



**EXPANSÃO URBANA, COBERTURA VEGETAL E TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE EM UMA CIDADE MÉDIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE
INTRAURBANA DE VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA**

Romário Oliveira de Santana¹

Eliel de Jesus Amaral²

Shayenne Olsson Freitas Silv³

Lídia Raíza Sousa Lima Chaves Trindade⁴

Resumo Este estudo analisou as relações entre expansão urbana, cobertura vegetal e temperatura de superfície terrestre (LST) nos bairros de Vitória da Conquista, Bahia, entre 2019 e 2025. Foram utilizados dados de uso e cobertura da terra, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e LST, combinados com análises de tendência temporal, correlações de Spearman e modelos com efeitos fixos de bairro e ano. No período, a área urbanizada aumentou 31,1%, enquanto a vegetação nativa diminuiu 15,6%, embora essas transformações tenham ocorrido de forma heterogênea entre os bairros. A intensidade da expansão urbana não apresentou associação significativa com as mudanças na vegetação, no NDVI ou na LST. Entretanto, bairros com maior proporção inicial de vegetação nativa tenderam a apresentar perdas mais acentuadas dessa cobertura ($p = -0,568$; $p = 0,004$), evidenciando a importância das condições preexistentes da paisagem para as trajetórias ambientais. Após o controle da variabilidade interanual, a vegetação nativa apresentou a associação negativa mais forte com a LST ($p = -0,440$; $p < 0,001$), enquanto a relação entre área urbanizada e temperatura foi mais fraca ($p = 0,154$; $p = 0,046$). Os modelos longitudinais, contudo, não identificaram efeitos significativos dentro dos bairros. Os resultados destacam a importância da conservação da cobertura vegetal durante a expansão urbana e reforçam a necessidade de considerar as condições iniciais da paisagem e distinguir padrões espaciais de respostas temporais.

Palavras-chave: NDVI; Sensoriamento remoto; Dinâmica da paisagem; Ambiente térmico; Planejamento territorial.

**URBAN EXPANSION, VEGETATION COVER, AND LAND SURFACE
TEMPERATURE IN A MEDIUM-SIZED BRAZILIAN CITY: AN INTRA-URBAN
ANALYSIS OF VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA**

Abstract This study analyzed the relationships among urban expansion, vegetation cover, and land surface temperature (LST) across the neighborhoods of Vitória da Conquista, Bahia, Brazil, between 2019 and 2025. Land-use and land-cover data, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and LST were analyzed using temporal trend analyses, Spearman correlations, and neighborhood and year fixed-effects models. During the study period, the urbanized area increased by 31.1%, while native vegetation decreased by 15.6%, although these changes occurred heterogeneously across neighborhoods. The intensity of urban expansion was not significantly associated with changes in vegetation, NDVI, or LST. However, neighborhoods with a higher initial proportion of native vegetation tended to experience greater losses of this cover ($p = -0.568$; $p = 0.004$), highlighting the importance of pre-existing landscape conditions in shaping environmental trajectories. After controlling for interannual variability, native vegetation showed the strongest negative association with LST ($p = -0.440$; $p < 0.001$), whereas the relationship between urbanized area and temperature was weaker ($p = 0.154$; $p = 0.046$). However, the longitudinal models did not identify significant within-neighborhood effects. The results highlight the importance of conserving vegetation

¹ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UESC). Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Sede – Brasília). Professor permanente do programa de pós-graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Federal de Goiás. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9603-0738>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1260225932521660>. E-mail: romario.santana@icmbio.gov.br

² Doutor em Ecologia (UNB). Consultor taxonomista no Serviço Florestal Brasileiro (SFB/MMA). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0737-5345>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6402252697103618>. E-mail: elielamaral.92@gmail.com.

³ Doutora em Medicina Tropical (FIOCRUZ). Bolsista de Pós-doutorado na Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0817-7500>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8370568569680139>. E-mail: shayenneolsson@gmail.com.

⁴ Doutora em Engenharia Agrícola (UFLA). Bolsista de Pós-Doutorado em Ciência da Computação no Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (USP). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0942-1824>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3201719623816360>. E-mail: lidiaraiza@usp.br.



cover during urban expansion and reinforce the need to consider initial landscape conditions and distinguish spatial patterns from temporal responses.

Keywords: *NDVI; remote sensing; landscape dynamics; thermal environment; territorial planning.*

1 Introdução

A expansão urbana constitui um dos principais processos de transformação contemporânea da paisagem, modificando a distribuição das coberturas naturais e a estrutura ambiental das cidades (Richards; Belcher, 2020). O avanço das superfícies construídas frequentemente ocorre acompanhado pela conversão ou fragmentação de áreas vegetadas, embora a intensidade dessas mudanças varie entre cidades e dentro de uma mesma área urbana (Barrera; Henríquez, 2017). Richards e Belcher (2020) demonstraram que urbanização e cobertura vegetal podem seguir trajetórias distintas, incluindo perda, manutenção ou aumento localizado da vegetação. Essa heterogeneidade também foi identificada por Barrera e Henríquez (2017), evidenciando que a expansão urbana não produz necessariamente alterações ambientais espacialmente uniformes.

Entre as consequências dessas transformações, destacam-se as alterações no ambiente térmico urbano (Estoque; Murayama; Myint, 2017). A substituição de superfícies vegetadas por materiais construídos modifica o balanço de energia, a evapotranspiração e o armazenamento de calor. Nesse contexto, a vegetação exerce importante função de regulação térmica por meio do sombreamento e da evapotranspiração (Shiflett *et al.*, 2017). Estudos em diferentes ambientes urbanos têm identificado associação negativa entre índices de vegetação e temperatura de superfície (LST), com áreas mais vegetadas apresentando, em geral, temperaturas relativamente menores (Shiflett *et al.*, 2017). Estoque, Murayama e Myint (2017) demonstraram ainda que não apenas a quantidade, mas também a composição e a configuração da paisagem influenciam a distribuição espacial da LST.

A relação entre urbanização e vegetação, entretanto, não é necessariamente linear (Yang *et al.*, 2021). A resposta térmica à urbanização também depende de características como densidade construtiva, impermeabilização, distribuição da vegetação e configuração espacial das coberturas (Meng *et al.*, 2022). Meng *et al.* (2022) mostraram que a influência dos componentes da paisagem sobre a LST depende também da escala e da configuração espacial analisada. Além disso, bairros submetidos a intensidades semelhantes de expansão podem apresentar trajetórias distintas de conservação ou perda de vegetação (Barrera; Henríquez, 2017; Richards; Belcher, 2020), tornando insuficiente interpretar as mudanças ambientais apenas pela quantidade de superfície incorporada ao tecido urbano.

Outra questão importante envolve a dimensão temporal dessas relações. A LST apresenta elevada sensibilidade às condições meteorológicas e à variabilidade interanual (Yao *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2022), o que pode dificultar a identificação de tendências associadas às transformações



da cobertura do solo. Shu *et al.* (2024), por exemplo, identificaram expressiva variação temporal na relação entre vegetação e LST. Consequentemente, associações espaciais observadas entre bairros mais vegetados e temperaturas menores não significam necessariamente que alterações de curto prazo na vegetação produzam mudanças térmicas equivalentes dentro desses mesmos bairros.

Essa distinção ainda recebe menor atenção em estudos baseados predominantemente em associações espaciais ou comparações multitemporais entre cobertura do solo e LST, especialmente diante da elevada variabilidade temporal dessas relações (Shu *et al.*, 2024). Jun *et al.* (2024), utilizando uma abordagem baseada em mudanças intraurbanas, demonstraram que alterações na vegetação e nas superfícies impermeáveis podem contribuir para mudanças na LST, destacando a importância de distinguir padrões espaciais de relações temporais.

Nesse contexto, este estudo analisa as relações entre expansão urbana, cobertura vegetal e temperatura de superfície nos bairros de Vitória da Conquista, Bahia, entre 2019 e 2025. Busca-se identificar as trajetórias ambientais associadas ao crescimento urbano e avaliar como área urbanizada, vegetação nativa e NDVI se relacionam com a diferenciação térmica intraurbana. Adicionalmente, são comparadas associações espaciais e longitudinais, permitindo avaliar se diferenças ambientais existentes entre os bairros também se manifestam como mudanças ao longo do tempo dentro das mesmas unidades territoriais.

2 Material e Métodos

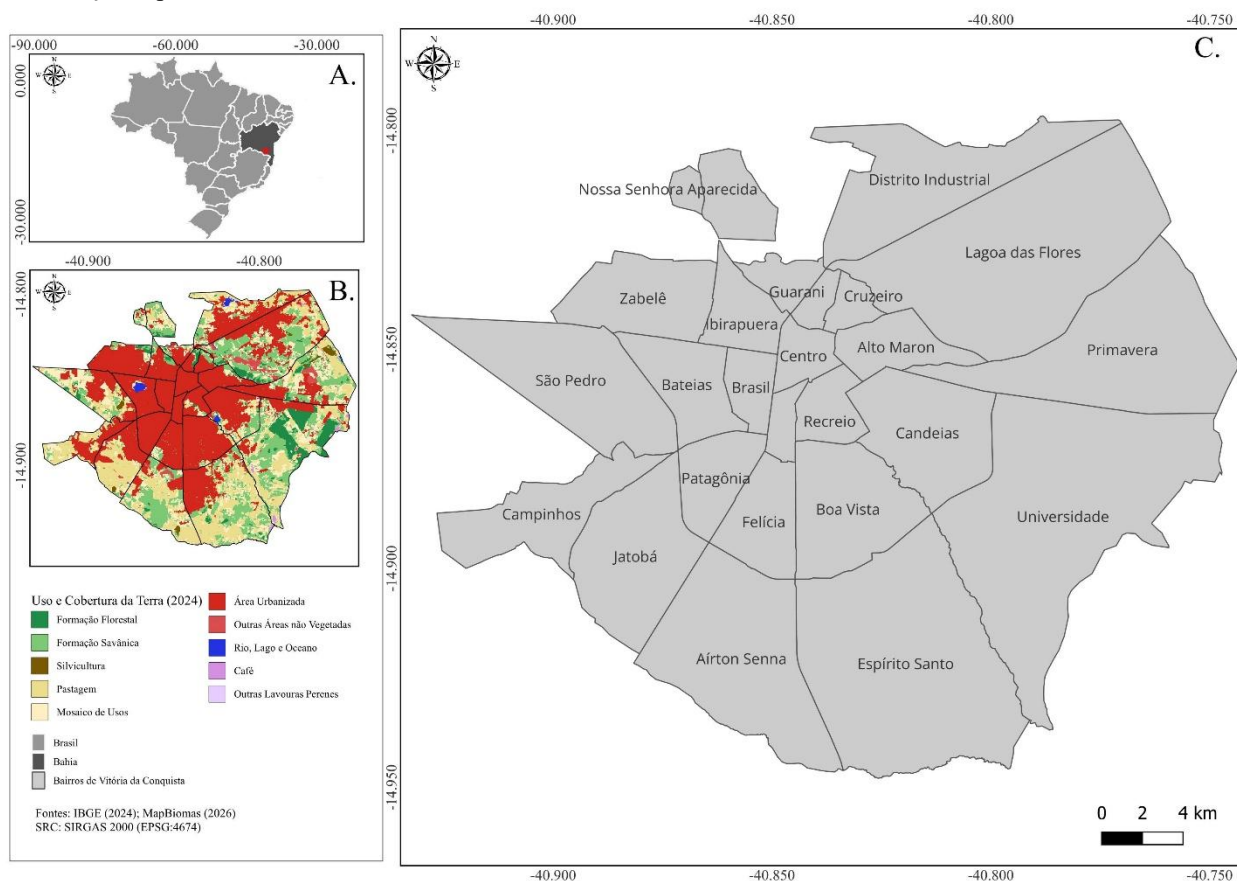
2.1 Área de estudo e unidades de análise

O estudo foi realizado em Vitória da Conquista, município localizado no sudoeste da Bahia, Brasil (Figura 1). Segundo o Censo Demográfico de 2022, o município possuía 370.879 habitantes e densidade demográfica de 113,97 hab. km⁻², além de 97,13 km² de área urbanizada. Na hierarquia urbana brasileira, Vitória da Conquista é classificada como Capital Regional B e exerce importante centralidade regional na oferta de comércio, serviços, educação e saúde (IBGE, 2026; Porto; Santana Júnior; Nascimento, 2017). Caracterizada como cidade média, apresenta um processo de urbanização marcado pela expansão do tecido urbano e por transformações espacialmente diferenciadas entre áreas consolidadas e setores de crescimento recente (Chaves, 2016; Santos; Ferraz, 2020; Oliveira, 2026).

A análise considerou os 24 bairros que compõem a área urbana estudada. Os limites territoriais foram obtidos da malha de bairros disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, vinculada ao Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024). Os bairros foram adotados como unidades espaciais para integrar e comparar as informações de uso e cobertura da terra, vegetação e temperatura de superfície.

As bases espaciais foram recortadas pelos limites dos bairros e organizadas em uma estrutura de dados em painel para o período de 2019 a 2025. Cada bairro foi acompanhado anualmente, totalizando 168 observações bairro-ano, o que permitiu analisar tanto as diferenças ambientais entre os bairros quanto suas mudanças ao longo do tempo.

Figura 1. Localização da área de estudo e caracterização espacial de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. (A) Localização do município no estado da Bahia e no Brasil; (B) uso e cobertura da terra na área urbana em 2024; (C) distribuição espacial dos 24 bairros considerados nas análises.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do IBGE (2024) e MapBiomas (2026).

2.2 Dados e processamento das variáveis ambientais

A dinâmica do uso e cobertura da terra foi analisada com dados anuais do MapBiomas 10 m, Coleção 4, em resolução espacial de 10 m, para o período de 2019 a 2025. As classificações foram recortadas pelos limites dos 24 bairros e utilizadas para quantificar a área ocupada por floresta, formação savânica, silvicultura, pastagem, lavouras temporárias e perenes, mosaico de usos, área urbanizada, áreas não vegetadas e corpos d'água. O MapBiomas produz séries temporais de uso e cobertura da terra a partir de imagens de sensoriamento remoto e procedimentos automatizados de classificação, permitindo o monitoramento das transformações da paisagem em alta resolução espacial (MapBiomas, 2026).

Para as análises principais, foram definidos dois componentes da paisagem. A vegetação



nativa correspondeu à soma das classes 3, Floresta, e 4, Formação Savânica, enquanto a área urbanizada foi representada pela classe 24. Para cada bairro e ano, as áreas foram calculadas em hectares a partir da área dos pixels e posteriormente convertidas em proporção da área total do bairro. Esse procedimento permitiu comparar unidades territoriais com diferentes dimensões e expressar as mudanças temporais também em pontos percentuais.

A condição da vegetação foi estimada pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), calculado com imagens Sentinel-2 Surface Reflectance Harmonized da coleção COPENICUS/S2_SR_HARMONIZED. O índice foi obtido pela diferença normalizada entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, B8 e B4, respectivamente, conforme a formulação proposta por Rouse *et al.* (1974). Antes do cálculo, as imagens foram submetidas à máscara de nuvens e sombras utilizando a camada Scene Classification Layer (SCL), excluindo-se pixels classificados como sombra de nuvem, nuvens de média e alta probabilidade, cirrus e neve/gelo. Também foram utilizadas apenas imagens com cobertura de nuvens inferior a 60%.

Para reduzir efeitos sazonais e assegurar comparabilidade entre os anos, foram consideradas imagens adquiridas entre julho e outubro. Após a aplicação dos critérios de seleção, foram utilizadas 30 imagens em 2019, 30 em 2020, 27 em 2021, 24 em 2022, 34 em 2023, 24 em 2024 e 39 em 2025. Para cada ano, foi gerada uma composição pela mediana dos valores de NDVI e, posteriormente, foram extraídas para cada bairro a média, mediana e os percentis 10 e 90. Embora o processamento original tenha abrangido 2017 a 2025, as análises principais foram restritas ao período de 2019 a 2025, correspondente ao intervalo com maior consistência de observações para os sensores utilizados.

A temperatura de superfície terrestre (LST) foi obtida a partir das coleções Landsat 8 e Landsat 9 Collection 2, Tier 1, Level 2, LANDSAT/LC08/C02/T1_L2 e LANDSAT/LC09/C02/T1_L2. O controle de qualidade foi realizado com a banda QA_PIXEL, removendo pixels classificados como nuvem dilatada, cirrus, nuvem e sombra de nuvem. A LST foi derivada da banda térmica ST_B10, aplicando-se o fator de escala 0,00341802 e o deslocamento 149,0, seguidos da conversão de Kelvin para graus Celsius, conforme as especificações do produto Landsat Collection 2 Level 2 (USGS, 2024).

Assim como no NDVI, foram utilizadas apenas imagens obtidas entre julho e outubro de cada ano. Após os procedimentos de seleção e controle de qualidade, foram utilizadas 21 imagens em 2019, 19 em 2020, 19 em 2021, 46 em 2022, 38 em 2023, 40 em 2024 e 42 em 2025. As imagens foram combinadas por meio da mediana anual e, para cada bairro, foram calculadas a média, mediana e os percentis 10 e 90 da LST. As estatísticas zonais foram obtidas em resolução espacial de 30 m, compatível com o processamento das bandas térmicas Landsat.

Todo o processamento geoespacial foi realizado no Google Earth Engine, plataforma de



computação em nuvem voltada à análise de grandes conjuntos de dados geoespaciais (Gorelick *et al.*, 2017). As informações anuais de uso e cobertura da terra, vegetação nativa, área urbanizada, NDVI e LST foram integradas pelo identificador de cada bairro, resultando em uma base longitudinal com 168 observações bairro-ano, correspondentes aos 24 bairros acompanhados entre 2019 e 2025.

2.3 Análise das mudanças espaço-temporais

As mudanças na área urbanizada, vegetação nativa, NDVI e temperatura de superfície foram avaliadas entre 2019 e 2025, considerando tanto o comportamento geral da área de estudo quanto as trajetórias individuais dos 24 bairros. Para as variáveis expressas como proporção da área dos bairros, as mudanças entre os anos inicial e final foram calculadas em pontos percentuais. Para NDVI e LST, foram consideradas as diferenças entre os valores anuais correspondentes.

As tendências temporais foram avaliadas pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall, que permite identificar tendências monotônicas sem exigir normalidade dos dados (Mann, 1945; Kendall, 1975). O sentido e a intensidade da tendência foram representados pelo coeficiente τ de Kendall, enquanto sua significância foi avaliada considerando $p < 0,05$. Para quantificar a magnitude das mudanças ao longo do tempo, foi utilizado o estimador de inclinação de Sen (Sen, 1968), expresso na unidade original de cada variável por ano. As análises foram realizadas para a série geral e individualmente para os bairros, conforme a variável analisada.

A LST foi analisada adicionalmente por meio de anomalias anuais, com o objetivo de reduzir a influência das oscilações térmicas comuns a toda a área de estudo e distinguir essas variações das mudanças específicas de cada bairro. Para cada observação bairro-ano, a anomalia foi calculada pela diferença entre a LST do bairro e a média dos 24 bairros no respectivo ano. Dessa forma, valores positivos indicaram bairros relativamente mais quentes e valores negativos, bairros relativamente mais frios em relação ao padrão térmico anual da cidade. As tendências dessas anomalias foram então avaliadas pelo teste de Mann-Kendall, permitindo verificar a existência de mudanças térmicas persistentes independentemente da variabilidade interanual comum.

Para investigar se a intensidade da expansão urbana esteve associada às demais transformações ambientais, foram calculadas as mudanças entre 2019 e 2025 para cada bairro e avaliadas suas relações com as variações da vegetação nativa, NDVI e LST por meio do coeficiente de correlação de Spearman (Spearman, 1904). O mesmo procedimento foi utilizado para verificar a associação entre a expansão urbana e a tendência das anomalias térmicas. Adicionalmente, avaliou-se se as condições iniciais da paisagem estiveram associadas à magnitude das transformações subsequentes, relacionando-se a proporção de vegetação nativa em 2019 à sua



variação entre 2019 e 2025 e a proporção inicial de área urbanizada à expansão observada no período. A opção por uma medida não paramétrica permitiu avaliar relações monotônicas sem pressupor linearidade ou distribuição normal das variáveis.

Esses procedimentos permitiram distinguir três dimensões complementares da dinâmica intraurbana: a direção e magnitude das tendências ao longo do período, as mudanças acumuladas entre 2019 e 2025 e as diferenças nas trajetórias ambientais dos bairros. A abordagem possibilitou avaliar não apenas se bairros submetidos a intensidades semelhantes de expansão urbana apresentaram respostas semelhantes na cobertura vegetal e nas condições térmicas, mas também se essas transformações estiveram associadas às condições de cobertura da terra existentes no início do período.

2.4 Relações entre cobertura da paisagem e temperatura de superfície

As relações entre área urbanizada, vegetação nativa, NDVI e temperatura de superfície foram inicialmente avaliadas pelo coeficiente de correlação de Spearman (Spearman, 1904). Essa abordagem não paramétrica foi utilizada para identificar a direção e a intensidade das associações entre as variáveis considerando o conjunto de observações bairro-ano. Foram analisadas as relações da LST com NDVI, vegetação nativa e área urbanizada, bem como as associações entre os próprios componentes da paisagem.

Como a LST apresentou expressiva variabilidade interanual comum aos bairros, as associações também foram estimadas após o controle do efeito do ano. Para isso, a variabilidade temporal compartilhada foi removida das variáveis antes do cálculo das correlações, permitindo avaliar se as diferenças entre os bairros permaneciam associadas independentemente das oscilações anuais. Essa análise foi utilizada para distinguir relações predominantemente espaciais de associações influenciadas pelas condições específicas de cada ano.

Para investigar se as relações observadas entre os bairros também se manifestavam ao longo do tempo dentro das mesmas unidades territoriais, foram estimados modelos de efeitos fixos de bairro e ano, seguindo uma estrutura de efeitos fixos bidirecionais, ou *two-way fixed effects* (TWFE). Essa abordagem controla características dos bairros que permanecem constantes no período e fatores temporais comuns a todas as unidades, permitindo que os coeficientes sejam estimados a partir das mudanças ocorridas dentro de cada bairro ao longo do tempo (Wooldridge, 2010).

A LST foi definida como variável dependente, enquanto NDVI, proporção de vegetação nativa e proporção de área urbanizada foram avaliados como variáveis explicativas. Os modelos foram estimados separadamente para cada variável ambiental, evitando incorporar simultaneamente variáveis fortemente correlacionadas e reduzindo problemas associados à

multicolinearidade. A especificação geral foi expressa na Equação 1:

$$LST_{it} = \beta X_{it} + \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

em que LST_{it} representa a temperatura de superfície do bairro i no ano t , X_{it} corresponde à variável ambiental analisada, β representa o coeficiente associado às mudanças dessa variável dentro dos bairros, α_i corresponde aos efeitos fixos de bairro, λ_t aos efeitos fixos de ano e ε_{it} ao termo de erro.

A interpretação dos modelos concentrou-se no coeficiente, permitindo verificar se mudanças na vegetação, no NDVI ou na área urbanizada dentro de um mesmo bairro estiveram associadas a mudanças na LST após o controle das diferenças permanentes entre bairros e das variações comuns entre os anos. Essa estratégia possibilitou contrastar as associações espaciais identificadas pelas correlações com as relações longitudinais estimadas a partir das mudanças intraurbanas.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R, versão 4.6.1 (R Core Team, 2026), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3 Resultados

3.1 Dinâmica espaço-temporal da urbanização e da cobertura vegetal

Entre 2019 e 2025, Vitória da Conquista apresentou expansão contínua das áreas urbanizadas, acompanhada pela redução da vegetação nativa (Figura 2a). A área urbanizada aumentou de 5.826,36 para 7.636,32 ha, acréscimo de 1.809,96 ha (31,1%). A tendência foi positiva e estatisticamente significativa ($\tau = 1,000$; $p < 0,001$), com incremento estimado de 262,84 ha ano⁻¹ pelo estimador de Sen. Em sentido oposto, a vegetação nativa diminuiu de 4.216,71 para 3.560,98 ha, perda de 655,73 ha (15,6%), com tendência negativa significativa ($\tau = -0,905$; $p = 0,003$) e redução estimada de 89,49 ha ano⁻¹. Esse padrão é consistente com processos observados em outras cidades brasileiras, onde o avanço das superfícies construídas tem ocorrido simultaneamente à redução de áreas vegetadas. Rocha *et al.* (2024), por exemplo, identificaram em João Pessoa expansão urbana acompanhada pela redução da cobertura não construída, demonstrando como o crescimento urbano pode modificar rapidamente a estrutura da paisagem.

Na escala intraurbana, a proporção média de área urbanizada passou de 50,37% para 57,89%, aumento de 7,52 pontos percentuais (p.p.), enquanto a vegetação nativa diminuiu de 12,99% para 11,25% (-1,74 p.p.). A expansão urbana foi espacialmente generalizada, com tendência positiva e significativa em 22 dos 24 bairros, embora sua intensidade tenha variado consideravelmente. Essa heterogeneidade é uma característica importante das transformações urbanas, uma vez que o crescimento não ocorre de maneira uniforme dentro das cidades. Estudos baseados em sensoriamento remoto mostram que diferentes setores urbanos podem apresentar



trajetórias distintas de expansão, conversão da cobertura do solo e permanência de fragmentos vegetados (Reba; Seto, 2020).

Os maiores aumentos da área urbanizada ocorreram em Boa Vista (+20,85 p.p.), Distrito Industrial (+16,03 p.p.), São Pedro (+14,24 p.p.), Bateias (+13,72 p.p.) e Candeias (+12,82 p.p.). Primavera (+10,36 p.p.) e Lagoa das Flores (+10,19 p.p.) também apresentaram expansão expressiva. Em contraste, Centro (+0,004 p.p.) e Jurema (+0,23 p.p.) permaneceram praticamente estáveis, evidenciando a coexistência de setores consolidados e bairros submetidos a transformações mais intensas. Esse contraste reforça a importância da escala intraurbana, pois análises agregadas para toda a cidade podem ocultar diferenças espaciais relevantes na intensidade e na localização das mudanças da cobertura do solo.

A vegetação nativa apresentou dinâmica espacial ainda mais heterogênea. As maiores reduções ocorreram em Primavera (-11,53 p.p.), Aírton Senna (-5,65 p.p.), Universidade (-5,58 p.p.), Lagoa das Flores (-4,97 p.p.) e Cruzeiro (-4,22 p.p.). Entretanto, a perda de vegetação não acompanhou proporcionalmente a expansão urbana. Bateias, por exemplo, apresentou aumento de 13,72 p.p. da área urbanizada e praticamente nenhuma alteração da vegetação nativa (-0,02 p.p.), enquanto Alto Maron combinou expansão urbana (+4,17 p.p.) e aumento da vegetação nativa (+1,34 p.p.). Portanto, a expansão das superfícies urbanizadas não implica necessariamente conversão direta de vegetação nativa na mesma proporção, podendo envolver outras classes de cobertura do solo e diferentes trajetórias de transformação da paisagem. Essa dinâmica não linear também tem sido identificada em estudos multitemporais, nos quais urbanização, perda de vegetação e processos localizados de aumento da cobertura vegetal podem ocorrer simultaneamente (Chaudhuri; Mainali; Mishra, 2022).

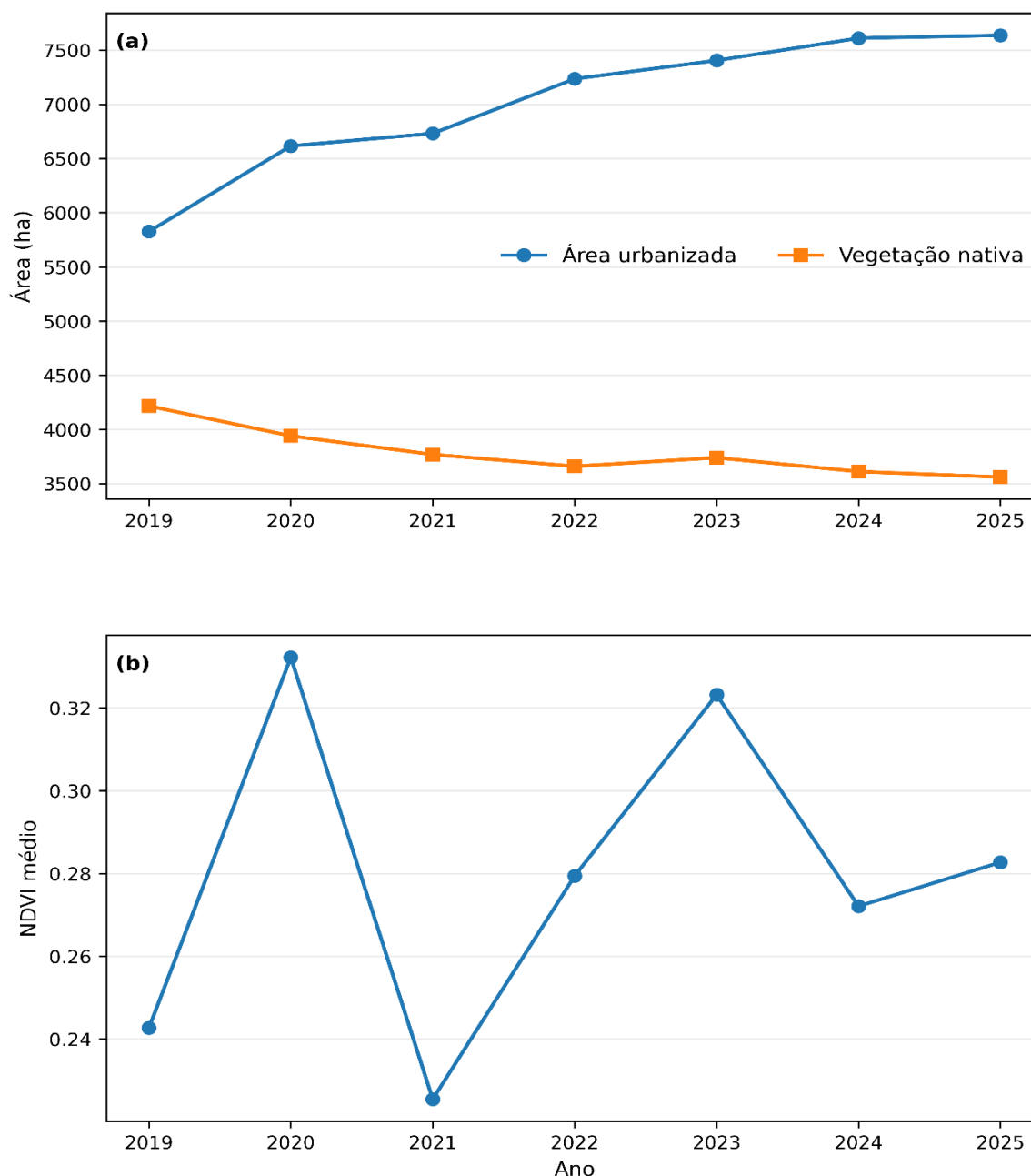
O NDVI apresentou comportamento distinto das mudanças observadas na cobertura do solo (Figura 2b). Embora a média tenha aumentado de 0,243 em 2019 para 0,283 em 2025, não foi identificada tendência temporal significativa ($\tau = 0,143$; $p = 0,773$). Da mesma forma, nenhum dos 24 bairros apresentou tendência significativa do NDVI, indicando maior variabilidade interanual desse indicador em comparação às mudanças persistentes na área urbanizada e na vegetação nativa. Esse resultado é particularmente relevante porque demonstra que aumento do NDVI médio não pode ser interpretado diretamente como aumento da extensão da vegetação. Estudos realizados em cidades brasileiras também identificaram trajetórias distintas entre mudanças estruturais da cobertura do solo e variações do NDVI. Em Brasília, por exemplo, Oliveira *et al.* (2023) observaram aumento do NDVI ao longo da série temporal, enquanto estudos em Garanhuns identificaram estabilidade da média acompanhada por maior variabilidade espacial (Bezerra *et al.*, 2021). O NDVI responde ao vigor e à atividade fotossintética da vegetação existente e, portanto, pode variar em função de fatores sazonais e climáticos sem representar



necessariamente mudanças equivalentes na extensão da cobertura vegetal.

Assim, Vitória da Conquista apresentou uma transformação rápida, porém espacialmente desigual, de sua paisagem entre 2019 e 2025. A expansão de 31,1% da área urbanizada simultaneamente à redução de 15,6% da vegetação nativa evidencia uma trajetória de intensificação da ocupação urbana, mas as diferenças entre bairros demonstram que esse processo não ocorre por uma relação simples de substituição entre superfícies construídas e vegetação. A ausência de tendência significativa do NDVI reforça essa interpretação e evidencia que extensão da cobertura vegetal e condição espectral da vegetação representam dimensões distintas da qualidade ambiental urbana, justificando sua análise complementar nas etapas seguintes.

Figura 2. Dinâmica temporal da urbanização e da vegetação em Vitória da Conquista, Bahia, entre 2019 e 2025. (a) Evolução da área urbanizada e da vegetação nativa; (b) variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.2 Padrões temporais e espaciais da temperatura de superfície

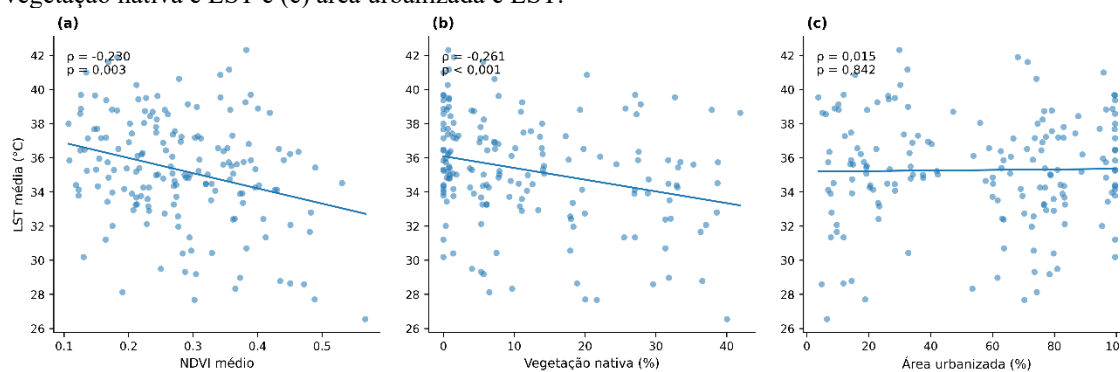
A temperatura de superfície (LST) apresentou expressiva variabilidade interanual entre 2019 e 2025, com comportamento semelhante entre os bairros de Vitória da Conquista. As diferenças entre os anos foram mais pronunciadas do que as tendências observadas individualmente nos bairros, indicando forte influência das condições meteorológicas anuais sobre a dinâmica térmica intraurbana. Esse comportamento é consistente com estudos que demonstram que a LST urbana responde não apenas à urbanização, mas também à precipitação, insolação e

temperatura de fundo, podendo apresentar oscilações expressivas entre anos sucessivos (Yao *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2022).

Entre 2019 e 2025, a LST diminuiu em todos os 24 bairros, com reduções variando de $-3,24^{\circ}\text{C}$ em Zabelê a $-8,45^{\circ}\text{C}$ no Espírito Santo. Entretanto, essa redução generalizada não representa necessariamente um processo persistente de resfriamento urbano. Após a remoção da variabilidade temporal comum por meio das anomalias de LST, nenhum dos 24 bairros apresentou tendência estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Resultados semelhantes têm sido observados em séries térmicas urbanas nas quais a variabilidade climática interanual mascara ou supera tendências locais de curto prazo, reforçando a necessidade de separar variação temporal comum de mudanças estruturais da paisagem (Guo *et al.*, 2022).

Apesar dessa variabilidade temporal, foram observadas diferenças térmicas entre os bairros associadas às características da cobertura do solo (Figura 3). O NDVI apresentou associação negativa com a LST ($\rho = -0,230$; $p = 0,003$), assim como a proporção de vegetação nativa ($\rho = -0,261$; $p < 0,001$). A área urbanizada, por outro lado, não apresentou associação significativa com a LST na análise bruta ($\rho = 0,015$; $p = 0,842$). A relação inversa entre vegetação e temperatura é amplamente documentada em ambientes urbanos, onde o aumento da cobertura vegetal tende a reduzir o aquecimento superficial por meio de sombreamento e evapotranspiração (Shiflett *et al.*, 2017; Ziter *et al.*, 2019).

Figura 3. Relações entre temperatura de superfície (LST), NDVI, vegetação nativa e área urbanizada nos bairros de Vitória da Conquista, Bahia, entre 2019 e 2025. Os painéis representam as associações entre (a) NDVI e LST, (b) vegetação nativa e LST e (c) área urbanizada e LST.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A magnitude relativamente moderada das correlações indica, contudo, que a vegetação não explica isoladamente a diferenciação térmica intraurbana. Estudos mostram que a LST também responde à densidade e altura das edificações, impermeabilização, materiais construtivos, umidade e configuração espacial da cobertura vegetal (Estoque; Murayama; Myint, 2017; Meng *et al.*, 2022). Assim, bairros com maior presença de vegetação tendem a apresentar condições térmicas relativamente mais favoráveis, mas esse efeito depende da estrutura física e ambiental do tecido



urbano.

A ausência de associação significativa entre a proporção total de área urbanizada e a LST na análise bruta também deve ser interpretada nesse contexto. A área urbanizada constitui uma medida agregada e não representa diretamente a intensidade da impermeabilização, a geometria urbana ou a distribuição dos fragmentos vegetados. Meng *et al.* (2022) destacam que bairros com proporções semelhantes de ocupação podem apresentar respostas térmicas distintas em razão da configuração espacial e da estrutura do ambiente construído. Isso ajuda a explicar por que, em Vitória da Conquista, a vegetação apresentou relação térmica mais evidente do que a simples proporção de superfície urbanizada.

Os resultados revelam, portanto, maior diferenciação térmica espacial do que uma tendência temporal persistente. Enquanto as anomalias de LST não apresentaram tendências significativas nos bairros, maiores valores de NDVI e maiores proporções de vegetação nativa estiveram associados a temperaturas relativamente menores. Essa distinção reforça que o ambiente térmico urbano resulta da interação entre cobertura vegetal, estrutura construída e variabilidade atmosférica, e não apenas da quantidade total de área urbanizada.

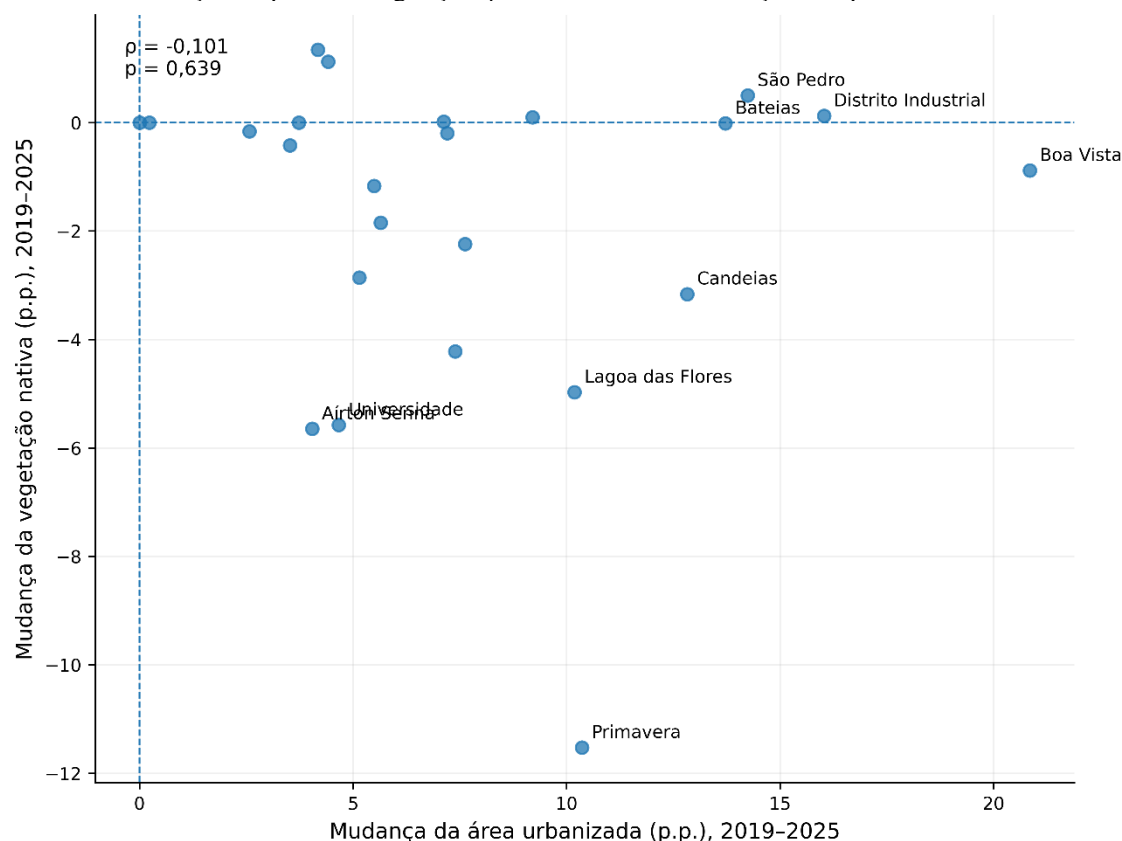
3.3 Trajetórias ambientais dos bairros diante da expansão urbana

A análise das mudanças entre 2019 e 2025 revelou que a expansão urbana não produziu respostas ambientais uniformes entre os bairros de Vitória da Conquista. A magnitude do crescimento da área urbanizada não apresentou associação significativa com a variação da vegetação nativa ($p = -0,101$; $p = 0,639$), do NDVI ($p = 0,257$; $p = 0,226$) ou da LST ($p = 0,072$; $p = 0,738$). Portanto, bairros submetidos a intensidades semelhantes de expansão seguiram trajetórias ambientais distintas, especialmente quanto à conservação ou perda de vegetação (Figura 4). Essa heterogeneidade é compatível com estudos que demonstram que a urbanização pode produzir diferentes trajetórias de mudança da cobertura vegetal dentro de uma mesma cidade, condicionadas pela forma e localização da expansão e pelas características preexistentes da paisagem (Barrera; Henríquez, 2017; Richards; Belcher, 2020).

Os contrastes são particularmente evidentes entre os bairros com maior expansão. Boa Vista apresentou o maior crescimento da área urbanizada (+20,85 p.p.), mas redução de apenas 0,88 p.p. da vegetação nativa e aumento do NDVI (+0,038). Distrito Industrial (+16,03 p.p. de urbanização), São Pedro (+14,24 p.p.) e Bateias (+13,72 p.p.) também apresentaram pouca alteração da vegetação nativa (+0,12, +0,50 e -0,02 p.p., respectivamente). Esses casos mostram que a expansão da superfície urbanizada não implicou necessariamente perda vegetal de magnitude equivalente. Estudos em escala intraurbana também demonstram que a conversão de áreas verdes pode variar substancialmente entre setores submetidos à urbanização, indicando que características

locais do processo de ocupação interferem na intensidade da perda vegetal (Kadhim; Salih, 2025).

Figura 4. Relação entre a mudança da área urbanizada e a variação da vegetação nativa nos bairros de Vitória da Conquista, Bahia, entre 2019 e 2025. Os bairros destacados exemplificam trajetórias contrastantes de expansão urbana e conservação ou perda de vegetação. ρ = coeficiente de correlação de Spearman.



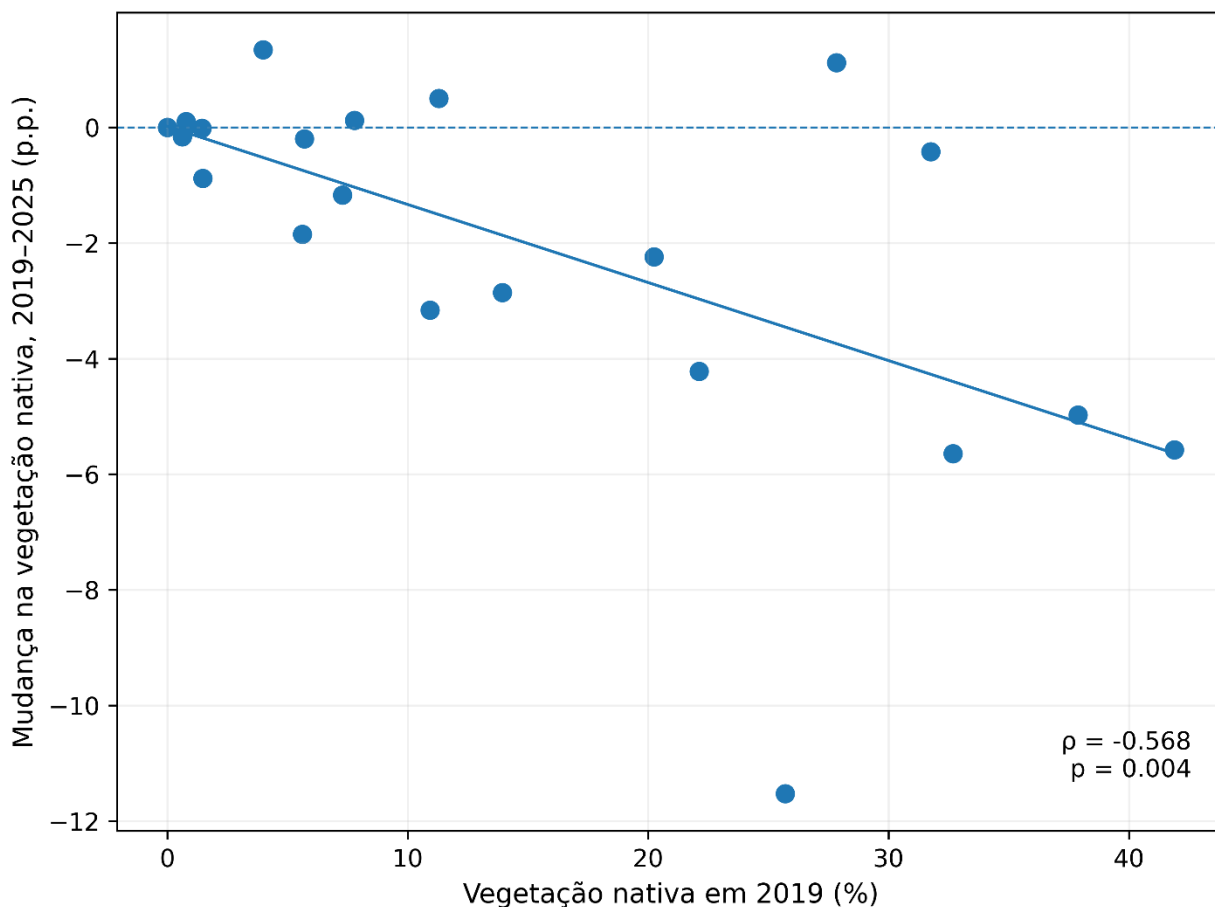
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Primavera apresentou trajetória distinta, com aumento de 10,36 p.p. da área urbanizada acompanhado pela maior redução de vegetação nativa entre os bairros (−11,53 p.p.) e por diminuição do NDVI (−0,041). Lagoa das Flores também combinou expansão urbana (+10,19 p.p.) e perda de vegetação (−4,97 p.p.), enquanto Candeias apresentou +12,82 e −3,16 p.p., respectivamente. Universidade e Airton Senna registraram perdas superiores a 5 p.p. de vegetação mesmo com expansão urbana mais moderada (+4,66 e +4,04 p.p.). A intensidade da perda vegetal, portanto, não pode ser atribuída exclusivamente à magnitude da expansão urbana. A coexistência de setores com perda, manutenção ou aumento localizado da vegetação tem sido observada em outras cidades e evidencia que expansão urbana e mudança da cobertura vegetal não seguem necessariamente uma trajetória linear ou espacialmente homogênea (Barrera; Henríquez, 2017; Richards; Belcher, 2020).

A condição inicial da cobertura da terra contribuiu para compreender parte dessa heterogeneidade. A proporção de vegetação nativa existente em 2019 apresentou associação negativa e significativa com sua variação entre 2019 e 2025 ($\rho = -0,568$; $p = 0,004$), indicando

que bairros com maior proporção inicial de vegetação tenderam a apresentar perdas mais acentuadas ao longo do período (Figura 5). Em contrapartida, bairros com reduzida cobertura vegetal inicial apresentaram menor possibilidade de registrar perdas expressivas dessa classe. A proporção de área urbanizada em 2019 também apresentou associação negativa com a expansão observada até 2025 ($\rho = -0,460$; $p = 0,024$), indicando menor crescimento proporcional nos bairros que já apresentavam maior grau de urbanização no início do período. Esses resultados mostram que as trajetórias observadas não dependem apenas da magnitude da expansão urbana, mas também das condições preexistentes de cobertura da terra.

Figura 5. Relação entre a proporção de vegetação nativa em 2019 e sua variação entre 2019 e 2025 nos bairros de Vitória da Conquista, Bahia. A variação da vegetação é expressa em pontos percentuais (p.p.). A linha contínua representa a tendência geral dos dados e a linha tracejada indica ausência de mudança no período. ρ = coeficiente de correlação de Spearman.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A resposta térmica reforça essa heterogeneidade. Embora a LST tenha diminuído em todos os bairros entre os anos inicial e final, com reduções entre $-3,24^{\circ}\text{C}$ em Zabelê e $-8,45^{\circ}\text{C}$ no Espírito Santo, nenhum dos 24 bairros apresentou tendência significativa nas anomalias de LST ($p > 0,05$). Além disso, a intensidade da expansão urbana não esteve associada à tendência das anomalias térmicas ($\rho = -0,112$; $p = 0,602$). A ausência dessa relação direta é coerente com

evidências de que a resposta térmica à urbanização pode variar conforme a densidade e a configuração das superfícies construídas, bem como segundo a composição e a organização espacial da paisagem (Meng *et al.*, 2022). Assim, a quantidade de superfície urbanizada, isoladamente, não representa toda a complexidade térmica do processo de expansão.

As trajetórias identificadas demonstram que a magnitude da expansão urbana é insuficiente, isoladamente, para explicar as mudanças ambientais em escala intraurbana. Embora o município tenha apresentado avanço expressivo da urbanização e redução da vegetação nativa no período analisado, bairros com intensidades semelhantes de crescimento apresentaram desde manutenção até perdas expressivas de vegetação, sem resposta térmica proporcional. A associação entre a cobertura vegetal inicial e sua variação posterior evidencia ainda que as condições preexistentes da paisagem estão relacionadas à magnitude dessas transformações. Bairros com maior proporção inicial de vegetação tenderam a apresentar perdas mais acentuadas, enquanto aqueles inicialmente mais urbanizados apresentaram menor expansão proporcional. Assim, mais do que a quantidade de área incorporada ao tecido urbano, os resultados destacam a importância das condições iniciais da paisagem, da forma como a expansão ocorre e da conservação da cobertura vegetal durante esse processo.

3.4 Vegetação e diferenciação térmica intraurbana

A análise integrada confirmou que urbanização, cobertura vegetal e temperatura apresentam relações distintas no espaço intraurbano de Vitória da Conquista. Após o controle da variabilidade entre os anos, a vegetação nativa apresentou a associação negativa mais forte com a LST ($\rho = -0,440$; $p < 0,001$), seguida pelo NDVI ($\rho = -0,318$; $p < 0,001$). A área urbanizada apresentou associação positiva, porém de menor magnitude, com a temperatura ($\rho = 0,154$; $p = 0,046$) (Tabela 1). A predominância das associações negativas entre vegetação e LST é consistente com estudos realizados em diferentes contextos urbanos, nos quais áreas com maior cobertura vegetal ou maiores valores de índices de vegetação apresentam temperaturas de superfície relativamente menores (Shiflett *et al.*, 2017; Kaiser *et al.*, 2022).

Tabela 1. Relações entre cobertura do solo, vegetação e temperatura de superfície nos bairros de Vitória da Conquista, Bahia, entre 2019 e 2025.

Relação	ρ de Spearman	p	ρ controlando o ano	p controlando o ano
NDVI $\times$ LST	-0,230	0,003	-0,318	<0,001
Vegetação nativa $\times$ LST	-0,261	<0,001	-0,440	<0,001
Área urbanizada $\times$ LST	0,015	0,842	0,154	0,046
Área urbanizada $\times$ NDVI	-0,822	<0,001	-0,902	<0,001
Vegetação nativa $\times$ NDVI	0,811	<0,001	0,838	<0,001
Área urbanizada $\times$ vegetação nativa	-0,763	<0,001	-0,742	<0,001



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: ρ = coeficiente de correlação de Spearman. As correlações controlando o ano representam as associações após a remoção da variabilidade temporal comum entre as observações.

As associações mais intensas ocorreram entre os próprios componentes da paisagem. A área urbanizada apresentou forte relação negativa com o NDVI ($\rho = -0,902$; $p < 0,001$) e com a vegetação nativa ($\rho = -0,742$; $p < 0,001$), enquanto vegetação nativa e NDVI foram positivamente associados ($\rho = 0,838$; $p < 0,001$). A urbanização esteve, portanto, mais fortemente associada à reconfiguração da cobertura vegetal do que à própria diferenciação térmica dos bairros. Esse resultado reforça que a resposta térmica à urbanização não depende apenas da quantidade de superfície ocupada, mas também das características da cobertura remanescente e da configuração ambiental resultante do processo de transformação urbana.

A diferença de magnitude entre as associações com a LST também merece destaque. A vegetação nativa apresentou relação térmica mais intensa que o NDVI e, sobretudo, que a proporção de área urbanizada. Essa resposta é coerente com o papel da cobertura vegetal na modulação do ambiente térmico urbano e com evidências de que as relações entre vegetação e LST permanecem espacialmente consistentes mesmo quando sua intensidade varia entre anos e contextos urbanos (Shiflett *et al.*, 2017; Kaiser *et al.*, 2022). Assim, a presença e a permanência da vegetação parecem discriminar melhor as condições térmicas entre os bairros do que a extensão total da superfície urbanizada.

A análise longitudinal, entretanto, revelou um padrão distinto. Nos modelos com efeitos fixos de bairro e ano (TWFE), o NDVI apresentou coeficiente negativo em relação à LST ($\beta = -13,707$), mas sem significância estatística ($p = 0,184$). O mesmo ocorreu com a vegetação nativa ($\beta = -0,118$; $p = 0,091$) e com a área urbanizada ($\beta = 0,041$; $p = 0,492$). Portanto, embora bairros estruturalmente mais vegetados tenham apresentado temperaturas relativamente menores, as mudanças ocorridas dentro de cada bairro entre 2019 e 2025 não foram acompanhadas por alterações térmicas estatisticamente detectáveis.

Essa diferença entre as associações espaciais e longitudinais não representa resultados contraditórios, mas evidencia dimensões distintas da relação entre paisagem e temperatura. Estudos espaço-temporais mostram que a relação entre índices de vegetação e LST pode variar consideravelmente entre anos e estações (Shu *et al.*, 2024). Ao mesmo tempo, evidências longitudinais indicam que alterações na vegetação e nas superfícies impermeáveis podem produzir mudanças térmicas quando consideradas séries mais longas e transformações suficientemente expressivas, como observado por Jun *et al.* (2024) na Região Metropolitana de Seul. No caso de Vitória da Conquista, a série de sete anos e a elevada variabilidade interanual da LST podem ter reduzido a capacidade de detectar respostas térmicas associadas às mudanças ocorridas dentro dos



bairros.

Essa distinção também ressalta uma questão metodológica relevante, pois grande parte dos estudos sobre vegetação e LST utiliza associações espaciais ou comparações multitemporais, enquanto abordagens longitudinais que controlam simultaneamente diferenças persistentes entre unidades espaciais e variações comuns entre anos são menos frequentes (Jun *et al.*, 2024). Os modelos TWFE adotados neste estudo permitem separar essas duas dimensões e mostram que uma associação espacial robusta não implica necessariamente que mudanças de curto prazo na vegetação produzam variações térmicas equivalentes dentro das mesmas unidades territoriais.

A manutenção da cobertura vegetal emerge, assim, como componente relevante da diferenciação ambiental intraurbana, mas seus efeitos térmicos devem ser interpretados considerando a escala temporal e a estrutura espacial da análise. Em Vitória da Conquista, a vegetação diferenciou mais claramente as condições térmicas entre os bairros do que as mudanças térmicas ocorridas dentro deles ao longo do período analisado. Esse resultado reforça a importância de conservar a cobertura vegetal durante a expansão urbana, ao mesmo tempo que evita atribuir às mudanças de curto prazo uma relação causal com a LST que os modelos longitudinais não demonstraram.

4 Conclusões

A expansão urbana de Vitória da Conquista foi acompanhada por importante transformação da paisagem entre 2019 e 2025, com crescimento de 31,1% da área urbanizada e redução de 15,6% da vegetação nativa. Entretanto, as diferentes trajetórias dos bairros demonstram que a intensidade da expansão não determina, por si só, a perda de vegetação ou a resposta térmica. A proporção inicial de vegetação nativa esteve associada à magnitude de sua variação posterior, com perdas mais acentuadas nos bairros que apresentavam maior cobertura vegetal no início do período. Da mesma forma, bairros inicialmente mais urbanizados apresentaram menor expansão proporcional. Esses resultados evidenciam que as condições preexistentes da paisagem são importantes para compreender as diferentes trajetórias de transformação intraurbana.

A vegetação mostrou-se o componente mais relevante para a diferenciação térmica intraurbana, apresentando associação mais forte com menores temperaturas ($\rho = -0,440$; $p < 0,001$) do que a própria área urbanizada. Essa relação, contudo, foi predominantemente espacial, uma vez que os modelos longitudinais não detectaram respostas térmicas significativas às mudanças ocorridas dentro dos bairros. Assim, bairros mais vegetados tendem a apresentar condições térmicas mais favoráveis, mas os resultados não permitem atribuir às mudanças de curto prazo na vegetação respostas térmicas proporcionais.

Esses achados reforçam a necessidade de incorporar a conservação da vegetação ao



processo de expansão urbana. Mais do que considerar apenas a quantidade de novas áreas urbanizadas, o planejamento deve considerar as condições preexistentes da paisagem e orientar como e onde a expansão ocorre, buscando preservar a cobertura vegetal como componente da qualidade ambiental e térmica em escala intraurbana.

5 Referências

- BARRERA, F.; HENRÍQUEZ, C. Vegetation cover change in growing urban agglomerations in Chile. **Ecological Indicators**, v. 81, p. 265–273, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.067>. Acesso em: 2 set. 2026.
- BEZERRA, J. V. de A.; RAMOS, E. A.; ROCHA, L. de L.; OLIVEIRA, T. de L.; MELO, F. P. de; VIGODERIS, R. B.; SOUZA, W. M. de; GUISELINI, C. Análise multitemporal da distribuição do NDVI na cidade de Garanhuns-PE. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 725–733, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0056.
- CHAUDHURI, G.; MAINALI, K. P.; MISHRA, N. B. Analyzing the dynamics of urbanization in Delhi National Capital Region in India using satellite image time-series analysis. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 49, n. 1, p. 368–384, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/23998083211007868>. Acesso em: 2 set. 2026.
- CHAVES, M. F. O processo de monopolização e valorização do solo urbano em Vitória da Conquista-BA: contradições na cidade do capital. **Crítica y Resistencias: Revista de Conflictos Sociales Latinoamericanos**, n. 3, p. 105–123, 2016.
- ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y.; MYINT, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. **Science of the Total Environment**, v. 577, p. 349–359, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>. Acesso em: 2 set. 2026.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso em: 2 set. 2026.
- GUO, L.; DI, L.; ZHANG, C.; LIN, L.; CHEN, F.; MOLLA, A. Evaluating contributions of urbanization and global climate change to urban land surface temperature change: a case study in Lagos, Nigeria. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 14168, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18193-w>. Acesso em: 2 set. 2026.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022: agregados por setores censitários e bairros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vitória da Conquista: panorama**. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/panorama>. Acesso em: 1 out. 2026.
- JUN, M. J.; PARK, Y.; LEE, J.; KANG, S.; BARQUILLA, C. A.; YUN, M. *et al.* Linkages between urban growth and land surface temperature variations in the Seoul metropolitan area: a spatial first-order difference approach. **Sustainable Cities and Society**, v. 108, p. 105441, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105441>. Acesso em: 2 set. 2026.
- KADHIM, N.; SALIH, N. M. Assessment of urban changes at the residential neighbourhood level based on satellite imageries. **Civil Engineering Journal**, v. 11, n. 1, p. 58–72, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-01-05>. Acesso em: 2 set. 2026.
- KAISER, E. A.; ROLIM, S. B. A.; GRONDONA, A. E. B.; HACKMANN, C. L.; DE MARSILLAC LINN, R.; KÄFER, P. S. *et al.* Spatiotemporal influences of LULC changes on land surface temperature in rapid urbanization area by using Landsat-TM and TIRS images. **Atmosphere**, v. 13, n. 3, p. 460, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos13030460>. Acesso em: 2 set. 2026.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1907187>. Acesso em: 2 set. 2026.



MAPBIOMAS. **Coleção 4 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial**. MapBiomass Brasil, 2026. Dados baseados em imagens Sentinel-2. Acesso via Google Earth Engine, asset projects/mapbiomas-public/assets/brazil/lulc_10m/collection4/mapbiomas_10m_collection4_coverage_v1. Acesso em: 18 ago. 2026.

MENG, Q.; LIU, W.; ZHANG, L.; ALLAM, M.; BI, Y.; HU, X. *et al.* Relationships between land surface temperatures and neighboring environment in highly urbanized areas: seasonal and scale effects analyses of Beijing, China. **Remote Sensing**, v. 14, n. 17, p. 4340, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs14174340>. Acesso em: 2 set. 2026.

OLIVEIRA, C. M. M.; REZENDE, A. V.; SANO, E. E.; MATRICARDI, E. A. T.; DELGADO, R. C. Spatiotemporal assessment of land surface temperature and vegetation in tropical urban areas. **Urban Ecosystems**, v. 26, n. 1, p. 45–65, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01276-x>. Acesso em: 2 set. 2026.

OLIVEIRA, E. Urban form and morphology: conceptual aspects and the case of Vitória da Conquista-Bahia. ****Artefactum: Revista de Estudos Interdisciplinares****, v. 25, n. 1, e2530, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.23900/artefactum.v25i1.2530>. Acesso em: 2 set. 2026.

PORTO, L. R.; SANTANA JÚNIOR, G.; NASCIMENTO, H. M. Rede urbana do estado da Bahia: o caso de Vitória da Conquista (BA). **RDE: Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. 37, p. 82–110, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21452/rde.v2i37.4841>. Acesso em: 2 set. 2026.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2026. Version 4.6.1. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 2 set. 2026.

REBA, M.; SETO, K. C. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change. **Remote Sensing of Environment**, v. 242, p. 111739, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111739>. Acesso em: 2 set. 2026.

RICHARDS, D. R.; BELCHER, R. N. Global changes in urban vegetation cover. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12010023>. Acesso em: 2 set. 2026.

ROCHA, P. I. D. O.; DANTAS, A. P. X.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. da. Assessing urban forest decline and predicting future expansion: a spatial analysis and modeling approach in João Pessoa City, Brazil. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 10, n. 3, p. 3923–3940, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-024-01983-8>. Acesso em: 2 set. 2026.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 1974, Washington, DC. Proceedings. Washington, DC: NASA, 1974. v. 1, p. 309–317.

SANTOS, W. O.; FERRAZ, A. Urbanização e produção do espaço urbano em Vitória da Conquista-BA: novas formas e conteúdos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 729–740, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-050>. Acesso em: 2 set. 2026.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association** v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>. Acesso em: 2 set. 2026.

SHIFLETT, S. A.; LIANG, L. L.; CRUM, S. M.; FEYISA, G. L.; WANG, J.; JENERETTE, G. D. Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 495–505, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.069>. Acesso em: 2 set. 2026.

SHU, B.; CHEN, Y.; ZHANG, K. X.; DEGHANIFARSANI, L.; AMANI-BENI, M. Urban engineering insights: spatiotemporal analysis of land surface temperature and land use in urban landscape. **Alexandria Engineering Journal**, v. 92, p. 273–282, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.02.066>. Acesso em: 2 set. 2026.

SPEARMAN, C. The proof and measurement of association between two things. **The American Journal of Psychology**, v. 15, n. 1, p. 72–101, 1904. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1412159>. Acesso em: 2 set. 2026.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Collection 2 Surface Temperature**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2024. Acesso em: 18 ago. 2026.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. 2. ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2010.

YANG, K.; SUN, W.; LUO, Y.; ZHAO, L. Impact of urban expansion on vegetation: the case of China (2000–2018). **Journal of Environmental Management**, v. 291, p. 112598, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112598>. Acesso em: 2 set. 2026.

YAO, R.; WANG, L.; HUANG, X.; ZHANG, W.; LI, J.; NIU, Z. Interannual variations in surface urban heat island



intensity and associated drivers in China. **Journal of Environmental Management**, v. 222, p. 86–94, 2018.
Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.024>. Acesso em: 2 set. 2026.

ZITER, C. D.; PEDERSEN, E. J.; KUCHARIK, C. J.; TURNER, M. G. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 15, p. 7575–7580, 2019. DOI: 10.1073/pnas.1817561116.