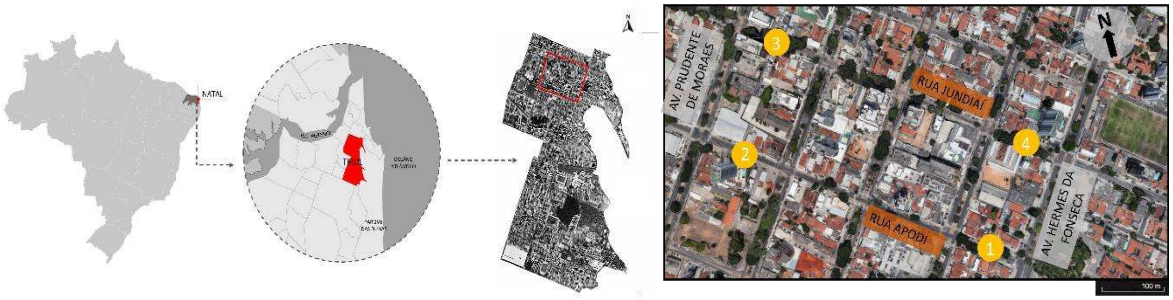
Para esse artigo, foi realizada uma análise quantitativa aplicando a simulação computacional, por meio do software ENVI-met. Para efeito de análise do comportamento diário e da confiabilidade, os resultados foram comparados com dados climáticos registrados *in loco* nos quatro pontos. Os dados analisados foram simulados ao longo das 24 horas do dia 15 de maio de 2024, a partir dos pontos mencionados e na análise dos mapas de manchas de cada variável ambiental, em dois cenários, nos horários das 9h e das 15h, foi utilizado um termo-higrômetro digital Hobo com data

logger Ux100-003, protegido por um abrigo de baixo custo, e um anemômetro de ventoinha Instrutherm AD-250. por terem sido os horários registrados *in loco*. Esses resultados foram obtidos a partir de medições realizadas a 1,5 m da superfície do solo, utilizados também para elaborar cada cenário de simulação. Assim, o procedimento metodológico foi dividido em três etapas: 1) Caracterização da área de estudo; 2) Simulação computacional com o ENVI-met; 3) Análise dos resultados.

Caracterização da área de estudo

Foram escolhidos quatro pontos das ruas Apodi e Jundiaí, que são ruas paralelas, situadas no sentido sudeste/noroeste e localizadas no bairro Tirol, em Natal-Rio Grande do Norte (Figura 1). Essas ruas foram escolhidas por apresentarem características físicas semelhantes, com vias de sentido único e estacionamento nos dois lados das vias, além de duas faixas reservadas para o fluxo de carros, uso do solo misto e verticalização compatíveis. A maior diferença está na arborização, que varia ao longo do seu percurso, o que impacta em algumas variáveis microclimáticas e na sensação térmica desses locais.

Figura 1: Mapas com localização de Natal no Brasil, do bairro Tirol em Natal e da área estudada.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Simulação computacional ENVI-met

O programa utilizado para a simulação foi o ENVI-met. Inicialmente foi desenvolvida a modelagem do cenário, apontando uma grade de modelagem com a configuração máxima de 180 x 180 x 35 células. Contudo, definiu-se uma grade de 179 x 156 x 30 células, com dimensões de 3 x 3 x 3m

por célula, admitindo as células das bordas sem informações (Ascione et al., 2024; Bruse; Fleer, 1998; Shinzato *et al.*, 2019; Sinsel *et al.*, 2022) . Portanto, a área sresultou em 537 x 468 x 90m.

Os materiais de construção adotados foram padronizados para todos os cenários (9h e 15h), com as seguintes características: lotes com edificações completamente impermeabilizados; lotes vazios com solo natural; as superfícies horizontais dentro dos lotes em concreto; as vias como asfalto e paralelepípedo; as calçadas em concreto cinza; as edificações com tijolo cerâmico, laje em concreto, telha cerâmica e metálica, seguindo o padrão do bairro.

Os dados meteorológicos utilizados na simulação foram obtidos na estação climatológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET 82598), localizada no Campus da UFRN, na cidade de Natal-RN, a 3,5Km da área de estudo. No início da simulação, foram inseridos os seguintes dados: velocidade do vento a 10 metros da superfície com valor de 3,55 m/s; direção do vento em graus, sendo 129° SE e rugosidade do solo igual a 0,1; Temperatura do ar a 2 metros de altura igual a 28,48°C; Umidade específica a 2.500 metros de altura igual a 9,7 g/kg; e Umidade Relativa do ar a 2 metros de altura igual a 74,35%.

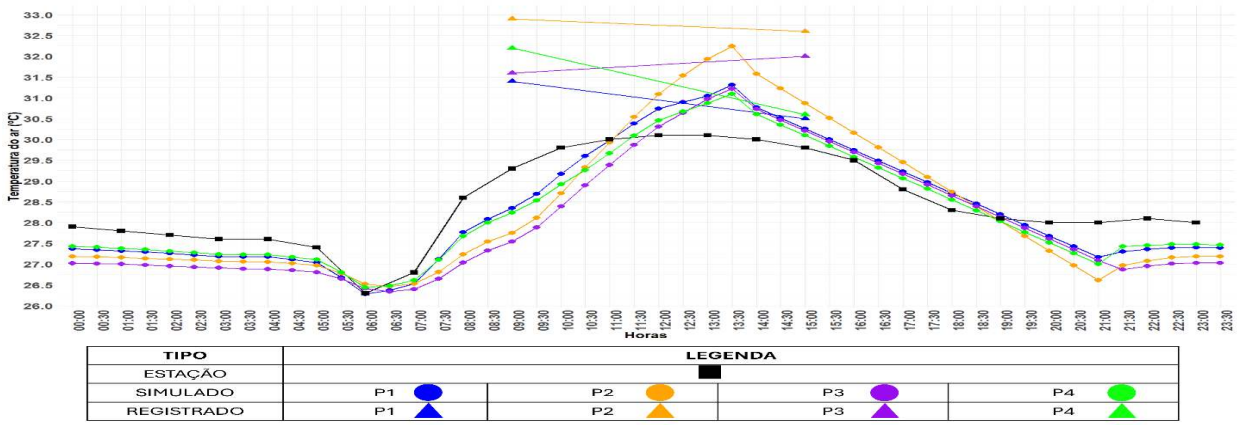
A ferramenta Simple Forcing, é um método simplificado de entrada de dados meteorológicos para simulações microclimáticas. Assim, permite estabelecer as condições atmosféricas básicas, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, usualmente baseada em um conjunto de valores fixos ou variáveis ao longo do tempo (Bruse; Fleer, 1998; Shinzato et al., 2019; Sinsel et al., 2022). Esta ferramenta foi utilizada para a simulação, inserindo os dados horários de Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar da estação convencional.

A simulação foi iniciada às 21:00h do dia 14/05/2024, totalizando 27 horas, sendo as primeiras 3 horas descartadas para estabilizar os dados, coletando assim os dados do dia 15/05/2024. A simulação foi realizada em toda área definida, inserindo os quatro pontos na modelagem, referentes aos locais das medições *in loco*, para efeito de análise comparativa entre as medições e simulações. Os dados ambientais (Temperatura do ar, Umidade Relativa do ar e Velocidade do ar) foram analisados no programa RStudio 2024.12.0, que é um *software* com linguagem de programação R, aplicado para análise de dados, estatística e visualização.

Análise dos resultados

Nessa parte, serão discutidos os resultados das análises qualitativas e quantitativas da simulação microclimática. Pretendeu-se examinar a distribuição espacial e as variáveis ambientais. A Análise dos dados de Temperatura do ar (T_{ar}) simulada revelou variações significativas relacionadas às características do entorno de cada local. No Ponto 1 (P1), na rua Apodi, existe um terreno vazio, sem arborização, com solo natural e uma calçada arborizada de densidade foliar média. A rua asfaltada e a calçada com solo natural e pavimentação influenciaram as T_{ar}, na simulação variaram de 26,2°C às 06:00h a 31,2°C entre 13:00h e 14:00h, reduzindo para 27,3°C à meia-noite. As T_{ar} diurnas foram reduzidas moderadamente pela presença de arborização, embora o asfalto e a ausência de vegetação no terreno próximo tenham colaborado para a absorção de calor. O Ponto 2 (P2), também na rua Apodi, possui rua asfaltada, calçada pavimentada com concreto e pedra, sem árvores próximas e com um prédio alto na rua oposta. As T_{ar} variaram de 26,5°C às 06:00h a 32,2°C entre 13:00h e 14:00h, retratando a ausência de sombreamento e a alta retenção de calor de superfícies construídas (Figura 3 e 4).

Figura 3: Comportamento da T_{ar} simulada, registrada *in loco* e da estação climatológica em 15/05/2024



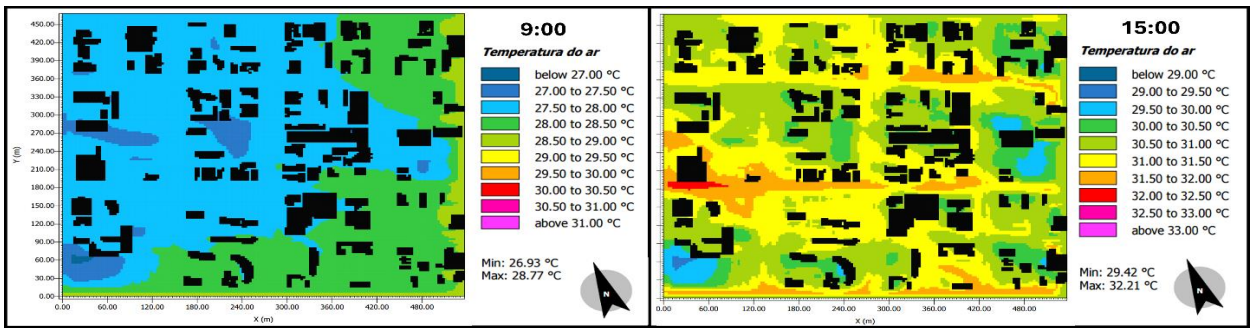
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O Ponto 3 (P3), na rua Jundiaí, apresenta alta densidade arbórea, sombra constante, prédios altos, rua asfaltada e calçada pavimentada. As T_{ar} variaram de 26,4°C às 06:00h a 31,3°C entre 13:00h e 14:00h. A cobertura arbórea densa resultou em menores T_{ar} diurnas, evidenciando o impacto das árvores no microclima. O Ponto 4 (P4), também na rua Jundiaí, com arborização menor que o P3, mas possui uma fração significativa de vegetação. A rua é asfaltada, e a calçada é pavimentada com pedra e concreto. As T_{ar} oscilaram entre 26,4°C às 06:00h e 31,4°C às 14:00h, demonstrando

redução moderada pela arborização (Figura 3 e 4).

Comparações entre os dados registrados e simulados (Figura 3) mostraram discrepâncias significativas às 09:00h: no P1, 31,4°C (registrada) contra 28,3°C (simulada); no P2, 32,9°C contra 27,7°C; no P3, 31,6°C contra 27,5°C; e no P4, 32,2°C contra 28,2°C. Às 15:00h, as diferenças foram menores: no P1, 30,5°C contra 30,2°C; no P2, 32,6°C contra 30,8°C; no P3, 32°C contra 30,2°C; e no P4, 30,6°C contra 30,1°C. De toda forma, os valores confirmam o impacto significativo da arborização na redução das T_{ar} diurnas urbanas, conforme as Figuras 3 e 4. O P3, com maior densidade arbórea, apresentou as menores T_{ar}, enquanto o P2, desprovido de árvores, registrou os valores mais elevados. A comparação entre os pontos evidencia padrões relacionados à cobertura do solo.

Figura 4: Temperatura do ar simulada às 9h e 15h em 15/05/2024 na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise comparativa entre os dados registrados e os valores simulados de T_{ar} permitiu avaliar a acurácia do modelo e distinguir possíveis discrepâncias. As diferenças observadas podem ser influenciadas por fatores como a resolução espacial e temporal da simulação, a precisão dos dados meteorológicos de entrada e a representação das condições microclimáticas locais, que podem não ser totalmente capturadas pelo modelo.

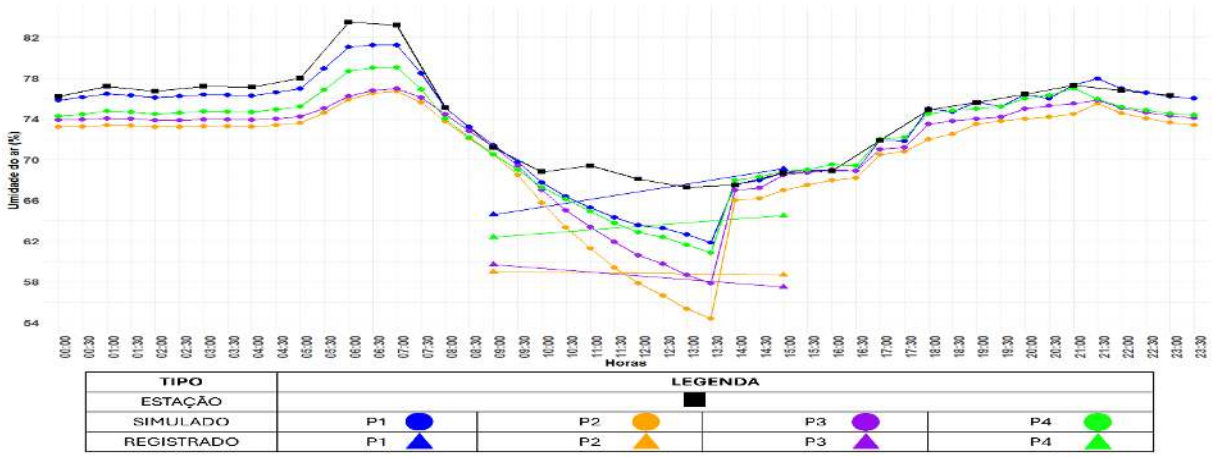
O comportamento da Umidade Relativa do ar (UR) nos pontos observados está apresentado na Figura 5. No P1, a UR variou na simulação de 75,8% à meia-noite a 81,2% às 06:30h, diminuindo para 63,5% às 12:00h. As árvores na calçada elevaram a UR durante a noite e manhã, mas a alta absorção de calor pelo asfalto reduziu a UR diurna, gerando um equilíbrio moderado. No P2, a UR oscilou entre 73,2% à meia-noite e 76,7% às 07:00h, com queda acentuada até 55,3% às 13:00h,

devido à ausência de sombreamento e superfícies construídas predominantes.

O P3, com alta densidade arbórea, apresentou variações menores, de 73,9% à meia-noite a 76,9% às 06:00h, atingindo um mínimo de 57,8% às 13:30h, confirmando o papel das árvores na conservação da UR. No P4, com menor arborização que o P3, a UR variou entre 74,2% à meia-noite e 79% às 07:00h, reduzindo para 60,8% às 13:30h, demonstrando que mesmo uma cobertura arbórea moderada contribui para a manutenção da UR.

Comparando dados medidos e simulados (Figura 5) às 09:00h, os valores simulados foram superiores aos registrados: P1 (71,4% simulados, 64,6% registrados, diferença de 6,8%), P2 (70,5% simulados, 59% registrados, diferença de 11,5%), P3 (71,2% simulados, 59,7% registrados, diferença de 11,5%), e P4 (70,5% simulados, 62,4% registrados, diferença de 8,1%). Às 15:00h, as diferenças diminuíram: P1 (-0,4%), P2 (8,3%), P3 (11%), e P4 (4,4%). Confirma-se que áreas com maior cobertura arbórea, como o P3, apresentam menores variações de UR, enquanto locais desprovidos, como o P2, exibem oscilações mais intensas. Além disso, ressalta-se a relevância da arborização e do tipo de pavimentação para a manutenção da UR.

Figura 5: Comportamento da UR simulada, registrada *in loco* e da estação meteorológica em 15/05/2024.



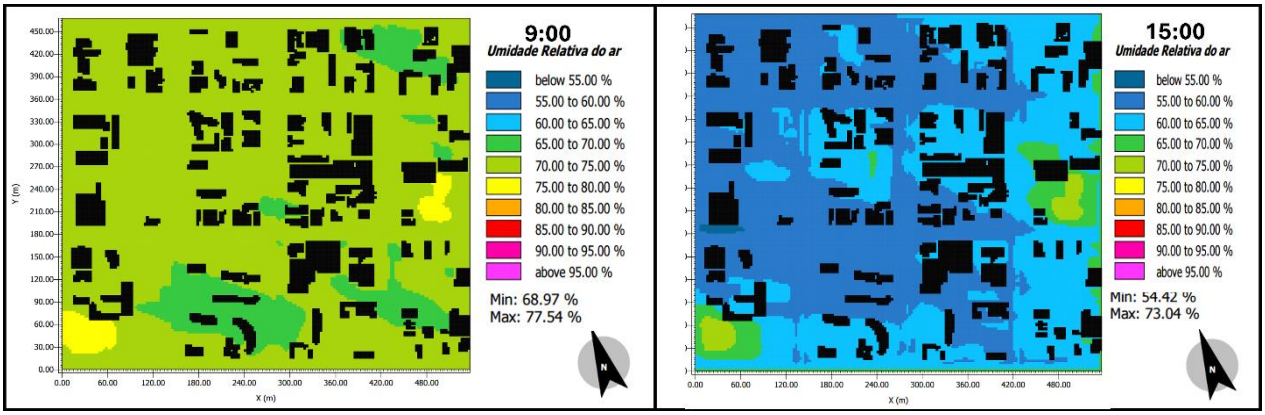
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise entre os dados registrados e os simulados de UR permitiu avaliar a acurácia do modelo e distinguir possíveis discrepâncias. As variações entre os dados simulados e registrados estão relacionadas à representação da vegetação, dos fluxos de evapotranspiração e da circulação

atmosférica dentro do modelo simulado. As pequenas discrepâncias podem ser explicadas pela forma como o modelo parametriza essas trocas, sobretudo entre superfícies e fluxos de UR.

O comportamento da UR no meio urbano é influenciado pela ocorrência da arborização, como sugeriram os resultados deste estudo (Figura 6). O P3, demonstra as menores alternâncias ao longo do dia, devido a presença de uma maior densidade de árvores, em contrapartida o P2, sem arborização, apresenta as maiores variações. Ao equiparar a variabilidade dos pontos, observamos indicadores nítidos referentes à arborização e ao tipo de pavimentação (Figura 6).

Figura 6: Umidade relativa do ar simulada às 9h e 15h em 15/05/2024 na área de estudo.



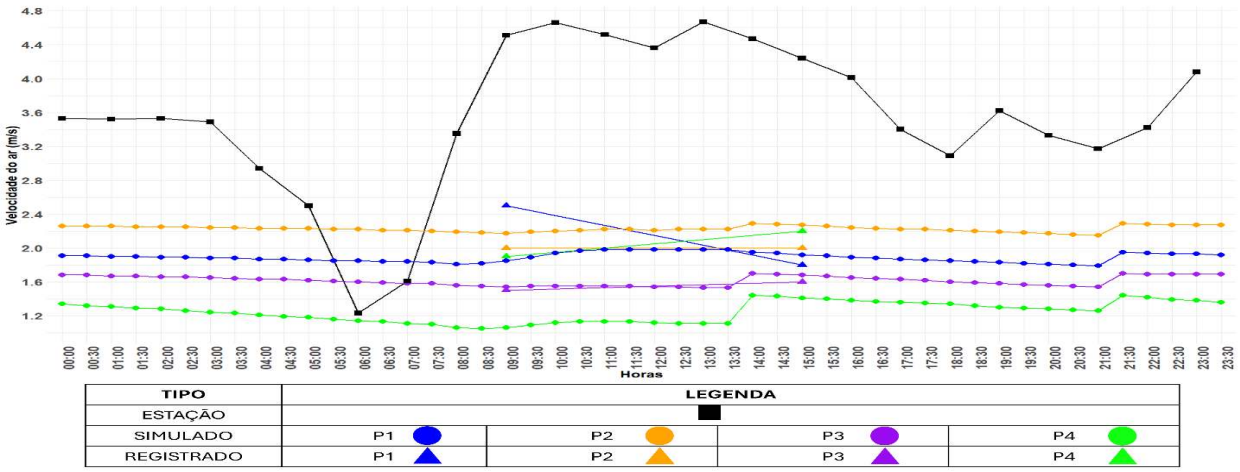
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise da Velocidade do Ar (V_{ar}) nos quatro pontos (Figura 7 e 8) revelou variações significativas, destacando o impacto da arborização. No P1, a V_{ar} variou na simulação de 1,79 m/s às 21h a 1,91 m/s às 00h, com pico de 1,98 m/s entre 9h e 11h30. A presença de árvores moderou o vento. No P2, sem arborização, a V_{ar} manteve-se entre 2,1 m/s e 2,4 m/s, com maior circulação. No P3, com arborização densa, a V_{ar} foi reduzida a 1,53 m/s às 13h. No P4, com arborização moderada, variou de 1,2 m/s a 1,6 m/s, atingindo 1,10 m/s às 7h30. O P3 teve as menores V_{ar}, enquanto o P2 houve as maiores. À meia-noite, os valores foram similares, mas as diferenças aumentaram durante o dia, influenciadas pelas características do entorno.

As simulações (Figura 8) apresentaram diferenças em relação aos dados registrados nas medições. Às 9h, no P1, a V_{ar} simulada foi 1,85 m/s e a registrada foi 2,5 m/s, diferença de -0,65 m/s. No P2, a diferença foi 0,17 m/s (2,17 m/s simulados e 2 m/s registrados). No P3, a variação

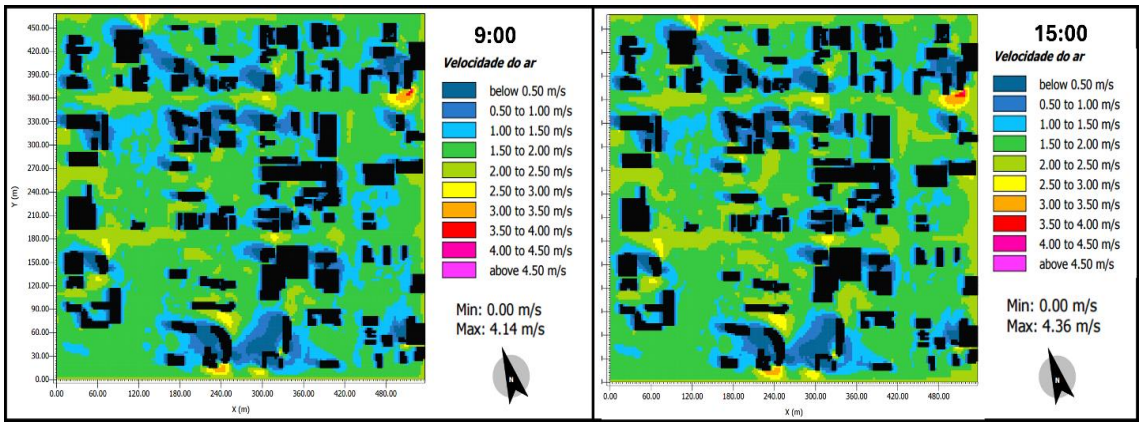
foi mínima, com 1,54 m/s simulados e 1,5 m/s registrados. No P4, a diferença foi maior: -0,84 m/s (1,06 m/s simulados e 1,9 m/s registrados). Às 15h, as diferenças diminuíram. No P1, a simulada foi 1,92 m/s e registrada 1,8 m/s, diferença de 0,12 m/s. No P2, a diferença foi 0,27 m/s (2,27 m/s simulados e 2 m/s registrados). No P3, a diferença foi 0,08 m/s, e no P4, -0,79 m/s (1,41 m/s simulados e 2,2 m/s registrados).

Figura 7: Comportamento da V_{ar} simulada, registrada *in loco* e da estação meteorológica em 15/05/2024.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 8: Velocidade do ar simulada às 9 h e 15 h em 15/05/2024 na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Considerações Finais

Os resultados ratificam a relevância da arborização na mitigação do calor urbano. Áreas com maior cobertura arbórea apresentaram durante o dia, as temperaturas radiantes médias e temperaturas do ar mais amenas, apontando o papel das árvores na formação de ambientes mais confortáveis. Da mesma forma, influenciou na velocidade do ar, sendo menor em áreas densamente arborizadas, devido às barreiras naturais formadas. Contudo, houve algumas limitações nas simulações, especialmente pela manhã, com superestimação da umidade relativa do ar. Embora certos pontos tenham mostrado boa concordância entre simulações e medições, ocorreram algumas disparidades significativas.

As discrepâncias encontradas indicam a necessidade de ajustes na configuração do modelo, como refinamento da malha de simulação, calibração de parâmetros associados às propriedades dos materiais ou inserção de dados meteorológicos de maior resolução. Os dados da temperatura de globo também foram registrados *in loco*, mas em função do transecto realizado e as distorções ocorridas no cálculo da temperatura radiante média, estas foram descartadas e não houve tempo hábil para refazê-lo.

Assim, ressalta-se que a correção das limitações pode exigir a necessidade de revisão e o ajuste de parâmetros, o aprimoramento da calibração e da acurácia dos modelos da simulação microclimática, considerando as variações temporais e as características dos locais, bem como a adequação e o teste da resolução do modelo. Além disso, faz-se necessária a realização de outras medições em campo durante um período mais prolongado, abrangendo tanto o período quente e seco quanto o quente úmido, com o objetivo de investigar e calibrar o modelo para futuras simulações. Análises climáticas urbanas mais precisas e representativas das condições reais e hipotéticas são importantes, uma vez que discrepâncias significativas podem comprometer a validade das conclusões respaldadas nesses modelos preditivos. Por fim, enfatiza-se a contribuição indispensável da integração de áreas verdes no planejamento urbano, viabilizando condições térmicas mais sustentáveis, como enfrentamento às mudanças climáticas.

Agradecimentos

À Capes - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelas bolsas concedidas.

Referências

Ascione, F. et al. The effect of climate change and urbanization on outdoor microclimate: A case study in Berlin. **Energy and Buildings**, v. 308, 2024.

Bruse, M.; Fleer, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3–4, p. 373–384, out. 1998.

Crank, P. J. *et al.* Validation of seasonal mean radiant temperature simulations in hot arid urban climates. **Science of The Total Environment**, v. 749, p. 141392, 2020.

Gusson, C. S. **O impacto da verticalização no microclima urbano e no conforto térmico na escala do pedestre: o papel da geometria e da envoltória dos edifícios**. 2020. 268 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Katzchner, Lutz. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais…** Salvador: FAUFBA; ANTAC; 1997.

Oliveira, P. M. P. **Cidade apropriada ao clima:** a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano). Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

Pereira, J. D. S.; Brandão, L. K. D. V.; Barbosa, R. V. R. Análise da distribuição espacial de áreas verdes urbanas na qualidade térmica em região de clima semiárido. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 1, 30 mar. 2021.

Shinzato, P. *et al.* Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4 – São Paulo case study. **Architectural Science Review**, v. 62, n. 2, p. 112–125, 4 mar. 2019.

Sinsel, T. *et al.* Implementation and evaluation of mean radiant temperature schemes in the microclimate model ENVI-met. **Urban Climate**, v. 45, p. 101279, set. 2022.

Werneck, D. R. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.