v7.n7.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

IMPACTOS DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA NOS ÍNDICES ESPECTRAIS E NA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE (PB): UMA ABORDAGEM COM DADOS LANDSAT

IMPACTS OF LAND USE AND LAND COVER CHANGES ON SPECTRAL INDICES AND SURFACE TEMPERATURE OF THE RIO DO PEIXE RIVER BASIN (PARAÍBA): AN APPROACH USING LANDSAT DATA

IMPACTOS DE LOS CAMBIOS EN EL USO Y LA COBERTURA DEL SUELO SOBRE LOS ÍNDICES ESPECTRALES Y LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RÍO RIO DO PEIXE (PB): UN ENFOQUE UTILIZANDO DATOS LANDSAT

Edivan Silva dos Santos [1], Fabiano da Silva Araújo [2], Maria José Herculano Macedo [3], Juliana Oliveira Ramos [4], Bernardo Barbosa da Silva [5]

e778474
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8474

PUBLICADO: 07/2026

RESUMO

As mudanças no uso e cobertura da terra alteram o balanço energético e a dinâmica térmica de bacias hidrográficas. Este estudo avaliou os impactos dessas mudanças sobre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), o albedo e a Temperatura da Superfície Terrestre (TST) na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe (PB), entre 2001 e 2020. Foram utilizadas imagens Landsat 5, 7 e 8 (Collection 2 – Level 2), processadas no Google Earth Engine, e dados do MapBiomas (Coleção 10). Os resultados mostraram redução de formações savânicas e expansão de pastagens e áreas urbanas, indicando maior antropização. Observou-se aumento do IVDN associado à expansão agropecuária, redução do albedo e elevação significativa da TST a partir de 2011. Áreas antropizadas apresentaram maiores temperaturas, enquanto a cobertura vegetal atuou como reguladora térmica. Os resultados reforçam a importância do planejamento do uso do solo para a sustentabilidade ambiental da bacia.

PALAVRAS-CHAVE: IVDN. Albedo. Temperatura da superfície. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Changes in land use and land cover alter the energy balance and thermal dynamics of watersheds. This study evaluated the impacts of these changes on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), albedo, and land surface temperature (LST) in the Peixe River Watershed, Paraíba, Brazil, between 2001 and 2020. Landsat 5, 7, and 8 images (Collection 2 – Level 2), processed in Google Earth Engine, and MapBiomas data (Collection 10) were used. The results showed a reduction in savanna formations and an expansion of pastures and urban areas, indicating increased anthropization. An increase in NDVI associated with agricultural and livestock expansion, a reduction in albedo, and a significant rise in LST from 2011 onward were observed. Anthropized areas showed higher temperatures, while vegetation cover acted as a thermal regulator. The results reinforce the importance of land-use planning for the environmental sustainability of the watershed.

KEYWORDS: *NDVI. Albedo. Surface temperature. Remote sensing.*

[1] Graduando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.
[2] Doutor em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.
[3] Professora Doutora, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.
[4] Graduanda em Eng. de Biotecnologia e Bioprocessos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.
[5] Professor Doutor, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

RESUMEN
Los cambios en el uso y la cobertura del suelo alteran el balance energético y la dinámica térmica de las cuencas fluviales. Este estudio evaluó los impactos de estos cambios en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVDN), el albedo y la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST) en la cuenca del río do Peixe (PB), entre 2001 y 2020. Se utilizaron imágenes Landsat 5, 7 y 8 (Colección 2 – Nivel 2), procesadas en Google Earth Engine, y datos de MapBiomas (Colección 10). Los resultados mostraron una reducción en las formaciones de sabana y una expansión de pastizales y áreas urbanas, lo que indica una mayor antropización. Se observó un aumento en el IVDN asociado con la expansión agrícola, una reducción en el albedo y un aumento significativo en la TST a partir de 2011. Las áreas antropogénicas presentaron temperaturas más altas, mientras que la cobertura vegetal actuó como regulador térmico. Los resultados refuerzan la importancia de la planificación del uso del suelo para la sostenibilidad ambiental de la cuenca.

PALABRAS CLAVE*: IVDN. Albedo. Temperatura superficial. Teledetección.*

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um elemento essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, o desenvolvimento humano e o bem-estar coletivo (Paiva *et al.*, 2025). Contudo, práticas inadequadas de manejo e uso do solo têm provocado sérios impactos ambientais, como o aumento da sedimentação e o assoreamento dos corpos hídricos (Santos *et al.*, 2021). O avanço da ocupação territorial ocorre em ritmo acelerado e paralelamente a isso, observa-se o esgotamento dos recursos naturais (Santos *et al.*, 2021).

Nesse cenário, o monitoramento ambiental diante das alterações no uso e cobertura da terra torna-se fundamental. Segundo Almeida *et al.* (2023), embora esse processo seja essencial para o planejamento eficiente dos recursos hídricos e para a definição de estratégias de gestão, a aplicação de metodologias abrangentes costuma ser demorada e onerosa, o que muitas vezes dificulta sua implementação.

Nas últimas décadas, as geotecnologias têm ganhado destaque por englobarem um conjunto de técnicas e ferramentas voltadas à coleta, processamento, análise, armazenamento e manipulação de informações espaciais, obtidas a partir de dados georreferenciados (Silva; Orlanda, 2024). Entre essas ferramentas, o sensoriamento remoto se destaca como um recurso fundamental.

Estudos anteriores na região Nordeste do Brasil também evidenciam a eficiência de índices espectrais na caracterização da dinâmica da vegetação. Utilizando dados MODIS, Santos *et al.* (2024) observaram que os índices de vegetação, como NDVI e EVI, apresentam forte relação com a sazonalidade pluviométrica, destacando sua sensibilidade às variações climáticas em escala regional.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em abordagem complementar, Santos *et al.* (2023) analisaram a Produtividade Primária Bruta (GPP) a partir de dados MODIS e variáveis meteorológicas processadas no Google Earth Engine. Os resultados indicaram padrões espaciais distintos da GPP entre os biomas da região, evidenciando forte dependência das condições climáticas, como temperatura e precipitação, além de sua relação com índices espectrais de vegetação.

As mudanças no uso e cobertura da terra influenciam diretamente o balanço de radiação superficial por meio de alterações no albedo e na capacidade de evapotranspiração da vegetação. Coberturas vegetais densas apresentam menor albedo, absorvendo maior quantidade de radiação solar, mas promovem resfriamento da superfície através da evapotranspiração e do sombreamento, resultando em temperaturas superficiais mais baixas em comparação a áreas antropizadas ou com solo exposto (Bindajam *et al.*, 2020; Pavão *et al.*, 2015). No semiárido nordestino, estudos apontam para um aumento significativo de temperatura e redução de precipitação associadas às mudanças climáticas, intensificando a vulnerabilidade hídrica e a desertificação (Marengo *et al.*, 2017). Na própria Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, trabalhos anteriores destacam aspectos hidrogeológicos, morfométricos e de gestão de recursos hídricos (Costa Filho *et al.*, 2005), embora ainda sejam limitados os estudos integrados sobre impactos de mudanças no uso do solo nos índices espectrais e temperatura superficial.

O Google Earth Engine (GEE) tornou-se uma ferramenta de suma importância para o processamento de imagens de satélites e aplicações nos estudos de uso e cobertura da terra. Nos últimos anos, sua integração com técnicas de Machine Learning impulsionou avanços relevantes, permitindo, por exemplo, estimativas de parâmetros ambientais com algoritmos como Random Forest (Yavari *et al.*, 2026). Ainda assim, segundo Yavari *et al.* (2026), persiste um desafio quanto à facilidade de aplicação dessas abordagens, já que muitas delas dependem de conhecimentos avançados de programação e acabam limitando o acesso a usuários menos experientes. Além disso, grande parte dos trabalhos fornece apenas scripts isolados ou modelos pontuais, carecendo de estruturas mais completas que ofereçam exploração interativa dos dados, extração automatizada para calibração local e fluxos de modelagem sem necessidade de código e acessível ao usuário.

Nesse contexto, o uso de dados obtidos através de imagens de satélites torna-se uma ferramenta valiosa. De acordo com Hagage *et al.* (2025), o uso de imagens de satélites por radar revolucionou os estudos hidrogeológicos ao permitir que pesquisadores realizem o monitoramento de áreas extensas com alta resolução espacial. Sensores multiespectrais, como o Operational Land Imager (OLI) – do Landsat 8 e o Multispectral Instrument (MSI) – do Sentinel-2, fornecem dados em diferentes bandas do espectro eletromagnético e tornam possível o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

monitoramento em larga escala da superfície terrestre, contribuindo para técnicas de coleta e análise de informações espaciais. Suas bandas distintas permitem identificar parâmetros ambientais, especialmente aqueles opticamente ativos, como clorofila-a, turbidez e profundidade do disco de Secchi, devido à sensibilidade às variações de refletância da água (Ngamile *et al.*, 2025).

Segundo Barros *et al.* (2025), os estudos de uso e ocupação do solo são fundamentais para compreender uma ampla gama de processos em curso, como perturbações ecológicas, fragmentação de ecossistemas, mudanças climáticas e impactos sobre a saúde humana. Nesse contexto, a comunidade científica tem analisado diferentes áreas do conhecimento sob a ótica das transformações no uso e na ocupação do solo, visando compreender as dinâmicas espaciais, projetar cenários futuros e subsidiar ações e políticas públicas capazes de mitigar ou potencializar determinados fenômenos, especialmente aqueles relacionados ao meio ambiente.

Diversos estudos ao redor do mundo têm investigado os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas. Aschenefe *et al.* (2025), em sua pesquisa sobre a bacia do alto Gilgel Abbay, na Etiópia, destacam que o declínio dos valores dos serviços ecossistêmicos (serviços de provisão, regulação, suporte e culturais) está diretamente relacionado às alterações no uso e na cobertura da terra. Resultados semelhantes foram observados por Liansangpuii *et al.* (2024), na Índia Central, onde intervenções de manejo da água da chuva ampliaram a disponibilidade hídrica e promoveram a conversão de áreas antes improdutivas em terras agrícolas. Já Ghoul *et al.* (2023), estudando a bacia de Siliana, na Tunísia, verificaram que a expansão de áreas agrícolas, especialmente o aumento expressivo das plantações de oliveiras, além da urbanização e das zonas irrigadas entre 1990 e 2019, alterou o regime de escoamento, reduzindo fluxos mensais, embora sem efeitos significativos sobre os fluxos mais baixos.

No Brasil, muitos estudos também têm sido realizados para avaliar esses impactos. Passos *et al.* (2021), ao aplicarem o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) na bacia do Ribeirão José Pereira (MG), demonstraram que o modelo é adequado para simular a dinâmica hidrológica em bacias de pequeno porte e evidenciaram que práticas de manejo agrícola e reflorestamento são mais eficazes na redução do escoamento superficial do que a simples recuperação de áreas de preservação permanentes (APPs). Leal e Ramos (2022), ao analisarem a bacia urbana do Tucunduba, em Belém (PA), identificaram que as transformações nas formas de ocupação, especialmente nas áreas mais vulneráveis modificaram a morfologia dos canais, refletindo diretamente nas dinâmicas ambientais e sociais da região. Já Santos *et al.* (2020) concluíram que a expansão urbana sobre o Rio Crato, em Humaitá-AM, deteriorou a qualidade

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

da água, sendo detectadas, em diversos pontos de amostragem, altas concentrações de fósforo, nitrogênio e coliformes termotolerantes.

Desta forma, este estudo tem como objetivo determinar os impactos que as mudanças no uso e cobertura da terra provocaram sobre o Albedo, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura da Superfície Terrestre (TST) na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe (BHRP), utilizando imagens Landsat. Busca-se, assim, compreender as transformações ocorridas ao longo do tempo, identificando as principais alterações nas dinâmicas territoriais e seus possíveis reflexos sobre o meio ambiente e os recursos hídricos da região.

METODOLOGIA

Área de estudo

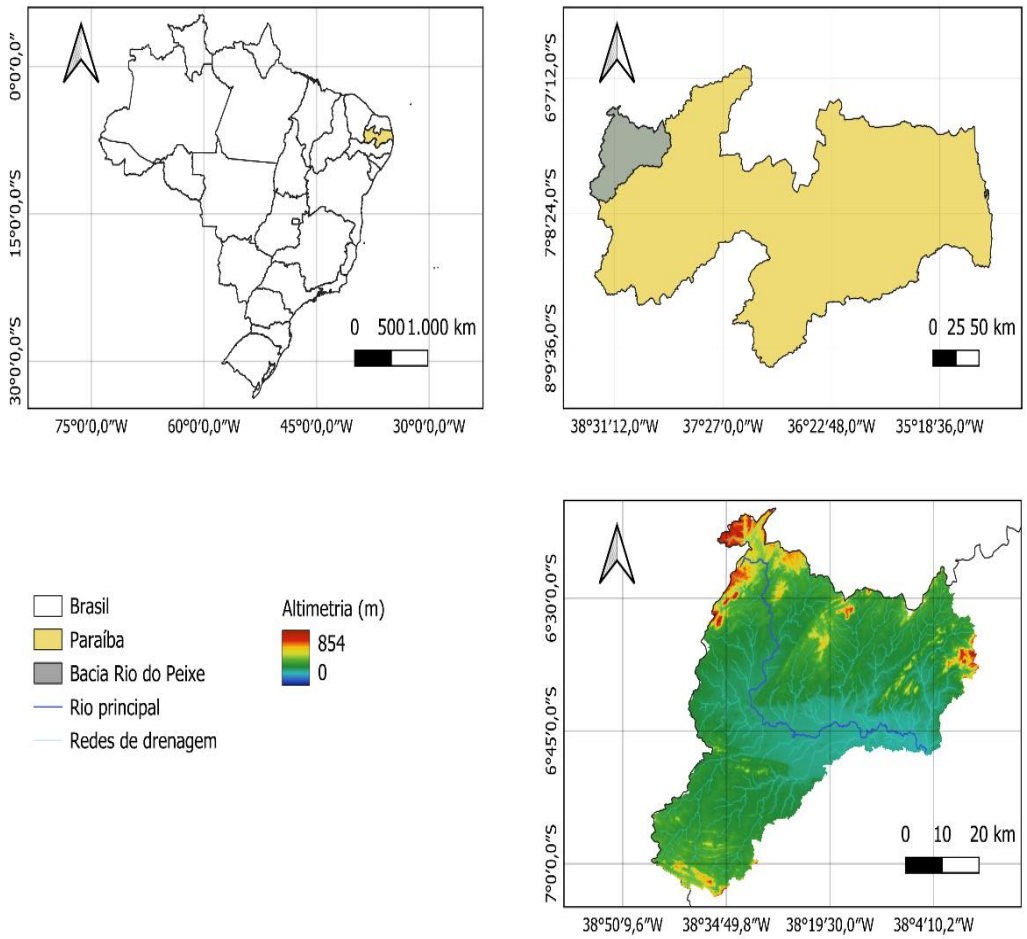
A área de estudo corresponde à BHRP, localizada no Nordeste do Brasil (NEB), inserida no extremo noroeste do estado da Paraíba (Figura 1) e corresponde a uma área total de aproximadamente 3476 km² e um perímetro de 371 km (Passerat de Silans, 2000). Esta Bacia é subdividida em três sub-bacias principais: Brejo das Freiras, Sousa e Pombal, que constituem compartimentos sedimentares distintos dentro do sistema maior (Ramos *et al.*, 2024).

De acordo com Passerat de Silans (2000), a BHRP está integralmente inserida no Sertão paraibano, embora sua porção sudoeste apresente características de clima tropical úmido, segundo a classificação de Köppen, em função dos índices pluviométricos relativamente elevados. Do ponto de vista pedológico, predominam solos rasos, como afloramentos rochosos e Litossolos Eutróficos, solos de profundidade média, incluindo os Bruno Não Cálcicos e os Podzólicos Vermelhos, além de áreas de aluvião.

Do ponto de vista geológico, a Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe é uma bacia poligenética, limitada pela zona de cisalhamento pré-cambriana localizada dentro da Província de Borborema. Ela integra um sistema de bacias intracontinentais do NEB, cuja evolução estrutural está associada ao processo de *rifting* ocorrido durante o Cretáceo Inferior (Lima *et al.*, 2025). Esse contexto tectônico confere à região características sedimentares e estruturais particulares, essenciais para a compreensão da sua evolução geológica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe



Fonte: Autores (2026)

Os padrões de uso e ocupação do território exercem papel determinante sobre o comportamento das respostas espectrais e sobre o balanço energético, refletindo-se no aquecimento da superfície terrestre. Modificações na dinâmica da paisagem, especialmente relacionadas à supressão ou regeneração da vegetação, refletem-se diretamente em métricas biofísicas como IVDN, Albedo e temperatura da superfície. Diante disso, a avaliação da evolução espaço-temporal do uso do solo torna-se fundamental para compreender a interação entre esses indicadores.

Nesse contexto, foi realizada uma análise comparativa das classes de uso e cobertura da terra na BHRP, considerando os anos de 2001 e 2020, com base nos dados disponibilizados pelo projeto MapBiomas (Coleção 10).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Bandas multiespectrais e dados Landsat

As imagens utilizadas nesta pesquisa foram obtidas a partir dos satélites da série Landsat 5, 7 e 8, amplamente empregados em estudos de monitoramento ambiental e análise temporal das mudanças no uso e na cobertura da terra. O Landsat 5 e o Landsat 7 operam com os sensores Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), respectivamente, os quais fornecem bandas multiespectrais nas regiões do visível, infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR), além de banda termal destinada à estimativa da temperatura da superfície terrestre (Roba *et al.*, 2025).

O Landsat 8, lançado em 2013, apresenta avanços tecnológicos em relação aos sensores anteriores, sendo equipado com o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que proporcionam maior resolução radiométrica e melhor qualidade espectral. O sensor OLI registra informações nas faixas do visível, NIR e SWIR, enquanto o TIRS disponibiliza dados termais, com destaque para a Banda 10, amplamente empregada em estudos de estimativa da temperatura da superfície terrestre. Esses aprimoramentos contribuem para análises mais detalhadas e consistentes das dinâmicas ambientais ao longo do tempo.

Dessa forma, foram utilizadas imagens das Coleções 2 – Nível 2 dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8, todas disponibilizadas no ambiente do GEE. Essas imagens apresentam calibração radiométrica e correção atmosférica, garantindo maior consistência e comparabilidade dos dados espectrais empregados nas análises.

Os dados foram organizados em intervalos temporais de cinco anos, considerando a disponibilidade operacional de cada sensor Landsat. Essa estratégia permitiu a integração de informações espectrais e térmicas ao longo de quase duas décadas, a partir de produtos previamente corrigidos para reflectância de superfície, assegurando maior robustez e comparabilidade entre os diferentes sensores. A distribuição temporal dos dados e os sensores empregados encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Sensores Landsat e períodos temporais utilizados na análise

Satélite	Sensor	Período de análise	Intervalo temporal
Landsat 5	TM	01/01/2001 a 31/12/2005	5 anos
Landsat 5	TM	01/01/2006 a 31/12/2010	5 anos
Landsat 7	ETM+	01/01/2011 a 31/12/2015	5 anos
Landsat 8	OLI/TIRS	01/01/2016 a 31/12/2020	5 anos

Para cada intervalo temporal, foram geradas composições baseadas na mediana dos valores ao longo do período para os mapas de IVDN, albedo e temperatura da superfície.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Adicionalmente, para cada composição temporal, foi estimada a temperatura máxima da superfície, a partir da identificação dos pixels com maiores valores de TST.

Cálculo do albedo

O albedo planetário (α_{TOA}) foi estimado a partir de uma combinação ponderada das refletâncias no topo da atmosfera (TOA) das bandas do visível e do infravermelho próximo, conforme proposto por Bastiaanssen *et al.* (1998) e adaptado para os sensores Landsat. Para os sensores Landsat 5 (TM) e Landsat 7 (ETM+), o albedo planetário foi calculado segundo a Equação (1), conforme Galvíncio *et al.* (2006) e Pavão *et al.* (2015):

$$\alpha_{\mathrm{TOA}} = 0{,}293\rho_1 + 0{,}274\rho_2 + 0{,}233\rho_3 + 0{,}157\rho_4 + 0{,}033\rho_5 + 0{,}011\rho_7 \quad (1)$$

Para o Landsat 8 (OLI), considerando as diferenças na resposta espectral do sensor, o albedo planetário foi obtido conforme a Equação (2), de acordo com Silva *et al.* (2016):

$$\alpha_{TOA} = 0{,}300\rho_2 + 0{,}277\rho_3 + 0{,}233\rho_4 + 0{,}143\rho_5 + 0{,}036\rho_6 + 0{,}012\rho_7 \quad (2)$$

O albedo da superfície (α_{sup}) foi determinado a partir da correção atmosférica do albedo planetário, considerando os efeitos da atmosfera sobre a radiação de onda curta, conforme Allen *et al.* (2002):

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{TOA} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (3)$$

em que α_{atm}representa a refletância média da atmosfera, adotada como 0,03, e τ_{sw}corresponde à transmissividade atmosférica de onda curta (Silva *et al.*, 2016). A transmissividade atmosférica foi estimada em função da altitude do terreno (z, em metros), conforme Allen *et al.* (2002):

$$\tau_{sw} = 0{,}75 + 2 \times 10^{-5} \cdot z \quad (4)$$

Todos os procedimentos foram implementados no ambiente do GEE, permitindo o processamento automatizado e pixel a pixel das imagens, bem como a geração dos mapas de albedo planetário e de albedo da superfície, possibilitando análises espaciais e temporais consistentes.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Cálculo dos índices espectrais

O IVDN foi utilizado para representar o contraste espectral entre a vegetação e outras superfícies, sendo sensível à intensidade e quantidade de vegetação (Das *et al.*, 2023). O índice foi calculado conforme a Equação (5), proposta por Rouse *et al.* (1974):

$$IVDN = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (5)$$

em que *NIR* corresponde à reflectância da banda do infravermelho próximo e *RED* à reflectância da banda do vermelho. Para cada satélite da série Landsat, foram adotadas as seguintes bandas espectrais: Landsat 5 (TM), com *RED* correspondente à Banda 3 e *NIR* à Banda 4; Landsat 7 (ETM+), com *RED* na Banda 3 e NIR na Banda 4; e Landsat 8 (OLI), com *RED* na Banda 4 e *NIR* na Banda 5 (Roba *et al.*, 2025). Conforme Roba *et al.* (2025), a refletância no espectro do vermelho constitui um importante indicativo do estado fisiológico da vegetação, uma vez que valores mais baixos estão associados a plantas estressadas ou doentes, enquanto valores mais elevados tendem a caracterizar vegetação em boas condições de saúde.

O IVAS e o IAF são índices que consideram simultaneamente o efeito do brilho do solo e a densidade da vegetação, proporcionando uma representação mais realista das condições da cobertura vegetal, conforme discutido por Tasumi *et al.* (2008). Esses índices foram obtidos conforme as Equações (6) e (7), respectivamente:

$$IVAS = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}(1 + L) \quad (6)$$

$$IAF = -\frac{ln(\frac{0{,}69 - IVAS}{0{,}59})}{0{,}91} \quad (7)$$

onde L representa um fator de ajuste relacionado às características do solo, adotado neste estudo como L = 0,5, valor comumente utilizado em áreas semiáridas, especialmente em condições de baixa densidade de cobertura vegetal (Rêgo *et al.*, 2012; Kreri *et al.*, 2026).

O IVAS é particularmente eficaz em regiões com vegetação esparsa, pois reduz o impacto da reflectância do solo (Das *et al.*, 2023). O IAF, por sua vez, é um indicador importante no monitoramento da dinâmica da vegetação, produtividade primária e no balanço energético de ecossistemas naturais e agrícolas (Gavilan-Acuña *et al.*, 2024).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Estimativa da temperatura da superfície

A estimativa da TST foi realizada a partir das bandas termais dos sensores TM, ETM+ e TIRS, considerando a emissividade espectral da superfície. Como os alvos terrestres não se comportam como corpos negros ideais, a emissividade foi estimada em função do IAF. De acordo com Allen *et al.* (2002), para pixels com IVDN > 0 e IAF < 3, a emissividade na porção espectral da banda termal pode ser estimada por:

$$\varepsilon_{nb} = 0{,}97 + 0{,}0033\, IAF \tag{8}$$

Para pixels que apresentam IAF ≥ 3, adotou-se $\varepsilon_{nb} = 0{,}98$, enquanto para corpos de água (IAF = 0) foram utilizados $\varepsilon_{nb} = 0{,}99$, conforme recomendações de Allen *et al.* (2002).

A temperatura da superfície foi obtida por meio da forma inversa da equação de Planck, adaptada para sensores orbitais, utilizando a radiância espectral da banda termal e a emissividade estimada (Markham; Barker, 1987), adaptado para sensores orbitais. A Equação (9) expressa o cálculo da temperatura em Kelvin (K):

$$T = \frac{K_2}{ln\left(\frac{\varepsilon_{nb} K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \tag{9}$$

Para o satélite Landsat 5 – TM, foram adotadas as constantes espectrais K_1 = 607,76 e K_2 = 1260,56, referentes à Banda 6, utilizadas na conversão da radiância espectral em temperatura de brilho. De forma análoga, para o Landsat 7 – ETM+, empregaram-se as constantes K_1 = 666,09 e K_2 = 1282,71, também associadas à Banda 6. Já para o Landsat 8 – TIRS, foram utilizadas as constantes específicas da Banda 10, sendo K_1 = 774,8853 e K_2 = 1321,0789 (Sayler; Zanter, 2024; Ihlen; Zanter, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

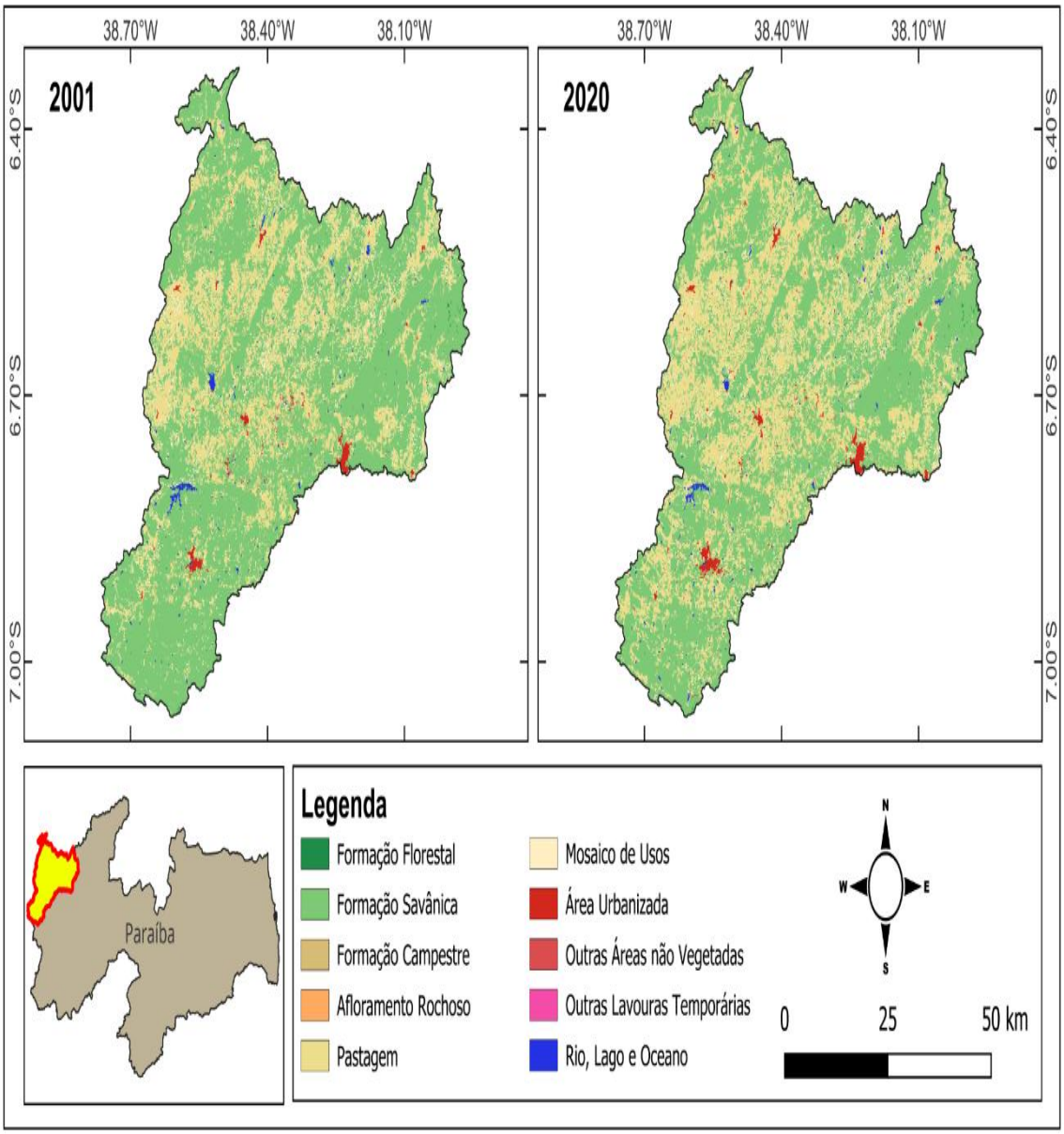
Dinâmica do uso e cobertura da terra na BHRP

A análise da dinâmica do uso e cobertura da terra na BHRP foi realizada a partir dos dados do MapBiomas Coleção 10, comparando os anos de 2001 e 2020. Essa avaliação permitiu identificar transformações espaciais significativas nas classes de uso e cobertura do solo ao longo de quase duas décadas, conforme pode ser observado na Figura 2. Em 2001, a classe Formação Savânica predominava amplamente na bacia, ocupando cerca de 2.359,56 km²,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

seguida pelas áreas de Pastagem, com aproximadamente 793,96 km², e pelo Mosaico de Agricultura e Pastagem, com 225,44 km², conforme Tabela 2.

Figura 2. Mapa de uso e cobertura da terra da (BHRP) para os anos de 2001 e 2020, elaborado a partir dos dados do MapBiomas Coleção 10



Fonte: Autores (2026)

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 2. Áreas das classes de uso e cobertura da terra na BHRP (2001 e 2020)

Classe de Uso/Cobertura do Solo	Área 2001 (km²)	Área 2020 (km²)	Diferença (km²)
Formação Savânica	2359.56	2003.44	-356.1
Pastagem	793.96	1153.73	359.8
Mosaico de Usos	225.44	206.84	-18.6
Área Urbanizada	22.78	37.26	14.5
Rio, Lago e Oceano	21.80	23.41	1.6
Outras Áreas Não Vegetadas	4.30	1.93	-2.4
Formação Florestal	2.26	2.33	0.1
Afloramento Rochoso	0.45	0.44	0.0
Outras Lavouras Temporárias	0.18	0.07	-0.1
Formação Campestre	0.18	1.30	1.1

Fonte: Adaptado do MapBiomas (2025).

As áreas de Formação Florestal apresentavam participação reduzida (2,26 km²), refletindo o histórico de supressão da vegetação mais densa típico das regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. A Infraestrutura Urbana, embora presente, ocupava uma área relativamente pequena (22,78 km²), concentrada nos principais núcleos urbanos da bacia.

No ano de 2020, observou-se uma reorganização importante dessas classes. A Formação Savânica, apesar de continuar dominante, apresentou redução expressiva de área, passando para aproximadamente 2.003,44 km². Em contrapartida, as áreas de Pastagem aumentaram significativamente, atingindo cerca de 1.153,73 km², indicando a intensificação das atividades agropecuárias na região. A classe Infraestrutura Urbana também apresentou crescimento, alcançando 37,26 km², evidenciando o avanço do processo de urbanização ao longo do período analisado.

Essas mudanças refletem um padrão de conversão de áreas naturais ou seminaturais em superfícies antropizadas, especialmente pastagens, processo amplamente documentado em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro (Santos *et al.*, 2020; Barros *et al.*, 2025). Tal dinâmica tende a impactar diretamente o balanço energético da superfície, influenciando variáveis como o IVDN, o albedo e a temperatura da superfície terrestre.

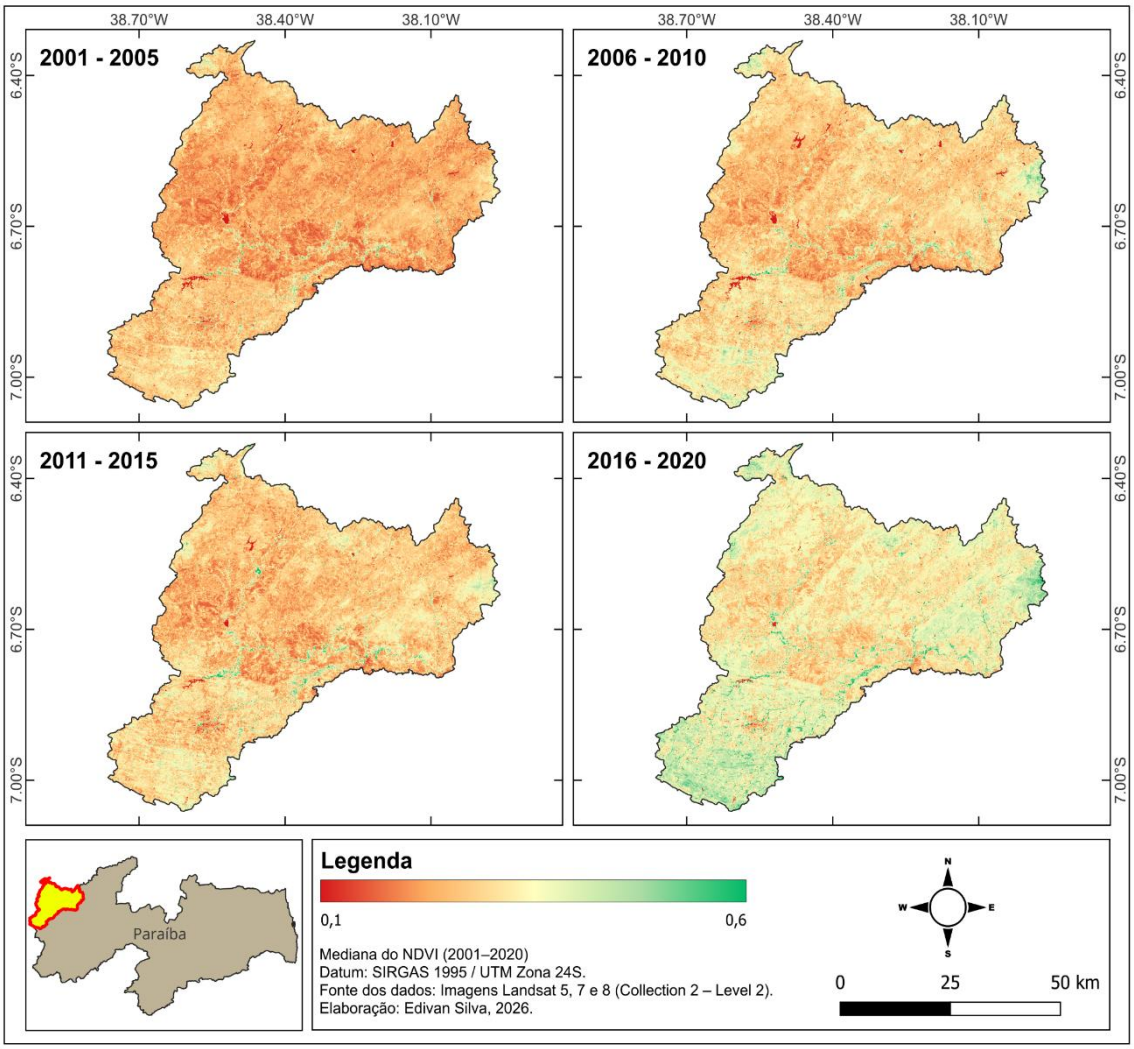
Variação espaço-temporal do IVDN

O IVDN apresentou variações significativas ao longo dos períodos analisados, refletindo as mudanças observadas na cobertura da terra da BHRP. No intervalo de 2001 a 2005, os

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

valores médios de IVDN foram de 0,2474, com valores mínimos negativos (-0,1193), associados principalmente a superfícies expostas, áreas urbanas e corpos d'água, e valores máximos de 0,6562, característicos de áreas com maior densidade de vegetação, conforme Figura 3.

Figura 3. Mapas de IVDN médio da BHRP



Fonte: Autores (2026)

Entre 2006 e 2010, observou-se um aumento no valor médio do IVDN para 0,2878, indicando melhoria nas condições da cobertura vegetal. Esse comportamento pode estar relacionado à variabilidade climática interanual, bem como a práticas locais de uso do solo que favoreceram períodos de maior vigor vegetativo. De acordo com Pettorelli *et al.* (2005), o IVDN

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

é amplamente utilizado para detectar respostas da vegetação às variações climáticas, especialmente em regiões sensíveis à disponibilidade hídrica.

No período de 2011 a 2015, o IVDN médio manteve-se relativamente estável (0,2806), embora com um aumento no valor máximo (0,7889), sugerindo a presença pontual de áreas com vegetação mais densa. Padrões semelhantes foram identificados em estudos de dinâmica da vegetação em regiões semiáridas, nos quais a heterogeneidade espacial resulta em variações locais significativas do índice, mesmo quando os valores médios permanecem estáveis (Gao, 1996).

O maior incremento foi registrado no período de 2016 a 2020, quando o IVDN médio atingiu 0,3483, com valor máximo de 0,8556. Esse aumento pode estar associado à expansão de áreas agrícolas com maior cobertura vegetal em determinados períodos do ano, bem como a processos de regeneração secundária em áreas anteriormente degradadas. No entanto, esse crescimento do IVDN não implica necessariamente melhoria ambiental, uma vez que culturas agrícolas e pastagens manejadas também podem apresentar valores elevados do índice. Essa limitação é discutida por Huete *et al.* (2002), que ressaltam a dificuldade do IVDN em diferenciar tipos de cobertura vegetal.

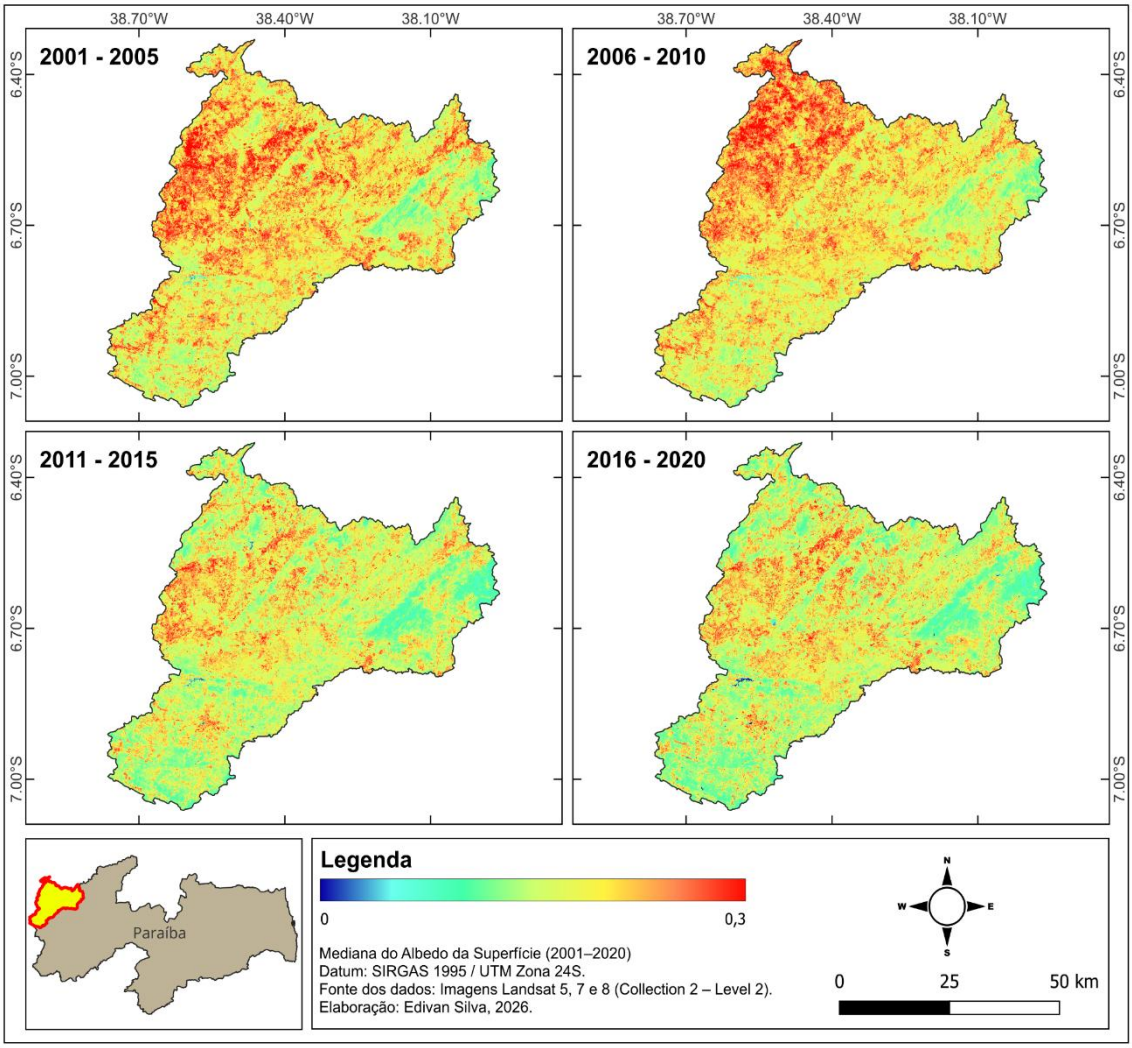
De modo geral, os padrões espaciais do IVDN mostram forte correspondência com as classes de uso e cobertura da terra identificadas pelo MapBiomas, evidenciando valores mais elevados nas áreas de formação savânica preservada e menores valores nas regiões urbanizadas e com solo exposto. Essa relação entre uso da terra e índices espectrais é amplamente documentada na literatura de sensoriamento remoto (Tucker, 1979; Bindajam *et al.*, 2020), sendo também observada em análises de longa duração no território brasileiro com uso de imagens Landsat (Souza *et al.*, 2020).

Comportamento do albedo da superfície

O albedo da superfície apresentou tendência de redução ao longo do período analisado, conforme visto na Figura 4. Entre 2001 e 2005, o valor médio foi de 0,2011, mantendo-se praticamente constante no período seguinte (2006–2010). A partir de 2011, observou-se uma diminuição progressiva, com médias de 0,1720 no intervalo 2011–2015 e 0,1696 entre 2016 e 2020. Em geral, valores mais elevados de albedo estão geralmente associados a superfícies mais claras, como solos expostos e áreas urbanizadas, enquanto valores mais baixos indicam superfícies com maior cobertura vegetal, capazes de absorver maior quantidade de radiação solar.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 4. Mapas do albedo médio da superfície da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe



Fonte: Autores (2026)

A redução do albedo médio mostra-se consistente com o aumento dos valores de IVDN, indicando maior presença de cobertura vegetal ativa em determinadas áreas da bacia. No entanto, a distribuição espacial do albedo revela uma marcada heterogeneidade, evidenciando contrastes entre áreas agrícolas, pastagens degradadas e remanescentes de vegetação natural. Regiões caracterizadas pela expansão de pastagens extensivas e pela presença de solo parcialmente exposto tendem a apresentar valores mais elevados de albedo, o que reforça a necessidade de uma análise integrada com dados de uso e cobertura da terra. Nesse contexto,

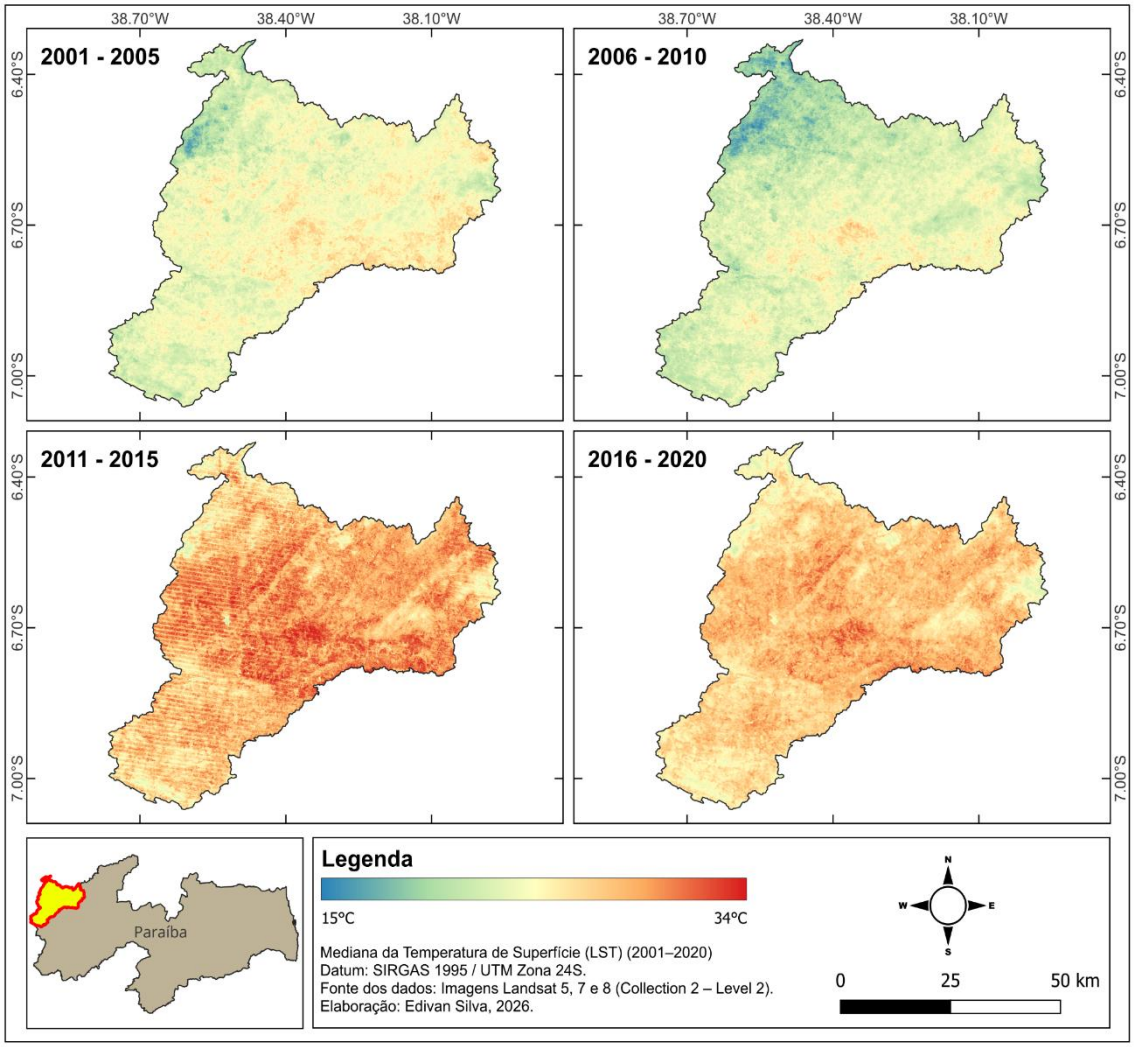
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

estudos recentes demonstram que a dinâmica do albedo está intimamente associada às mudanças no uso do solo, especialmente em regiões semiáridas, onde processos de regeneração vegetal contribuem para a redução da refletância superficial (Zhu *et al.*, 2024).

Temperatura da Superfície Terrestre (TST)

A Temperatura da Superfície Terrestre (TST) apresentou aumento expressivo ao longo da série temporal, Figura 5. No período de 2001 a 2005, a TST média foi de 23,89 °C, reduzindo-se para 22,63 °C entre 2006 e 2010. Esse comportamento pode estar relacionado a variações climáticas regionais e à distribuição sazonal das imagens utilizadas na composição.

Figura 5. Mapas da temperatura da superfície terrestre (TST média) da BHRP



Fonte: Autores (2026)

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A partir de 2011, observou-se um aumento significativo da TST média, atingindo 28,68 °C no período 2011–2015 e mantendo-se elevada entre 2016 e 2020, com média de 27,45 °C. Esse incremento térmico está fortemente associado às mudanças no uso e cobertura da terra, especialmente à expansão das áreas de pastagem e infraestrutura urbana, que apresentam menor capacidade de evapotranspiração e maior absorção de calor na superfície. Adicionalmente, esse período coincide com uma sequência de anos marcados por eventos de seca de elevada severidade no Nordeste brasileiro, com destaque para o intervalo de 2012 a 2014, considerado um dos mais críticos dos últimos cem anos, com impactos expressivos sobre a agricultura, os recursos hídricos e a produção de energia, além da decretação de situação de emergência em grande parte dos municípios do semiárido, prolongando-se até 2016 (Silva *et al.*, 2025).

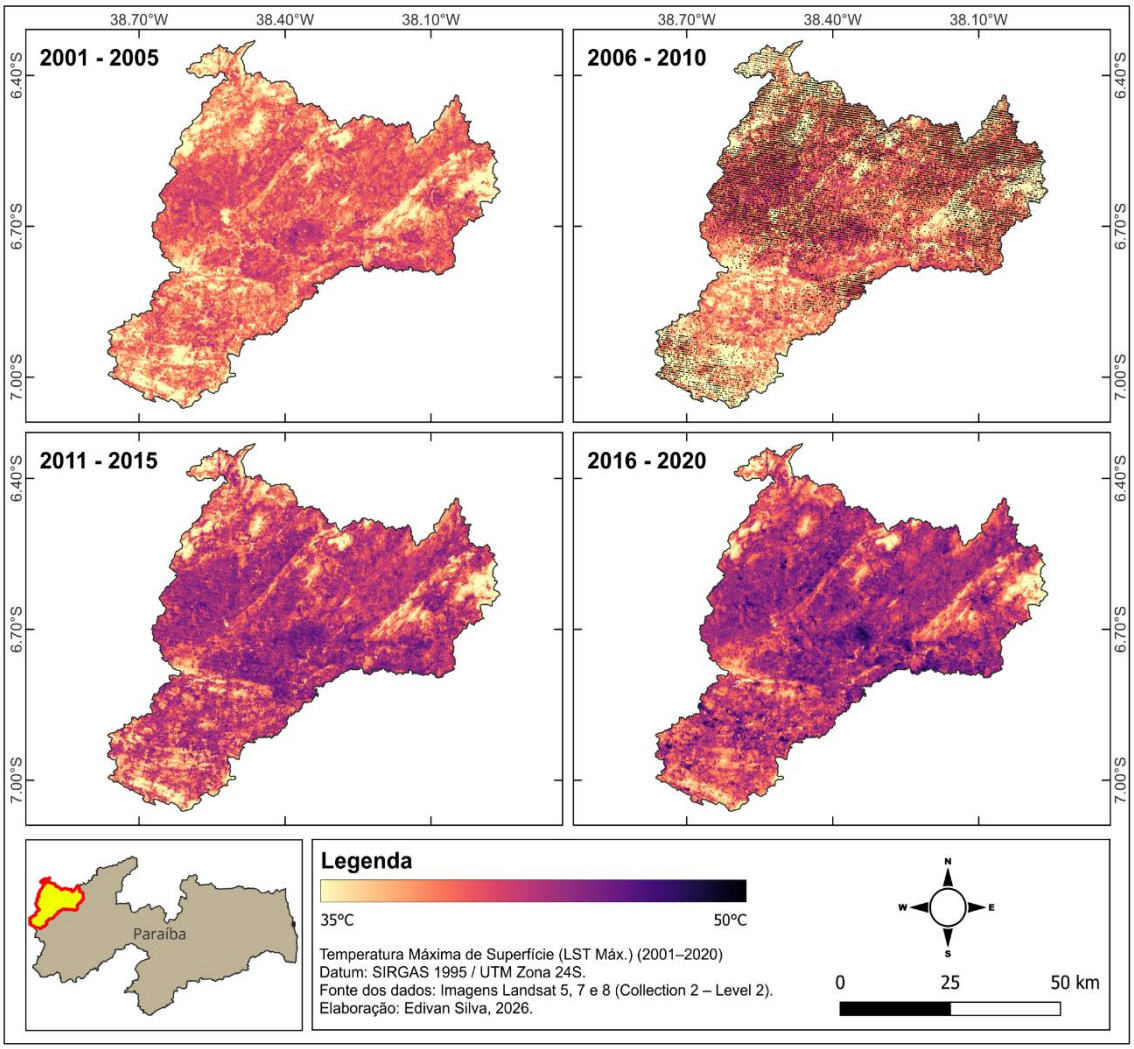
Os mapas espaciais de TST evidenciam a formação de ilhas de calor superficiais em áreas urbanizadas e em regiões com solo exposto, enquanto áreas com maior cobertura vegetal apresentam temperaturas mais amenas. Esse padrão reforça a relação inversa entre o IVDN e a TST, amplamente descrita na literatura, na qual áreas com maior densidade de vegetação promovem o resfriamento da superfície por meio da evapotranspiração e do sombreamento. Nesse contexto, a cobertura vegetal desempenha papel fundamental na regulação térmica, contribuindo para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor e para a melhoria da qualidade ambiental (Sun *et al.*, 2025). Além disso, a presença de corpos hídricos e áreas vegetadas intensifica o efeito de resfriamento, favorecendo a redução das temperaturas superficiais e o equilíbrio microclimático (Bindajam *et al.*, 2020).

Temperatura Máxima da Superfície (TST MAX)

A análise da Temperatura Máxima da Superfície (TST_MAX), Figura 6, reforça os padrões observados para a TST média. Entre 2001 e 2005, a TST_MAX média foi de 39,00 °C, aumentando para 43,88 °C no período 2006–2010. No intervalo de 2011 a 2015, a média foi de 41,32 °C, enquanto entre 2016 e 2020 atingiu 42,02 °C.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 6. Mapas da temperatura máxima da superfície da BHRP



Fonte: Autores (2026)

Os valores máximos elevados de TST MAX, especialmente no período 2006–2010, indicam a ocorrência de eventos térmicos extremos, possivelmente associados a anos de seca mais severa e à maior exposição do solo.

A distribuição espacial da TST_MAX demonstra que áreas com maior grau de antropização concentram os valores mais elevados, enquanto regiões com maior densidade vegetal atuam como zonas de amortecimento térmico. Esse comportamento evidencia o papel fundamental da cobertura vegetal na mitigação dos extremos térmicos, contribuindo para a regulação microclimática e a manutenção do equilíbrio ambiental. Dessa forma, a vegetação

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

exerce forte controle sobre a variabilidade térmica da superfície, reduzindo tanto a temperatura média quanto os picos extremos (Gohr *et al.*, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou que as mudanças no uso e cobertura da terra na BHRP, entre 2001 e 2020, exerceram influência direta sobre os índices espectrais e a temperatura da superfície terrestre. A redução das áreas de formação savânica e a expansão das pastagens e da infraestrutura urbana caracterizaram um processo de intensificação da antropização da paisagem, típico de bacias inseridas no semiárido nordestino.

O aumento dos valores médios de IVDN ao longo do período não representa, necessariamente, melhoria ambiental, uma vez que está associado, em grande parte, à ampliação de áreas agrícolas e pastagens manejadas. Paralelamente, a redução do albedo e o aumento progressivo da temperatura da superfície, sobretudo a partir de 2011, refletem alterações no balanço energético da superfície decorrentes da substituição de coberturas naturais por superfícies com menor capacidade de evapotranspiração.

A análise espacial da TST e da temperatura máxima evidenciou maiores valores térmicos nas áreas mais antropizadas, enquanto regiões com maior cobertura vegetal atuaram como amortecedores térmicos, confirmando a relação inversa entre IVDN e temperatura da superfície.

Dessa forma, a abordagem baseada em dados Landsat e índices espectrais mostrou-se eficiente para a análise espaço-temporal das dinâmicas ambientais na bacia. Os resultados reforçam a importância da conservação da cobertura vegetal e do planejamento do uso do solo como estratégias fundamentais para a mitigação dos impactos térmicos e para a sustentabilidade ambiental da BHRP.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)**: Advance Training and Users Manual - Idaho Implementation. [S. l.]: [s. n.], 2002.

ALMEIDA, C. C. *et al.* Representative water quality parameters in a critical water basin: elements for planning and management. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 28, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.282320230035

ASCHENEFE, W. A. *et al.* Quantifying the impacts of land use/land cover changes on ecosystem service values in the upper Gilgel Abbay watershed, Ethiopia. **Regional Sustainability**, v. 6, n. 1, 100197, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.regsus.2025.100197

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

BARROS, E. R. O.; ANDRADE, M. O.; SILVA, C. F. A. Spatial analysis of land use and land cover change and irregular settlements along BR-104, in Northeast Brazil. **Latin American Transport Studies**, v. 3, 100041, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.latran.2025.100041

BINDAJAM, A. A. *et al.* Impacts of vegetation and topography on land surface temperature variability over the semi-arid mountain cities of Saudi Arabia. **Atmosphere**, v. 11, n. 7, p. 762, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos11070762

COSTA FILHO, W. D. *et al.* Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. Recife: CPRM/UFCG/FINEP, 2005.

DAS, A. C. *et al.* Assessment of remote sensing-based indices for drought monitoring in the north-western region of Bangladesh. **Heliyon**, v. 9, e13016, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13016

GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA, A. C. B.; ARAÚJO, M. S. B. de. Determinação do albedo no município de Belém do São Francisco com base em imagens Landsat 7. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 23, n. 3, 2006.

GAO, B. C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water. **Remote Sensing of Environment**, 1996. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

GAVILAN-ACUÑA, G. *et al.* Characterizing annual leaf area index changes and volume growth using ALS and satellite data in forest plantations. **Science of Remote Sensing**, v. 10, 100159, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100159

GHOUL, I. E. *et al.* Impact of land use land cover changes on flow uncertainty in Siliana watershed of northwestern Tunisia. **Catena**, v. 220, n. 8, 106733, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106733

GOHR, C. *et al.* Quantifying the mitigation of temperature extremes by forests and wetlands in a temperate landscape. **Ecological Informatics**, v. 66, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101442

HAGAGE, M.; HEWAIDY, A. G. A.; ABDULAZIZ, A. M. Saltwater intrusion and land subsidence destroy northern Nile Delta archaeological sites: An assessment using hydrochemical indices, SAR satellite imagery, and analytic hierarchy process (AHP). **Marine Pollution Bulletin**, v. 212, 117460, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117460

HUETE, A. R. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2

IHLEN, V.; ZANTER, K. **Landsat 8 (L8) data users handbook**. US Geological Survey, v. 670, 2019.

KRERI, S. *et al.* Remote sensing assessment of vegetation and moisture dynamics in semi-arid regions. **Scientific Reports**, v. 16, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-026-37781-8

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

LEAL, M. V. S.; RAMOS, A. C. D. A bacia hidrográfica urbana do Tucunduba: impactos no uso e ocupação do solo em Belém, Pará. **Diálogos Interdisciplinares**, v. 3, 2022.

LIANSANGPUII *et al.* Impact assessment of rainwater management interventions on land use land cover changes in Parasai-Sindh watershed of Bundelkhand Region, Central India. **Ecological Engineering**, v. 201, 107213, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107213

LIMA, L. M. A. *et al.* New palynological data and paleoenvironmental implications for the Lower Devonian and Lower Cretaceous successions in the Rio do Peixe Basin, Brazil: Sedimentary organic matter analyses. **Journal of South American Earth Sciences**, 105805, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105805

MARENGO, J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 89, n. 3, p. 1973-1985, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517–523, 1987. DOI: https://doi.org/10.1080/01431168708948658

NGAMILE, S.; MADONSELA, S.; KGANYAGO, M. Trends in remote sensing of water quality parameters in inland water bodies: a systematic review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1549301

PAIVA, M. H. R. *et al.* Simulation of water quality and land use impacts in paired watersheds of the Doce river using warm-GIS tools. **Ecohydrology & Hydrobiology**, 100652, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100652

PASSERAT DE SILANS, A. M. B. *et al.* Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do Rio do Peixe – Estado da Paraíba. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 5–19, 2000. DOI: http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v5n3.p5-19

PASSOS, F. O.; SILVA, B. C.; SILVA, F. G. B. Avaliação de Impactos de Mudanças no Uso e Manejo do Solo Sobre as Vazões da Bacia Hidrográfica do Ribeirão José Pereira, Utilizando o Modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 619-633, 2021. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p619-633

PAVÃO, V. M. *et al.* Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40128

PETTORELLI, N. *et al.* Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011

RAMOS, G. V. *et al.* Architectural rift geometry of the Rio do Peixe Basin (Brazil): Implications for its tectonic evolution and Precambrian heritage. **Tectonophysics**, 230173, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230173

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

RÊGO, S. C. A. *et al.* Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1217–1229, 2012.

ROBA, Z. R. *et al.* Spatial analysis of land use and cover changes: Implications of green legacy initiative on climate action in Upper Awash Basin, Ethiopia. **Trees, Forests and People**, v. 20, 100875, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100875

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In*: **Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**. [S. l.]: NASA, 1974. p. 309–317.

SANTOS, E. S. dos *et al.* Determinação da produtividade primária bruta na região Nordeste do Brasil com base em dados meteorológicos e satelitários do Google Earth Engine. In: **Congresso de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da UFCG,** 20., 2023, Campina Grande. Anais [...]. Universidade Federal de Campina Grande, 2023.

SANTOS, E. S. dos *et al.* Monitoramento mensal da variabilidade espacial da vegetação no estado da Paraíba e Pernambuco usando dados do satélite MODIS/Terra/Aqua para o período de 2023/2024. In: **Congresso de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da UFCG**, 21., 2024, Campina Grande. Anais [...]. Universidade Federal de Campina Grande, 2024.

SANTOS, M. V. *et al.* Uso e ocupação do solo e qualidade da água do rio Crato no município de Humaitá-AM, Brasil. **Revista Valore**, v. 5, 2020. DOI: https://doi.org/10.22408/reva502020447e-5040

SANTOS, P. S.; SANTOS, M. E. G.; SANTOS, R. Uso e ocupação do solo: reflexão sobre impacto ambiental. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.36725/agries.v7i1.5208

SAYLER, K.; ZANTER, K. **Landsat 7 (L7) data users handbook**. US Geological Survey, v. LSDS-1927 (Version 3.0), 2024.

SILVA, B. B. *et al.* Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8

SILVA, M. D. P. B. *et al.* Drought in northeast Brazil: History, climatic and social implications. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 37, 2025. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v37i21.19848

SILVA, V. P.; ORLANDA, J. F. F. Evolução temporal do sensoriamento remoto no contexto da detecção de áreas degradadas na Amazônia: uma revisão sistemática. **Revista Casa da Geografia de Sobral**, v. 26, n. 1, p. 169-182, 2024. DOI: https://doi.org/10.35701/rcgs.v26.922

SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12172735

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SUN, X. *et al.* Impact of urban green space morphology and vegetation composition on seasonal land surface temperature: A case study of Beijing's urban core. **Urban Climate**, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102367

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 51–63, 2008. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(51

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 1979. DOI: https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0

YAVARI, Z.; SHAHMIRI, A.; NIKOO, M. R. Accessible reservoir water quality monitoring: An integrated google earth engine and machine learning framework. **Environmental Modelling & Software**, v. 196, 106767, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106767

ZHU, Q. *et al.* Changes in albedo and its radiative forcing of grasslands in East Asia drylands. **Carbon Research**, v. 13, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s13717-024-00493-w

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.