Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

O CONFORTO TÉRMICO HUMANO EM VIAS CICLÁVEIS DE FORTALEZA, CEARÁ

Human thermal comfort on cycling paths in Fortaleza, Ceará

Confort térmico humano en ciclopistas de Fortaleza, Ceará

João Neftali Freire Amaral
Universidade Federal do Ceará (UFC)
joaoneftali@hotmail.com

Antonio Ferreira Lima Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)
antoniojunior@ufc.br

Francisca Mairla Gomes Brasileiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)
mairlabrasileiro@gmail.com

Lidia Gomes de Castro
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
lidiagomes291@gmail.com

Resumo: A intensificação da urbanização e a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis têm provocado alterações no clima urbano, elevando as temperaturas e agravando o desconforto térmico, especialmente em cidades tropicais. As ciclovias, enquanto alternativa sustentável de mobilidade, são afetadas por essas transformações, sobretudo quando localizadas em ambientes urbanos densos, com pouca arborização e uso de materiais de baixo albedo. Este estudo analisou o conforto térmico humano em diferentes padrões de vias cicláveis em Fortaleza (CE), relacionando a sensação térmica à cobertura vegetal e à materialidade urbana. Foi aplicado um transecto móvel em um percurso de 8 km, com medições de temperatura e umidade relativa do ar. Utilizou-se o Índice de Calor (HI) para estimar o desconforto térmico, correlacionando os resultados com o NDVI e o volume edificado ao redor das vias. Os dados indicam que segmentos com vegetação densa e pavimentação permeável apresentam melhores condições térmicas, enquanto trechos asfaltados, com alta densidade de edificações e pouca sombra, registram os maiores índices de desconforto, inclusive à noite. Os resultados evidenciam a importância de incorporar critérios de conforto térmico ao planejamento cicloviário, visando promover a mobilidade ativa com mais qualidade e adequação

climática nos espaços urbanos.
Palavras-chave: Clima urbano. Ciclovias. Desconforto térmico. Índice de calor.

Abstract: Intensified urbanization and the replacement of vegetation with impervious surfaces have altered urban climates, raising temperatures and increasing thermal discomfort, especially in tropical cities. Bikeways, as a sustainable mobility alternative, are affected by these changes, particularly when located in dense urban areas with limited shade and low-albedo materials. This study analyzed human thermal comfort across different types of cycling infrastructure in Fortaleza, Brazil, focusing on the relationship between thermal sensation, vegetation cover, and urban materiality. A mobile transect survey was conducted along an 8 km route, recording air temperature and relative humidity. The Heat Index (HI) was applied to estimate thermal discomfort, and the results were correlated with NDVI and built volume data surrounding the bikeways. The findings indicate that segments with dense vegetation and permeable pavements provided more favorable thermal conditions, while asphalted sections with high building density and minimal tree cover recorded the highest discomfort levels, even at night. These results emphasize the importance of integrating thermal comfort criteria into cycling infrastructure planning, highlighting that the promotion of active mobility depends on supportive environmental conditions. Therefore, bikeways should be designed not only as transport corridors but also as climate-sensitive urban spaces that enhance quality of life in tropical cities.
Keywords: Urban climate. Bike lanes. Thermal discomfort. Heat index.

Resumen: La urbanización intensiva y la sustitución de la vegetación por superficies impermeables han alterado el clima urbano, elevando las temperaturas y aumentando el malestar térmico, especialmente en ciudades tropicales. Las ciclovías, como alternativa sostenible de movilidad, se ven afectadas por estos cambios, sobre todo cuando se ubican en zonas urbanas densas, con poca sombra y materiales de bajo albedo. Este estudio analizó el confort térmico humano a lo largo de diferentes tipos de infraestructura ciclista en Fortaleza (Brasil), relacionando la sensación térmica con la cobertura vegetal y la materialidad urbana. Se realizó un transecto móvil a lo largo de 8 km, con mediciones de temperatura del aire y humedad relativa. Se aplicó el Índice de Calor (HI) para estimar el malestar térmico, y los resultados se correlacionaron con el NDVI y el volumen edificado en el entorno de las ciclovías. Los datos indican que los tramos con vegetación densa y pavimentos permeables presentaron condiciones térmicas más favorables, mientras que los segmentos asfaltados, con alta densidad de edificaciones y escasa sombra, registraron niveles más altos de malestar, incluso durante la noche. Estos resultados subrayan la necesidad de incorporar criterios de confort térmico en la planificación de ciclovías, promoviendo una movilidad activa adaptada al clima urbano.
Palabras clave: Clima urbano. Ciclovías. Malestar térmico. Índice de Calor.

Submetido em: 12/05/2025
Aceito para publicação em: 21/09/2025
Publicado em: 21/10/2025

1. INTRODUÇÃO

A urbanização sem o devido planejamento e com falhas na organização do espaço geográfico, aliada à negligência com a conservação ambiental, altera profundamente a paisagem natural citadina. Essas mudanças geram impactos socioeconômicos e ambientais que comprometem diretamente a qualidade de vida nas cidades (Kanai, 2014). Reflexo desse padrão, as políticas públicas frequentemente priorizam a densificação imobiliária em detrimento do equilíbrio ecológico, favorecendo a formação de ambientes construídos cada vez mais densos. Nesses espaços, as temperaturas médias são mais elevadas, devido à presença de superfícies artificiais, emissões antropogênicas e redução da ventilação natural (Oke, 1982; Lombardo, 1985; Oke et al., 2017).

A expansão urbana desordenada e a substituição da vegetação por materiais como asfalto e concreto, que possuem baixo albedo, intensificam o surgimento das ilhas de calor (Taha, 1997; Dutta et al., 2022) e agravam o desconforto térmico, especialmente em áreas densamente pavimentadas. Esses efeitos são amplificados pela alta densidade de edificações e pela redução da cobertura vegetal, fatores que, segundo Duarte (2000), estão diretamente ligados ao aumento das temperaturas urbanas, tornando o ambiente mais hostil e prejudicial à qualidade de vida da população.

Nesse cenário, o clima urbano torna-se um sistema complexo, moldado pela interação entre fatores naturais e humanos. Monteiro e Mendonça (2003) explicam que a urbanização redefine os padrões climáticos locais, criando microclimas específicos como as ilhas de calor, caracterizadas por um fluxo de calor sensível predominante, retido por superfícies impermeáveis. Esse cenário contrasta com áreas vegetadas, que promovem maior evapotranspiração e, portanto, fluxos de calor latente, que ajudam a reduzir as temperaturas (Oke, 1982; Wilmers, 1990; Hesslerová et al., 2022).

No meio urbano, o conforto térmico torna-se um indicador crucial de habitabilidade. Definido por Frota e Schiffer (2003) como a percepção de bem-estar diante das condições climáticas, ele depende de fatores como a radiação solar, a umidade relativa e a ventilação, todos fortemente influenciados pela urbanização. Em locais específicos como calçadas, logradouros e vias cicláveis, essas condições são agravadas pela falta de sombreamento e a

predominância de pavimentos escuros. Nessas áreas, as temperaturas tendem a ser significativamente mais altas em comparação com zonas arborizadas (Anjos, 2019).

Em decorrência da evolução urbana, a mobilidade da cidade é dependente de veículos automotores. Essa dependência impacta na emissão de gases do efeito estufa e na composição da estrutura viária da cidade, contribuindo para a intensificação das ilhas de calor. Nesse contexto, há uma agenda de descarbonização dos transportes somando esforços para encontrar arranjos possíveis para a produção de uma mobilidade urbana mais sustentável (Abramovay, 2016; Geels, 2019).

A mobilidade ativa, que inclui o caminhar e o pedalar, configura-se como uma solução sustentável e essencial para as cidades. Ao reduzir a dependência de veículos motorizados, esse modelo de deslocamento ajuda a combater as desigualdades urbanas e promove a acessibilidade universal, melhorando a qualidade do ar e a saúde coletiva (Castro; Farias, 2020). Além disso, a mobilidade ativa democratiza o uso dos espaços públicos, fortalecendo o sentimento de pertencimento e a interação social entre os habitantes.

Nesse contexto, a bicicleta apresenta-se como uma alternativa viável de transporte urbano. No entanto, apesar de algumas iniciativas, ainda se enfrenta a falta de infraestrutura adequada, como ciclovias (Murtas, 2018). O ciclismo como atividade ao ar livre depende das condições climáticas locais para estabelecer uma relação de conforto, estimulando ou não a realização da atividade (Vasilikou; Nikolopoulou, 2020). As vias cicláveis, que deveriam incentivar o uso da bicicleta como transporte sustentável, acabam sendo locais de grande desconforto térmico em cidades de clima quente. O potencial da bicicleta é, muitas vezes, comprometido nessas áreas pela ausência de condições adequadas, desestimulando o uso desse modal.

O município de Fortaleza, inserido nesse contexto climático, conta com uma rede cicloviária diversa, composta por ciclofaixas, ciclovias segregadas e faixas compartilhadas, pavimentadas com diferentes materiais, como asfalto, concreto e pisos intertravados. Esses materiais influenciam diretamente o conforto térmico nas vias cicláveis e, consequentemente, a viabilidade do uso da bicicleta como meio de transporte (Castro; Farias, 2020). A falta de sombreamento e a predominância de materiais que retêm calor, podem fazer com que muitas dessas vias se tornem pouco atrativas, exacerbando o desconforto térmico e dificultando a adesão ao uso da bicicleta.

Em Fortaleza, onde a cobertura verde representa cerca de 29,62% da área urbana e a malha viária é amplamente pavimentada (Lima Júnior, 2023), há um aumento expressivo da temperatura do ar. A heterogeneidade paisagística da cidade, com a variação entre áreas arborizadas e regiões densamente edificadas, é um fator importante para entender as diferenças térmicas no ambiente urbano. As disparidades térmicas podem chegar a 5,53°C entre essas áreas, com a materialidade urbana, marcada por pavimentos de baixo albedo, alta densidade de edificações e pouca vegetação, criando microclimas que afetam diretamente a vivência nos espaços públicos. Lima Júnior et al. (2024) identificaram situações de desconforto térmico em diversos pontos da cidade, podendo refletir nos eixos viários cicláveis do município.

Embora a rede cicloviária seja essencial para a mobilidade, ela também apresenta contradições. A predominância de pavimentos impermeáveis, que não absorvem água, e a falta de áreas sombreadas, criam verdadeiras barreiras térmicas, intensificando o desconforto em um modal de transporte que deveria ser, por natureza, mais sustentável e adequado às condições urbanas de cidades tropicais. Portanto, é fundamental compreender a dinâmica microclimática e as infraestruturas cicloviárias, contribuindo para estratégias de planejamento da cidade.

Este estudo objetivou analisar as condições de conforto térmico humano de diferentes padrões de vias cicláveis na cidade de Fortaleza. Para tanto, foram: (1) caracterizadas as condições de temperatura máxima, média e mínima e a umidade relativa do ar ao longo de diferentes vias cicláveis durante a pré-estação chuvosa em Fortaleza; (2) avaliadas as condições de conforto ou desconforto térmico humano através da aplicação de indicador numérico (Índice de Calor) nas ciclovias avaliadas; e (3) analisadas as relações entre o campo termo-higrométrico e as características urbanas no entorno das vias cicláveis.

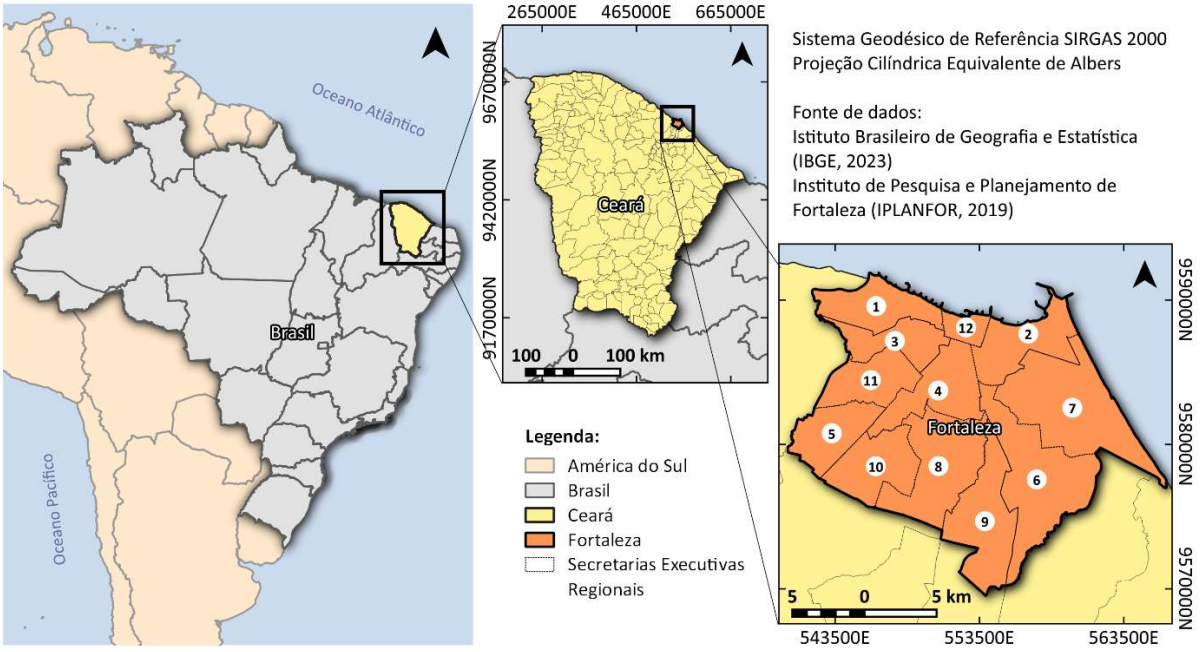
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O lócus desta pesquisa consiste em vias cicláveis de Fortaleza. O município, capital do estado do Ceará, tem sua localização central marcada pelas coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zona 24 Sul, com os valores de 9581533.31 S e 552409.32 O (Figura 1). De acordo com

Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a cidade está inserida em uma área de clima tropical equatorial. Banhada pelo Oceano Atlântico e situada na região litorânea do Nordeste brasileiro, Fortaleza apresenta características como alta umidade relativa do ar e uma significativa influência dos ventos, fenômenos que se manifestam em diversas escalas.

Figura 1- Cartograma de localização do município de Fortaleza**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

De modo geral, a temperatura no município apresenta pouca variação ao longo dos anos e entre os meses (Moura, 2008). Assim, a variabilidade climática local é determinada, principalmente, pelos volumes de precipitação. A sazonalidade da chuva marca os diferentes períodos marcantes na capital cearense, que são: pré-estação chuvosa (dezembro e janeiro); quadra chuvosa (fevereiro a maio); pós-estação chuvosa (junho e julho); período seco (agosto a novembro).

O comportamento térmico está diretamente relacionado aos sistemas atmosféricos em escala regional, principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua durante a quadra chuvosa. A ZCIT, por sua vez, é influenciada por fenômenos como o El Niño––Oscilação Sul (ENOS) e pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na bacia do Oceano Atlântico (Ferreira; Mello, 2005). Além da ZCIT, outros sistemas atmosféricos contribuem para a ocorrência de chuvas em Fortaleza, como os Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), os

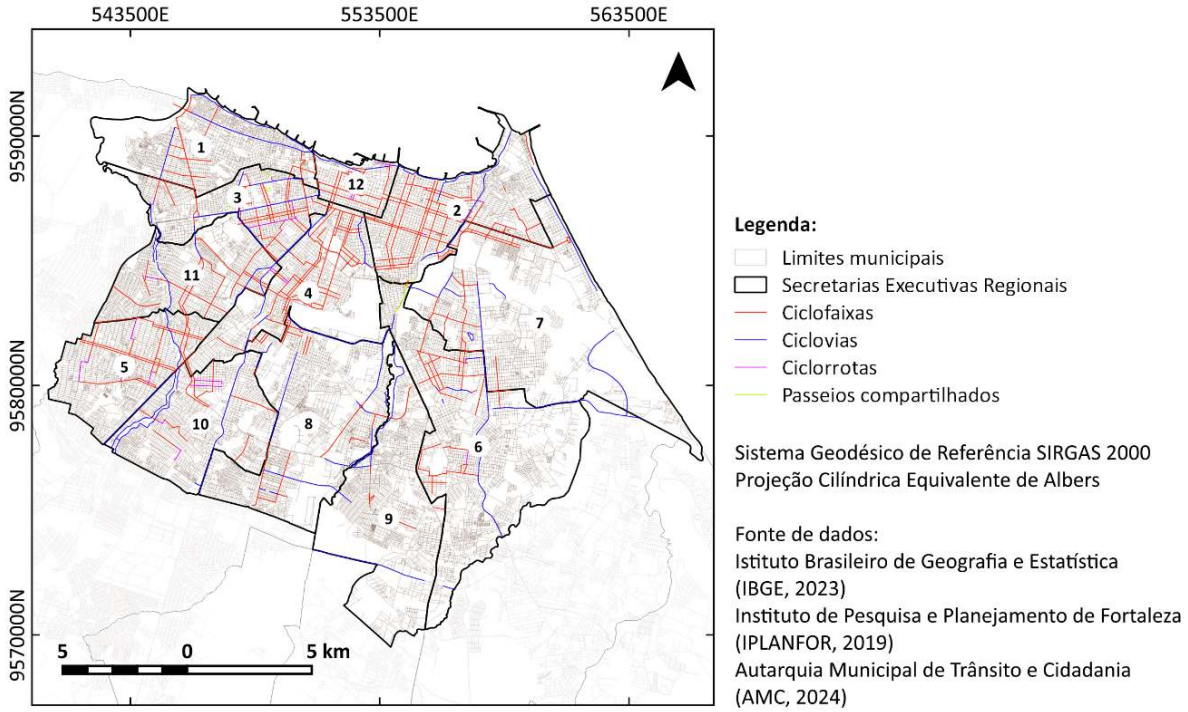
Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e as Ondas de Leste (OL). Esses fenômenos provocam precipitações concentradas, principalmente, no primeiro semestre do ano (Ferreira; Mello, 2005; Barbieri, 2014).

Atualmente, Fortaleza destaca-se como uma das capitais mais relevantes do Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), ocupa a 11ª colocação entre os municípios com os maiores Produtos Internos Brutos (PIBs) do país. Ainda de acordo com a prévia do Censo Demográfico de 2023, a cidade possui uma população de 2.428.678 habitantes, figurando como o 4º município mais populoso do Brasil. Com uma densidade demográfica de 7.775,43 habitantes por quilômetro quadrado, Fortaleza é a oitava cidade mais densamente povoada do país e lidera entre todas as capitais brasileiras nesse indicador.

Essa configuração demográfica gerou em Fortaleza alta demanda de veículos automotores. De acordo com os dados do Ministério dos Transportes (2024), Fortaleza conta com uma frota de 1.277.096 (um milhão duzentos e setenta e sete mil e noventa e seis) veículos, ocupando a 5ª colocação no ranking nacional e a 1ª entre as cidades nordestinas. Nesse contexto, a gestão municipal tem investido em modais alternativos para mitigar os problemas de mobilidade urbana. Dentre essas ações, destacam-se os investimentos em infraestruturas cicloviárias e programas de bicicletas compartilhadas.

A rede cicloviária de Fortaleza está em constante ampliação. Atualmente, são 497,8 km de ciclofaixas, ciclovias, ciclorrotas ou passeios compartilhados distribuídos por todas as regionais da capital (Figura 2).

Figura 2- Malha cicloviária do município de Fortaleza**.**



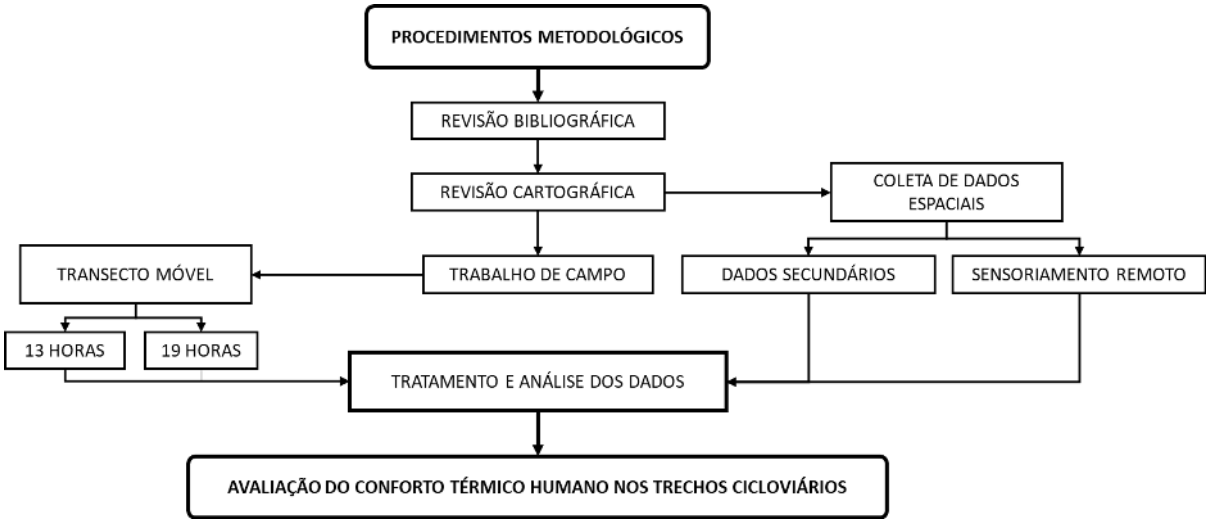
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Segundo o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), Fortaleza é a capital brasileira onde as pessoas vivem mais próximas à infraestrutura cicloviária, com 51% dos habitantes morando a menos de 300 metros de algum trecho da rede cicloviária. Esse percentual foi atualizado para 64%, conforme estudo da Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC), demonstrando uma crescente acessibilidade ao modal cicloviário na cidade (Prefeitura de Fortaleza, 2025).

2.2. Procedimentos técnicos

Para responder aos questionamentos da pesquisa, foi estabelecido um fluxo metodológico. A Figura 3 indica os procedimentos práticos utilizados para compreender o fenômeno térmico em torno das vias cicláveis analisadas. No decorrer desta sessão, serão detalhadas as etapas percorridas e os métodos eleitos para a análise do fenômeno estudado.

Figura 3- Fluxograma dos procedimentos metodológicos condutores da pesquisa**.**



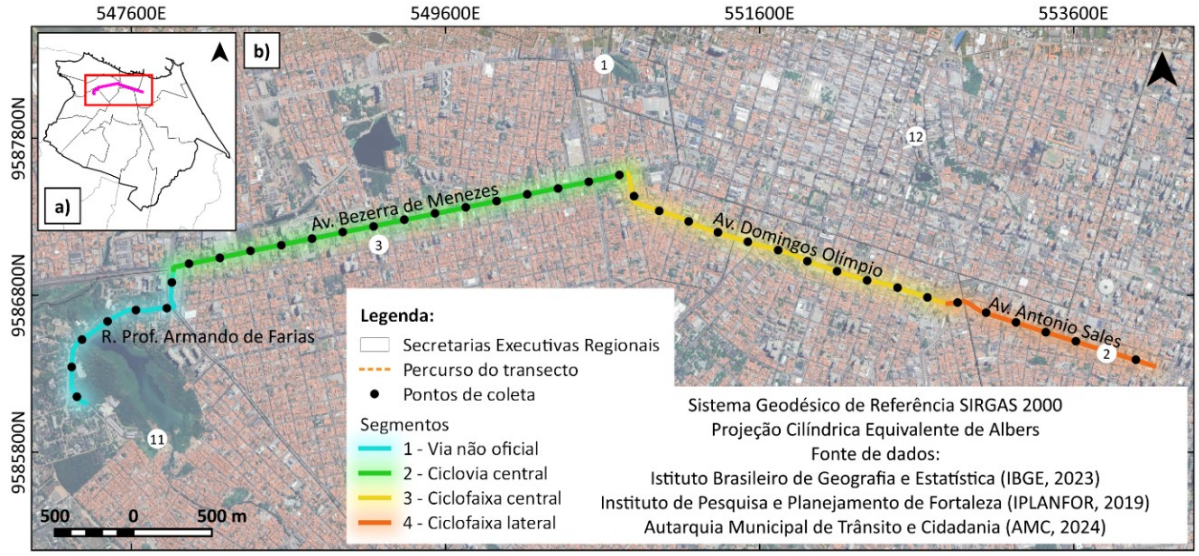
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

2.3. Trecho ciclável analisado

O percurso analisado conta com aproximadamente 8 km de extensão e conecta o Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC) à região central da cidade, passando por avenidas como Bezerra de Menezes, Domingos Olímpio e Antônio Sales, importantes vias de conexão da cidade. A escolha dessa rota se deve à heterogeneidade dos contextos urbanos, que incluem áreas com altos volumes edificados, trechos predominantemente pavimentados (asfalto e concreto) e segmentos residuais de vegetação. Essa diversidade permite avaliar como a materialidade urbana e as variações climáticas interagem na modificação do ambiente térmico ao longo do trajeto.

A Figura 4 ilustra a localização da rota cicloviária avaliada neste estudo, a delimitação da segmentação das vias e suas respectivas categorias.

Figura 4- Caracterização da rota ciclável pesquisada. a) localização do trecho Cicloviário analisado; b) delimitação dos segmentos avaliados na pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

2.4. Cobertura do solo

A avaliação das características de cobertura do solo foi realizada através do mapeamento e da análise de duas variáveis: vegetação e edificações. A vegetação foi obtida através da técnica de sensoriamento remoto, com utilização do satélite PlanetScope para aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI). O PlanetScope, da Planet Labs, é uma constelação de mais de 130 pequenos satélites em órbita heliossíncrona que fornece imagens diárias da Terra em quatro bandas (RGB e NIR) com resolução espacial de 4,77 m (Fitts et al., 2025).

O NDVI foi calculado para a imagem multiespectral do PlanetScope usando a fórmula básica a seguir:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Onde *NIR* corresponde à faixa do infravermelho próximo e *Red* corresponde à faixa do vermelho.

Para avaliação das edificações, foram utilizados os dados de volume edificado do produto GHS *built-up* volume (R2023) com 100 metros de resolução espacial, do projeto *Global Human Settlement Layer* (GHSL), que produz informações espaciais globais, análises baseadas em evidências e conhecimento que descreve a presença humana no planeta. Esses

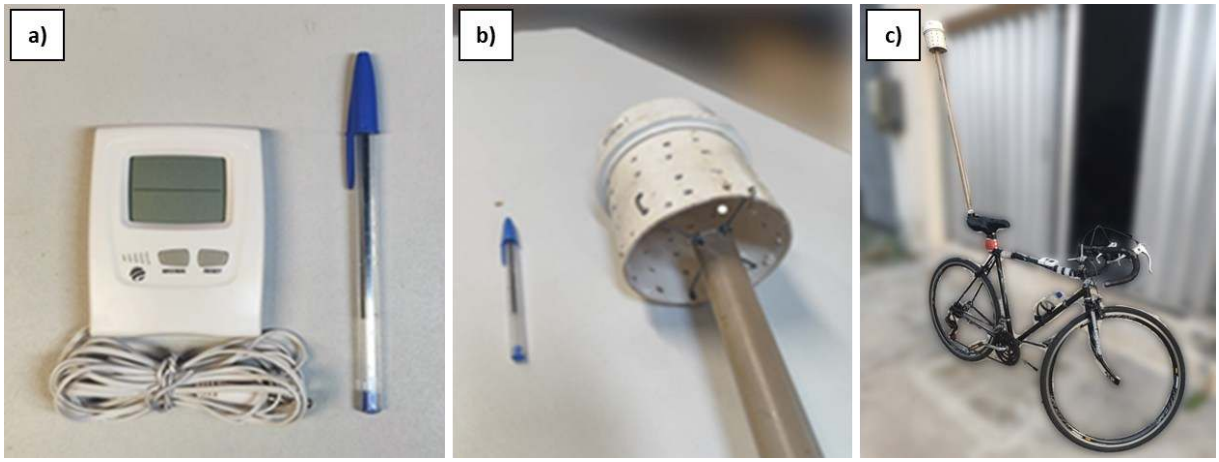
dados são amplamente utilizados para avaliação da cobertura do solo e sua relação com o campo térmico urbano (Sarker et al., 2024; Balandi et al., 2025).

2.5. Transecto móvel

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados no dia 15 de janeiro de 2025 (pré-estação chuvosa), seguindo a metodologia de transectos móveis, amplamente utilizada em estudos de clima urbano para mapear gradientes térmicos e identificar ilhas de calor (Valin Jr; Santos, 2020). Para assegurar a representatividade espacial, o trajeto foi segmentado em 40 pontos equidistantes, com intervalos de 200 metros. A distribuição dos pontos pode ser visualizada no mapa da Figura 4.

A coleta de dados termo-higrométricos foi realizada com um termo-higrômetro digital da marca Incoterm, fixado a 2 metros de altura em uma bicicleta adaptada, protegida por um abrigo tubular de PVC branco perfurado na parte superior e inferior, permitindo a circulação do ar e minimizando o impacto do aquecimento solar direto no sensor (Figura 5). Essa configuração garantiu a redução de interferências da radiação solar direta, permitindo a captura precisa de dados em ambientes urbanos com diferentes níveis de radiação. A utilização do abrigo deu-se a partir da recomendação de garantia da confiabilidade dos dados coletados (Fialho; Celestino, 2017).

Figura 5- Coleta de dados termo-higrométricos. a) termo-higrômetro Incoterm; b) abrigo tubular perfurado de PVC**.** c) bicicleta adaptada utilizada para realização do transecto.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Em cada ponto de medição, a temperatura ambiente (°C) e a umidade relativa (%) foram registradas. Para garantir a consistência dos dados, o intervalo máximo entre as medições ao longo de todo o transecto foi de uma hora, conforme diretrizes metodológicas baseadas em estudos como os de Porangaba e Amorim (2017) e Castro (2022). Essa frequência de coleta minimiza variações abruptas no microclima ao longo do percurso e assegura maior homogeneidade nos dados, permitindo comparações consistentes entre diferentes áreas urbanas.

As medições foram realizadas em dois horários estratégicos: às 13h, correspondente ao pico de insolação diurna, e às 19h, período de início da dissipação térmica. Embora esses horários não sigam estritamente as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), estão em consonância com estudos que utilizam transectos móveis em pesquisas de clima urbano no Brasil, conforme destacado por Valin Jr. e Santos (2020). É recomendada a padronização dos procedimentos de medição para garantir maior comparabilidade entre pesquisas.

A metodologia adotada está alinhada com estudos recentes e anteriores sobre clima urbano. Luna, Alcântara e Silva (2024), ao analisarem a formação de ilhas de calor e sua relação com o conforto térmico na cidade do Crato, no Nordeste brasileiro, destacaram a influência da vegetação e dos materiais de construção na dinâmica climática local.

Essa perspectiva é reforçada por trabalhos como o de França (2018) em Sorriso-MT, que mapeou gradientes térmicos em ciclovias, e o de Dorigon e Amorim (2020) em Jundiaí-SP, que identificaram diferenças térmicas de até 9°C entre áreas urbanas densas e zonas vegetadas. Além disso, Meneses e Sales (2018), em Vilhena-RO, associaram picos térmicos à falta de vegetação e à maior densidade urbana, enquanto Oliveira (2020), em Crateús-CE, evidenciou reduções significativas de temperatura em trechos sombreados.

2.6. Índice de conforto térmico humano

Para a avaliação do conforto térmico humano, foi utilizado o Índice de Calor (HI), originalmente proposto por Steadman (1979), que combina a temperatura do ar e a umidade relativa para estimar a sensação térmica humana. O cálculo do HI é baseado em análises estatísticas de regressão que consideram a interação entre essas duas variáveis, refletindo a

dificuldade do corpo humano em dissipar calor por evaporação em condições de alta umidade. Conforme destacado por Kusch *et al.* (2004), o HI é uma ferramenta essencial para compreender a percepção humana em diferentes combinações de temperatura e umidade, sendo amplamente utilizado em procedimentos de alerta devido aos seus impactos diretos na saúde e segurança pública, especialmente em regiões de clima quente e úmido.

Neste estudo, o Índice de Calor (HI) foi calculado utilizando a calculadora disponibilizada pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos *(National Weather Service* - NWS*)*, que aplica a equação de Rothfusz, bastante utilizada para estimar a sensação térmica com base na temperatura do ar e na umidade relativa.

A equação utilizada para o cálculo do HI é a seguinte:

$$HI=16{,}923+\left[\left(1{,}85212*10^{-1}\right)*t_a\right]+(5{,}37941*UR)-\left[\left(1{,}00254*10^{-1}\right)*t_a*UR\right]+\left[\left(9{,}41695*10^{-3}\right)*t_a^2\right]+\left[\left(7{,}28898*10^{-3}\right)*UR^2\right]+\left[\left(3{,}45372*10^{-4}\right)*t_a^2*UR\right]-\left[\left(8{,}1497*10^{4}\right)*t_a*UR^2\right]+\left[\left(1{,}02102*10^{-5}\right)*t_a^2*UR^2\right]-\left[\left(3{,}8646*10^{-5}\right)*t_a^3\right]+\left[\left(2{,}91583*10^{-5}\right)*UR^3\right]+\left[\left(1{,}42721*10^{-6}\right)*t_a^3*UR\right]+\left[\left(1{,}97483*10^{7}\right)*t_a*UR^3\right]-\left[\left(2{,}18429*10^{-8}\right)*t_a^3*UR^2\right]+\left[\left(8{,}43296*10^{-10}\right)*t_a^2*UR^3\right]-\left[\left(4{,}81975*10^{-11}\right)*t_a^3*UR^3\right]$$

Onde:

HI é o Índice de Calor

UR é a umidade relativa do ar (%)

t_a é a temperatura de bulbo seco do ar (°F)

Tabela 1- Intervalos adaptados do Índice de Calor (HI)

Faixa de conforto	Índice de Calor (HI)
Desconfortável	> 32,1 °C
Confortável	29,3°C – 32,1°C
Não designado pela autora	< 29,3°C

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Após o cálculo do HI em graus Fahrenheit (°F), os resultados foram convertidos para graus Celsius (°C) para facilitar a interpretação no contexto local. A aplicação do HI em Fortaleza foi adaptada com base nos estudos de Petalas (2015), que revisou os limiares de conforto térmico para cidades tropicais, considerando a aclimatação da população local. A

autora propôs novos intervalos para o HI (Tabela 1), redefinindo as faixas de conforto para 29,3°C a 32,1°C (conforto) e acima de 32,1°C (desconforto). Essa adaptação reflete a maior resiliência térmica dos fortalezenses, que estão habituados a condições climáticas quentes e úmidas.

Seguindo essa perspectiva, Lima Júnior *et al.* (2024) aplicaram o HI adaptado por Petalas (2015) para avaliar o conforto térmico em Fortaleza, evidenciando diferenças de até 6°C entre áreas pavimentadas e zonas verdes, como o Parque do Cocó. Essa abordagem mais local reforça a importância de considerar fatores locais na análise do conforto térmico, uma vez que a aplicação de critérios globais pode subestimar a capacidade de adaptação da população.

Todas as informações georreferenciadas foram processadas no *software* SIG QGIS 3.28.10, onde foram gerados mapas temáticos que permitiram correlacionar as variáveis termo-higrométricas com características urbanas, como o volume edificado e a cobertura vegetal.

3. DESENVOLVIMENTO

Os dados termo-higrométricos coletados nas vias cicláveis de Fortaleza apresentaram gradientes climáticos distintos, associados às características urbanas de cada segmento. A rota analisada, com aproximadamente 8 km, foi dividida em quatro segmentos principais, cada um representando padrões diferentes de cobertura do solo e infraestrutura cicloviária (Figura 4). Essa divisão foi feita visando uma visualização mais detalhada das interações entre a materialidade urbana e as condições térmicas.

O primeiro segmento, na rua Professor Armando de Farias, que compreende o Campus do Pici, é caracterizado pela presença de vegetação densa e pavimentação permeável, com destaque para a Matinha do Pici, uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). A vegetação e solo permeável contribuem diretamente para condições térmicas mais amenas, mesmo durante picos de insolação (Susca *et al*., 2011; Lima Júnior, 2023).

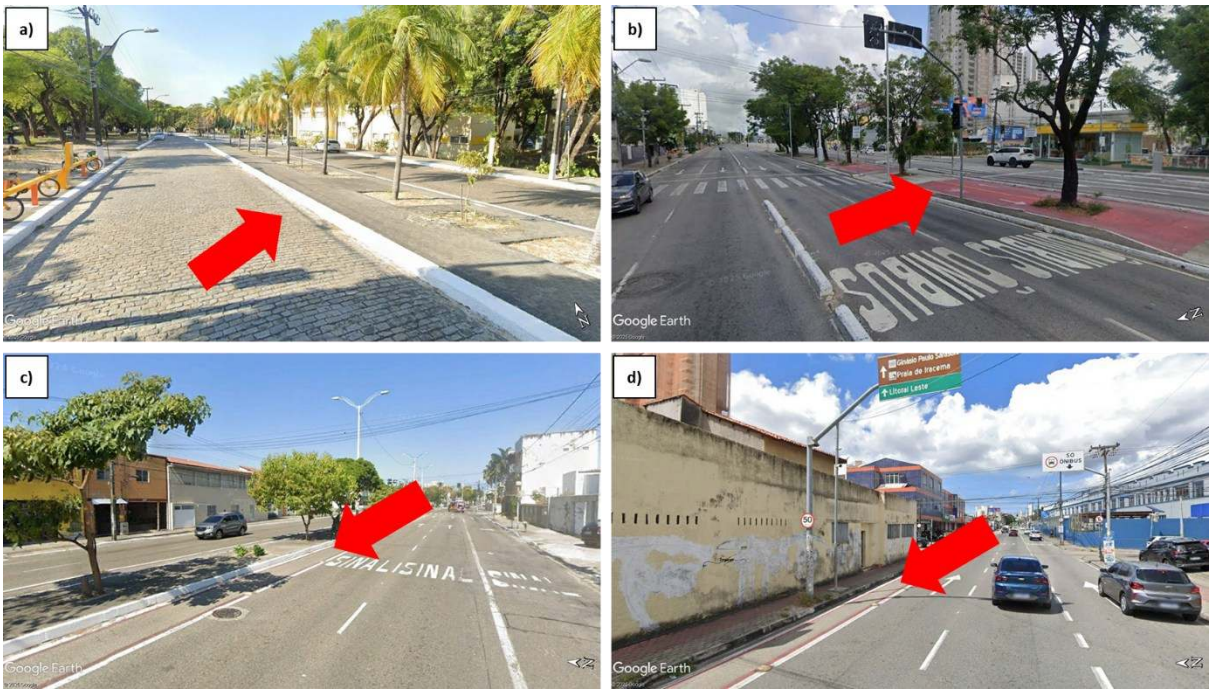
O segundo segmento, ao longo da avenida Bezerra de Menezes, apresenta uma ciclovia pavimentada em concreto, localizada no centro da avenida e adjacente apenas à faixa de ônibus, com certa distância do tráfego motorizado mais intenso. Com aproximadamente 37

metros de largura, é o segmento mais amplo analisado, o que pode favorecer a dissipação de calor em comparação com vias mais estreitas.

O terceiro segmento, na avenida Domingos Olímpio, é marcado por uma ciclofaixa central de pavimentação asfáltica adjacente a uma via de grande movimento. Com cerca de 26 metros de largura, esse segmento apresenta uma quantidade relativamente significativa de árvores em comparação aos outros contextos urbanos, o que ajuda a mitigar, em parte, o desconforto térmico.

Por fim, o quarto segmento, na avenida Antônio Sales, apresenta apenas 13 metros de largura e é o segmento mais estreito analisado, o que pode contribuir para o sobreaquecimento local. A eminente ausência de árvores (apenas seis ao longo do segmento analisado), a predominância de pavimentação asfáltica e o intenso fluxo pelos veículos automotores intensificam o ganho de calor na dinâmica térmica. Na Figura 6, é possível visualizar exemplos dos segmentos avaliados.

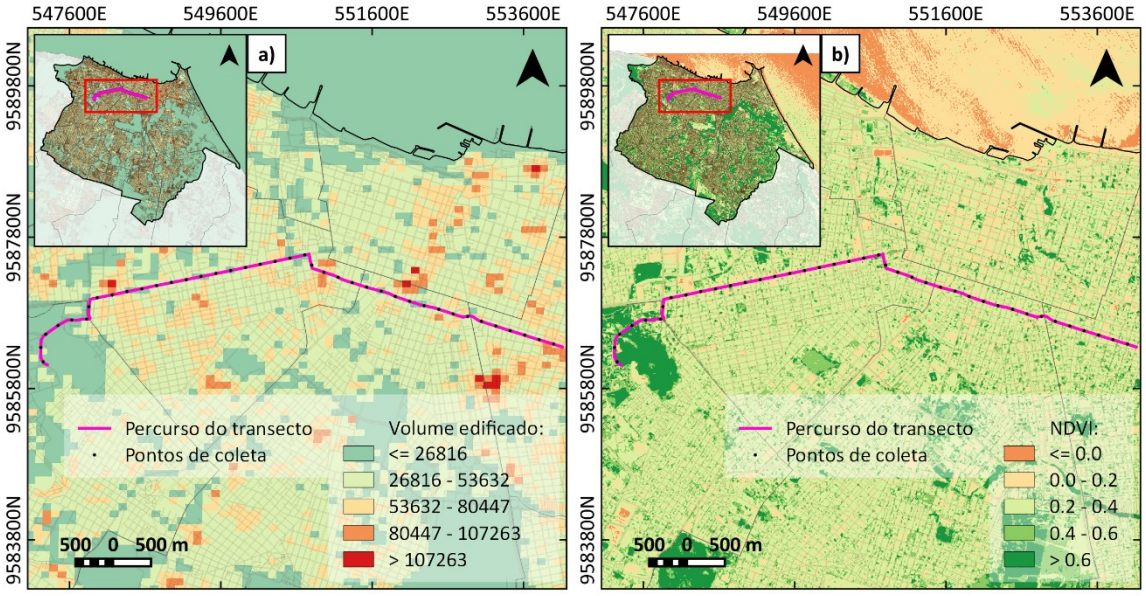
Figura 6- Segmentos analisados na pesquisa. a) 1: R. Prof. Armando de Farias; b) 2: Av. Bezerra de Menezes**.** c) 3: Av. Domingos Olímpio. d) Av. Antonio Sales. As setas vermelhas destacam a localização das infraestruturas cicloviárias.



Fonte: Google Earth Pro. Elaborado pelos autores (2025).

O mapeamento do volume edificado e do NDVI evidenciam a heterogeneidade espacial dos segmentos avaliados (Figura 7). Em relação ao NDVI, o segmento 1 apresenta o maior valor de mediana (0,505), obtendo uma significativa cobertura vegetal em um raio de 250 metros no seu entorno. Os outros segmentos obtiveram medianas menores a 0,3, indicando menor presença de vegetação. Analisando o volume edificado, percebe-se que o segmento 4 apresenta o maior limiar mediano, com resultado superando os 49.211 m³, enquanto o segmento 1 é o de menor volume, com mediana de 17.525 m³. Os segmentos 2 e 3 apresentam valores semelhantes, 41.661 e 45.239 m³, respectivamente.

Figura 7- Mapas de cobertura do solo. a) Volume edificado; b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).



Fonte: Google Earth Pro. Elaborado pelos autores (2025).

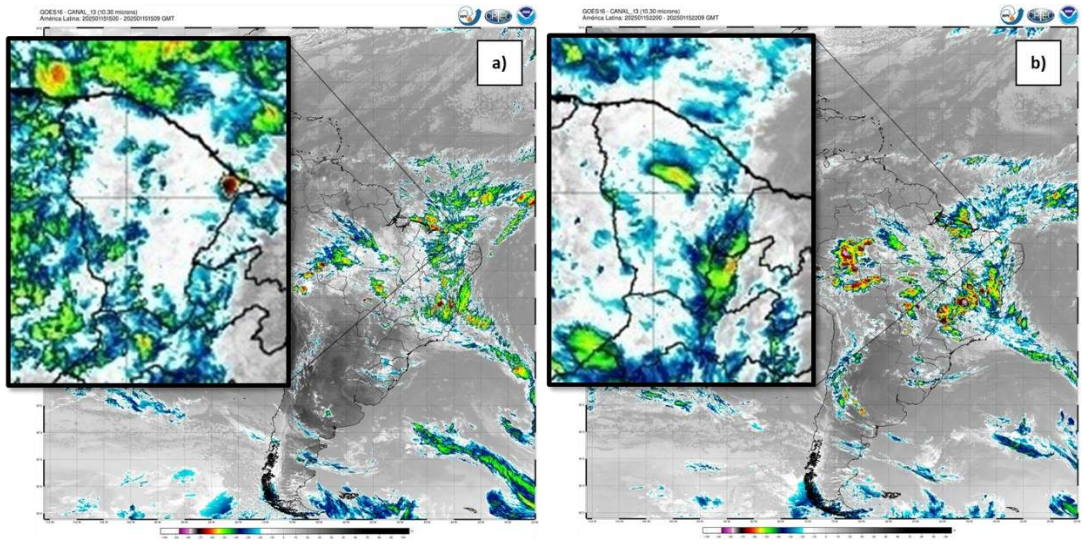
As análises a seguir contemplarão a avaliação do entorno imediato das variáveis mapeadas na Figura 7 para cada ponto de coleta de dados, favorecendo a visualização da influência da vegetação e das edificações de entorno nas manifestações termo-higrométricas verificadas.

3.1. Análise dos transectos móveis

Sabendo que o clima em escala local reflete diretamente as condições atmosféricas regionais, é importante contextualizar os tipos de tempo atuantes durante a realização do transecto móvel. Diversos estudos indicam que, sob condições atmosféricas estáveis, predominam os efeitos das características urbanas de uso e ocupação do solo sobre o campo térmico. Em contrapartida, em situações atmosféricas instáveis, essa influência urbana tende a ser suprimida (Chapman et al., 2017; Drach et al., 2018; Wang et al., 2021).

Assim, a atmosfera urbana local estava sob influência de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), sistema característico da pré-estação chuvosa e associado a altos índices de precipitação (Figura 8). Todavia, não se verificaram acumulados durante a obtenção dos dados, mantendo-se somente a nebulosidade elevada, principalmente no turno da noite.

Figura 8- Condição atmosférica no dia do transecto móvel. a) 13 horas. b) 19 horas.

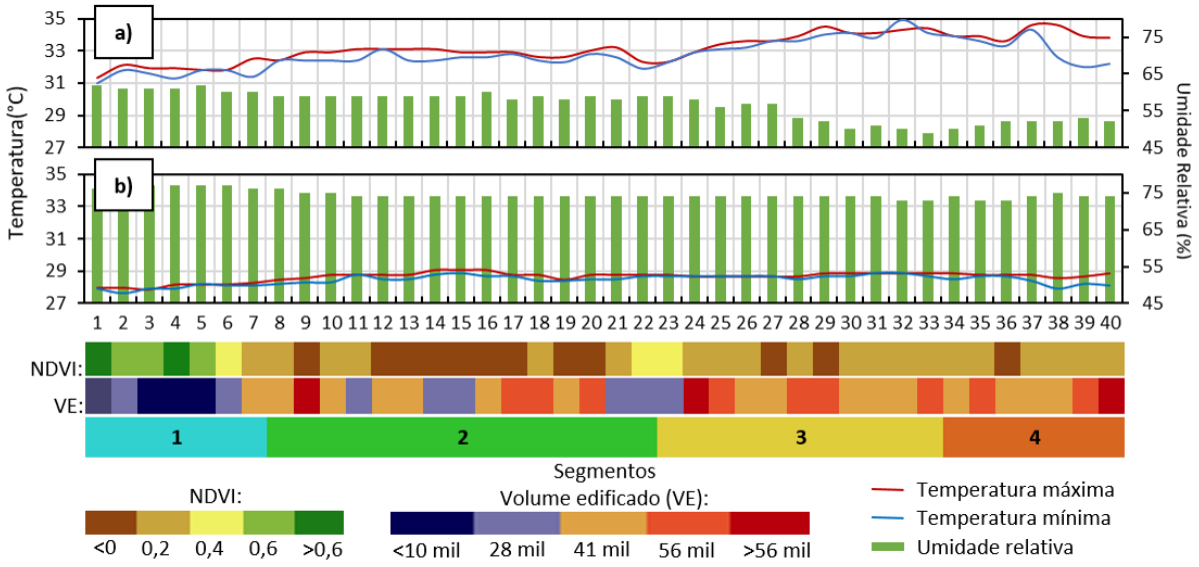


Fonte: CPTEC. Elaborado pelos autores (2025).

Às 13h, as temperaturas mais elevadas foram registradas em pontos com maior exposição solar e predominância de superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, enquanto áreas com cobertura vegetal apresentaram condições térmicas mais amenas. Já às 19h, observou-se um resfriamento geral da cidade, mas os pontos com maior presença de vegetação mantiveram temperaturas mais baixas em comparação com as avenidas asfaltadas, evidenciando a influência da materialidade urbana e da cobertura verde na regulação térmica.

O gráfico da Figura 9 ilustra a distribuição da temperatura média do ar nos pontos de coleta do transecto móvel. As variações térmicas e higrométricas são detalhadas na subseção a seguir.

Figura 9- Distribuição da temperatura e umidade relativa do ar nos pontos coletados durante o transecto. a) transecto das 13 horas. b) transecto das 19 horas.



Fonte: Google Earth Pro. Elaborado pelos autores (2025).

Às 13 horas, os dados termo-higrométricos revelaram um gradiente térmico crescente, com a variação interna de temperatura aumentando progressivamente à medida que se avança de áreas vegetadas para zonas mais urbanizadas (Tabela 2). No Campus do Pici (Pontos 1 a 6), caracterizado pela presença de vegetação densa e solo permeável, as temperaturas mantiveram-se estáveis, variando entre 31,0°C (Ponto 1) e 31,8°C (Ponto 5), com uma oscilação de apenas 0,8°C (2,6%). A umidade relativa permaneceu elevada, entre 60% e 62%, refletindo condições térmicas mais amenas. Essa estabilidade microclimática, proporcionada pelo sombreamento contínuo e pela evapotranspiração da cobertura vegetal, expõe o papel mitigador dos ambientes naturais, mesmo durante o pico de insolação.

No segundo segmento, correspondente à Av. Bezerra de Menezes (Pontos 7 a 22), observou-se uma maior oscilação térmica, com temperaturas variando entre 31,4°C (Ponto 7) e 33,1°C (Ponto 11), resultando em uma variação interna de 1,7°C (5,4%). A umidade relativa

reduziu-se gradualmente, ficando entre 58% e 61%, o que sugere uma menor capacidade de retenção de umidade em comparação ao Campus do Pici.

O terceiro segmento, na Av. Domingos Olímpio (Pontos 23 a 33), registrou os maiores picos de temperatura, atingindo 34,5°C (Ponto 29), com uma mínima de 32,3°C (Ponto 23), o que resultou em uma variação interna de 2,2°C (6,8%). A umidade relativa apresentou uma queda acentuada, variando entre 49% e 59%.

Por fim, o quarto segmento, correspondente ao trecho da Av. Antônio Sales (Pontos 34 a 40), destacou-se como o mais crítico. A temperatura máxima registrada foi de 34,6°C (Ponto 37), com uma mínima de 32,0°C (Ponto 39), resultando em uma variação interna de 2,6°C (8,1%). A umidade relativa variou entre 49% e 53%, reforçando a relação entre altas temperaturas e baixa umidade. Marcado pela pavimentação asfáltica, tráfego intenso e quase nenhuma vegetação, esse segmento exemplifica como a combinação de materiais de baixo albedo e a falta de sombreamento podem intensificar a retenção de calor, criando um ambiente termicamente desfavorável.

Tabela 2- Padrões termo-higrométricos por seguimento às 13h.

Segmento	T. Máx. (°C)	T. Mín. (°C)	ΔT (°C)	ΔT (%)	UR Máx. (%)	UR Mín. (%)
1	31,8	31,0	0,8	2,6	62	60
2	33,1	31,4	1,7	5,4	61	58
3	34,5	32,3	2,2	6,8	59	49
4	34,6	32,0	2,6	8,1	53	49

ΔT (°C): Variação interna de temperatura (Máx. - Mín.).

ΔT (%): Variação percentual em relação à temperatura mínima do segmento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Às 19h, os padrões térmicos observados durante o dia persistiram de forma mais amena (Tabela 3). No Campus do Pici (Pontos 1 a 6), a vegetação e o solo permeável mantiveram as temperaturas entre 27,9°C (Ponto 1) e 28,2°C (Ponto 5), com variação mínima de 0,3°C (1,1%). A umidade relativa permaneceu alta, entre 76% e 77%.

Na avenida Bezerra de Menezes (Pontos 7 a 22), as temperaturas oscilaram entre 28,1°C (Ponto 7) e 29,1°C (Ponto 14), com variação de 1,0°C (3,6%). A umidade relativa, entre

74% e 76%, foi levemente inferior à do Campus do Pici, refletindo o impacto das superfícies impermeáveis e da menor vegetação, tornando a sensação térmica menos confortável.

Na avenida Domingos Olímpio (Pontos 23 a 33), as temperaturas ficaram entre 28,7°C (Ponto 23) e 28,9°C (Ponto 33), com variação de 0,2°C (0,7%). A umidade relativa, entre 73% e 74%, manteve-se estável.

No trecho da avenida Antônio Sales (Pontos 34 a 40), as temperaturas variaram de 28,5°C (Ponto 34) a 28,9°C (Ponto 40), com oscilação de 0,4°C (1,4%). A umidade relativa variou entre 73% e 75%.

Tabela 3- Padrões termo-higrométricos por seguimento às 19h.

Segmento	T. Máx. (°C)	T. Mín. (°C)	ΔT (°C)	ΔT (%)	UR Máx. (%)	UR Mín. (%)
1	28,2	27,9	0,3	1,1	77	76
2	29,1	28,1	1,0	3,6	76	74
3	28,9	28,7	0,2	0,7	74	73
4	28,9	28,5	0,4	1,4	75	73

ΔT (°C): Variação interna de temperatura (Máx. - Mín.).

ΔT (%): Variação percentual em relação à temperatura mínima do segmento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

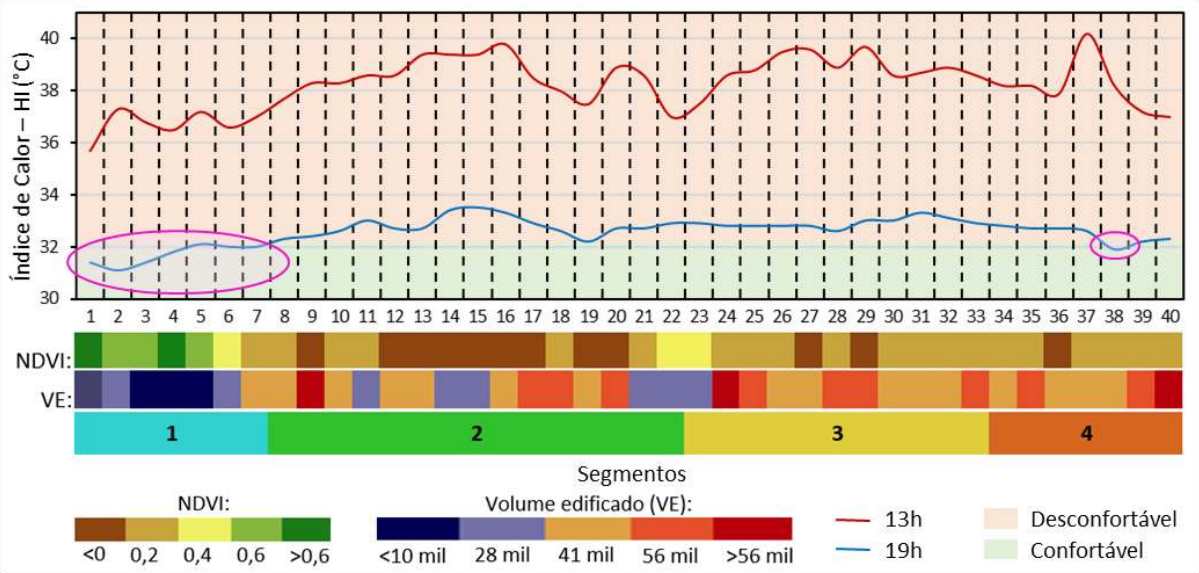
3.2. O conforto térmico humano através do HI

Os resultados obtidos nas medições realizadas às 13h e às 19h evidenciaram variações significativas no conforto térmico ao longo dos diferentes segmentos analisados, reforçando a influência da materialidade urbana e da cobertura vegetal na sensação térmica. O gráfico da Figura 10 ilustra a distribuição do índice nos diferentes pontos nos dois horários.

No transecto das 13h, correspondente ao pico de insolação, os valores do HI variaram entre 35,7°C e 40,2°C, indicando condições de desconforto térmico em todos os pontos analisados. O Campus do Pici, com vegetação densa e pavimentação permeável, apresentou os menores valores de HI (35,7°C a 37,2°C). Embora ainda acima do limiar de conforto proposto por Petalas (2015), esses valores são significativamente inferiores aos registrados em áreas urbanizadas.

Em contraste, os segmentos das avenidas Domingos Olímpio e Antônio Sales, marcados por pavimentação asfáltica e ausência de vegetação, registraram os maiores valores de HI, atingindo 39,7°C e 40,2°C, respectivamente. Esses valores estão bem acima do limiar de desconforto térmico, reforçando a influência negativa das superfícies impermeáveis e da exposição solar direta na sensação térmica. A avenida Bezerra de Menezes, embora apresente valores intermediários de HI (entre 37,7°C e 39,8°C), também demonstrou tendência ao desconforto térmico, especialmente em áreas com maior densidade de tráfego e menor cobertura vegetal.

Figura 10- Representação gráfica do HI para os dois horários avaliados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

No transecto das 19h, observou-se uma redução geral dos valores de HI, variando entre 31,1°C e 33,5°C. Apesar da diminuição nas temperaturas, a maioria dos pontos permaneceu acima do limiar de conforto térmico, indicando que o desconforto persiste mesmo após o pôr do sol. Apenas oito pontos apresentaram valores abaixo desse limite, concentrando-se majoritariamente na região próxima ao Campus do Pici. Os menores valores de HI foram registrados nessa área, variando entre 31,1°C e 32,1°C, enquanto os segmentos das avenidas Domingos Olímpio e Antônio Sales continuaram a exibir os maiores valores, entre 32,6°C e 33,5°C.

A persistência de valores elevados de HI no período noturno reflete a capacidade das superfícies pavimentadas de reter calor ao longo do dia, liberando-o gradualmente durante a noite. Esse fenômeno contribui para a manutenção de microclimas urbanos mais quentes, mesmo após a redução da radiação solar.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados coletados evidenciam que o conforto térmico nas ciclovias de Fortaleza está diretamente ligado à materialidade urbana e ao desenho das vias. A vegetação e os pavimentos permeáveis, como no Campus do Pici, mostram-se essenciais para criar ambientes mais amenos e convidativos à mobilidade ativa. Por outro lado, vias asfaltadas, sujeitas ao aporte de calor antropogênico do tráfego motorizado, como a Domingos Olímpio e a Antônio Sales, revelam que a proximidade com os veículos e a ausência de sombreamento podem intensificar o desconforto térmico, tornando o ciclismo uma experiência desgastante, sobretudo em horários de pico.

A solução, portanto, passa por um planejamento urbano que priorize a integração de elementos naturais e tecnológicos. A ampliação de áreas verdes, o uso de materiais refletores e a disposição estratégica das ciclofaixas — distantes do calor emanado pelos carros — são medidas que podem transformar as ciclovias em espaços mais agradáveis e funcionais. A Bezerra de Menezes, por exemplo, sugere que vias mais amplas e bem posicionadas já são um passo nessa direção.

Assim, investir em ciclovias que ofereçam conforto térmico não é apenas uma questão de mobilidade, mas de qualidade de vida. Uma cidade que acolhe o ciclista com sombra, frescor e segurança é uma cidade que respira melhor, onde pedalar deixa de ser um desafio para se tornar um prazer. Fortaleza tem a oportunidade de liderar essa transformação, mostrando que é possível conciliar desenvolvimento urbano com bem-estar e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. A heurística do medo, muito além da precaução. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 167-179, 2016. https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100011.

ANJOS, R. S.; MOREIRA, A. B.; MENDES, T. G. DE L.; SANTOS, T. N.; ZAMPARONI, C. A. G. P.; NÓBREGA, R. S. Distribuição espaço-temporal do conforto térmico na malha cicloviária em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, 2019. https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2313-2324

BALANDI, J. B.; SELEMANI, T. M.; HULU, J-P. P. M. T.; SAMBIENI, K. R.; SIKUZANI, Y. U.; BASTIN, J-F.; WOLA, P. T.; MOLO, J. E.; TIKO, J. M.; AGASSOUNON, B. M.; BOGAERT, J. Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands in Kisangani City Using MODIS Imagery: Exploring Interactions with Urban–Rural Gradient, Building Volume Density, and Vegetation Effects. **Climate**, v. 13, n. 89, p. 1-20, 2025. https://doi.org/10.3390/cli13050089

BARBIERI, G. M. L. **Eventos de chuva extrema associados a sistemas atmosféricos de escala sinótica e escala local no estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 2014.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Frota de veículos — SENATRAN, 2024**. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024. Acesso em: 13 set. 2025.

CASTRO, A. D. M.; FARIAS, B. J. A. A esquina na perspectiva da mobilidade ativa: uma análise da cidade de Fortaleza. **Anais...** XII Seminário Internacional sobre Infraestrutura Urbana (SIIU), 2020.

CASTRO, L. G. de. **Zonas climáticas locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana**. 2022. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

CHAPMAN, L.; BELL, C.; BELL, S. Can the crowdsourcing data paradigm take atmospheric science to a new level? A case study of the urban heat island of London quantified using Netatmo weather stations. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 9, 2017. https://doi.org/10.1002/joc.4940

CICLOMAPA. **Malha cicloviária de Fortaleza**. 2025. Disponível em: https://ciclomapa.org.br. Acesso em: 7 fev. 2025.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. T. C. Variabilidade espacial da temperatura do ar com uso de transectos móveis em Jundiaí/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 349-368, 2020. https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73202

DRACH, P.; KRÜGER, E. L.; EMMANUEL, R. Effects of atmospheric stability and urban morphology on daytime intra-urban temperature variability for Glasgow, UK. **Science of The Total Environment**, v. 627, p. 782-791, 2018. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.285

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 278 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUTTA, K.; BASU, D.; AGRAWAL, S. Evaluation of seasonal variability in magnitude of urban heat islands using local climate zone classification and surface albedo. **International Journal**

of Environmental Science and Technology, v. 19, p. 8677–8698, 2022. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03602-w

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215

FIALHO, E. S.; CELESTINO, E. J. Abrigos termo-higrométricos de policloreto de vinila. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, v.8, n.16, p. 164–188, 2017. https://doi.org/10.30612/el.v8i16.8072

FITTS, Y.; TUCKER, C.; HIERNAUX, P.; AUDA, Y.; KERGOAT, L. Using PlanetScope NDVI time series to detect the phenology of individual trees in the Sahel. **Remote Sensing of Environment,** v. 321, p. 1-15, 2025. https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114650

FRANÇA, M. S. Estimativa de índices de conforto térmico por meio do uso do transecto móvel em Sorriso/MT. **Nativa**, v. 6, p. 648-653, 2018. https://doi.org/10.31413/nativa.v6i6.5820

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico:** arquitetura e urbanismo. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GEELS, F. W. Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the Multi-Level Perspective. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 39, 2019. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.009

HESSLEROVÁ, P.; POKORNÝ, J.; HURYNA, H.; SEJÁK, J.; JIRKA, V. The impacts of greenery on urban climate and the options for use of thermal data in urban áreas. **Progress in Planning**, v. 159, 2022. https://doi.org/10.1016/j.progress.2021.100545

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022:** resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html Acesso em: 15 jan. 2024.

KANAI, J. M. Capital of the Amazon Rainforest: constructing a global city-region for entrepreneurial Manaus. **Urban Studies**, v. 51, n. 11, p. 2387–2405, 2014. https://doi.org/10.1177/004209801349347

KUSCH, W.; FONG, H. Y.; JENDRITZKY, G.; JACOBSEN, I. **Guidelines on biometeorology and air quality forecasts**. PWS-10, WMO/TD 1184. Geneva: WMO, 2004.

LIMA JUNIOR, A. F.; GOMES, F. I. B. P.; ZANELLA, M. E. The Heat Index (HI) in the city of Fortaleza, Ceará. **Sociedade & Natureza**, v. 37, n. 1, p. 1-17, 2024. https://doi.org/10.14393/SN-v37-2025-73091

LIMA JÚNIOR, A. L. **Clima urbano:** análise do campo térmico e sugestão de áreas prioritárias para implementação de medidas mitigadoras. 2023. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

LIMA, J. S. Q. de; SANTOS, J. de O.; ZANELLA, M. E. Impactos das chuvas na cidade de Fortaleza no triênio 2013, 2014 e 2015. **Territorium**, n. 25 (I), p. 5-22, 2018. https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-1_1

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrópoles:** o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

LUNA, V. F.; ALCÂNTARA, A. P. F.; SILVA, J. M. O. Ilhas de calor e conforto térmico na cidade do Crato - CE. **Revista Contexto Geográfico**, v. 9, n. 18, p. 16-29, 2024. https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16796.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia:** noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MENESES, J. R.; SALES, G. L. Caminhos cicláveis: Conforto térmico como fator de melhoria do uso das ciclovias de Vilhena, RO. **Paranoá**, n. 22, p. 131-141, 2018. https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n22.2018.09

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Teses e Monografia, São Paulo, n. 25, 1976.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MURTA, I. B. D. Ressignificação do espaço urbano: a bicicleta como meio de transporte e lazer. **Revista Brasileira de Estudos do Lazer**, v. 4, n. 3, p. 116-138, 2018.

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. B. Influência da Urbanização sobre Microclima de Recife e Formação de Ilha de Calor. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 151-156, 2010. https://doi.org/10.26848/rbgf.v3i3.232670

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982. https://doi.org/10.1002/qj.49710845502.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. New York, Cambridge University Press, 2017. 546p

OLIVEIRA, J. R. F. de. **O clima urbano em cidade de pequeno porte no semiárido cearense:** o caso de Crateús. 2020. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

OLIVEIRA, M. **Mobilidade Sustentável:** A Bicicleta como um Meio de Transporte Integrado. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PETALAS, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza**, CE. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. de C. T. Análise de ilhas de calor diagnosticas por meio de transectos móveis em Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã (SP). **Confins**. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia, n. 33, 2017. https://doi.org/10.4000/confins.12729

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Malha cicloviária**. Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2025. Disponível em: https://mobilidade.fortaleza.ce.gov.br/menu-programas/malha-ciclovi%C3%A1ria.htm. Acesso em: 29 ago. 2025.

SARKER, T.; FAN, P.; MESSINA, J. P.; MUJAHID, N.; ALDRIAN, E.; CHEN, J. Impact of Urban built-up volume on Urban environment: A Case of Jakarta. **Sustainable Cities and Society**, v. 105, p. 1-11, 2024. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105346

SILVA, H. R. A relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade do Recife. **Geonorte**, Edição Especial 2, p. 65-76, 2009.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n. 7, p. 861-873, 1979. https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2

SUSCA, T.; GAFFIN, S. R.; DELL'OSSO, G. R. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8–9, 2011. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic Heat. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 99-103, 1997. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1

VALIN JUNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. de M. Levantamento bibliográfico da utilização de transectos em pesquisas de clima urbano no Brasil e recomendações de padronização nos procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 425-440, 2020. https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.67231

VASILIKOU, C.; NIKOLOPOULOU, M. Outdoor thermal comfort for pedestrians in movement: thermal walks in complex urban morphology. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 2, p. 277–291, 2020. https://doi.org/10.1007/s00484-019-01782-2

WANG, W.; CHEN, B.; XU, Y.; ZHOU, W.; WANG, X. Urban heat islands in Hong Kong: Bonding with atmospheric stability. **Atmospheric Science Letters**, v, 22, n. 6, p. 1-9, 2021. https://doi.org/10.1002/asl.1032

WILMERS, F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3–4, p. 507-514, 1990. https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90028-H

WRITZL, L. **Conforto térmico humano em caminhos disponíveis ao uso da bicicleta em Balneário Camboriú - SC, em situação veranil**. 2022. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.