

**Análise bioclimática de fração urbana de área central de Natal-RN,
Brasil**

Análisis bioclimático de un área urbana en el centro de Natal-RN, Brasil.

*Bioclimatic analysis of an urban fraction in the central area of Natal-RN,
Brazil.*

Clima e Planejamento Urbano

Monteiro, Felipe F

Doutor, UFPI, Teresina, Brasil, felipefmonteiro@gmail.com

Medeiros, Mayara Danielle

Mestranda, UFRN, Natal, Brasil, mayara.medeiros.1@ufrn.br

Mendes Da Silva, Angela Deyanira Cedeno Collado

Mestranda, UFRN, Natal, Brasil, colladomsilva@gmail.com

Pereira, Livia Oliveira

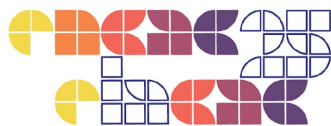
Mestranda, UFPB, João Pessoa, Brasil, contato.arqliviaoliveira@gmail.com

Cortes, Marina Medeiros

Professora, UFRN, Natal, Brasil, marina.cortes@ufrn.br

Araújo, Virginia Maria Dantas

Professora, UFRN, Natal, Brasil,, virginiamdaraujo@gmail.com



Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar o microclima urbano no bairro Tirol, em Natal-RN, correlacionando a sensação térmica humana às características naturais e construídas da área. Em quatro pontos das ruas Apodi e Jundiáí, medições de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar foram realizadas, nos períodos matutino e vespertino. Simultaneamente, aplicaram-se questionários de percepção biometeorológica e calculou-se o PET. Os resultados indicam que a interação entre materiais de construção, cobertura vegetal e arranjo edificatório produz variações significativas no PET e na sensação térmica dos usuários, com áreas sombreadas apresentando PET médio até 3 °C inferior às vias expostas. Esses achados subsidiam intervenções de requalificação urbana, enfatizando a integração de arborização, uso de superfícies de baixa absorção térmica e aproveitamento de fluxos de vento para mitigar ilhas de calor e promover maior conforto ambiental.

Palavras-chave: Clima urbano. Microclima urbano. Ilhas de calor. PET.

Resumen

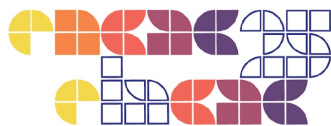
Este estudio tuvo como objetivo analizar el microclima urbano en el barrio Tirol, en Natal-RN, correlacionando la sensación térmica humana con las características naturales y construidas del área. Se realizaron mediciones de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar en cuatro puntos de las calles Apodi y Jundiáí, en los turnos matutino y vespertino. También se aplicaron cuestionarios de percepción biometeorológica y se calculó el PET. Los resultados muestran que la interacción entre materiales de construcción, cobertura vegetal y disposición de las edificaciones genera variaciones significativas en el PET y en la sensación térmica de los usuarios. Zonas sombreadas presentaron un PET promedio hasta 3 °C inferior al de áreas expuestas. Estos hallazgos respaldan acciones de reurbanización, destacando la arborización, el uso de superficies con baja absorción térmica y el aprovechamiento del viento como estrategias para mitigar islas de calor y aumentar el confort ambiental.

Palabras clave: Clima urbano. Microclima urbano. Islas de calor. PET.

Abstract

The purpose of this study was to analyze the urban microclimate in the Tirol district of Natal-RN, correlating human thermal sensation with the natural and built characteristics of the area. At four points on Apodi and Jundiáí streets, measurements of air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation were taken, in the morning and afternoon. Simultaneously, biometeorological perception questionnaires were applied and the PET was calculated. The results indicate that the interaction between construction materials, vegetation cover and building arrangement produces significant variations in PET and in the thermal sensation of users, with shaded areas showing an average PET up to 3 °C lower than exposed areas. These findings subsidize urban requalification interventions, emphasizing the integration of afforestation, the use of low thermal absorption surfaces and the use of wind flows to mitigate heat islands and promote greater environmental comfort.

Keywords: Urban climate. Urban microclimate. Urban heat islands. PET.



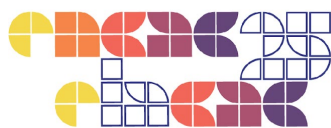
Introdução

A urbanização transforma ecossistemas naturais em ambientes construídos, alterando as condições ambientais e o clima. Esse processo envolve a remoção da vegetação nativa, alteração do relevo, impermeabilização do solo e construção de edifícios, o que eleva as temperaturas urbanas e gera ilhas de calor, prejudicando a qualidade de vida (Oke, 1987). Além do aumento das temperaturas, o clima urbano é impactado com a redução da umidade, incremento das precipitações, diminuição dos ventos e maior turbulência (Amorim; Katzschner, 2017). Essas mudanças estão diretamente ligadas à morfologia urbana e às propriedades dos materiais utilizados, que influenciam na absorção e reflexão do calor, comprometendo o conforto ambiental (Amorim, 2021). Em escala global, os efeitos das mudanças climáticas se acentuam nas cidades, onde eventos extremos, como ondas de calor e enchentes, impactam diretamente a população. Givoni (1998) destaca o desafio de conciliar crescimento econômico e desenvolvimento urbano com estratégias que reduzam os impactos ambientais e promovam o conforto térmico. Com o crescente interesse por soluções sustentáveis, há maior atenção a planejamentos urbanos que priorizem a proteção ambiental e minimizem os efeitos adversos da urbanização (Nascimento; Barbosa, 2020). Nesse cenário, as áreas verdes, cada vez mais escassas nos centros urbanos, oferecem benefícios como absorção de energia térmica, aumento da umidade e geração de sombra, contribuindo para atenuar os impactos climáticos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de análise bioclimática, como os aspectos urbanísticos de uma fração urbana, do bairro Tirol, localizado na região central de Natal-RN, influenciam a sensação térmica em espaços abertos, aprofundando a compreensão das interações entre forma urbana e conforto ambiental.

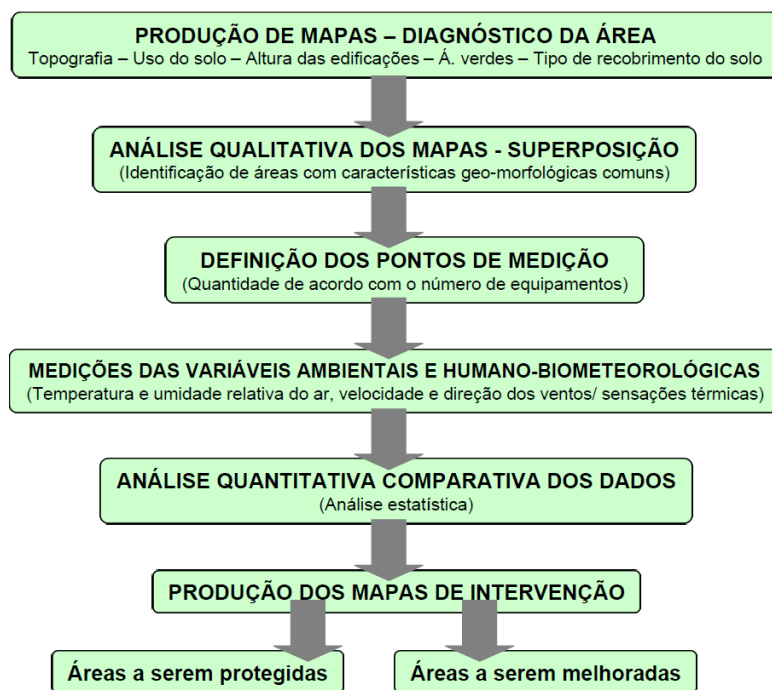
Métodos e Técnicas

A metodologia adotada baseou-se nos métodos de análise bioclimática de Katzschner (1997) e Oliveira (1985), que integram dados climáticos e biológicos para avaliar o clima urbano. O processo, ilustrado na Figura 1, compreende sete etapas – sendo que as duas últimas (mapas de intervenção e áreas a serem protegidas/melhoradas) não foram aplicadas, pois o foco foi comparar duas ruas paralelas com diferentes coberturas arbóreas. Foram elaborados mapas de topografia, uso do solo, vegetação e altura das edificações, utilizando bases cartográficas de



Natal-RN. Também foram utilizadas imagens de satélite e levantamento *in loco*, para identificar as características do recorte urbano. A sobreposição desses mapas permitiu identificar áreas com características comuns e de interesse para o estudo.

Figura 1: Fluxograma da metodologia de Katzschner (1997).



Fonte: Katzschner (1997) adaptado por Costa (2003).

Com o diagnóstico, foram definidos quatro pontos em duas ruas paralelas, onde se mediram temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos. As medições ocorreram em 15 de maio de 2024, às 9h e 15h, utilizando um termo-higrômetro digital Hobo com data logger Ux100-003, protegido por um abrigo de baixo custo, e um anemômetro de ventoinha Instrutherm AD-250. Aliado a isto, foram aplicados questionários de percepção humano-biometeorológica ao grupo dos 8 pesquisadores, registrando sensação térmica e calculados índices de PET, juntamente com dados dos participantes (sexo, idade, vestimenta, biotipo e tipo de atividade). O índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*), desenvolvido por Höppe (1999) é amplamente utilizado (Matzarakis; Mayer, 1997; Chen; Ng, 2013). O índice PET considera a temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura radiante para refletir a



sensação térmica, calculado através do *software* Rayman®. Uma das vantagens do índice PET é que as variáveis climáticas são as mesmas utilizadas em outros índices de conforto, o que torna possíveis análises comparativas. Os questionários de percepção humano-biometeorológica foram enquadrados como **pesquisa de risco mínimo**, nos termos da Resolução Nº 466/2012 e Nº 510/2016 do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), que dispensaram o registro na Plataforma Brasil.

Área de estudo

A área estudada trata-se de uma fração urbana no bairro Tirol, na cidade de Natal-RN (5°45'54"S, 35°12'40"O). Situada no litoral leste do estado, Natal possui clima considerado estável, com intensa radiação solar ao longo de todo ano, temperaturas elevadas de pequena variação sazonal e alta umidade do ar, que dificulta a perda de calor por evaporação. Segundo Araújo; Martins; Araújo (1998) a cidade possui duas estações do ano distintas: uma chuvosa de abril a setembro, e outra seca de outubro a março. A fração urbana estudada é uma área consolidada, caracterizada pela verticalização e intenso uso do solo. Foram escolhidos 4 pontos de estudo para coleta de dados das variáveis de estudo os quais apresentam características físicas semelhantes, como largura das vias, uso do solo e verticalização compatíveis, mas com volume de arborização distinta, nas ruas Apodi e Jundiá (Figura 1)

O Ponto 1 está localizado no trecho da rua Apodi entre a Av. Afonso Pena e a Av. Hermes da Fonseca, caracterizado por ser uma área bem arborizada e lotes térreos; o Ponto 2 está localizado no trecho da rua Apodi entre a Av. Campos Sales e Av. Prudente de Moraes, nas proximidades de um posto de gasolina, com pouca vegetação e margeada por edifícios; o Ponto 3 está localizado no trecho da rua Jundiá entre a Av. Campos Sales e Av. Prudente de Moraes, e caracteriza-se por ser o ponto mais arborizado levando ao sombreamento do trecho; por fim, o Ponto 4 está no trecho da rua Jundiá entre a Av. Afonso Pena e a Av. Hermes da Fonseca, sendo uma área de média arborização e alguns edifícios altos.



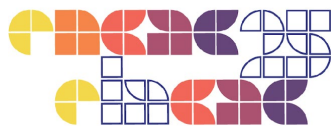
Figura 1: Mapas com localização de Natal no Brasil, do bairro Tirol em Natal e da área estudada no bairro.



Fonte: Elaborado pelos autores e adaptado do Google Earth (2025).

Análise qualitativa do ambiente

Nesta etapa foram analisados os atributos da forma urbana segundo as metodologias propostas. Definiu-se, assim, o instrumento para análise qualitativa do espaço, a partir das classificações espaciais de zonas climaticamente caracterizadas. A metodologia proposta por Katzschner (1997)

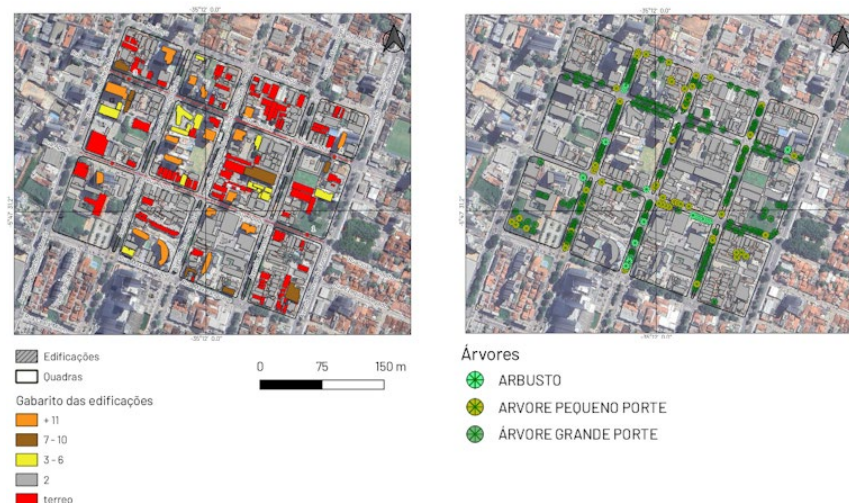
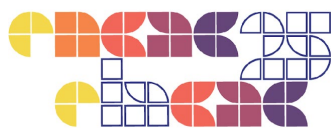


identifica como se comportam os atributos da forma urbana: uso do solo, topografia, altura das edificações e áreas verdes. Esses atributos foram identificados pela confecção de mapas cartográficos com informações baseadas em observação *in loco* e dados cartográficos municipais. Esses mapas foram sobrepostos uns aos outros para uma análise qualitativa da área e escolha dos pontos de medições.

Em relação ao gabarito (Figura 2), a área em estudo apresenta cerca de 380 edificações onde predomina gabarito térreo e 2 pavimentos, mas com destaque para processo de verticalização da região, em especial para usos residenciais que chegam até trinta pavimentos. A atual legislação do Plano Diretor de Natal (2022) permite a verticalização na região até 140m, apontando para uma transformação futura na área. Importante observar que a região mais a sudeste, as edificações possuem até 2 pavimentos, porém a área central apresenta intensa verticalização, o que pode influenciar no sobreaquecimento, em decorrência das barreiras de ventilação. Em relação a presença da vegetação dentro do recorte de estudo, ocorre a predominância de áreas arborizadas de baixo a médio porte, com predominância de árvores em todos os canteiros centrais (Figura 2), porém com pouca ou nenhuma vegetação dentre os lotes da área de estudo.

Quanto à topografia, a região de estudo possui um relevo plano, sem variações bruscas de altimetria considerando toda a área de estudo. Os valores de altimetria variam entre 30 a 40 metros, com o trecho entre as vias Jundiá e Apodi, sendo a área mais elevada. Quanto à cobertura do solo predominam as superfícies impermeáveis, como cobertura asfáltica nas vias e concreto nas áreas das quadras. O solo natural pode ser identificado em alguns lotes ainda não ocupados e nos canteiros centrais de algumas vias. Essa conformação de cobertura do solo facilita o acúmulo de calor e elevação das temperaturas do ar.

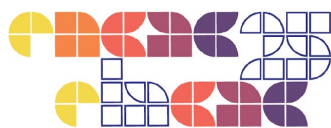
Figura 2: Mapas de gabarito e de vegetação, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

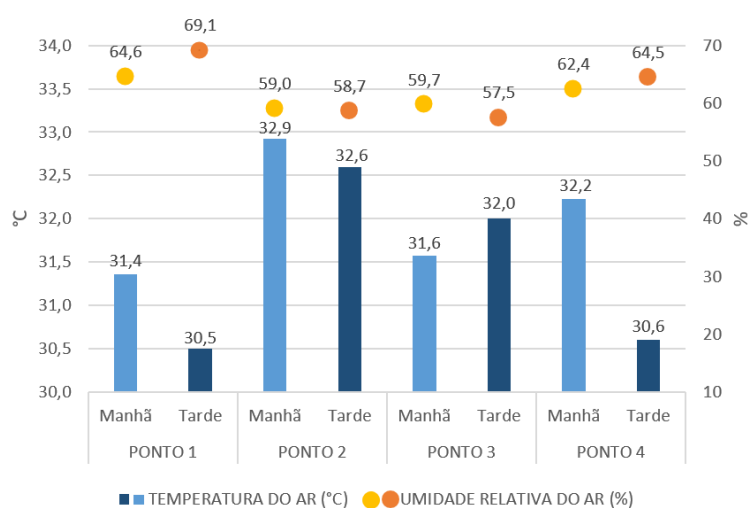
Análises bioclimáticas quantitativas

As medições de campo foram realizadas com finalidade de identificar como a configuração física e a cobertura do solo influenciam as condições térmicas e, conseqüentemente, o conforto dos usuários. Observou-se que o ponto 2 apresentou as temperaturas do ar mais elevadas em ambos os períodos, com 33,9°C pela manhã e 32,6°C à tarde. Essa condição se deve à exposição direta à radiação solar e à predominância de superfícies com alta capacidade de absorção de calor, como asfalto, concreto, pisos intertravados e revestimentos de cores escuras, sem a interferência de vegetação ou estruturas que ofereçam sombra. Apesar da velocidade dos ventos neste local se manter em torno de 2,0 m/s, essa ventilação não foi suficiente para reduzir o desconforto térmico causado pela alta insolação. Em contraste, o ponto 1, que conta com cobertura arbórea que gera sombra e possibilita uma evapotranspiração mais intensa, registrou temperaturas do ar mais baixas (31,4°C pela manhã e 30,5°C à tarde) e apresentou os índices mais elevados de umidade relativa do ar (64,6% e 69,1%, respectivamente), como pode ser observado na Tabela 1. Essa combinação de fatores resultou em uma sensação térmica mais amena, fato confirmado tanto pelo Índice PET quanto pela percepção dos entrevistados, que consideraram esse ambiente um dos mais agradáveis para a permanência.



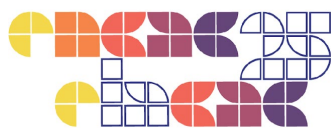
Os pontos 3 e 4 revelaram um comportamento diurno dinâmico. Pela manhã, o ponto 4 atingiu a segunda maior temperatura do ar (32,2°C), enquanto o ponto 3 apresentou um valor um pouco menor (31,6°C). À tarde, essa ordem se inverteu, com o ponto 3 alcançando 32,0°C e o ponto 4 registrando 30,6°C. Essa variação pode ser atribuída às diferenças na configuração local: no ponto 3, a presença de vegetação densa e edificações próximas em ambos os lados da via contribuiu para reduzir a absorção de calor durante o período matutino e manter a estabilidade térmica, enquanto o ponto 4, com maior exposição solar nas superfícies impermeáveis e absorventes de calor, acumulando maior energia térmica, principalmente pela manhã. No período da tarde todos os pontos de medições obtiveram temperaturas menores do que no período da manhã, com exceção do ponto 3, com maior densidade arbórea (Figura 3).

Figura 3: Gráfico dos dados das Temperaturas e Umidades Relativas do Ar, no período da manhã e da tarde.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Em síntese, a análise integrada dos dados revela a importância dos elementos urbanos — como a disposição de edificações, o tipo de pavimentação e a presença de vegetação — na modulação das condições microclimáticas. Enquanto locais expostos a superfícies de alta absorção térmica, como o ponto 2, apresentam temperaturas do ar mais elevadas e desconforto acentuado, áreas com cobertura vegetal e sombra, exemplificadas pelo ponto 1, demonstram condições mais amenas e agradáveis ou a manutenção da temperatura em diferentes horários do dia, como no ponto 3. Essa compreensão é fundamental para o planejamento urbano e a implementação de



estratégias que visem mitigar os efeitos da ilha de calor e melhorar a qualidade de vida nas cidades.

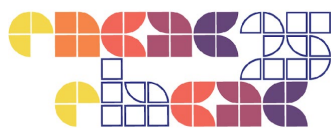
Análise da sensação e condição térmica dos entrevistados

Através de questionário, foi avaliada a sensação térmica de cada participante do estudo nos pontos de análise, assim como a condição térmica. Foram levantados dados do tipo do sexo, idade, peso e altura. Os participantes se dividiam da seguinte forma: 75% do sexo feminino e 25% do sexo masculino; sendo a idade média entre os 30 e 40 anos e a altura da maioria entre 1,60m a 1,65m. Com relação à vestimenta, a maior porcentagem dos participantes vestia roupa interior, calça jeans e camiseta, meias e tênis, obtendo-se uma média de 0,5 clo. Complementando, determinou-se um MET de 80w, devido a posição do participante em pé e parado.

Os resultados da análise de sensação térmica permitem uma compreensão da percepção das condições ambientais dos usuários. No P1, os resultados refletem a forte incidência de radiação solar, a ausência de sombreamento adequado e a pouca arborização, embora à tarde a sombra de um agrupamento de árvores tenha amenizado a sensação. No P2 as respostas mostram uma maior percepção do calor, podendo associar o desconforto dos entrevistados à geometria local, com predominância de edifícios de um pavimento e pouca oferta de sombra, devido a falta de vegetação, expondo ruas e calçadas ao calor (Figuras 5). No P3 os dados foram de menor desconforto. Muito certamente, esse resultado pode ser atribuído à presença de um dossel arbóreo amplo e ao efeito canalizador que favorece a ventilação para o passante. Enquanto que no P4 o período da tarde é declarado como menos desconfortável, consequência do maior sombreamento devido a geometria que protege da incidência solar e à ação do vento, contrastando com o desconforto matinal causado pela radiação direta sobre superfícies desprovidas de sombra (Figuras 5).

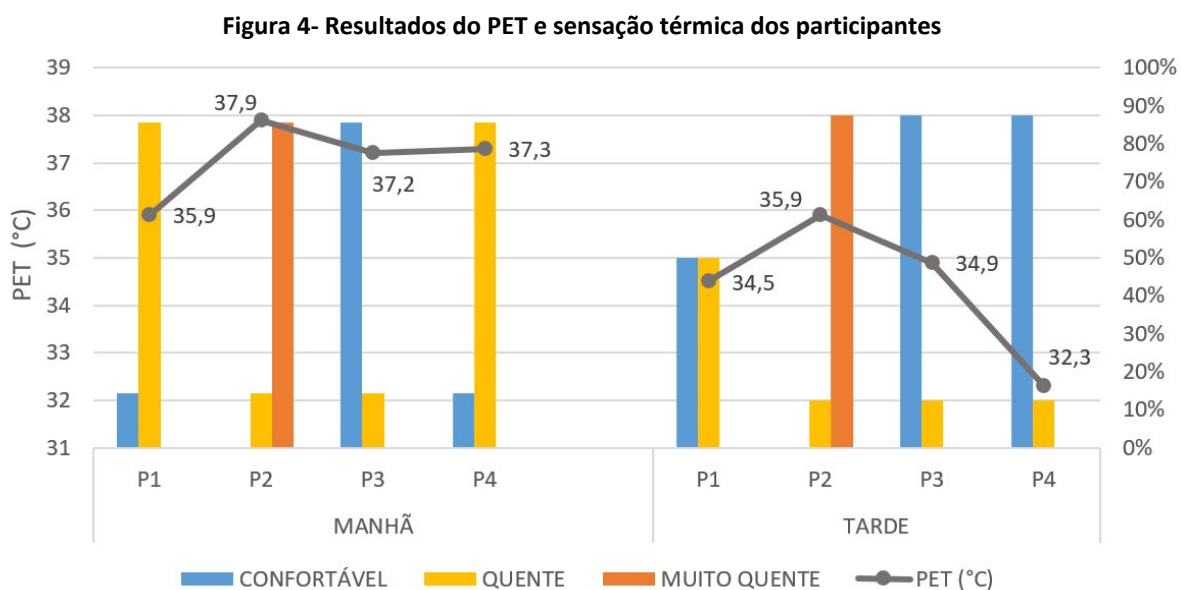
Análise da Temperatura Equivalente Fisiológica - PET

A Figura 4 apresenta o PET para os dois horários analisados, determinado pelo modelo Rayman® juntamente com as variáveis obtidas *in loco*: temperatura do ar (T_a) e umidade relativa do ar, além das características dos usuários descritos no item anterior. Vale salientar a importância e necessidade de se incluir dados da Temperatura Radiante Média no estudo, mas que o programa



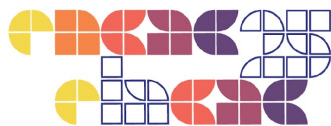
consegue calcular o PET mesmo sem essa informação Pela manhã, o P1 apresentou o menor PET (35,9°C) e o P2 o maior PET (37,9°C). No P3, mesmo com sombreamento, a radiação de onda curta e longa pode ter se convertido em calor sensível por conta do dossel arbóreo, registrando valores de PET (37,2°C) maiores do que o P1. Por fim, o P4 com PET (37,3°C). Todos os índices calculados pela manhã representam sensação térmica de calor e forte estresse térmico, segundo Matzarakis e Mayer, (1996).

Para o período da tarde, o P2 apresentou o maior valor de PET (35,9°C), com os pontos P1 e P3 com valores entre 34 e 35°C e P4 com o menor do conjunto (32,3°C). A falta de cobertura arbórea no ponto P2, contribuiu para uma maior percepção de desconforto pelos usuários, em contrapartida ao ponto 3, com maior volume de vegetação. O ponto 4 apresentou o menor valor de todas as coletas, por sua cobertura vegetal e maior acesso à ventilação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Considerações Finais



Este trabalho objetivou avaliar como a configuração construtiva e a cobertura vegetal de uma fração urbana do bairro Tirol (Natal-RN) influenciam o conforto térmico por meio de medições micrometeorológicas e índices de sensação térmica (PET), complementadas por questionários de percepção. Os resultados confirmam que pontos com menor vegetação e superfícies de alta absorção (como P2) apresentam PET e temperaturas significativamente mais elevados, gerando desconforto térmico, enquanto trechos sombreados por dossel arbóreo (P1 e P3) registram PET médio até 3°C inferior e sensação térmica mais amena, evidenciando o papel central da arborização e do sombreamento na redução de ilhas de calor .

Para aprofundar a compreensão e ampliar a aplicabilidade dos resultados, recomenda-se: (1) estender as coletas para o período chuvoso e horários noturnos, (2) aumentar o número de pontos de monitoramento e incorporar sensores automáticos para registro contínuo, e (3) testar *in loco* intervenções de requalificação (corredores verdes, pavimentos de baixa absorção térmica e ventilação direcionada) para quantificar sua eficácia na mitigação de ilhas de calor urbanas. Essas ações podem oferecer subsídios mais robustos ao planejamento urbano sustentável e ao aprimoramento do conforto ambiental em centros urbanos tropicais.

Agradecimentos

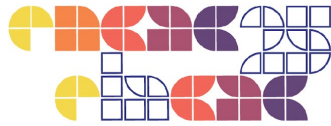
À Capes - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelas bolsas concedidas.

Referências

Amorim, M. C. C. T.; Katzschner, L. **O clima urbano e a cidade: métodos e estudos de caso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

Amorim, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. Editora Appris, 2021.

Araújo, Eduardo H. S.; Martins, Themis L. F.; Araújo, Virgínia M. D. **Tratamento de dados climáticos para o projeto térmico de edificações em Natal – RN**. Natal: EDUFRN, 1998.



Chen, L; Ng, E. Simulation of the effect of downtown greenery on thermal comfort in subtropical climate using PET index: a case study in Hong Kong. **Architectural Science Review**, v. 56, n. 4, p. 297-305, 2013.

Costa, A. D. L. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2003.

Givoni, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

Höppe, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, 43(2), 71–75, 1999.

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

Matzarakis, A.; Mayer, H. Heat stress in Greece. **International Journal of Biometeorology**, 41(1), 34–39, 1996.

Nascimento, K. L.; Barbosa, R. V. R. Verde que te quero sempre vivo: contribuição da vegetação para a amenização climática e conforto térmico das cidades. In: II CONARA, 2020, Santana do Araguaia. **Anais...** (online) 2020. Acesso em: 04 fev. 2025.

Natal. **Lei Complementar nº 208 de 07 de março de 2022**. Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal, e dá outras providências. Câmara Municipal de Natal, Natal, 2022.

Oke, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London: Methuen, 1987.

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