III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE FRESCOR URBANO EM UMA CIDADE TROPICAL COSTEIRA, NATAL, BRASIL

Thyago Henrique Dantas da Silva (1); Miguel Girão de Carvalho Zaniboni dos Santos (2); Lara de Melo Barbosa Andrade (3); Cláudio Moisés Santos e Silva (4)
(1) Graduando em Meteorologia, UFRN, thyago.silva.123@ufrn.edu.br
(2) Graduando em Meteorologia, UFRN, miguel.santos.124@ufrn.edu.br
(3) Dra em Demografia, UFRN, lara.andrade@ufrn.br
(4) Dr. em Meteorologia, UFRN, claudio.silva@ufrn.br

RESUMO
A urbanização intensifica as ilhas de calor urbano, mas áreas verdes podem atuar como ilhas de frescor. Este trabalho avalia o potencial de resfriamento de três zonas protegidas em Natal-RN: Parque da Cidade (ZPA001), Parque das Dunas (ZPA002) e Estuário do Rio Potengi (ZPA008). Utilizaram-se produtos MODIS (albedo MCD43A3 e LST MOD11A2) processados na plataforma *Google Earth Engine*. Foram empregados buffers concêntricos e anéis não sobrepostos até 1.000 m, excluindo corpos d'água e apicuns via MapBiomas. O estuário apresentou o maior efeito de frescor (ΔT = 1,707 °C a 1000 m nos buffers; 2,078 °C no anel 500–1000 m), evidenciando o papel do mangue. O Parque das Dunas registrou ΔT = 0,863 °C a 1000 m, enquanto o Parque da Cidade teve ΔT ≤ 0,123 °C. Correlações positivas entre albedo e LST (r até 0,858) indicam domínio do resfriamento evaporativo sobre o controle radiativo. Conclui-se que a continuidade da vegetação e a presença de ecossistemas úmidos potencializam o frescor urbano.

Palavras-chave: Ilha de Frescor de Parque; Sensoriamento Remoto; MODIS; Google Earth Engine; Temperatura da Superfície.

1. INTRODUÇÃO
A rápida urbanização altera o balanço energético das cidades, gerando ilhas de calor urbano (ICU) que elevam as temperaturas em comparação às áreas naturais do entorno "(SAARONI et al., 2018)". Em cidades litorâneas tropicais como Natal-RN, esse fenômeno é particularmente preocupante devido ao clima quente e úmido, com temperaturas médias anuais entre 25 e 27 °C e alta insolação "(DINIZ, 2015; ANJOS & LOPES, 2017)". Paralelamente, áreas verdes urbanas podem atuar como ilhas de frescor (PCI – *Park Cool Islands*), amortecendo o aquecimento por meio de sombreamento e evapotranspiração "(YAN et al., 2018; LIAO et al., 2023)". Embora Natal possua zonas de proteção ambiental (ZPA) que cobrem cerca de 41% do território municipal, ainda há carência de estudos quantitativos sobre a intensidade e a extensão espacial do efeito de resfriamento dessas áreas. Este trabalho preenche essa lacuna utilizando sensoriamento remoto orbital e análise espacial multiescalar..

2. OBJETIVO
O objetivo deste trabalho é quantificar e comparar a intensidade e a extensão espacial das Ilhas de Frescor de Parque nas três Zonas de Proteção Ambiental representativas de Natal, RN (ZPA001, ZPA002 e ZPA008), por meio do gradiente de temperatura da superfície terrestre (ΔT) em relação à distância das áreas preservadas, além de caracterizar estatisticamente a relação entre o albedo superficial e a temperatura superficial terrestre como indicador dos mecanismos biofísicos termorreguladores dominantes.

3. MÉTODO

3.1. Área de estudo e caracterização da cobertura

As três ZPAs localizam-se em Natal (5°46′S, 35°12′W), clima tropical chuvoso (As' de Köppen) com precipitação média anual de 1.500 mm. A Figura 1 apresenta a localização das ZPAs e o esquema das geometrias de análise (buffers e anéis). Utilizando o MapBiomas Coleção 9 (2023), extraiu-se a área não urbanizada de cada ZPA, excluindo classes antrópicas (infraestrutura urbana, aquicultura, apicum) e corpos d'água.

Para mapear a atenuação térmica das ZPAs sobre a vizinhança urbana, estruturou-se uma amostragem espacial baseada em duas metodologias consagradas na literatura climática de microescala, ilustradas de forma esquemática na Figura 1.

Os buffers concêntricos representam faixas sobrepostas que medem o efeito térmico integrado a partir da borda do parque até as distâncias acumuladas de 0-125, 0-250, 0-500 e 0-1000 m. Os anéis não sobrepostos representam faixas mutuamente exclusivas nas distâncias de 0-100, 125-250, 250-500 e 500-1000 m, permitindo calcular taxas locais de aquecimento espacial de forma independente e sem autocorrelação espacial.

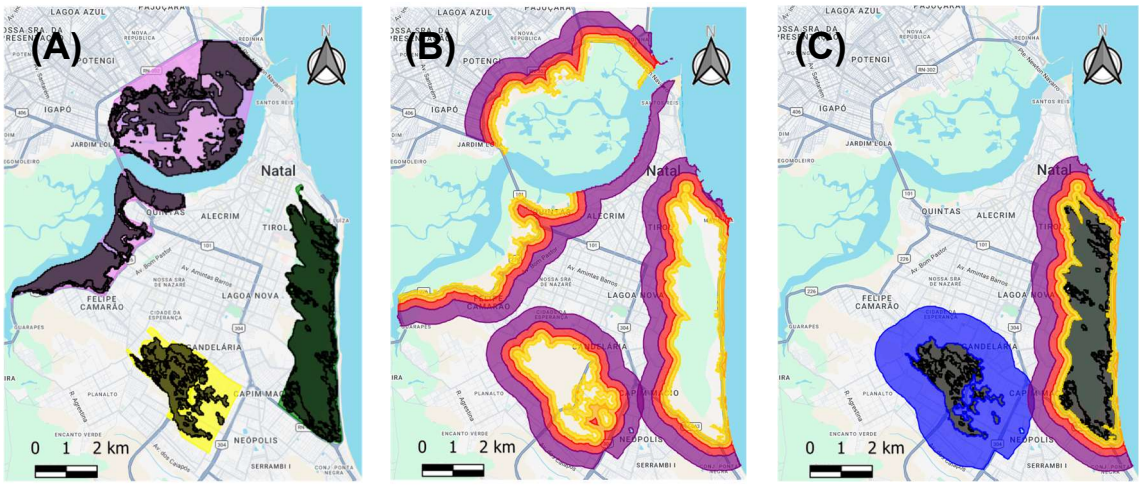


Figura 1 – Representação esquemática das duas estratégias de amostragem espacial aplicadas às Zonas de Proteção Ambiental (ZPAs). (A) Buffers concêntricos (sobrepostos) a partir da área não urbanizada, com distâncias acumuladas de 0–125 m, 0–250 m, 0–500 m e 0–1000 m; (B) Anéis não sobrepostos (mutuamente exclusivos) nas faixas de 0–100 m, 125–250 m, 250–500 m e 500–1000 m, permitindo isolamento da autocorrelação espacial; (C) Exemplo da diferença aplicação em duas das ZPAs (em azul buffer 1000 da zpa001). Fonte: Elaboração própria através do ambiente virtual do google earth engine.

3.2. Estimativa de Albedo e Temperatura da Superfície Terrestre (LST)

O albedo de ondas curtas foi gerado a partir do produto diário MODIS MCD43A3 (resolução de 500 m), ponderado pelas equações da Função de Distribuição da Reflectância Bidirecional (BRDF). Calculou-se a média aritmética anual de 46 composições temporais de 8 dias para 2023, combinando o albedo de céu claro (Black Sky Albedo - BSA) e o de céu difuso (White Sky Albedo - WSA) multiplicados pelo fator de escala de 0,001. A temperatura da superfície terrestre (LST) foi extraída do produto MODIS MOD11A2 versão 061 (resolução de 1 km, composições de 8 dias), selecionando-se apenas a banda de LST diurna (LST_Day_1km) para representar o estresse térmico solar máximo. Os valores originais em Kelvin foram escalonados e convertidos para graus Celsius.

3.3. Quantificação do Efeito de Frescor e Correlação Estatística

O efeito de frescor urbano (ΔT) foi calculado subtraindo-se a temperatura média da área de referência florestada da temperatura de cada unidade amostral (buffer ou anel). O gradiente térmico normalizado ($\Delta T/100m$) foi computado dividindo-se a diferença térmica pela largura correspondente da faixa amostrada, representando a taxa de aquecimento superficial por unidade de distância. A associação linear entre o albedo médio anual e a LST em nível de pixel foi avaliada por meio do Coeficiente de Correlação de Pearson (r).

4. RESULTADOS

Os valores de albedo médio anual (Figura 2) aumentaram progressivamente com a distância da área preservada em todas as ZPAs, refletindo a transição de superfícies vegetadas (baixo albedo) para superfícies urbanizadas (maior albedo). A ZPA008 (mangue) apresentou o menor albedo na área não urbanizada (0,112) e o maior ΔT a 1000 m (1,71 °C nos buffers). A ZPA002 alcançou ΔT de 0,86 °C a

1000 m, enquanto a ZPA001 não mostrou gradiente significativo (ΔT ≤ 0,12 °C). Nos anéis, o resfriamento foi ainda mais expressivo: a ZPA008 atingiu ΔT de 2,08 °C no anel 500–1000 m, e a ZPA002, 1,09 °C no mesmo anel.

Quanto à LST (Figura 3), a ZPA008 registrou as menores temperaturas absolutas na área não urbanizada (28,86°C) e o maior aquecimento até 1000 m (30,57°C). A ZPA001 mostrou temperaturas elevadas mesmo na área "preservada" (31,77°C), sem gradiente significativo.

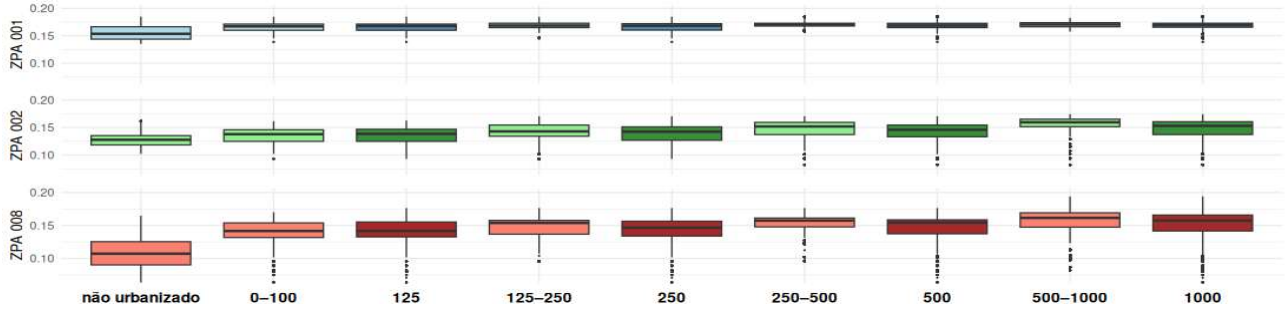


Figura 2 - Boxplot do albedo superficial médio anual, as caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana, e os bigodes mostram os valores mínimo e máximo. Fonte: Elaboração Própria.

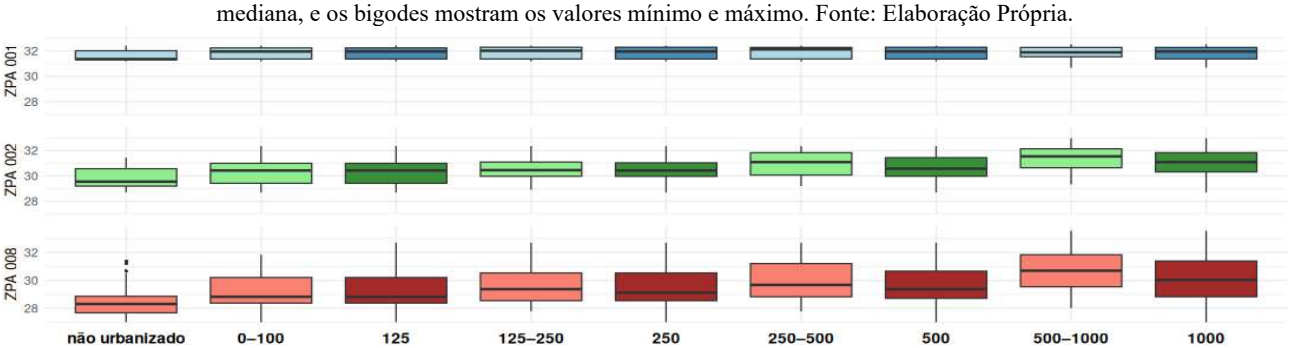


Figura 3 - Boxplot da temperatura da superfície terrestre, as caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana, e os bigodes mostram os valores mínimo e máximo. Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 1 apresenta os ΔT para buffers e anéis. A ZPA008 teve o maior efeito: ΔT_buffer_1000m = 1,707°C e ΔT_anel_500–1000m = 2,078°C. A ZPA002 mostrou ΔT_buffer_1000m = 0,863°C e a ZPA001 não apresentou efeito significativo (ΔT ≤ 0,123°C). Os gradientes térmicos (Tabela 1) foram mais acentuados na ZPA008 (anel 125–250m: 1,079°C/100 m), indicando transição abrupta mangue–área urbana.

Tabela 1. Intensidade do efeito de frescor (ΔT em °C) e Gradientes térmicos normalizados (°C/100 m) para buffers/anéis concêntricos das ZPA de Natal-RN em 2023.

	Parque Da Cidade (ZPA001)		**Parque Das Dunas (ZPA002)**		**Estuário Do Potengi (ZPA008)**	
Unidade Amostral	Intensidade do efeito de frescor	Gradiente térmico normalizado	Intensidade do efeito de frescor	Gradiente térmico normalizado	Intensidade do efeito de frescor	Gradiente térmico normalizado
Buffer 0-125m	0,067	0,053	0,301	0,241	0,744	0,595
Buffer 0-1000m	0,010	0,001	0,863	0,086	1,707	0,170
Média Buffers	0,057	0,026	0,575	0,162	1,221	0,368
Anel 0-100m	0,117	0,117	0,261	0,261	0,85	0,85
Anel 500-1000m	-0,027	-0,005	1,089	0,217	2,078	0,415
Média Anéis	0,032	0,038	0,748	0,354	1,466	0,744

As correlações de Pearson (Figura 4) foram todas positivas e significativas ($p < 0,001$). A ZPA002 apresentou a correlação mais forte (r até 0,858), seguida pela ZPA008 (r até 0,757) e ZPA001 (r até 0,668). Esses resultados confirmam que a vegetação de baixo albedo é mais fria devido à evapotranspiração, enquanto superfícies urbanizadas de maior albedo são mais quentes, dominância do controle evaporativo sobre o

radiativo, esse padrão está alinhado com o mapeamento das ilhas de calor de Natal realizado por Bezerra (2025), que associou as áreas mais quentes à maior densidade construtiva e menor cobertura vegetal bem como resultados semelhantes foram observados em Salvador/BA por Maia (2023), onde fragmentos de mangue e vegetação densa também exerceram atenuação térmica, corroborando a eficácia de ecossistemas úmidos contínuos no controle do calor em cidades costeiras tropicais.

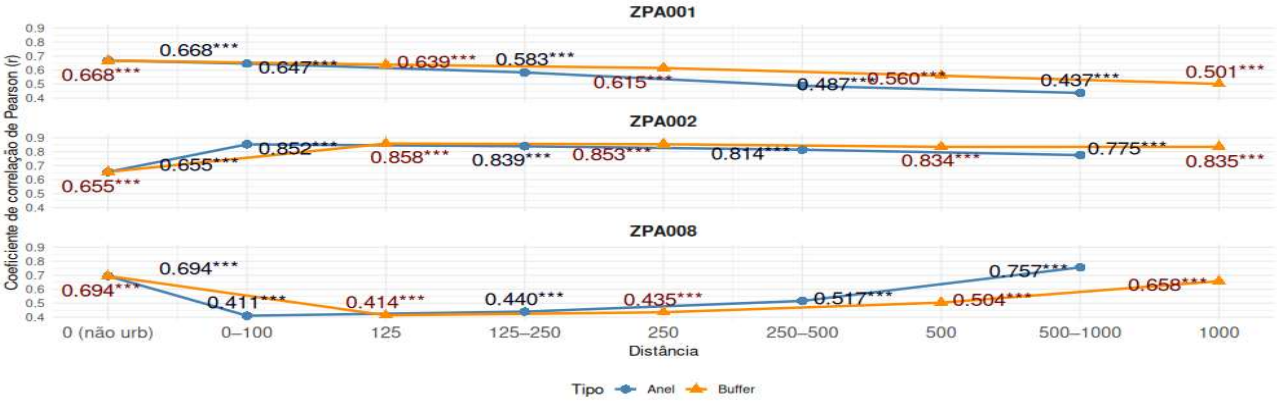


Figura 4 - Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre o albedo superficial médio anual (MCD43A3) e a temperatura da superfície terrestre (LST) para cada unidade amostral (buffers concêntricos e anéis não sobrepostos). As correlações foram calculadas ponto a ponto (pixels MODIS). Todas as correlações são positivas e estatisticamente significativas ($p < 0,001$, teste t). Os valores mais elevados indicam forte associação entre baixo albedo (vegetação) e menor temperatura, evidenciando dominância do resfriamento evaporativo. Fonte: Elaboração Própria.

5. CONCLUSÕES

O estudo quantificou o potencial de resfriamento de três ZPA em Natal usando sensoriamento remoto e duas estratégias de amostragem espacial. O Estuário do Rio Potengi (ZPA008) apresentou o maior efeito de frescor (ΔT até 2,078°C), devido à alta eficiência evapotranspirativa do mangue. O Parque das Dunas (ZPA002) mostrou efeito moderado (ΔT = 0,863°C), associado à cobertura florestal contínua e alto grau de preservação (95,5%). O Parque da Cidade (ZPA001) não apresentou efeito significativo, evidenciando que a mera existência legal de uma área protegida não garante benefício térmico quando há fragmentação e ocupação interna (57,2% de área não urbanizada apenas). As correlações positivas entre albedo e LST (r até 0,858) confirmam o domínio do resfriamento evaporativo sobre o controle radiativo em clima tropical úmido. Limitações incluem a resolução espacial do MODIS (1 km para LST). Estudos futuros devem utilizar dados Landsat/Sentinel e análises sazonais. Os resultados subsidiam o planejamento urbano: a preservação de ecossistemas úmidos contínuos é mais eficaz que a criação de pequenos fragmentos, e zonas de amortecimento de 125–500 m devem ser alvo de políticas de arborização e restrição à impermeabilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, M.; LOPES, A. Urban Heat Island and Park Cool Island Intensities in the Coastal City of Aracaju, North-Eastern Brazil. Sustainability, v. 9, n. 8, art. 1379, 2017.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; PEREIRA, Vítor Hugo Campelo. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 488–506, 2015.

LIAO, W.; GULDMANN, J.-M.; HU, L.; CAO, Q.; GAN, D.; LI, X. Linking urban park cool island effects to the landscape patterns inside and outside the park: A simultaneous equation modeling approach. Landscape and Urban Planning, [S.l.], v. 232, art. 104681, 2023.

SAARONI, H. et al. Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. Urban Climate, v. 24, p. 94-110, 2018.

YAN, H.; WU, F.; DONG, L. Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. Science of the Total Environment, v. 622-623, p. 882-891, 2018.

MAIA, Márcia Rejane dos Santos Gomes. Análise das ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de Salvador-BA. Orientador: Pablo Eli Soares de Oliveira. 2023. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

BEZERRA, Harleyson Hendrix Santos. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade de Natal/RN: uma análise a partir de sensoriamento remoto e zonas climáticas locais. 2025. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia), Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025.