



RELAÇÕES ENTRE COBERTURA VEGETAL, CALOR URBANO E OS DESAFIOS PARA ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA NA CIDADE DO NATAL, RN

Kionara Sarabella Turíbio e Silva¹; Zoraide Souza Pessoa²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, kionara.turibio@ufrn.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, zoraide.pessoa@ufrn.br

GT18 - Transformações da paisagem no contexto das mudanças climáticas e ambientais

RESUMO

Este estudo analisa a cidade de Natal (RN) como um sistema socioecológico, investigando a relação entre cobertura vegetal e temperatura da superfície do solo a partir de imagens de satélite e análises estatísticas. A construção de um índice de criticidade climática permitiu identificar bairros mais quentes e menos vegetados como forma de identificar bairros prioritários para arborização. No entanto, foi revelado contradições espaciais: áreas nobres, mais impermeabilizadas, concentram altas temperaturas, enquanto que bairros periféricos, embora mais vegetados, refletem abandono estrutural. A pesquisa aponta para a necessidade de soluções baseadas na natureza aliadas a um planejamento urbano mais justo e integrado, com foco em corredores ecológicos para conectar as áreas verdes da cidade e arborização equitativa.

Palavras-chave: Arborização urbana, Sistema Socioecológico, Vulnerabilidade Socioambiental

Destaques (highlights)

- A cidade de Natal, localizada no litoral do RN deve ser lida como um sistema socioecológico complexo, no qual as questões ambientais, climáticas e a dinâmica urbana estão entrelaçadas com as desigualdades sociais, econômicas e políticas. Isso reforça a necessidade de pensar o urbano a partir de suas contradições internas e suas



novas formas de integração das condições ocupacionais e suas bases de planejamento urbano e territorial integrado às mudanças climáticas.

- O espaço urbano é moldado por relações de poder, decisões políticas e fluxos seletivos de capital. Em Natal, os bairros mais nobres são densamente construídos, impermeabilizados e com pouca vegetação — não por acaso, pois concentram os investimentos urbanos. Já as áreas periféricas são “verdes”, mas de forma residual, não planejada.
- A forma como a vegetação urbana está distribuída em Natal não garante justiça ambiental. Mesmo onde há mais “verde” (nas periferias), ele não está a serviço do bem-estar, mas é expressão do abandono estatal. Essa distribuição revela a lógica seletiva e desigual da urbanização neoliberal, que prioriza certos territórios e ignora outros.

INTRODUÇÃO

A intensificação da urbanização tem provocado perturbações no clima urbano, afetando diretamente as condições de conforto térmico devido à substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis como concreto e asfalto. Essas transformações alteram o balanço energético local, redirecionando a radiação solar, antes usada na evaporação da água do solo e da vegetação, para o aquecimento direto do solo e do ar (SANTOS et al., 2013). Como destaca SOYDAN (2020), essas superfícies estruturais modificam a topografia, a estrutura ecológica e as características ambientais das cidades, criando uma nova ecologia urbana. Evidências científicas também associam a perda da cobertura vegetal ao aumento das temperaturas superficiais, à intensificação das ilhas de calor e à elevação das emissões de carbono (RAHAMAN et al., 2022). Esses efeitos revelam que o modo como as cidades têm sido construídas e expandidas desafia os limites da sustentabilidade urbana, exigindo novas estratégias de planejamento capazes de reequilibrar as relações entre espaço construído, natureza e bem-estar humano.

Além disso, a própria vegetação nas cidades também é afetada pelo aumento da temperatura. O estresse térmico resultante do calor excessivo pode prejudicar o crescimento das plantas, alterar seus padrões de floração e frutificação, bem como aumentar a suscetibilidade a doenças e pragas (AHMAD et al., 2022). Dessa forma, a vegetação, essencial para a qualidade



do ar, sombreamento e absorção de poluentes, torna-se vulnerável diante dessas condições adversas. A ausência de cobertura vegetal contribui para o aumento da temperatura, e esse calor excessivo, por sua vez, dificulta o desenvolvimento e a manutenção da própria vegetação. Trata-se de um processo de retroalimentação positiva, no qual a escassez de áreas verdes e o agravamento térmico se reforçam mutuamente, intensificando ainda mais as vulnerabilidades ambientais urbanas.

É importante destacar que essas alterações ambientais não ocorrem de forma homogênea no território urbano. Sob a perspectiva crítica da urbanização, como discutida por BRENNER (2018), as cidades devem ser compreendidas como sistemas socioecológicos fragmentados, em que as transformações ambientais são produzidas socialmente e refletem desigualdades históricas, espaciais e políticas. A vegetação urbana muitas vezes está ausente onde é mais necessária, ou aparece de forma residual, em territórios negligenciados pelo planejamento. A produção desigual do espaço urbano afeta diretamente a distribuição da cobertura vegetal, tornando-a um marcador visível da segregação socioambiental.

Dentre os parâmetros para avaliar as condições climáticas locais e essas desigualdades no planejamento estão a medida de cobertura vegetal, através dos índices de vegetação, e a temperatura da superfície do solo (do inglês *Land Surface Temperature - LST*). A LST interfere nos fluxos de calor entre o solo e o ar, afetando diretamente a formação do clima urbano (KULISH, 2022). Estudos demonstram que áreas com maior densidade de vegetação tendem a apresentar temperaturas superficiais mais baixas, enquanto regiões densamente construídas, com alta impermeabilização, sofrem com a intensificação das ilhas de calor (EDMONDSON et al., 2016; ALI; PATNAIK; MADGUNI, 2017). A estimativa desse parâmetro por meio de imagens de sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o monitoramento climático e a formulação de estratégias de mitigação urbana (TAHERI et al., 2023).

Diante desse contexto, o presente estudo analisa a cidade de Natal (RN) a partir da relação entre cobertura vegetal e calor urbano, com o objetivo de identificar espacialmente as áreas mais críticas com relação a esses parâmetros e discutir a complexidade socioecológica do município à luz da produção desigual do espaço urbano.

METODOLOGIA



A metodologia quantitativa adotada nesse trabalho abrangeu a obtenção, o processamento e a análise de dados geoespaciais, utilizando imagens de satélite Sentinel-2 (ESA, 2015) e Landsat (USGS, 2021), combinando ferramentas do GEE (GOOGLE EARTH ENGINE, 2024) e do software R (R Core Team, 2024).

1. Delimitação da área de estudo

A área de estudo compreende o município de Natal, Rio Grande do Norte, que foi caracterizada com base nos dados do Panorama das Cidades do IBGE (2022). A cidade apresenta aproximadamente 751.300 habitantes, distribuídos em uma área de cerca de 167,4 km², o que resulta em uma densidade populacional de aproximadamente 4.488 hab./km². Em termos de infraestrutura urbana, o Censo de 2022 aponta que 55,46% dos domicílios possuem pelo menos uma árvore em sua via e 88,51% das ruas são pavimentadas.

No aspecto socioeconômico, o rendimento médio domiciliar per capita no município foi de R\$ 1.848,00 em 2022. O Índice de Gini, que mede a desigualdade na distribuição de renda, é estimado em torno de 0,61 para o município, indicando elevado grau de desigualdade.

Esses indicadores — populacionais, infraestruturais e socioeconômicos — fornecem uma base contextual sólida para orientar a análise espacial integrada, auxiliando na identificação de possíveis desigualdades ambientais intraurbanas que este estudo busca abordar.

2. Obtenção de dados de NDVI

As imagens NDVI foram as da Sentinel-2, que foram acessadas e processadas por meio da plataforma GEE da coleção 'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED', correspondente a imagens de reflectância de superfície atmosférica corrigida. Foram aplicados os seguintes filtros: período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2024, cobertura de nuvens inferior a 20% e recorte para o limite do município de Natal. Para cada imagem da coleção, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), por meio da expressão:



$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)} \quad (1)$$

Onde:

B8 — banda do infravermelho próximo (NIR).

B4 — banda do vermelho (Red).

A imagem final corresponde ao valor máximo de NDVI por pixel ao longo do ano de 2024 com resolução espacial de 10 metros.

3. Obtenção de dados de temperatura de superfície

A variável de temperatura foi obtida a partir de imagens do satélite Landsat 8, utilizando o produto de Nível 2 da coleção pública LANDSAT/LC08/C02/T1_L2, disponibilizada pela plataforma Google Earth Engine (GEE). Essa coleção fornece dados com correções atmosférica e radiométrica, incluindo estimativas da temperatura da superfície terrestre (Land Surface Temperature – LST), disponível na banda na banda térmica 10. Foram selecionadas imagens para o município de Natal, com cobertura de nuvens inferior a 20%, abrangendo o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2024. Os valores da banda 10 são fornecidos originalmente em Kelvin, multiplicados por um fator de escala de 0,00341802, com offset de 149,0, conforme especificado pelo United States Geological Survey (USGS, 2021). A conversão para graus Celsius (°C) foi feita com a seguinte equação:

$$T(^{\circ}\text{C}) = (B10 \times 0,0341802 + 149) - 273,15 \quad (2)$$

Onde:

T(°C) — temperatura da superfície em graus Celsius.

B10 — valor da banda térmica 10 do sensor Landsat em Kelvin, conforme fornecido pelo USGS.

273,15 — constante usada para converter de Kelvin para graus Celsius.



A imagem final corresponde ao valor máximo de temperatura do solo por pixel ao longo do ano de 2024 com resolução espacial de 30 metros (o produto de nível 2 disponibilizado no GEE já vem reamostrado com essa resolução). Para elaboração do mapa com picos de temperatura no ano, foram considerados como áreas críticas os pixels com temperatura superior a 50 °C, destacados na representação cartográfica.

4. Processamento no R

Os dados raster de NDVI e temperatura foram importados e processados no R. As imagens foram sobrepostas ao limite dos bairros de Natal para análises estatísticas dos dados e elaboração dos mapas temáticos para análise da complexidade do sistema socioecológico de Natal.

5. Análises estatísticas

A normalidade das variáveis foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk e comprovada a normalidade dos dados. Em seguida, foi realizada uma Análise Multivariada de Variância (MANOVA), considerando como variáveis dependentes o NDVI e a LST e como fator a identificação dos bairros. Posteriormente, foi desenvolvido um índice de criticidade climática como complemento à análise de MANOVA, com o objetivo de identificar os bairros mais críticos da cidade de Natal em relação à combinação das duas variáveis.

Para a construção do índice, as variáveis (NDVI e LST) foram padronizadas (transformadas em escores z) e o NDVI foi invertido (multiplicado por -1) para refletir a sua correlação negativa com a temperatura.

O índice final foi obtido pela soma da temperatura padronizada com o NDVI invertido padronizado, de forma que valores mais altos representam maior criticidade ambiental — ou seja, bairros mais quentes e com menor cobertura vegetal. Com base na distribuição dos valores, os bairros foram classificados em três níveis de criticidade: baixa, média e alta, permitindo uma análise espacial comparativa entre eles e apoiando a definição de prioridades para intervenção.



RESULTADO E DISCUSSÃO

A relação entre cobertura vegetal, temperatura da superfície do solo e desigualdades intraurbanas tem se mostrado um tema crucial no planejamento urbano e sustentabilidade. Em Natal (RN), os dados analisados a partir de imagens de satélite e ferramentas de sensoriamento remoto revelam como o sistema socioecológico urbano reflete as contradições entre diferentes formas de ocupação, infraestrutura urbana e acesso aos recursos ambientais.

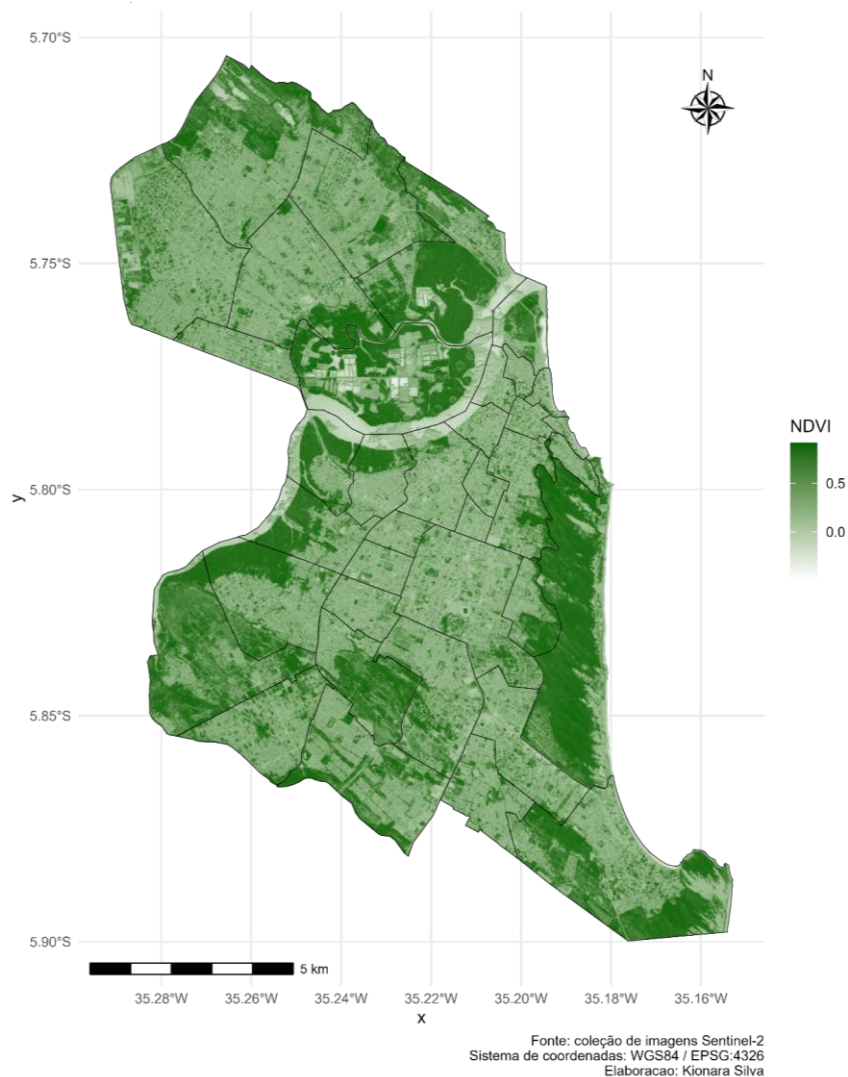
Os maiores valores de NDVI máximo anual concentram-se em bairros inseridos nas Zonas de Proteção Ambiental (ZPAs) do município de Natal (RN), evidenciando maior cobertura vegetal nessas regiões (Figura 1). Destacam-se, nesse contexto, duas importantes unidades de conservação que estão inseridas dentro das ZPAs: o Parque Estadual Dunas de Natal Jornalista Luiz Maria Alves, localizado na zona sul, e o Parque da Cidade Dom Nivaldo Monte, na zona oeste. Essas áreas verdes, associadas à presença de vegetação nativa e à restrição de uso urbano intensivo correspondem a 30% da área municipal.

A análise espacial dos hotspots de temperatura máxima da superfície (Figura 2), com valores superiores a 50 °C, revelou muitas áreas com picos de temperatura nas zonas sul e leste do município de Natal (RN). Elas concentram áreas densamente urbanizadas, com baixa cobertura vegetal, o que pode explicar a intensificação dos picos térmicos observados nessas regiões. A zona sul, em particular, compreende os bairros de maior renda da cidade, que concentram os principais investimentos em infraestrutura urbana. No entanto, tais investimentos têm se traduzido principalmente em obras urbanas que impermeabilizam o solo, eliminam áreas verdes e aumentam o calor urbano, contribuindo diretamente para a elevação da temperatura superficial.

Essa configuração socioespacial da cidade de Natal evidencia de maneira clara os efeitos de uma urbanização desigual, marcada por fragmentações ecológicas e sociais. Observa-se que, mesmo nas áreas com maior investimento em infraestrutura, prevalecem condições críticas de calor urbano, decorrentes da intensa impermeabilização do solo e da escassez de vegetação. Paradoxalmente, bairros periféricos e de menor renda apresentam valores mais elevados de NDVI, mas essa vegetação, muitas vezes não planejada, está associada a vazios urbanos, ausência de pavimentação e descontinuidade de infraestrutura. Essa dicotomia revela o que BRENNER (2014) define como urbanização estendida: um processo que reorganiza o espaço

urbano para além dos centros consolidados, operando em territórios difusos e aparentemente "menos urbanos", mas funcionalmente integrados ao metabolismo urbano e global.

Figura 1 – NDVI máximo anual por pixel nos bairros de Natal (RN), 2024.



Como já foi dito, a prevalência das áreas com maior cobertura vegetal em Natal está também fortemente associada às ZPAs, que abrigam os bairros com maiores valores de NDVI e menores valores de temperatura. Por isso, essas áreas desempenham papel fundamental na regulação microclimática e no conforto térmico urbano. No entanto, essas zonas estão atualmente sob ameaça em razão da aprovação, pela Câmara Municipal de Natal, de um projeto de lei que unifica oito das dez ZPAs existentes em uma legislação única. Ao eliminar as



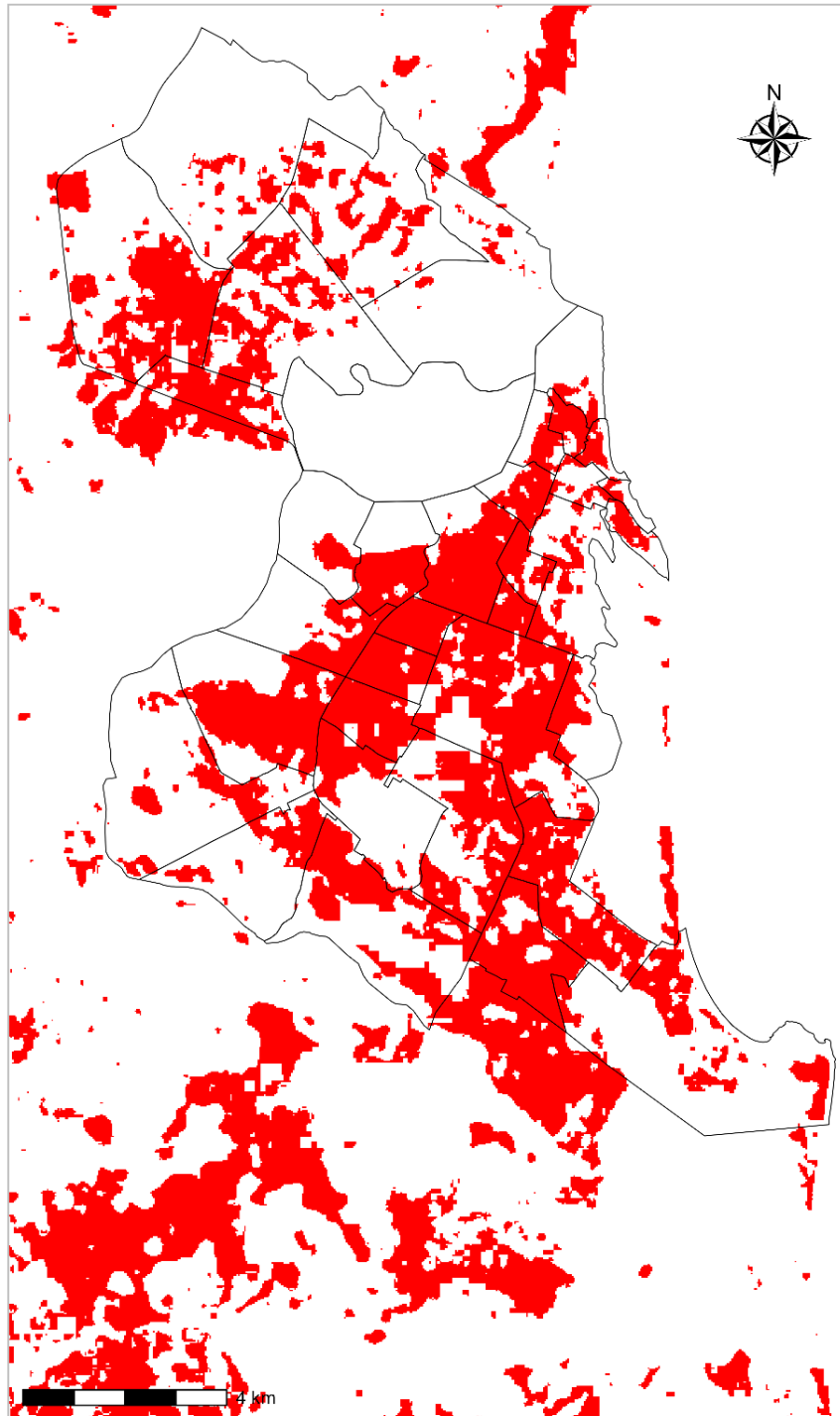
especificidades e diretrizes particulares de cada área, essa unificação pode fragilizar a proteção ambiental e abrir brechas para a ocupação desregulada desses territórios, comprometendo diretamente as principais áreas verdes da cidade e os benefícios socioambientais que elas proporcionam.

A análise multivariada (MANOVA) indicou diferenças estatisticamente significativas entre os bairros do município de Natal (RN) em relação ao NDVI máximo anual e à LST máxima anual no ano de 2024 (Pillai's Trace = 0,459; $F(26, 11\ 254) = 128,78$; $p < 0,001$). Esses resultados apontam para uma importante variação espacial dos indicadores ambientais analisados relacionados às desigualdades territoriais, aos padrões de cobertura vegetal e à estrutura urbana dos bairros.

Com o intuito de visualizar a dinâmica dessas variáveis separadamente e validar o índice de criticidade climática, foram elaborados mapas temáticos da LST e do NDVI médio por bairro (Figura 4). A representação espacial dessas variáveis permitiu verificar padrões distintos de distribuição intraurbana e validar a coerência do índice composto.

A análise multivariada espacializada com base no índice de criticidade climática construído a partir dos valores padronizados de NDVI e temperatura da superfície do solo permitiu categorizar três grupos distintos de bairros do município de Natal (Figura 4). Aqueles com condições mais críticas foram aqueles que apresentaram simultaneamente alta temperatura e baixa cobertura vegetal, conforme indicado pelos valores mais elevados do índice (cor vermelha na Figura 4).

Figura 2 - Hotspot (>50°C) da temperatura da Superfície do Solo (LST), sendo o valor máximo por pixel para todo ano de 2024.



Fonte: Landsat 8 (Banda Térmica)
Sistema de coordenadas: WGS84 / EPSG:4326
Elaboração própria

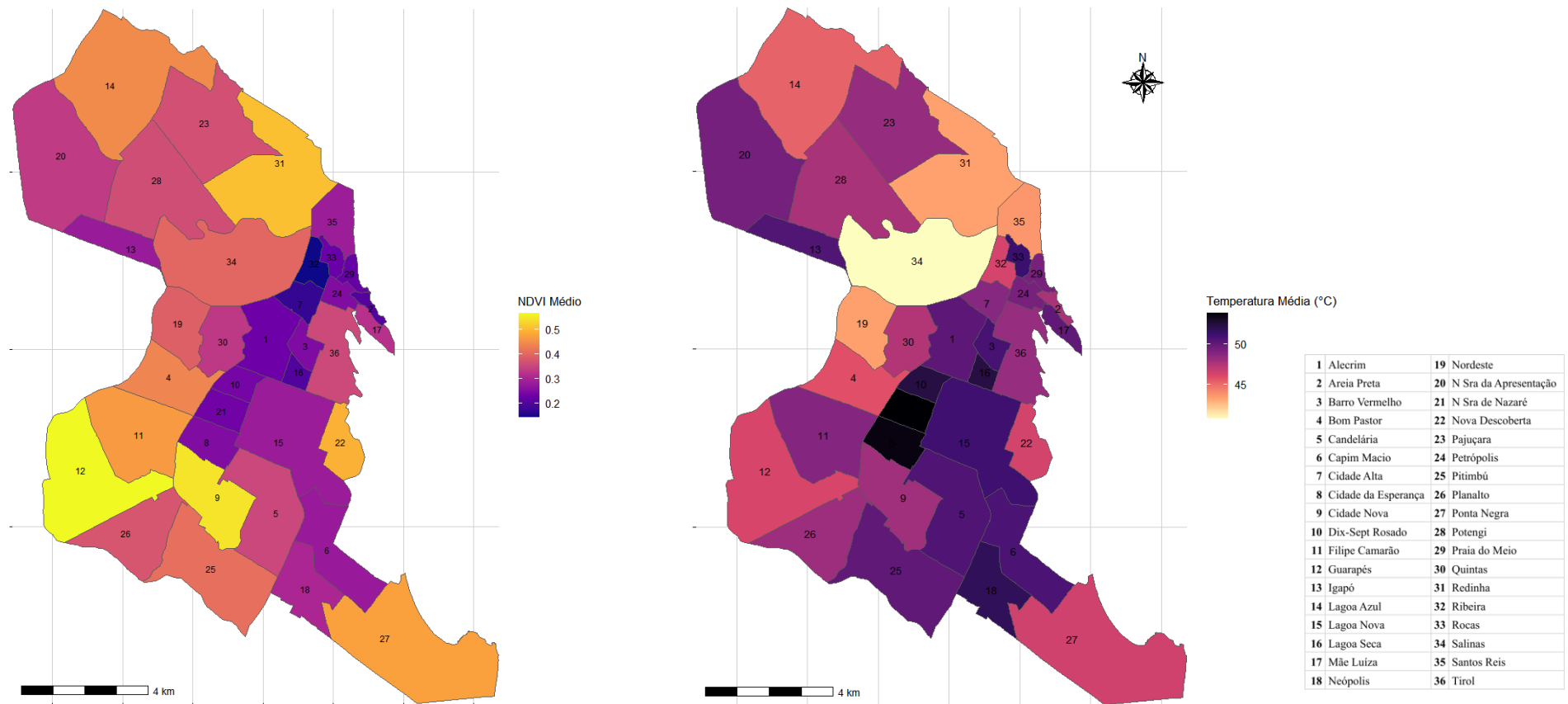


XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

Figura 3 – Representação espacial dos valores médios de LST máxima (°C) e do NDVI máximo por bairro, ao longo do ano de 2024. Os mapas permitem visualizar a distribuição intraurbana das variáveis ambientais separadamente, contribuindo para a validação do índice de criticidade climática e para a identificação de padrões de vulnerabilidade ambiental no município de Natal (RN).



Apoio:



Realização:



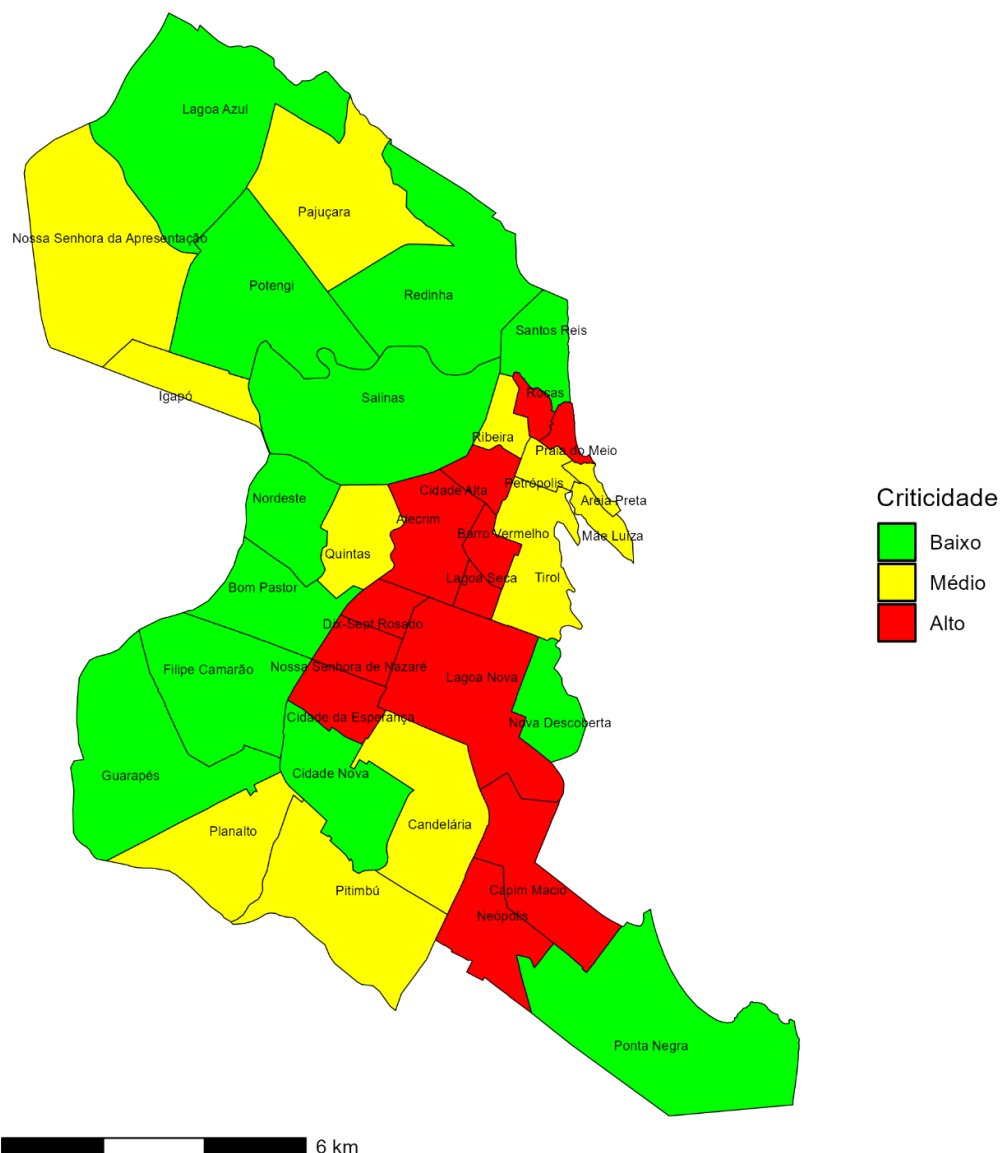
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SUSTENTABILIDADE



Financiamento:



Figura 4 - Índice de Criticidade Climática dos Bairros de Natal.



Fonte: NDVI Sentinel-2 e Temperatura Landsat via GEE (2024). Elaboração própria.

A análise da cidade de Natal evidencia contradições marcantes na distribuição espacial da temperatura e da cobertura vegetal. Observou-se que boa parte dos bairros da zona sul (considerada área nobre), onde há maior concentração de investimentos públicos e privados em infraestrutura, apresentam altas temperaturas superficiais e baixa presença de cobertura vegetal, revelando efeitos da intensa impermeabilização, verticalização e da urbanização concentrada, o que resultou nas ilhas de calor. Por outro lado, bairros periféricos, de menor renda, registram valores mais elevados de cobertura vegetal e menores temperaturas. Essa vegetação está



frequentemente associada a presença de terrenos baldios, ausência de pavimentação e carência de infraestrutura qualificada — o que indica que a vegetação desses locais não são mantidas para o conforto térmico e usufruto coletivo da população. Além disso, como já foi discutido, nessas áreas há a presença de importantes ZPAs. Essa configuração espacial revela uma urbanização profundamente desigual e fragmentada, em que o verde urbano, quando presente nas áreas mais vulneráveis, não se converte automaticamente em justiça ambiental, mas expressa uma forma de urbanização negligenciada, marcada pela ausência de políticas públicas efetivas.

Essa abordagem reforça a evidência de desigualdades ambientais intraurbanas e oferece subsídios objetivos para priorizar ações de mitigação e adaptação climática no planejamento urbano. No entanto, no caso específico de Natal, as áreas identificadas como críticas — por apresentarem simultaneamente altas temperaturas e baixa cobertura vegetal — não são, necessariamente, aquelas que deveriam receber prioridade absoluta nas políticas públicas, uma vez que já concentram historicamente os maiores investimentos em infraestrutura. É possível que, em comparação com bairros de menor renda, essas áreas disponham de maior arborização nas ruas e mais recursos para usufruto da vegetação. Assim, torna-se fundamental complementar este estudo com os dados do Censo 2022 do IBGE, em escala mais local, que detalhem a arborização no entorno dos domicílios, permitindo uma análise mais precisa da distribuição do verde urbano e de seus impactos no conforto térmico.

Com base nessa discussão, iniciativas devem assumir um papel ativo na adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) nessas áreas críticas com alta impermeabilização e verticalização, visando melhorar as condições microclimáticas e o bem-estar da população. Paralelamente, é essencial que o poder público invista, prioritariamente, em um projeto estruturado de arborização urbana que privilegie principalmente os bairros periféricos, que haja investimentos em infraestrutura nessas áreas, assim como a criação de corredores ecológicos que conectem as áreas verdes da cidade de Natal e que se amplifique o acesso equitativo aos benefícios ambientais.

A partir da perspectiva crítica do espaço urbano proposta por BRENNER (2014), a cidade de Natal pode ser compreendida como um sistema socioecológico complexo, marcado por formas espaciais diferenciadas, processos históricos desiguais e lógicas fragmentadas de urbanização. A distribuição das áreas verdes na cidade, embora aparente em regiões periféricas,



não representa necessariamente infraestrutura urbana voltada ao conforto térmico e ao usufruto coletivo, mas sim expressões de uma urbanização negligenciada. Além disso, ao se considerar os princípios de justiça ambiental, torna-se evidente que o acesso ao verde urbano ainda é marcado por seletividade e desigualdade.

Nessa perspectiva, a vulnerabilidade climática observada em Natal expressa não apenas variações físicas na cobertura vegetal ou na temperatura, mas resulta de uma produção social do espaço urbano, estruturada por processos seletivos de investimento, acesso à infraestrutura e relações de poder. Tais condições, como discutido por LEFEBVRE (2001), negam o direito à cidade como um espaço de convivência, natureza e transformação. A inserção dos conceitos de resiliência e adaptabilidade urbana, portanto, deve ir além das soluções técnicas. É necessário compreender que essas qualidades dependem de transformações estruturais nas lógicas de planejamento urbano, orientadas por princípios de equidade socioambiental, reparação histórica e distribuição justa dos recursos e oportunidades urbanas.

CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou importantes contrastes entre os bairros de Natal (RN), associados a padrões diferenciados de ocupação do solo, cobertura vegetal e desigualdades socioespaciais. A partir da construção de um índice de criticidade climática, foi possível agrupar os bairros em três níveis distintos de vulnerabilidade, destacando aqueles com maiores temperaturas superficiais e menor presença de vegetação, como forma de orientar ações prioritárias de adaptação climática e propor soluções baseadas na natureza.

Entretanto, os resultados também revelam que Natal possui uma estrutura socioecológica complexa e fragmentada, em que as áreas consideradas críticas concentram, historicamente, os maiores investimentos em infraestrutura urbana. Tais investimentos, baseados em uma lógica ultrapassada de desenvolvimento — centrada na concretagem, impermeabilização e compactação do solo — contribuiram para o agravamento de problemas ambientais como o aumento do calor urbano e a ocorrência de inundações. Assim, os achados do estudo apontam para a necessidade urgente de repensar o modelo de urbanização vigente, promovendo estratégias mais sustentáveis, equitativas e integradas ao contexto ecológico da cidade.



REFERÊNCIAS

AHMAD, Iftikhar; RAZA, Ahmad; KHAN, Aamir; ZUBAIR, Muhammad; RAZA, Muhammad. Effects of heat stress on urban vegetation: a review. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 71, 2022. DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127560.

ALI, Md. S.; PATNAIK, C.; MADGUNI, O. P. Cooling effect of urban green spaces on land surface temperature in Delhi. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 8, n. 10, p. 725–730, 2017. DOI: 10.18178/ijesd.2017.8.10.1035.

BRENNER, Neil. *Espaços de urbanização: o urbano a partir da teoria crítica*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.

EDMONDSON, J. L.; DAVIES, Z. G.; GASTON, K. J.; LEAKE, J. R. Urban cooling through vegetation: evidence and policy implications. *Environmental Science & Policy*, v. 62, p. 89–96, 2016. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.04.013.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). *Sentinel-2 mission*. [S.l.]: ESA, 2015. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 04 jul. 2025.

GOOGLE EARTH ENGINE. *A planetary-scale platform for Earth science data & analysis*. Mountain View, CA: Google, 2024. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 04 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Panorama das cidades: Natal (RN)*. Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/natal.html>. Acesso em: 04 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: rendimento domiciliar per capita – 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Acesso em: 04 jul. 2025.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022: características dos domicílios e do entorno – resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Acesso em: 04 jul. 2025.

KULISH, Yury A. Urban soils and temperature dynamics: theoretical framework and implications. *Urban Ecosystems*, v. 25, p. 235–247, 2022. DOI: 10.1007/s11252-021-01123-5.

LEFEBVRE, Henri. *O direito à cidade*. 5. ed. São Paulo: Centauro, 2001.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 04 jul. 2025.

RAHAMAN, Zullyadini A.; CHONG, W. T.; MUKHLISIN, M.; AHMAD, M. A. Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. *Building and Environment*, v. 222, p. 109335, 15 ago. 2022. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109335.

SANTOS, Taciana Oliveira dos; CORRÊA, Fabiana Medeiros; MOURA, Maria de Souza Braga; FERREIRA, Luciano Gomes. Influence of urbanization on land surface temperature in Recife city. *Engenharia Agrícola*, v. 33, p. 1234–1244, dez. 2013.

SOYDAN, Orhun. Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, v. 34, p. 100688, 1 dez. 2020. DOI: 10.1016/j.uclim.2020.100688.

TAHERI, Mercedeh; NASERI, Mohammad; EBRAHIMI, Mojtaba. A review of machine learning approaches to soil temperature estimation. *Sustainability*, v. 15, n. 9, p. 7677, jan. 2023.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Landsat surface temperature data products*. Reston, VA: USGS, 2021. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-surface-temperature>. Acesso em: 04 jul. 2025.