Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

MICROCLIMA E DESCONFORTO TÉRMICO: A INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA NO CENTRO DE MACEIÓ

Microclimate and thermal discomfort: the influence of urban morphology in downtown Maceió, Brazil

Microclima y incomodidad térmica: la influencia de la morfología urbana en el centro de Maceió, Brasil

Rhuan Nicolas da Silva Santos
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Alagoas
rhuan.santos@fau.ufal.com

Thauã Pereira de Menezes
Universidade Federal de Rondônia - UNIR / Universidade Estadual Paulista - UNESP
thaua.menezes@unesp.br

João Paulo Assis Gobo
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
joao.gobo@unir.br

Ricardo Victor Rodrigues Barbosa
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Alagoas
rvictor@fau.ufal.br

Resumo: O estudo avaliou a influência da morfologia urbana sobre microclimas e conforto térmico no centro comercial e de serviços de Maceió-AL, região de clima tropical litorâneo. Foram realizadas medições microclimáticas em transectos durante o período seco (janeiro/2024) e o início da estação chuvosa (novembro/2024), nos horários críticos de 9h, 12h e 15h, complementadas por monitoramento automático de temperatura e umidade relativa do ar com dataloggers a quatro metros de altura. O conforto térmico ao ar livre foi estimado por meio do Índice de Conforto Térmico (IH). Os resultados indicam que o centro urbano apresenta microclima mais aquecido e seco, com temperaturas entre 32°C e 34°C e umidade relativa de 50%–55% entre 10h e 14h. Esse comportamento é atribuído à elevada densidade construtiva, predominância de superfícies impermeáveis e efeito de cânion urbano, que limitam a ventilação natural e aumentam o acúmulo de calor. Os pontos centrais do transecto registraram os maiores valores térmicos, configurando pontos quentes intraurbanos,

enquanto áreas próximas a praças e vegetação apresentaram atenuação térmica, evidenciando o papel regulador da cobertura verde e da evapotranspiração. O calor antropogênico proveniente de sistemas de climatização também contribuiu para o aquecimento local.O IH revelou predominância de desconforto severo no período seco e moderado no início da estação chuvosa, destacando que a morfologia urbana exerce maior influência sobre o microclima do que as variações sazonais. Os achados reforçam a necessidade de estratégias urbanas que integrem arborização, pavimentos de alta refletância e corredores de ventilação para mitigar ilhas de calor e melhorar o conforto térmico em áreas centrais densamente construídas.
Palavras-chave: Climatologia urbana. Planejamento urbano. Conforto térmico. Ilha de calorurbano. Pesquisa experimental.

Abstract: The study assessed the influence of urban morphology on microclimates and outdoor thermal comfort in the commercial and service center of Maceió-AL, a region characterized by a tropical coastal climate. Microclimatic measurements were conducted along transects during the dry season (January 2024) and the onset of the rainy season (November 2024) at critical hours of 9:00, 12:00, and 15:00, complemented by automatic monitoring of air temperature and relative humidity using dataloggers installed at four meters above ground level. Outdoor thermal comfort was evaluated using the Thermal Comfort Index (IH).Results indicate that the urban center exhibits a warmer and drier microclimate, with temperatures ranging from 32°C to 34°C and relative humidity between 50% and 55% from 10:00 to 14:00. This behavior is attributed to high building density, predominance of impermeable surfaces, and urban canyon effects, which restrict natural ventilation and enhance heat accumulation. Central points along the transect recorded the highest thermal values, forming intra-urban heat spots, whereas areas adjacent to squares and vegetation showed attenuated temperatures, highlighting the regulatory role of green cover and evapotranspiration. Anthropogenic heat from air-conditioning systems also contributed to local warming.The IH indicated a predominance of severe discomfort during the dry season and moderate discomfort at the beginning of the rainy season, emphasizing that urban morphology exerts a stronger influence on the microclimate than seasonal variations. These findings underscore the need for urban strategies integrating vegetation, high-reflectance pavements, and ventilation corridors to mitigate heat islands and enhance thermal comfort in densely built central areas.
Keywords: Urban climatology. Urbanplanning. Thermalcomfort. Urbanheat island. Experimental research.

Resumen: El estudio evaluó la influencia de la morfología urbana sobre los microclimas y el confort térmico en el centro comercial y de servicios de Maceió-AL, una región de clima tropical costero. Se realizaron mediciones microclimáticas a lo largo de transectos durante el período seco (enero de 2024) y el inicio de la estación lluviosa (noviembre de 2024), en horarios críticos de 9:00, 12:00 y 15:00, complementadas con monitoreo automático de temperatura y humedad relativa del aire mediante dataloggers instalados a cuatro metros de altura. El confort térmico al aire libre se evaluó utilizando el Índice de Confort Térmico (IH).Los resultados indican que el centro urbano presenta un microclima más cálido y seco, con temperaturas entre 32°C y 34°C y humedad relativa de 50%–55% entre las 10:00 y las 14:00. Este comportamiento se atribuye a la alta densidad edificatoria, predominio de superficies impermeables y efecto de cañón urbano, que limitan la ventilación natural y aumentan la acumulación de calor. Los puntos centrales del transecto registraron los valores térmicos más altos, configurando “puntos calientes” intraurbanos, mientras que las áreas cercanas a atenuación térmica, evidenciando el papel regulador de la cobertura vegetal y la evapotranspiración. El calor antropogénico proveniente de sistemas de climatización también contribuyó al calentamiento local.El IH reveló predominancia de incomodidad térmica severa durante el período seco y moderada al inicio de la estación lluviosa, destacando que la morfología urbana ejerce una influencia más significativa sobre el microclima que

las variaciones estacionales. Es tos hallazgos subrayan la necesidad de estrategias urbanas que integren arborización, pavimentos de alta reflectancia y corredores de ventilación para mitigar las islas de calor y mejorar el confort térmico en áreas centrales densamente construidas.

Palabras clave: Climatología urbana. Planificación urbana. Confort térmico. Isla de calor urbano. Investigación experimental.

Submetido em: 17/09/2025
Aceito para publicação em: 18/07/2026
Publicado em: 24/07/2026

1. INTRODUÇÃO

A morfologia urbana desempenha função determinante na configuração das condições microclimáticas, uma vez que interfere diretamente na circulação dos ventos, na absorção e reflexão da radiação solar, na retenção de umidade e nas variações de temperatura do ar (Marey et al., 2025; Wei et al., 2023). Diferentes arranjos espaciais, como a disposição das edificações, a densidade construtiva, a relação entre larguras das vias e a altura dos edifícios e a inserção de áreas verdes influenciam o balanço energético e a dinâmica térmica da cidade, estabelecendo condições ambientais específicas que impactam diretamente o conforto humano, o desempenho energético das edificações e a qualidade de vida urbana (Zhao et al., 2024; Cardenas-Jironat al., 2023; Brandão; Barbosa, 2023). Nesse sentido, compreender a relação entre forma urbana e variabilidade microclimática é fundamental para subsidiar estratégias de planejamento que atuem na mitigação das ilhas de calor e na promoção de espaços urbanos mais confortáveis e ambientalmente equilibrados (Lefevre et al., 2025; Tun et al., 2025).

Nos centros comerciais e de serviços, essa relação entre morfologia e microclima apresenta maior complexidade, devido às características históricas, funcionais e morfológicas, na qual envolve edificações de valor patrimonial, traçados urbanos consolidados de difícil transformação, ruas estreitas e fachadas contínuas, além de pouca inserção de áreas verdes (Biqaraz; Fayaz; Naeeni, 2019). Além disso, a presença de vias exclusivas para pedestres e a intensa circulação de pessoas e veículos, incluindo transporte público, podem potencializar o acúmulo de calor e alterar o balanço energético de forma significativa (Louiza; Zéroual; Djamel, 2015).

Apesar de reconhecida a relevância de investigações nessas áreas, observa-se que as pesquisas ainda concentram maior atenção em áreas residenciais, em detrimento dos centros comerciais e de serviços. Essa lacuna é significativa, pois essas áreas possuem papel estratégico nas cidades, por reunirem elevada densidade de atividades, diversidade de usos, intenso fluxo de pessoas e especificidades morfológicas que diferenciam seu comportamento climático em relação a outros espaços urbanos (Santos; Barbosa, 2025). Nesse contexto, torna-se imprescindível avançar na compreensão de como diferentes tipologias morfológicas influenciam as variações microclimáticas nessas áreas, fornecendo subsídios para políticas públicas e estratégias de planejamento urbano mais inclusivas e sustentáveis.

A partir do exposto, buscou-se contribuir para o preenchimento dessa lacuna ao analisar a influência das diferentes tipologias morfológicas urbanas sobre a variação higrotérmica em microclimas no centro comercial e de serviços da cidade de Maceió-AL, localizada em região de clima tropical litorâneo. A escolha desse recorte espacial justifica-se tanto pela relevância funcional e histórica do centro da cidade quanto pela sua exposição a condições climáticas específicas, que combinam alta umidade relativa e temperaturas elevadas, configurando um cenário de desafios significativos para o conforto térmico urbano. Ao articular a análise microclimática às características morfológicas urbanas locais, este estudo pretende oferecer contribuições para a formulação de estratégias que promovam maior resiliência ambiental e adaptação climática em áreas centrais de comércio e de serviços de cidades tropicais.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo e pontos amostrais

Maceió (Figura 1) está localizada na costa leste do nordeste brasileiro, nas coordenadas de latitude 9° 57’37” sul e longitude 35° 44’7” oeste. A cidade está situada entre duas grandes massas d’água: o Oceano Atlântico e a Laguna Mundaú e é caracterizada pelo clima tropical úmido (Am), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013), apresentando variações térmicas diárias, sazonais e anuais limitadas, que definem duas estações: período seco (verão), marcado por temperaturas elevadas e baixa pluviosidade, e período chuvoso (inverno), com temperaturas amenas e alta pluviosidade. De acordo com as Normais Climatológicas 1981-2010, a temperatura média anual de Maceió é de 25,1 °C, com temperaturas máximas e mínimas anuais de 29,8 °C e 20,9 °C, respectivamente. A umidade relativa média é de 77,8%. A direção predominante dos ventos é Leste e Sudeste, atingindo velocidades máximas de 3,93 m/s e 4,5 m/s (Silva e Barbosa, 2022).

Figura 1 – Localização da cidade de Maceió no Nordeste brasileiro.



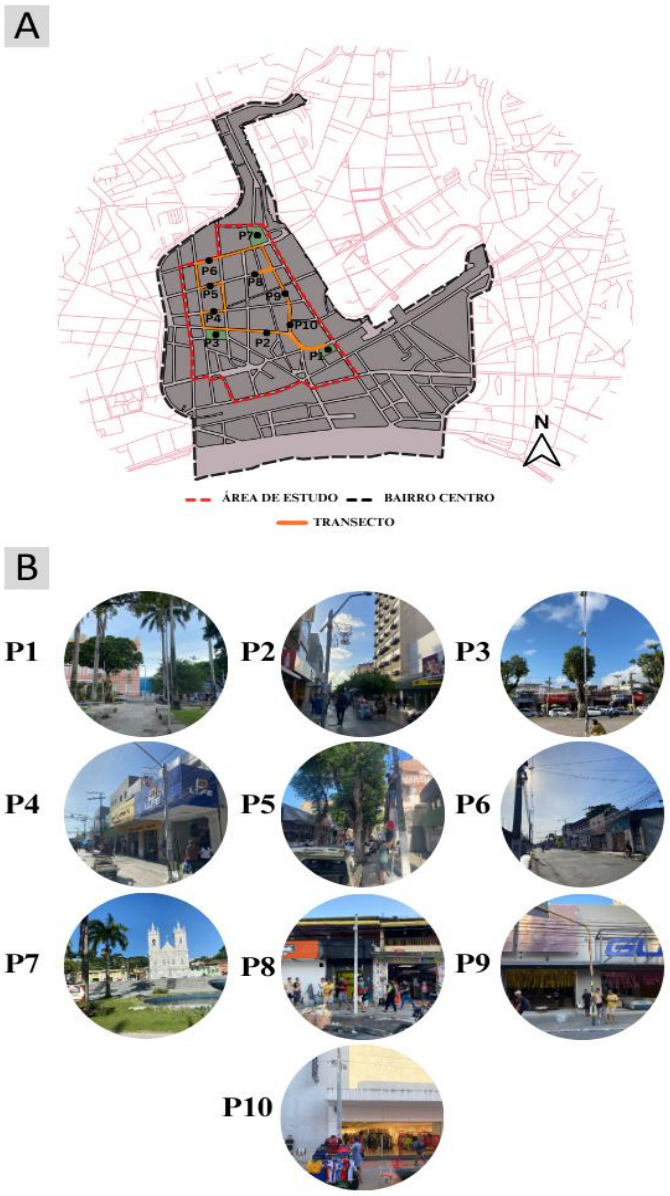
Fonte: Autores.

A área de estudo compreendeu o Centro comercial e de serviço da cidade de Maceió. Foram selecionados dez pontos amostrais ao longo de um trasecto (Figura 1). A área apresenta morfologia urbana heterogênea, com cobertura do solo predominantemente composta por concreto, granilite e pequenas áreas com solo gramado. As vias para tráfego de veículos são asfaltadas, porém outras são destinadas exclusivamente a pedestres, as quais possui recobrimento de solo com granite.

O entorno é caracterizado por edificações de um a doze pavimentos, incluindo prédios históricos, com fachadas revestidas em cerâmica, vidro ou pintura. Predominam os usos comercial, de serviços, institucional, cultural e religioso, com expressiva presença de comércio informal. As praças e ruas são dotadas de mobiliário urbano, arborização de diferentes portes, monumentos, esculturas e bancas de revistas. Em algun spontos, as portas das lojas são caracterizadas por grandes áreas abertas que permitem a saída de ar refrigerado do interior da edificação.

Por fim, os cânions urbanos variam em altura, densidade e orientação, refletindo a complexidade morfológica da área.

Figura 2 – Localização da área de estudo e dos dez pontos amostrais ao longo do transecto.



Fonte: Autores.

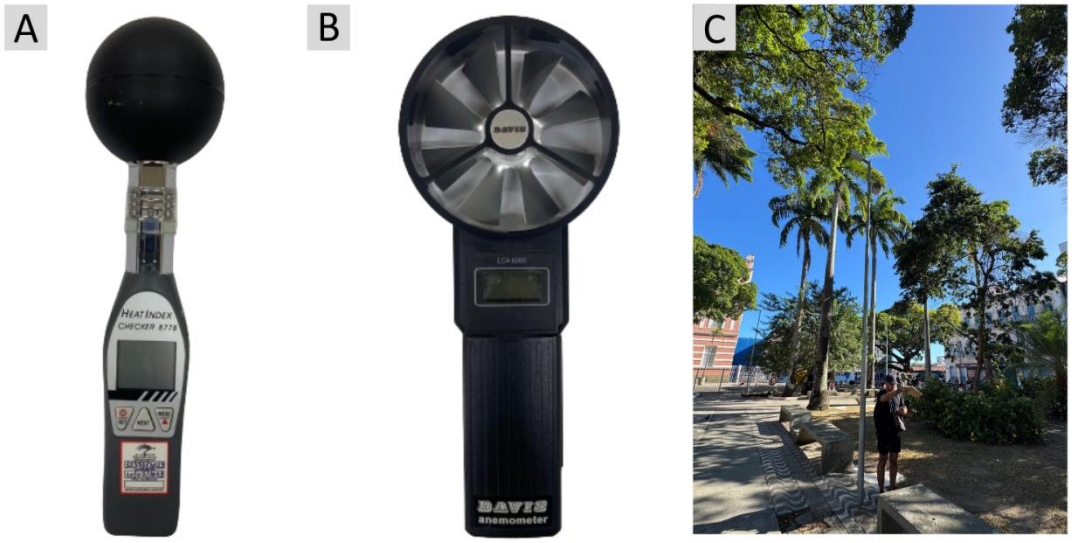
2.2 Campanha de transecto

As medições microclimáticas foram realizadas em dois períodos distintos: em janeiro de 2024 (período seco, durante três dias) e em novembro de 2024 (início da estação chuvosa, durante dois dias), nos horários de 9h, 12h e 15h, por serem considerados críticos para os picos térmicos e higrométricos (Oke, 1988). Utilizou-se um termo-higrômetrocom globo portátil (modelo ITWTG-2000) para registrar temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo (Figura 3A), e um anemômetro (marca Davis, modelo LCA 6000) para

registroda velocidade do vento (Figura 3B). Os equipamentos foram posicionados a uma altura de 1,50 m do solo e protegidos da radiação solar direta (Figura 3C).

Durante as medições, aguardou-se a estabilização dos instrumentos por cerca de cinco minutosantes do registro dos valores, conforme orientação dos fabricantes. A ordem de visita aos pontos foi invertida diariamente, com o objetivo de minimizar possíveis vieses decorrentes da sequência de amostragem.

Figura 3 – Termômetro de globo portátil (A), anemômetro portátil (B) e monitoramento manual (C).



Fonte: Autores.

2.3 Campanha automática

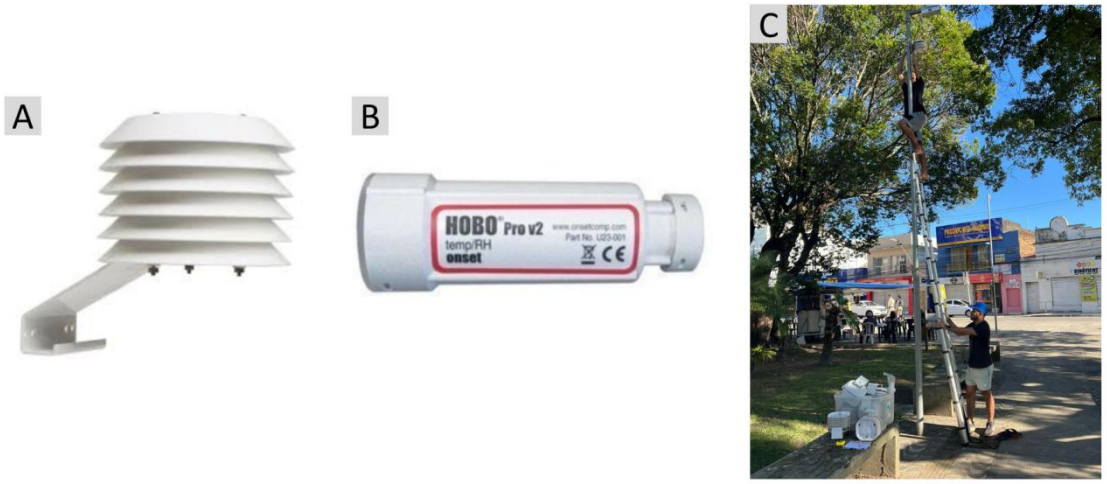
A campanha de monitoramento automático das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar foi realizada utilizando o registrador de dados HOBO U23-001 (Figura 4B), instalado em postes de iluminação pública a uma altura de quatro metros do solo (Figura 4C), por questões de segurança do equipamento. As medições foram executadas de forma contínua, com registros horários, e posteriormente organizadas em planilhas no Microsoft Excel para análise.

O sensor de temperatura, com faixa operacional de -40°C a 70°C e precisão de 0,02°C a 25°C, e o sensor de umidade relativa, com faixa de operação entre 0% e 100% e precisão de

±2,5% na faixa de 10% a 90%, foram protegidos da radiação solar direta por meio do escudo RS1 (Figura 4).

Ressalta-se que a iluminação pública noturna não interferiu nas medições, pois as lâmpadas estavam posicionadas à frente dos equipamentos, evitando o aquecimento direto dos sensores.

Figura 4 – Equipamento de proteção Shield RS1 (A), datalogger HOBO Pro V2 (B) e instalação do datalogger © (C).



Fonte: Autores.

2.4 Tratamento de dados e cálculo do Índice de Conforto Térmico (IH)

Todos os registros foram consolidados em planilhas e processados em Python (bibliotecas pandas e matplotlib) para remoção de outliers e cálculo de médias horárias. O Índice de Conforto Térmico (IH), utilizado como indicador da sensação térmica em ambientes urbanos externos, baseia-se na relação entre temperatura do ar e umidade relativa, sendo amplamente empregado em estudos de microclima urbano e desconforto térmico (OKE, 1988; GIVONI, 1992; NOGUEIRA et al., 2015).

Considerando as particularidades microclimáticas do Centro de Maceió, onde as campanhas revelaram picos diurnos superiores a 29 °C, os limiares foram adaptados ao contexto urbano local, respeitando tendências progressivas de desconforto térmico observadas em estudos brasileiros e permitindo representar de forma mais fiel os diferentes níveis de estresse térmico encontrados ao longo do transecto.

Dessa forma, a classificação adotada foi estruturada em quatro faixas: conforto térmico (IH ≤ 24 °C), desconforto leve (24 °C < IH < 27 °C), desconforto moderado (27°C ≤ IH <

29 °C) e desconforto severo (IH ≥ 29 °C). Essa adaptação contextual possibilitou interpretar de forma clara a resposta térmica urbana local e comparar gradualmente os níveis de desconforto entre os diferentes pontos analisados da cidade.

2.5 Visualização e análise

Foram elaborados perfis horários de temperatura e umidade, diagramas de distribuição diária, perfis espaciais comparando janeiro e novembro, gráficos comparativos às 12h e análise conjunta transecto versus ponto fixo. Essa abordagem integrada forneceu diagnóstico microclimático robusto para fundamentar recomendações de sombreamento, arborização e corredores de vento (Brandão; Barbosa, 2023; Batista *et al*., 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 5 e 6 mostram que, entre 06h e 08h, a temperatura no ponto fixo do Centro de Maceió mantém-se estável entre 24°C e 26°C, favorecida pelo resfriamento noturno e pela sombra das fachadas voltadas para o oeste, que retardam a incidência solar direta nas primeiras horas da manhã (Martins *et al*., 2013; Brandão; Barbosa, 2023). A partir das 08 h, observa-se aquecimento progressivo e intenso, com elevação de 5 a 7°C em apenas quatro horas, atingindo valores de 32-34°C ao meio-dia (Batista *et al*., 2021; Leal; Barbosa, 2019). Esse comportamento reflete a combinação entre alta absorção de radiação pelos pavimentos asfálticos e de concreto, reduzida ventilação natural e a configuração em “cânion urbano”, que retém o calor na camada inferior da atmosfera (Oke, 1988; Brandão; Barbosa; Torres, 2023).

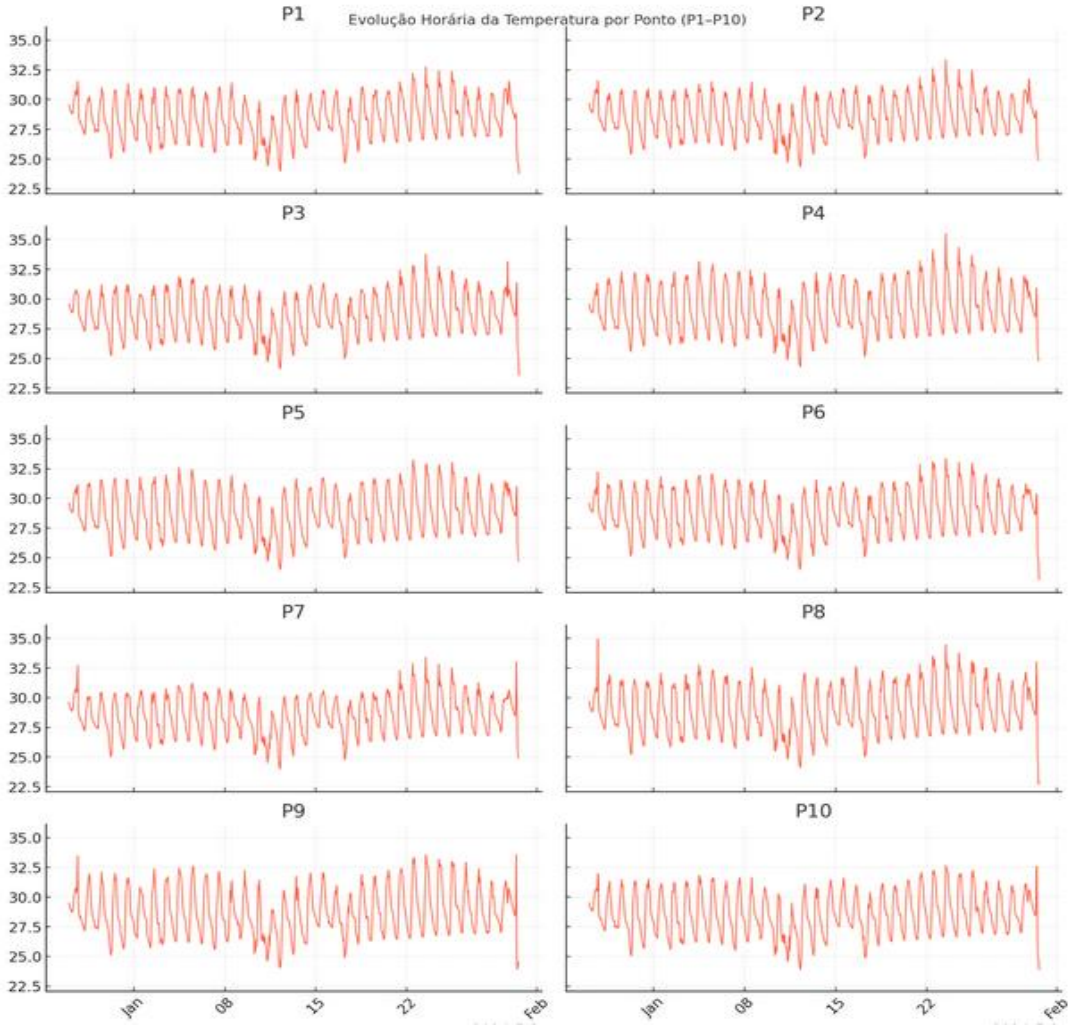
Durante as campanhas de medição, as condições sinóticas refletiram o comportamento sazonal típico do litoral alagoano. Em janeiro (dias 08, 24 e 26), prevaleceu a atuação do sistema de alta pressão subtropical do Atlântico Sul, com ventos fracos de sudeste e céu predominantemente claro, o que favoreceu forte insolação e estabilidade atmosférica. Esse padrão limitou o avanço da brisa marítima nas horas centrais e intensificou o aquecimento nas áreas urbanas adensadas.

Em novembro (dias 13 e 14), observou-se o enfraquecimento do anticiclone e o aumento da umidade relativa do ar, com ventos mais regulares de leste e maior cobertura de nuvens, correspondendo ao início da estação chuvosa. Essa transição explica os valores

ligeiramente menores de temperatura e o acréscimo de umidade observados nas medições desse período.

A brisa marítima, apesar de exercer influência moderadora no início da manhã, atua de forma limitada nas horas centrais do dia, quando o contraste térmico entre o continente e o oceano é reduzido pela saturação térmica do ambiente urbano (Souza; Pereira; Cunha, 2023). Assim, o centro de Maceió mantém condições típicas de “forno urbano” ao meio-dia, intensificando o desconforto térmico local.

Figura 5 – Evolução horária da temperatura do ar (°C) nos dez pontos amostrais (P1–P10).



Fonte: Autores.

Paralelamente, a umidade relativa (Figura 6) apresenta comportamento inverso, iniciando o dia entre 80 % e 85 % e caindo abruptamente para 50 % – 55 % nas horas de maior aquecimento. Essa conjugação de temperatura elevada e ar seco intensifica o desconforto

térmico e aumenta a sensação de calor para pedestres e trabalhadores do comércio**.** Entre 12 h e 15 h, nota-se um leve declínio térmico (30-32°C) e um vale higrométrico mínimo, seguido de recomposição gradual da umidade (65-70%) e resfriamento vespertino, resultado da redução da radiação incidente e da atuação tardia de ventos locais canalizados pelas vias**.**

Ao longo do mês de janeiro, verificou-se um leve deslocamento dos patamares médios: as mínimas matinais aumentaram cerca de 1 °C, e os valores de umidade noturna subiram em torno de 5 %, sugerindo maior nebulosidade costeira e variação na intensidade dos ventos alísios. A amplitude térmica diária (~10°C) e a variabilidade higrométrica (até 35%) confirmam a rigidez do microclima urbano, indicando baixa eficiência da ventilação natural no centro da cidade.

Essa caracterização evidencia que, no Centro de Maceió, o intervalo entre 10 h e 14 h constitui o período de máximo desconforto térmico, marcado pela elevação simultânea da temperatura e pela queda acentuada da umidade. A heterogeneidade espacial observada nos pontos do transecto revela que fatores morfoclimáticos locais desempenham papel crucial: os pontos próximos a áreas arborizadas e praças (como P6 e P7) apresentaram temperaturas ligeiramente menores, em virtude do sombreamento e da evapotranspiração da vegetação. Em contrapartida, pontos localizados junto a fachadas comerciais com aparelhos de ar-condicionado voltados para a rua (P4 e P5) registraram acréscimo térmico local, resultado do calor antropogênico liberado pelas unidades condensadoras.

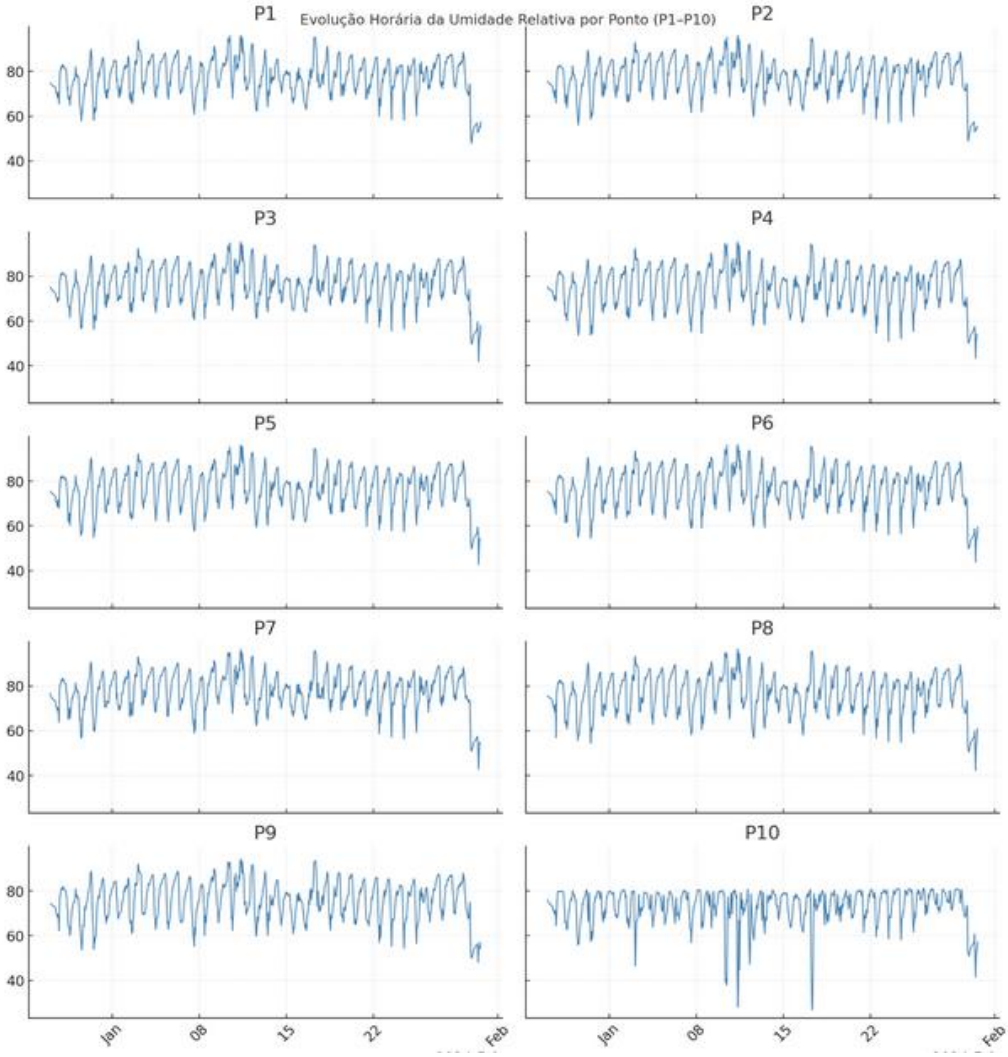
Além disso, o adensamento vertical e a impermeabilização dos pavimentos reduzem a dissipação do calor, potencializando a formação de microzonas de estresse térmico. Essas condições destacam a importância de integrar variáveis da morfologia urbana, altura edificada, largura das vias, materiais e usos do solo ao diagnóstico microclimático, ampliando a compreensão dos gradientes de temperatura e umidade observados.

Diante desse cenário, as estratégias de mitigação devem considerar intervenções de sombreamento ativo (toldos, marquises, pergolados) associadas à arborização estratégica e ao uso de materiais frios em fachadas e calçadas. Em complemento, o planejamento de corredores de vento surge como medida essencial: vias orientadas preferencialmente no sentido leste-oeste, conectando áreas costeiras mais frescas ao miolo comercial, podem favorecer o escoamento da brisa marítima e reduzir o aprisionamento de ar quente entre os edifícios (Oke, 1988; Oke et al., 2017). Esses corredores devem priorizar recuos laterais, praças

interligadas e pavimentos permeáveis, funcionando como canais de ventilação natural e drenagem térmica.

Em contrapartida, o período vespertino (15h-20h) caracteriza-se por alívio térmico parcial, sendo ideal para a expansão de áreas permeáveis e implantação de espelhos d'água que prolonguem a recuperação da umidade e o declínio da temperatura. Por fim, a discreta elevação dos valores médios de temperatura e umidade ao longo do mês sugere tendência de piora sazonal, reforçando a necessidade de manutenção contínua da arborização urbana e de monitoramento sistemático das condições microclimáticas.

Figura 6 – Evolução horária da umidade relativa (%) nos dez pontos amostrais (P1–P10).



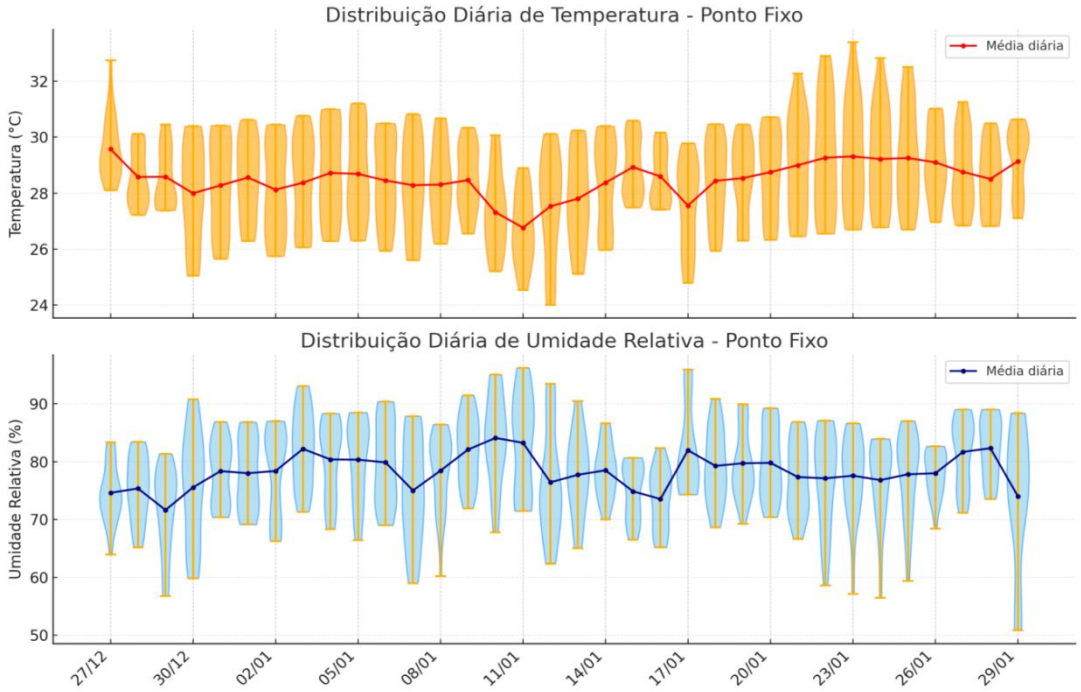
Fonte: Autores.

Em síntese, as Figuras 5 e 6 oferecem um panorama detalhado do comportamento térmico e higrométrico do Centro de Maceió, demonstrando que a combinação entre adensamento construtivo, baixa arborização e calor antropogênico constitui o principal fator de intensificação do desconforto térmico. A articulação entre morfologia urbana e microclima deve, portanto, orientar políticas públicas voltadas à criação de uma malha urbana mais resiliente, com maior ventilação, sombreamento e conectividade verde, capazes de reduzir o estresse térmico e melhorar a qualidade de vida nos espaços centrais.

Os diagramas de distribuição diária no ponto fixo (Figura 7) sintetizam os ciclos microclimáticos descritos nos perfis horários e espaciais: variações térmicas de até 10°C ao longo de 24 h, com medianas diárias subindo de 27°C para 29°C e picos de 32-34 °C ao meio-dia, e quedas de umidade de 80 % pela manhã para 50-55 % nas horas mais quentes, especialmente entre 10h e 14h. A maior dispersão de 20 a 25 de janeiro indica episódios de insolação extrema, enquanto o estreitamento dos diagramas aponta dias de menor variabilidade térmica. O deslocamento gradual das medianas evidencia tendência de aquecimento progressivo e aumento da umidade noturna, reflexo da maior retenção de calor nos materiais urbanos densos.

Esses resultados corroboram a influência direta da morfologia urbana sobre a modulação do microclima local: superfícies impermeáveis, fachadas contínuas e baixa cobertura vegetal ampliam a capacidade de armazenamento térmico durante o dia, enquanto áreas pontuais de arborização favorecem o resfriamento noturno por evapotranspiração. Tais evidências reforçam a necessidade de estratégias microclimáticas contínuas, incluindo sombreamento ativo e corredores de ventilação que permitam o escoamento da brisa marítima até o centro.

Figura 7 – Diagramas de distribuição diária de temperatura do ar (°C) e de umidade relativa (%) no ponto fixo.

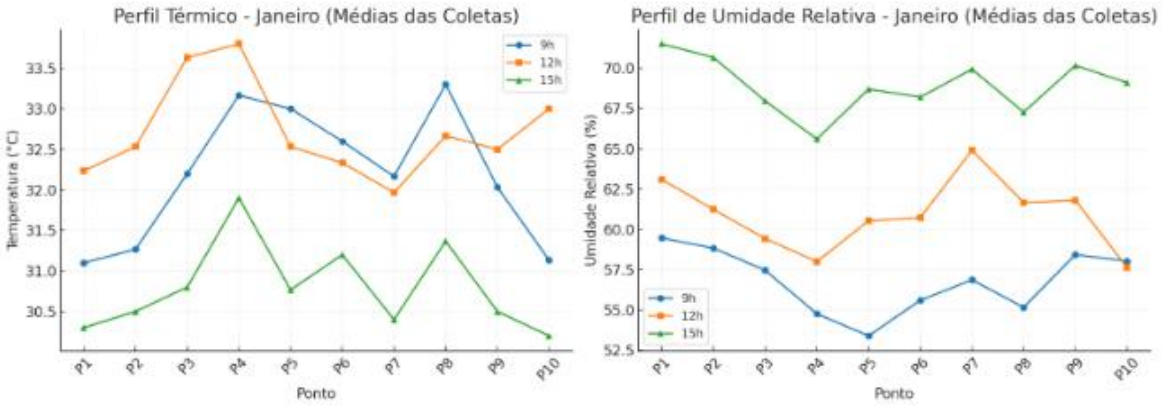


Fonte: Autores.

Ao analisar o transecto de janeiro (Figura 8), observa-se que os pontos centrais P4-P6 sofreram os maiores impactos térmicos e higrométricos: ao meio-dia, as médias de temperatura atingiram 33,8°C aproximadamente 1,5°C acima das extremidades P1 e P10, simultaneamente registrando mínimos de umidade próximos de 58 %. O ponto P7 apresentou ligeiro alívio (64%), favorecido pela presença de árvores e maior sombreamento natural. Pela manhã (9h), as temperaturas variaram de 31 °C (P1) a 33°C (P5), e à tarde (15h) reduziram-se para 30-31°C, com recomposição de umidade entre 68% e 70%.

Esse gradiente espacial revela a atuação direta da estrutura urbana na criação de "microclimas intraurbanos": áreas mais adensadas e impermeáveis acumulam e liberam calor mais lentamente, enquanto setores com arborização, praças e corredores de ventilação natural apresentam comportamento térmico mais equilibrado.

Figura 8 – Perfil térmico e de umidade relativa (médias às 9 h, 12 h e 15 h) nos dez pontos do transecto – janeiro de 2024.

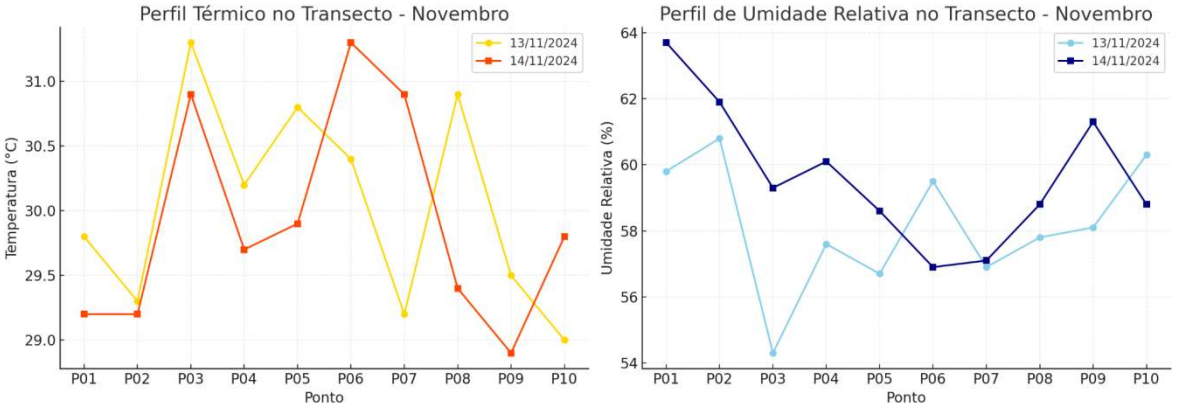


Fonte: Autores.

Em novembro (Figura 9), embora as máximas diurnas no transecto tenham recuado para 30-31°C (aproximadamente 2°C abaixo dos picos de janeiro), o gradiente térmico urbano persiste, reafirmando a centralidade dos pontos P4-P6 como “pontos quentes”. As mínimas higrométricas ao meio-dia situam-se entre 56% e 58 %, apenas 2-3% acima dos valores de janeiro, demonstrando que mesmo no início da estação chuvosa o centro mantém secura acentuada. A menor dispersão interdiária evidencia estabilidade microclimática, típica de áreas urbanas consolidadas com pouca influência direta das brisas costeiras.

Essa persistência de gradiente térmico indica que fatores morfológicos como a altura das edificações e o confinamento do ar nos cânions urbanos têm efeito mais determinante sobre o conforto térmico do que as variações sazonais.

Figura 9 – Perfil térmico e de umidade relativa (médias às 9 h, 12 h e 15 h) nos dez pontos do transecto – novembro de 2024.

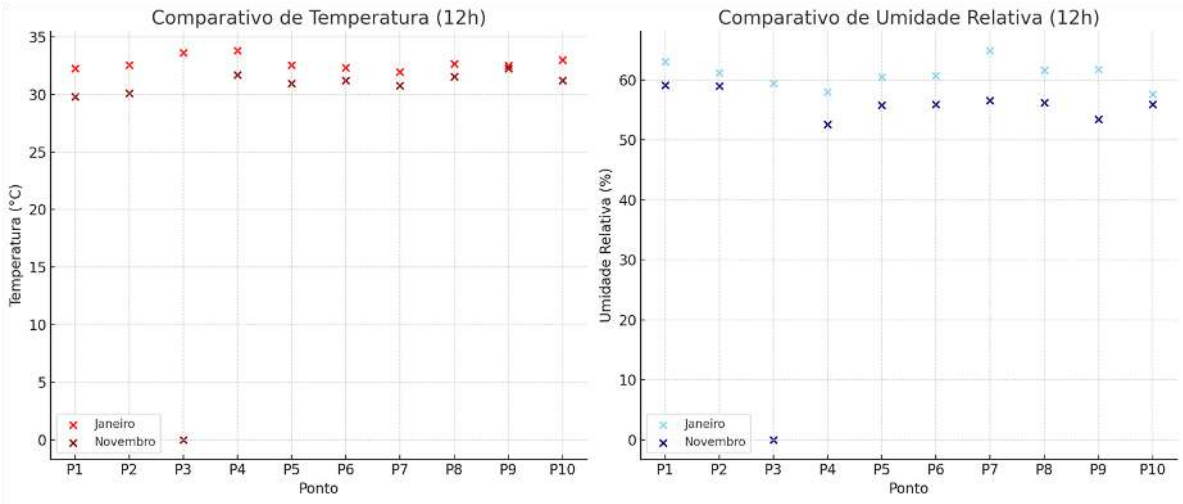


Fonte: Autores.

A Figura 10 reforça essas observações ao comparar as médias de temperatura às 12h em janeiro e novembro: os pontos centrais (P4-P6) mantêm temperaturas 2 a 3°C superiores às extremidades, mesmo com a entrada da estação chuvosa. Essa constância térmica denota resiliência térmica negativa, isto é, a capacidade do tecido urbano denso de manter o calor acumulado, retardando o resfriamento. Os pontos periféricos (P1, P2 e P10), mais próximos de áreas abertas e ventiladas, apresentam declínio térmico mais acentuado, confirmando o papel das zonas de transição urbana como dissipadores de energia.

Esse contraste espacial evidencia que a criação de “zonas tampão” arborizadas entre o centro comercial e as áreas residenciais pode atuar como filtro térmico, reduzindo o fluxo de calor para o interior do núcleo urbano.

Figura 10 – Comparativo das médias de temperatura do ar (°C) às 12 h entre janeiro e novembro de 2024 nos dez pontos amostrais (P1-P10).

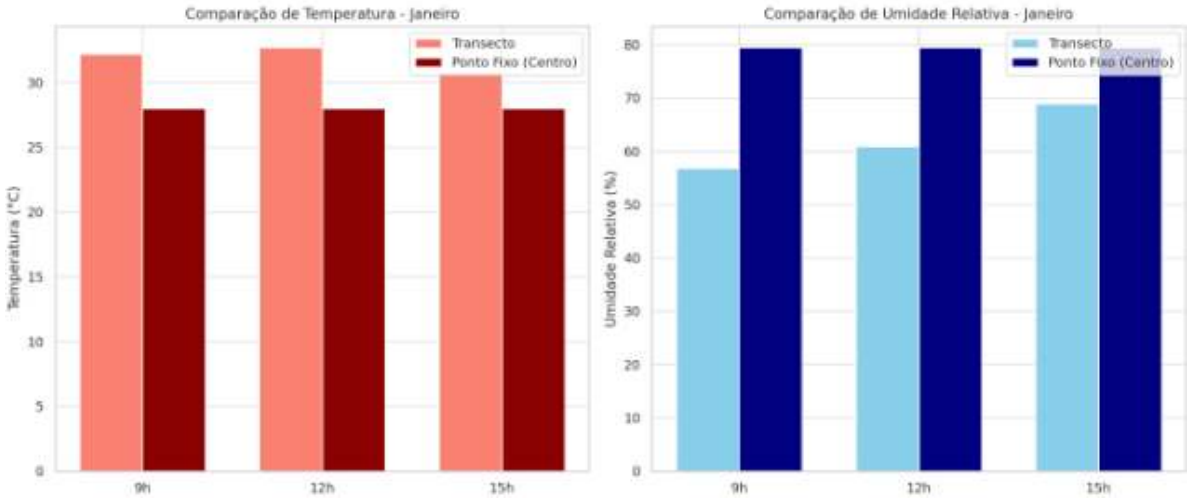


Fonte: Autores.

A Figura 11 demonstra a disparidade entre o transecto e o ponto fixo às 12 h, destacando a influência da morfologia urbana na modulação microclimática. Enquanto o transecto registrou temperaturas médias de 32,8-33,5°C nos pontos centrais (P4-P6), o ponto fixo manteve valores significativamente inferiores (28 °C), devido à maior ventilação e sombreamento local. A diferença de até 5 °C reforça o impacto do adensamento construtivo na retenção de calor.

De modo semelhante, a umidade relativa no transecto reduziu-se para 50-55%, enquanto no ponto fixo manteve-se entre 75-80%. Esse contraste mostra que a densidade construtiva e a ausência de arborização comprometem a troca de calor e umidade, amplificando o desconforto térmico. Tais resultados reafirmam a importância de corredores de ventilação e de vegetação contínua entre praças e eixos viários principais, de modo a permitir o fluxo de ar e reduzir o aprisionamento de calor nas zonas comerciais.

Figura 11 – Comparativo dos perfis horários de temperatura (°C) e umidade relativa (%) ás 9 h, 12 h e 15 h entre o ponto fixo e os dez pontos do transecto (P1-P10) – janeiro de 2024.

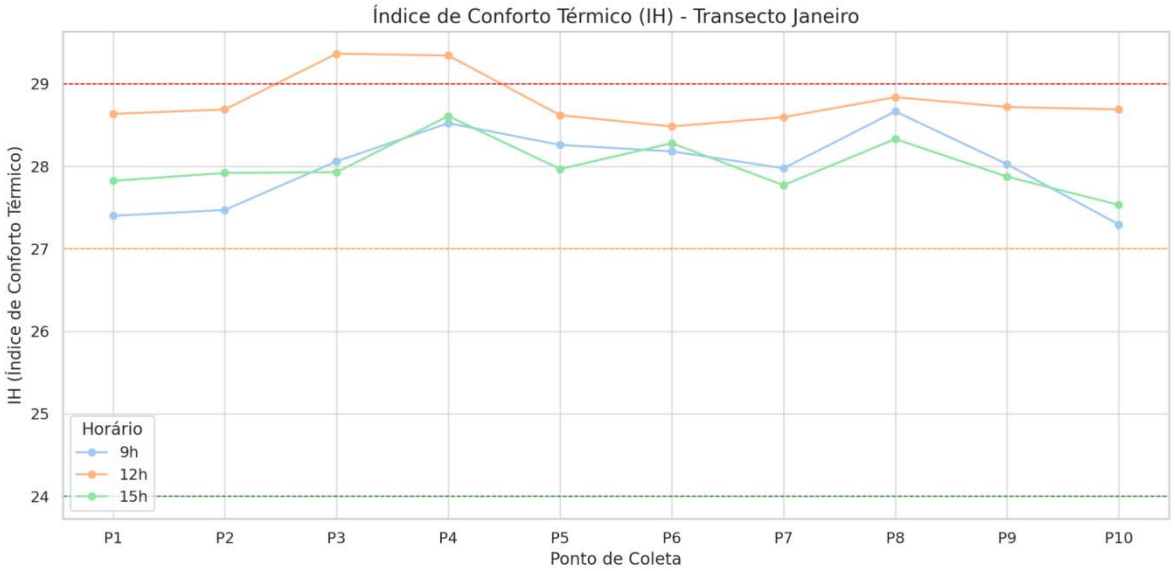


Fonte: Autores.

O Índice de Conforto Térmico (IH), medido em janeiro (Figura 12), confirma a predominância de desconforto severo ao meio-dia (IH ≥ 29 °C), com pico em P4 (29,5°C) e menores valores nas extremidades (P1 e P10 ≈ 28,7°C). Esse padrão está associado à maior retenção de calor e à limitada ventilação dos cânions urbanos centrais. As coletas das 9 h e 15 h apresentaram IH entre 27°C e 28°C, caracterizando desconforto moderado e alívio térmico fora do pico solar.

Esses resultados demonstram que o sombreamento vegetal e a presença de materiais permeáveis têm papel decisivo na regulação térmica, reduzindo o desconforto em até 1 °C no índice médio.

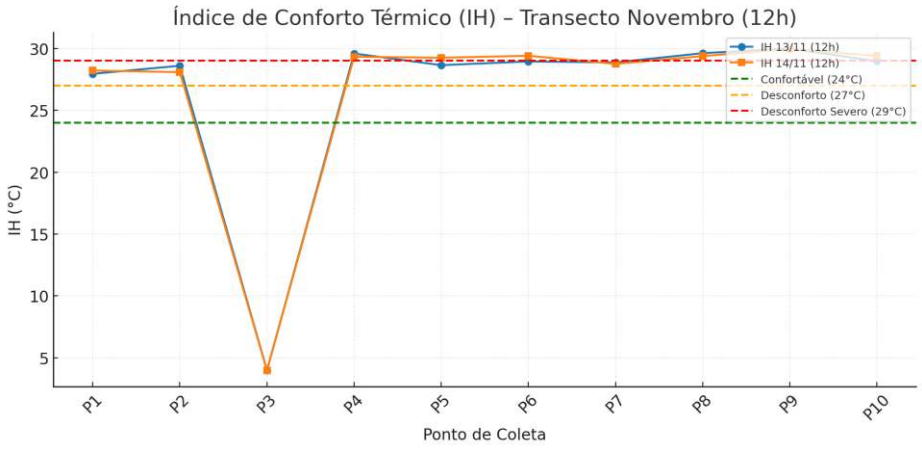
Figura 12 – Perfil do Índice de Conforto Térmico (IH) nos dez pontos do transecto (P1–P10) nos horários de coleta (9 h, 12 h e 15 h) – janeiro de 2024.



Fonte: Autores.

No mês de novembro (Figura 13), o IH às 12h recuou para a faixa de desconforto moderado (27-29°C), com valores variando de 26,2°C em P10 a 27 °C em P4-P8. Apesar da redução sazonal de aproximadamente 2°C, o gradiente centro-periferia permanece, indicando que a simples ocorrência de precipitação não é suficiente para neutralizar o efeito de ilha de calor. A ausência de leitura em P3 (falha instrumental) não comprometeu o padrão geral, que reforça a persistência do estresse térmico em áreas de alta densidade e baixa ventilação, mesmo fora do ápice do verão.

Figura 13 – Perfil do Índice de Conforto Térmico (IH) nos dez pontos do transecto (P1–P10) nos horários de coleta (9 h, 12 h e 15 h) – novembro de 2024.



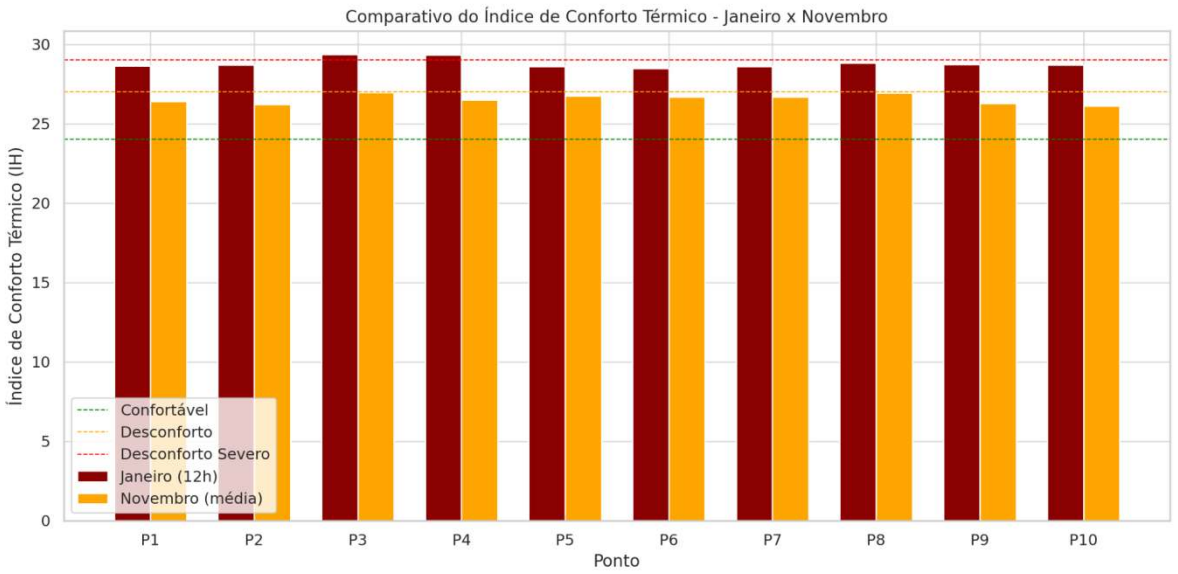
Fonte: Autores.

A Figura 14 sintetiza o comportamento sazonal do IH às 12h: as barras vermelhas (janeiro) atingem consistentemente 29-29,5 °C, enquanto as barras amarelas (novembro) permanecem entre 26,2°C e 27°C. Essa diferença de 1,8°C não altera a hierarquia térmica entre os pontos, evidenciando a permanência de microzonas críticas.

O padrão indica que a morfologia urbana exerce controle mais duradouro sobre o desconforto térmico do que a variação climática sazonal. Portanto, medidas estruturais como arborização de grande porte, substituição de pavimentos quentes por materiais de alta refletância e abertura de eixos de ventilação leste-oeste são fundamentais para a mitigação de calor urbano.

Em conjunto, as Figuras 5 a 13 confirmam que o Centro de Maceió apresenta um microclima caracterizado por gradiente térmico persistente, baixa ventilação e altos índices de desconforto térmico diurno. A análise integrada do transecto e do ponto fixo evidencia o papel central da morfologia urbana na amplificação do estresse térmico, destacando a urgência de políticas de requalificação climática que priorizem vegetação, ventilação cruzada e materiais sustentáveis.

Figura 14 – Comparativo das médias do Índice de Conforto Térmico (IH) às 12 h nos dez pontos do transecto (P1–P10), destacando os valores de janeiro (vermelho) e novembro (laranja) de 2024.



Fonte: Autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a geometria e os materiais do tecido urbano do Centro de Maceió geram microzonas de estresse térmico e higrométrico que persistem mesmo com o início da estação chuvosa. O ciclo diurno e o gradiente espacial identificados reforçam a urgência de soluções direcionadas, tais como o sombreamento ativo nos pontos centrais, a arborização de grande porte e a criação de corredores de vento que estabeleçam uma ligação entre as áreas mais frescas e as mais quentes, visando restaurar o conforto ao longo de toda a jornada.

Em termos práticos, a implementação de pavimentos com elevada capacidade de reflexão e superfícies permeáveis pode contribuir para a redução do acúmulo de calor, promovendo, por conseguinte, a evapotranspiração urbana. No contexto institucional, os dados fornecidos são fundamentais para a incorporação de exigências bioclimáticas nas regulamentações de uso e ocupação do solo. Isso garante que projetos de reabilitação urbana sejam implementados de maneira eficaz no centro comercial, promovendo a inclusão social e ambiental.

Como desdobramento, recomenda-se a extensão da monitorização às estações de transição e ao inverno, a inclusão de sensores de radiação e vento e a realização de estudos de conforto subjetivo com os utilizadores. A replicação do protocolo em questão em outros bairros costeiros permitirá avaliar a transferência das estratégias de mitigação e consolidar diretrizes para cidades tropicais litorâneas.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's **Climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

BATISTA, B. A.; CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; SANTIAGO, D. B.; SANTOS, C. T. **Avaliação de expansão urbana na cidade de Maceió, Alagoas – Nordeste do Brasil**. Research, Society and Development, v. 10, n. 11, e253101119537, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19537

BIQARAZ, B.; FAYAZ, R.; NAEENI, G. H. **A comparison of outdoor thermal comfort in historical and contemporary urban fabrics of Lar City**. UrbanClimate, v. 27, p. 212-226, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.007

BRANDÃO, L. K. de V.; BARBOSA, R. V. R. Relação entre morfologia urbana e microclima a partir de cenários parametrizados em cidade de clima tropical de savana. **Diversitas Journal**, *[S. l.]*, v. 8, n. 1, 2023. DOI: https://doi.org/10.48017/dj.v8i1.2368

BRANDÃO, L. K. de V.; BARBOSA, R. V. R.; TORRES, S. C. **Clima e planejamento urbano: uma reflexão sobre qualidade ambiental em cidades brasileiras**. In: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa; Jéssica Daiane Santos Pereira. (Org.). Projetos e tecnologias: desempenho e qualidade do ambiente construído. 1ed.Curitiba: CRV, 2023, v. 4, p. 143-157. DOI: https://doi.org/10.24824/978652514079.7.143-157

CARDENAS-JIRON, L. A.; GRAW, K.; GANGWISCH, M.; MATZARAKIS, A. **Influence of street configuration on human thermal comfort and benefits for climate-sensitive urban planning in Santiago de Chile**. Urban Climate, v. 47, p. 101361, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101361

LEAL, L. P. S.; BARBOSA, R. V. R. **Conforto térmico em cânions urbanos verticalizados de cidade litorânea em clima tropical quente e úmido**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–11. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2063

LEFEVRE, A.; MALET-DAMOUR, B.; BÉNARD, F.; BOYER, H.; RIVIÈRE, G. **Integrating urban heat island analysis for sustainable urban planning: Insights from Reunion Island**. Building and Environment, v. 278, p. 112964, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112964

LIMA JÚNIOR, A. F.; GOMES, F. I. B. P.; ZANELLA, M. E. **O Índice de Calor (HI) na cidade de Fortaleza, Ceará**. Sociedade & Natureza, v. 37, p. e73091, 2025. DOI: https://doi.org/10.14393/SN-v37-2025-73091

LOUIZA, H.; ZÉROUAL, A.; DJAMEL, H. **Impact of the transport on the urban heat island**. International Journal for Traffic and Transport Engineering, v. 5, n. 3, p. 252-263, 2015. DOI: https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(3)

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MAREY, A.; ZOU, J.; GOUBRAN, S.; WANG, L. L.; GAUR, A. **Urban morphology impacts on urban microclimate using artificial intelligence–a review**. City and Environment Interactions, p. 100221, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cacint.2025.100221

MARTINS, T. A. de L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. **Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL.** Ambiente Construído, v. 13, n. 4, p. 213–233, 2013.DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400015

NOGUEIRA, D. de L.; SOUZA, P. J. de; LOMBARDO, M. A. **Characterization of human thermal comfort in urban areas of the Brazilian semiarid**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 3, p. 313-324, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/BVkQrnsZwG4fmKZkkw5w3Yf/?lang=en. Acesso em: 26 set. 2025.

OKE, T. R. **Street design and urban canopy layer climate**. Energy and Buildings, v. 11, p. 103–113, 1988. DOI: https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

SANTOS, R. N. da S.; BARBOSA, R. V. R. **Influência da morfologia urbana nos microclimas do centro comercial de Maceió, Alagoas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2025. Anais [...].*[S. l.]*, 2025. DOI: https://doi.org/10.46421/encacelacac.v18i1.7265

SILVA, M. F.; BARBOSA, R. V. R. **Regime de ventos em cidades de diferentes regiões geográficas de Alagoas a partir de dados meteorológicos recentes**. Revista Brasileira de Climatologia, *[S. l.]*, v. 31, n. 18, p. 509-538, 2022. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15606.

TUN, K. Z.; PRAMANIK, M.; MALLICK, S. K.; CHAKRABORTTY, R.; HALDER, B.; MOHARIR, K. N.; PANDE, C. B.; ZHRAN, M. **Cooling the Cities: A Comprehensive Review of Urban Heat Island Mitigation Strategies in Southeast Asia**. Human Settlements and Sustainability, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hssust.2025.05.002

WEI, R.; XU, C.; SONG, D.; TONG, H.; CHEN, Z. **Study on the Correlation Analysis between Urban Morphological Factors and Microclimate Based on Empirical Methods on a University Campus in a Hot-Summer–Cold-Winter Region**. Buildings, v. 13, n. 8, p. 1920, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13081920

ZHAO, Wanqi; HU, Qingtao; BAO, Anhong. **The Influence of the Spatial Morphology of Township Streets on Summer Microclimate and Thermal Comfort**. Buildings, v. 14, n. 11, p. 3616, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings14113616