

# Técnicas de geoprocessamento aplicadas para análise temporal do microclima na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, Maranhão

Geoprocessing techniques applied for temporal analysis of the microclimate in the Pequiá stream watershed, Maranhão

Técnicas de geoprosesamiento aplicadas para el análisis temporal del microclima en la cuenca del arroyo Pequiá, Maranhão



**Felipe Alexandre Rizzo**

Instituto Federal do Maranhão, IFMA, Bom Jesus das Selvas, Maranhão, Brasil

[feliperizzo@ifma.edu.br](mailto:feliperizzo@ifma.edu.br)



**Arthur Pereira dos Santos**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Sorocaba, São Paulo, Brasil,

[arthur.p.santos@unesp.br](mailto:arthur.p.santos@unesp.br)



**Darllan Collins da Cunha e Silva**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Sorocaba, São Paulo, Brasil

[darllan.collins@unesp.br](mailto:darllan.collins@unesp.br)

**Resumo** A supressão da vegetação, o incremento das atividades antrópicas sem as medidas de mitigação necessárias e as alterações climáticas ocorridas ao longo dos anos têm sido importantes indicadores da degradação ambiental, implicando diretamente na qualidade de vida e na saúde da população. Diante do avanço tecnológico e do aprimoramento das técnicas de geoprocessamento, avaliar essas alterações está se tornando um importante instrumento norteador de políticas públicas, principalmente pela possibilidade das análises temporais por meio do Sensoriamento Remoto (SR). Nesse sentido, o presente estudo analisou, por meio de imagens de satélite LANDSAT-5 e 8 e em dois períodos distintos - 1984 e 2020 -, a relação e variação espaço temporal da

Temperatura da Superfície (TST) com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, que possui extensão territorial de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup> e está inserida nos municípios de Açailândia, São Francisco do Brejão e João Lisboa, estado do Maranhão (MA), sendo verificado que a supressão da vegetação, impulsionada pelos 36 anos de atividades antrópicas intensas e sem o monitoramento adequado, alterou a dinâmica da floresta em diversos pontos da bacia, ocasionando no aumento médio da TST de 4°C, sendo possível concluir que existe no local a necessidade da recomposição florestal em pontos estratégicos da bacia, de forma a mitigar tais impactos. Por fim, acredita-se que os resultados aqui apresentados possam ser utilizados como subsídios aos gestores públicos do estado do MA, a fim de utilizá-los para realização do monitoramento da supressão temporal da vegetação e das mudanças climáticas.

**Palavras-Chave:** Sensoriamento Remoto; TST; NDVI; LANDSAT.

**Abstract** The suppression of vegetation, the increase in human activities without the necessary mitigation measures and the climate change that has occurred over the years have been important indicators of environmental degradation, directly affecting the quality of life and health of the population. In view of technological advances and the improvement of geoprocessing techniques, evaluating these changes is becoming an important guiding instrument for public policies, mainly due to the possibility of temporal analysis through Remote Sensing (RS). In this sense, the present study analyzed, through LANDSAT-5 and 8 satellite images in two distinct periods - 1984 and 2020 -, the relationship and spatiotemporal variation of the Surface Temperature (TST) with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the hydrographic basin of the Pequiá stream, which has a territorial extension of approximately 1000 km<sup>2</sup> and is inserted in the municipalities of Açailândia, São Francisco do Brejão and João Lisboa, state of Maranhão (MA), and it was verified that the suppression of vegetation, driven by 36 years of intense anthropogenic activities and without adequate monitoring, altered the dynamics of the forest in several points of the basin, causing an average increase of TST of 4°C, and it is possible to conclude that there is a need for forest recomposition in strategic points of the basin, in order to mitigate such impacts. Finally, it is believed that the results presented here can be used as subsidies to public managers in the state of MA, in order to use them to monitor the temporal suppression of vegetation and climate change.

**Keywords:** Remote Sensing; TST; NDVI; LANDSAT.

**Resumen** La supresión de la vegetación, el aumento de las actividades humanas sin las medidas de mitigación necesarias y el cambio climático que se ha producido a lo largo de los años han sido indicadores importantes de la degradación ambiental, afectando directamente la calidad de vida y la salud de la población. Ante los avances tecnológicos y el perfeccionamiento de las técnicas de geoprocésamiento, la evaluación de estos cambios se está convirtiendo en un importante instrumento orientador de las políticas públicas, principalmente por la posibilidad de análisis temporal a través de la Teledetección (RS). En este sentido, el presente estudio analizó, a través de imágenes satelitales LANDSAT-5 y 8 en dos períodos distintos - 1984 y 2020 -, la relación y variación espacio-temporal de la Temperatura Superficial (TST) con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la cuenca hidrográfica del arroyo Pequiá, que tiene una extensión territorial de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup> y está inserta en los municipios de Açailândia, São Francisco do Brejão y João Lisboa, estado de Maranhão (MA), y se verificó que

la supresión de la vegetación, impulsada por 36 años de intensas actividades antropogénicas y sin un adecuado monitoreo, alteró la dinámica del bosque en varios puntos de la cuenca, provocando un aumento promedio de TST de 4°C, y es posible concluir que existe una necesidad de recomposición forestal en puntos estratégicos de la cuenca, con el fin de mitigar dichos impactos. Finalmente, se cree que los resultados aquí presentados pueden ser utilizados como subsidios a los gestores públicos en el estado de MA, con el fin de utilizarlos para monitorear la supresión temporal de la vegetación y el cambio climático.

**Palabras Clave:** Teledetección; TST; NDVI; LANDSAT.

## Introdução

A expansão demográfica cometida no território brasileiro, ocorrida com maior intensidade entre as décadas de 1960 e 1970, promoveu um elevado processo de migração e ocupação desordenada em alguns municípios, com destaque para aqueles presentes no territórios maranhenses, pois nesse período, com a abertura da Estrada Belém-Brasília, grupos de pessoas oriundas de outros estados, em sua maioria de Minas Gerais (MG) e Bahia (BA), instalaram-se ao longo das obras das rodovias, iniciando então o crescimento habitacional da região (Santos; Nunes, 2018; Santos, 2018).

Nesse sentido, é importante destacar o desenvolvimento dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, devido a, principalmente, sua importância econômica e ambiental para o estado do Maranhão (MA), alavancado pelo desenvolvimento dos municípios que a compõe: a) Açailândia; b) João Lisboa; e c) São Francisco do Brejão, com destaque para os primeiros supracitados, que ocupam a maior extensão territorial da bacia (Rizzo *et al.*, 2022).

Em Açailândia, anteriormente distrito de Imperatriz, o processo de ocupação foi acarretado pela extração madeireira, exploração do ouro, agricultura de subsistência e pecuária, conforme destacado por Carvalho Costa (2022), que ressalta ainda que, posteriormente, a partir da instalação do polo industrial siderúrgico – já na década de 1990 –, o desmatamento local foi ainda mais intensificado, principalmente nas áreas no entorno do córrego do Pequiá, fato que, por um lado, encadeou no crescimento populacional e trouxe um impacto positivo para o desenvolvimento econômico local. Por outro, ocasionou diretamente em impactos ambientais negativos (Sena, 2016).

Convém destacar ainda que a bacia do Pequiá possui fundamental importância para o abastecimento da cidade de Açailândia (CRPM, 2017).

Contudo, mesmo diante dessa relevância, o local está comumente associado à supressão da vegetação para implantação de usos antrópicos, conforme apontado por Rizzo *et al.* (2022), que concluíram que essa situação interfere no arraste das partículas do solo para os corpos hídricos que o compõe, ocasionando no assoreamento e na degradação da qualidade da água.

Já em São Francisco do Brejão, o desenvolvimento foi separado em 2 diferentes momentos, sendo que a fase inicial foi marcada pela extração madeireira e pelas práticas pecuárias. Posteriormente, o processo ocorreu a partir da construção da ferrovia Norte-Sul, que promoveu a conversão de grandes áreas para a criação extensiva, assim como destacado por Castilho e Arrais (2022) e Campos *et al.* (2023).

Diante do exposto, existe a necessidade de se analisar parâmetros ambientais da superfície dessa bacia hidrográfica, de forma a se possibilitar o entendimento sobre as alterações ambientais locais e análises que envolvam o comportamento da classe de vegetação com o decorrer dos anos: afinal, diante do crescimento população nessa região, a cobertura vegetal diminuiu ou foi incrementada com o passar dos anos?

Essa pergunta, aqui destacadas como justificativa para o presente trabalho, não possui resposta quando se trata da bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, pois, até o momento, nada se sabe sobre os impactos ambientais ocasionados pelo processo de ocupação antrópica no local. Entretanto, atualmente, diante do desenvolvimento tecnológico e das possibilidades de se trabalhar, temporalmente, com imagens provenientes de Sensoriamento Remoto (SR), é possível obter uma resposta para tal, por meio, principalmente, da utilização de parâmetros ambientais extraídos das bandas espectrais dos satélites, com destaque para a Temperatura da Superfície (TST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), conforme destacado por Santos *et al.* (2023).

Nesse sentido, autores como Amorim (2019), Ullah *et al.* (2023), Mohanasundaram *et al.* (2023), Santos *et al.* (2022) e Santos e Simionatto

(2023) apontam para a importância de se realizar estudos temporais utilizando o satélite LANDSAT, onde é possível associar e avaliar os impactos negativos ocasionados pelo incremento das atividades antrópicas, com destaque para as análises de supressão da vegetação e do comportamento da TST, que, quando intensificado, atinge as formações de ilhas de calor urbana.

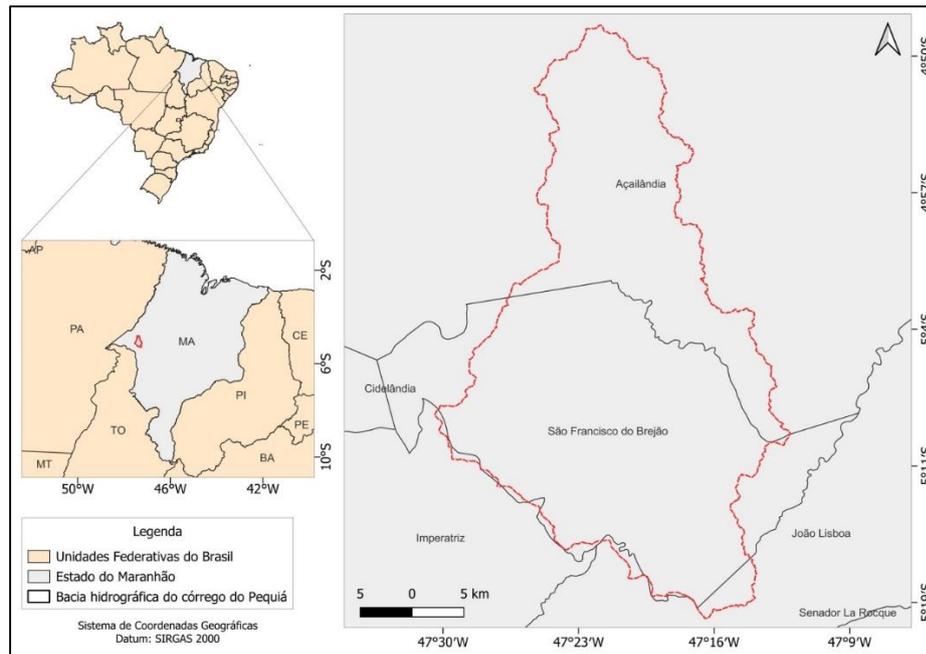
Diante da importância de se avaliar a análise temporal envolvendo a TST e o NDVI, Almeida *et al.* (2021) acreditam que a gestão ambiental municipal terá um papel fundamental para a criação de áreas verdes na bacia do Pequiá, de forma a se realizar medidas que possam garantir a melhoria da qualidade de vida dos munícipes ali presentes.

Nessa perspectiva, e diante das relevantes informações obtidas por meio das análises temporais (MATIAS *et al.*, 2018) e da necessidade de se obter resultados que possam subsidiar a gestão pública dos municípios que ocupam a bacia do Pequiá, o presente estudo objetiva averiguar, por meio da análise temporal do NDVI e da TST, os impactos provenientes da ocupação antrópica na região, bem como indicar os pontos da bacia que mais foram impactados por tal ação.

## Metodologia

### *Área de estudo*

A área de estudo (Figura 1) compreende os municípios de Açailândia, São Francisco do Brejão e João Lisboa, localizados no estado do MA, onde se situa a bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, que possui extensão territorial de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup>, área que corresponde a 13% da área dos municípios inseridos na mesorregião do oeste maranhense (IBGE, 2021). Ressalta-se que a maior influência antrópica é gerada pelos municípios de Açailândia e São Francisco do Brejão.



**Figura 1:** Localização da área de estudo.  
Fonte: Autoria própria.

### **Obtenção dos dados**

Foram utilizadas duas imagens de satélite para aplicação da metodologia, sendo uma cena do satélite LANDSAT-5, sensor TM e datada de 18 de junho de 1984, e outra do LANDSAT-8, sensor OLI, do dia 23 de julho de 2020, correspondente às cenas 223/63 e 223/64 e descarregadas a partir da plataforma do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Posteriormente ao download, utilizou-se a ferramenta do QGIS, em sua versão 3.16, de Reamostragem e Redução da Resolução, por meio da técnica do vizinho mais próximo, para padronizar em 30 metros todos os pixels das diferentes bandas dos distintos satélites utilizados.

O período definido para as imagens foi em relação a duas situações distintas na bacia, sendo a primeira em 1984, quando a área era utilizada para agricultura de subsistência e ainda pouco habitada e no ano de 2020, onde já existiam as unidades fabris da indústria siderúrgica, que iniciaram suas obras na década de 1990, plantio de eucalipto, e o fortalecimento da pecuária e produção de grãos.

Vale destacar que, nesta etapa, optou-se por escolher o período de menor percentual de cobertura por nuvens na área de estudo - período seco -, de forma que fosse possível realizar o cálculo do NDVI e da TST sem que houvesse interferência de parâmetros meteorológicos, assim como recomendado por Santos e Simionatto (2022).

Ressalta-se que todos os dados foram padronizados usando como referência o DATUM SIRGAS 2000 e projetando-os para o Sistema de Coordenadas Geográficas. Para a elaboração do arquivo RGB, utilizou-se as bandas 5,4,3 (LANDSAT-5) e 6,5,4 (LANDSAT-8).

### Índice de vegetação

Para o cálculo do NDVI a Equação (1) foi utilizada. Os valores deste índice de vegetação variam de -1 para +1, sendo que quanto mais próximo de +1 o valor do pixel, maior é concentração da vegetação no local (ROUSE *et al.*, 1973).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: NIR corresponde a banda do infravermelho próximo e RED a banda do vermelho (ROUSE *et al.*, 1973).

Para a obtenção do percentual de vegetação, utilizou-se a Equação 2.

$$PV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: PV = Percentual de Vegetação; NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NDVI Min e Max = Valores obtidos a partir da geração do NDVI.

Em relação ao cálculo da emissividade da superfície terrestre, utilizou-se a Equação 3.

$$E = 0,004 * PV + 0,986 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: PV é o Percentual de Vegetação.

## Radiância espectral

Nesta etapa, utilizou-se a banda 6 do LANDSAT-5 e a banda 10 do LANDSAT-8. De forma inicial, realizou-se o recorte para a área de estudo e, posteriormente, efetuou-se a conversão do Nível de Cinza (NC) para a radiância. Por fim, foi determinado a temperatura em graus Celsius (°C), de acordo com a Equação 4 e a Equação 5.

Na Tabela 1 são apresentados os fatores aditivos e multiplicativos das bandas utilizadas. Ressalta-se que todas as etapas aqui apresentadas foram realizadas com auxílio do software QGIS em sua versão 3.16.

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:  $L\lambda$  é a Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m<sup>2</sup> sr μm); ML é Fator multiplicativo de redimensionamento da banda termal;  $Q_{cal}$  é o valor quantizado calibrado pelo pixel na banda termal e; AL é o fator de redimensionamento aditivo específico da banda termal.

$$T = \frac{k^2}{\ln\left(\frac{k_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: T = temperatura em graus Celsius (°C); TB = Temperatura de brilho no topo da atmosfera (°C);  $L\lambda$  - Radiância espectral do sensor de abertura em Watts/(m<sup>2</sup> sr μm); K1 e K2 - Constantes de calibração em Kelvin.

**Tabela 1:** Fatores aditivo e multiplicativo das cenas utilizadas.

Qcal	AL	ML
Banda 10	0,10000	3.3420E-04
Banda 6	1,18243	5.5375E-02

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 2 estão apresentados os valores utilizados nas constantes K1 e K2 das bandas 10 e 6, sendo esses, disponibilizados nos metadados das cenas.

**Tabela 2:** Valores das constantes para banca 10 e 6.

Sensores	Constantes	Valores
Landsat 8 OLI	K1	774,8853
	K2	1321,0789
Landsat 5 TM	K1	607,7600
	K2	1260,5600

Fonte: Autoria própria.

Para obtenção TST da bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, utilizou-se a Equação 6, conforme recomendações da USGS (2018).

$$TST = \frac{TB}{1} + \left( L\lambda * \frac{TB}{p} \right) * \ln (E) \quad \text{Equação (6)}$$

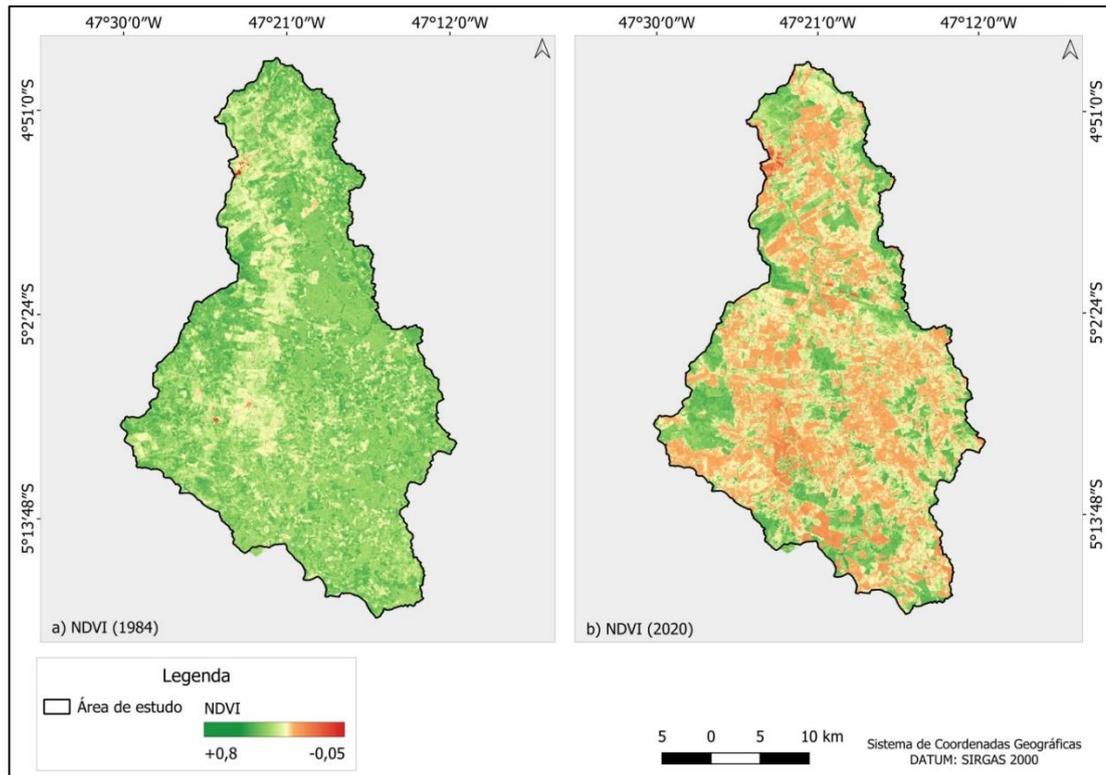
Onde: TST = Temperatura corrigida pela emissividade, com °K convertidos em °C; TB = Temperatura do brilho no sensor;  $L\lambda$  = Comprimento de onda da radiação emitida;  $P = h * c / \sigma$  ( $1.438 \times 10^{-2}$  m k),  $\sigma$  = constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K),  $h$  = constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  Js),  $c$  = velocidade da luz ( $2,998 \times 10^8$  m/s).

### Método de Pearson

Nesta etapa, foram distribuídos 125 pontos aleatórios pela área de estudo, sendo esses valores extraídos e tabulados em planilhas do Excel e, posteriormente, inseridos no software de análises estatísticas Jamovi, em sua versão 1.6.23, sendo, por fim, realizada a análise descritiva e a matriz de correlação temporal dos parâmetros.

### Resultados e discussões

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do NDVI na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá para os anos de 1984 (a) e 2020 (b), respectivamente.



**Figura 2:** NDVI nos anos de 1984 (a) e 2020 (b) na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá.

Fonte: Autoria própria.

Perante os resultados apresentados, inicialmente, é válido destacar que na bacia do córrego Pequiá existe o plantio de eucalipto que fornece madeira para carvão utilizado no processo de produção do ferro gusa e para polpa celulósica para produção de papel. Nessa perspectiva, Oliveira *et al.* (2023) destacam que o estado do MA, em geral, vem sendo impactado pela degradação acelerada impulsionada pelas atividades agrícolas madeireiras e agroindustriais, fato também ressaltado por Celentano *et al.* (2017).

Tratando exclusivamente da atividade madeireira desse local, por mais que a produção de eucalipto em larga escala possa possuir pontos positivos ao se tratar da obtenção de produtos de base florestal, conforme abordado por Teixeira e Rodrigues (2021), por outro lado, os impactos ambientais negativos provenientes dessa atividade ocorrem desde a preparação da área para o plantio, principalmente com a utilização de

máquinas pesadas que compactam o solo, comprometendo diretamente na infiltração da água destinada aos lençóis freáticos, e também no desbaste de áreas para a construção de estradas e melhoria do fluxo desses veículos (EBLING *et al.*, 2021), impactando na qualidade da água, do solo e do ar, além de afetar a qualidade de vida da população local.

Dessa forma, o NDVI obtido no período de estiagem da bacia apresentou valores que variaram entre -0,0952 e 0,758 para o ano de 1984, sendo válido salientar que os pixels contendo os mais altos valores do índice predominaram nessa análise, fato que possibilitou observar a existência de maior adensamento da vegetação nativa na área para o respectivo ano.

Ainda assim, alguns pontos com coloração amarelada foram averiguados, fato que apresenta alterações dessa vegetação, possivelmente, para o período, por pastagens e culturas sazonais. Já em relação aos poucos pontos vermelhos, que se relacionam com a falta de vegetação, acredita-se que estejam relacionadas com a presença de solos expostos próximos as áreas residenciais no momento da obtenção da cena.

Resultados similares foram abordados por Santos e Simionatto (2023), que verificaram que a falta de vegetação apresentada pelo NDVI, nessas perspectivas de coloração e analisados temporalmente, relacionam-se com a presença do solo exposto. Os autores também observaram, em uma área do bioma cerrado, que essa supressão da vegetação foi correlata à construção de condomínios residenciais, que, em casos de falta de mitigação, impactam diretamente o microclima local.

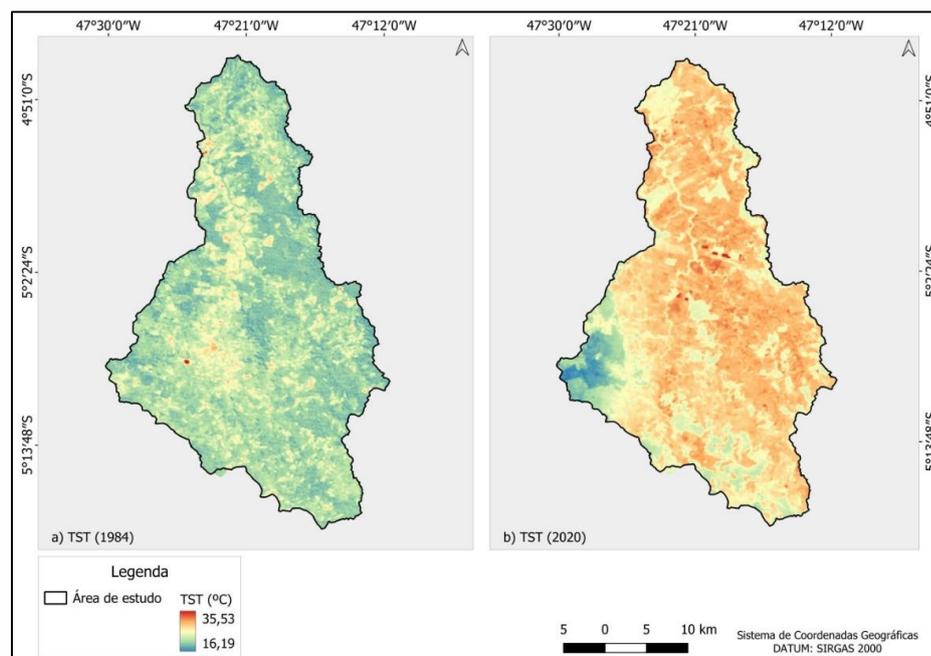
Portanto, para avaliar a maneira com que o crescimento urbano se desenvolve nas cidades, um parâmetro importante é a avaliação da dinâmica da cobertura vegetal em diferentes tipos de escala e tempo por meio da aplicação do NDVI (SOUZA *et al.*, 2019), além de serem utilizados para fins de análise do microclima urbano (Shahbandeh; Elhag, 2023).

Já para o ano de 2020, foi observado um cenário oposto ao de 1984, pois ocorreu a completa alteração da paisagem. Nesse ano, o NDVI

apresentou variações entre -0,04 e 0,56, destacando que a maior parte da bacia se apresenta com coloração amarelada - na faixa de 0,25 -, corroborando a diminuição da vegetação adensada e da maior quantidade de pontos com solo exposto, assim como apresentado por Tigreros *et al.* (2023), que concluíram que a variação do microclima analisado pelos autores foi modificada por diferenças na supressão da cobertura vegetal para implementação de atividades impermeáveis.

Convém destacar que o avanço da eliminação da vegetação nativa no processo de urbanização não planejada pode modificar o balanço da temperatura local ou até regional (SOUZA *et al.*, 2015; TIGREROS *et al.*, 2023), enfatizando a necessidade de medidas mitigadoras que possam diminuir os impactos ocasionados por essa alteração.

Ademais, por mais que exista diferença na qualidade da resolução dos pixels radiométricos na avaliação temporal das séries do satélite LANDSAT, os resultados apontam para uma eficiência do método proposto. Nessa perspectiva, a Figura 3 apresenta a variação espacial da TST na área de estudo.



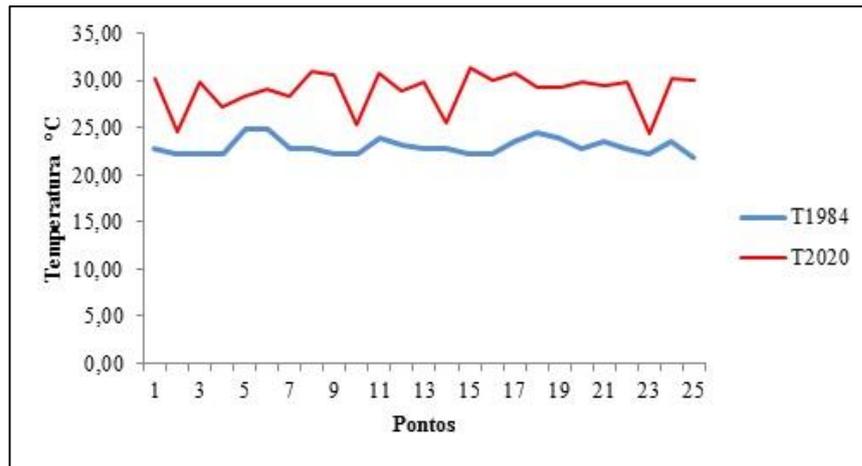
Fonte: Autoria própria.

Diante da importância em se obter análises temporais da TST, sendo essas, utilizadas em análises que consigam enfatizar o problema microclimático em uma região (Tanaji *et al.*, 2021), para obtenção dessas informações, optou-se em utilizar as cinco sub-bacias presentes na área de estudo como referência para se identificar possíveis danos, bem como, avaliá-los.

Analisados separadamente, nota-se que na sub-bacia do Córrego Brejão e parte do médio Pequiá, as temperaturas levantadas na cidade de São Francisco do Brejão variaram em três pontos analisados, sendo que no ponto 1, em 1984, a temperatura foi de 27,7 °C, aumentando para 28,48 °C em 2020.

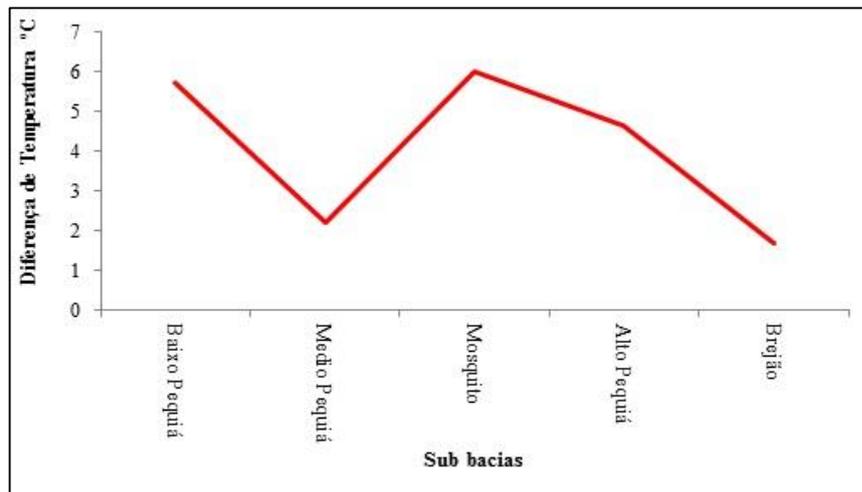
Já nos demais pontos analisados, os valores variaram respectivamente de 25,62 °C para 29,56 °C e 23,94 °C para 29,93 °C, apontando que o aumento populacional sem o adequado planejamento urbano e ambiental reduziu significativamente a vegetação do entorno da cidade, ocasionando no aumento da TST e na alteração do microclima local, assim como destacado por Santos *et al.* (2024).

Nesse sentido, a Figura 4 apresenta as medidas das variações da TST nas referentes sub-bacias para a série temporal analisada, e, na Figura 5, a diferença de TST nos anos de 1984 e 2020 nas referentes sub-bacias. Na Tabela 3 estão apresentados a TST encontrada em cada ponto distribuído na área de estudo.



**Figura 4:** Média das Variações das temperaturas nas sub-bacias em dois momentos distintos.

Fonte: Autoria própria.



**Figura 5:** Diferença de Temperaturas nos anos de 1984 e 2020 nas sub-bacias.

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 3:** Estimativas da TST de 1984 e 2020 na Bacia Hidrográfica do Córrego Pequiá.

Pontos	Alto Pequiá		Médio Pequiá		Baixo Pequiá		Brejão		Mosquito	
	T 1984	T2020	T 1984	T2020	T 1984	T2020	T 1984	T2020	T 1984	T2020
1	24,79	30,00	23,09	20,79	24,78	30,30	23,52	23,79	22,66	30,17
2	22,66	28,07	22,22	27,65	22,65	27,82	21,79	25,21	22,22	24,54
3	22,65	28,75	23,08	24,43	25,63	25,77	22,65	25,85	22,22	29,88
4	24,79	28,10	25,63	28,94	22,23	25,61	22,66	27,72	22,22	27,24
5	23,08	28,78	23,09	27,81	22,22	30,01	22,22	27,10	24,78	28,32
6	23,51	28,52	23,51	18,75	24,36	27,93	22,65	26,92	24,79	29,15
7	22,23	28,02	21,79	27,86	22,66	29,57	21,79	16,90	22,66	28,25
8	22,22	24,55	22,22	21,47	21,79	24,51	22,65	23,27	22,66	30,96
9	23,08	29,31	21,79	27,59	21,79	28,73	22,66	23,25	22,22	30,54
10	23,09	24,83	23,52	26,51	23,51	29,86	23,51	28,20	22,22	25,31
11	22,66	25,66	22,66	29,12	24,37	29,97	22,66	23,17	23,94	30,71
12	23,94	28,02	22,22	26,97	22,23	30,23	22,66	23,05	23,09	28,95
13	23,51	26,31	23,51	26,26	22,22	30,43	23,52	20,71	22,66	29,94
14	23,09	27,36	21,79	20,96	24,79	32,35	25,21	25,15	22,66	25,47
15	22,22	29,98	23,08	25,08	22,22	25,84	22,65	27,48	22,23	31,40
16	22,22	28,46	22,65	19,08	23,09	26,88	22,65	18,25	22,23	30,08
17	23,95	28,28	24,36	29,82	22,66	31,69	22,22	24,94	23,51	30,82
18	23,08	29,31	23,51	24,04	22,66	29,94	23,09	29,09	24,36	29,36
19	22,65	27,90	25,21	30,81	22,66	29,07	22,66	26,32	23,94	29,33
20	22,22	29,77	21,36	23,84	22,22	29,51	22,22	23,51	22,66	29,83
21	23,08	29,94	23,93	23,99	22,65	30,23	23,94	19,47	23,51	29,52
22	24,36	24,31	23,09	21,58	22,22	26,00	23,09	26,95	22,65	29,86
23	25,21	26,93	23,51	28,06	22,66	30,25	23,51	24,46	22,22	24,34
24	23,94	28,47	21,79	21,62	27,71	29,15	23,08	26,71	23,52	30,23
25	24,78	29,28	23,94	28,82	23,52	31,10	22,66	26,94	21,79	30,08

Fonte: Autoria própria.

A variação da temperatura média nos 25 pontos distribuídos aleatoriamente nas 5 sub-bacias aponta para o fato de que, em 36 anos de ocupação e intervenção humana, houve um aumento médio de 4°C na bacia do córrego Pequiá.

Na avaliação da diferença da TST nos dois períodos, nota-se que as sub-bacias do alto Pequiá, baixo Pequiá e Mosquito foram as que apresentaram maiores valores, sendo válido ressaltar que nesses locais existe a predominância de propriedades que realizaram conversão de floresta em pastagens, o que impacta, diretamente e negativamente, na variação da TST,

havendo a necessidade de medidas mitigadoras nesses locais, a fim de melhorar a qualidade ambiental e térmica da região, e, conseqüentemente, na qualidade de vida dos residentes.

Em oposição a isso, observou-se que a sub-bacia do Brejão obteve a menor diferença, influenciada pelas nascentes presentes no local e dos colonizadores que mantiveram a conservação da vegetação nativa, o que pode ser correlato à fiscalização ambiental mais severa e às práticas de Educação Ambiental (EA) no campo para com esses.

Outro fator a ser destacado é que a sub-bacia do córrego Mosquito se caracteriza por possuir propriedades rurais e povoados em assentamentos rurais, fato que, ao analisar a TST, observa-se um ponto temperatura aproximada a 31,4 °C, que após análise, concluiu-se que a área estava sendo queimada no momento da obtenção da cena no ano de 2020. A Tabela 4 apresenta a matriz de correlação entre os parâmetros analisados.

**Tabela 4:** Matriz de Correlação.

		T 1984	T2020	NDVI 2020	NDVI 1984
T 1984	r	-			
	p-valor	-			
T 2020	r	0,236	-		
	p-valor	0,008	-		
NDVI 2020	r	-0,266	-0,666	-	
	p-valor	0,003	< 0,001	-	
NDVI 1984	r	-0,691	-0,118	0,226	-
	p-valor	<0,001	0,190	0,001	-

Fonte: Autoria própria.

Os resultados da correlação entre o NDVI e a TST indicam que existe correlação linear negativa moderada, sendo o valor r de Pearson de -0,691 para o ano 1984 e -0,666 para 2020. Portanto, pode-se inferir que quanto maior a cobertura florestal nativa, menor será a TST do solo, ou seja, os valores são inversamente proporcionais (SHIMAKURA, 2006) (Tabela 4).

Estudo correlato, realizado por Bezerra et al. (2018), verificou que a identificação das ilhas de calor em Belém, estado do Pará (PA), encontrou uma correlação significativa de 0,65, sendo concluinte para os autores que as mudanças no uso e cobertura da terra possuem uma relação direta com os valores de TST e do NDVI, fato também observado no estudo temporal de Santos et al. (2023) em uma área do bioma cerrado.

Diante dos resultados apresentados é notável a necessidade de se obter medidas que possam mitigar os impactos ocasionados pela supressão da vegetação para o incremento de atividades que influenciam, negativamente, na qualidade socioambiental da área de estudo. Entretanto, esse fator, por mais que seja primordial para a variação climática do local, não é o único a ser considerado.

Ao se analisar a proveniência das atividades antrópicas impostas e proeminentes na área no decorrer desses 36 anos, acredita-se que não apenas a supressão da vegetação impactou diretamente nessa variação da TST, mas um conjunto de fatores que se encadeiam perante os impactos ambientais negativos provenientes de cada um desses, influenciando na qualidade da água, do ar e do solo, além das implicações na sociedade.

Exemplificando: a partir do momento em que a vegetação é suprimida para a implementação de atividades antrópicas e impermeáveis, a cadeia de impactos ambientais e sociais se estende, influenciando: 1) na qualidade do ar e na saúde dos munícipes, principalmente pelo aumento do fluxo de veículos automotores nos centros urbanos (Araujo; Araujo, 2020); 2) na compactação do solo, ocasionada pelo aumento do fluxo de veículos pesados para a implantação de obras (Tonoy *et al.*, 2023); e 3) nos recursos hídricos, principalmente pela canalização dos rios urbanos (Carvalho *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que a Organização das Nações Unidas (ONU), objetiva, até 2030, tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusos, seguros, resilientes e sustentáveis. Entretanto, perante o diagnóstico apresentado

para a bacia hidrográfica do córrego do Pequiá frente aos impactos socioambientais e nos seus principais recursos naturais, acredita-se que esse objetivo está longe de ser alcançado.

Todavia, acredita-se que as utilizações das ferramentas tecnológicas atuais, como as de geoprocessamento, atreladas ao banco de dados de imagens provenientes do satélite LANDSAT, possam atuar como subsídio as políticas públicas, fornecendo informações que possam subsidiar as suas tomadas de decisão e mitigar os impactos negativos acarretados nas esferas supracitadas.

Portanto, é aconselhável que se utilize as apurações aqui mencionadas para que sejam impostas, em nível de sub-bacia, principalmente, áreas verdes, como parques e Unidades de Conservação (UCs), distribuídas em pontos em que ocorreu diferença de TST, entre os anos analisados, maiores do que 2 °C, a fim de zelar pela qualidade de vida da população, conservar o meio ambiente e estar atrelado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## Considerações Finais

Diante dos resultados apresentados, concluiu-se que, em 36 anos de intervenção antrópica na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, ocorreu significativa atenuação da classe de vegetação, fato que impactou diretamente na variação da TST e no microclima local, enquanto que, indiretamente, afetou aspectos socioambientais, principalmente na saúde dos munícipes e na funcionalidade dos recursos naturais.

Medidas mitigadoras devem ser impostas nos pontos com elevada concentração populacional, pois, atualmente, já influenciaram diretamente na alteração do microclima de três sub-bacias. Todavia, as práticas atuais de geoprocessamento, atrelado ao banco de dados de imagens de satélite,

podem subsidiar as políticas públicas locais, principalmente na adoção de pontos estratégicos para a compensação desses impactos.

Por fim, conclui-se que a metodologia aqui apresentada foi eficiente para fins de avaliação do microclima e na análise espaço-temporal, apresentando informações necessárias para que os órgãos públicos, gestores e fiscalizadores, possam tomar medidas que visem alcançar os objetivos da ONU da Agenda 2030.

## Referências

ALMEIDA, Luciene Toledo e; FERREIRA, Karoline Assuero Cintra; TEIXEIRA, Noelto da Cruz; MARCILIO, Norka da Silva Albernaz; ALMEIDA, Geraldo Antônio Gomes de; RAUSCH, Patrícia Mota; SEVERINO, Vanderley; DANELICHEN, Victor Hugo de Moraes; SEIXAS, Guilherme Barros. Estudo do uso e cobertura da terra no Parque Estadual Mãe Bonifácia na Cidade de Cuiabá-MT. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1-13, 24 set. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20632>.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. ILHAS DE CALOR URBANAS: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], p. 22-46, 15 jun. 2019. ABCLima (Brazilian Association of Climatology). <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>.

ARAUJO, Orlei Ribeiro de; ARAUJO, Milena Corrêa. (2020). The zero impact of the Vehicle Inspection Program on public health in São Paulo, SP. **Revista De Saúde Pública**, [S.L.], p. 1-9, 84. 2020. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054001856>

BEZERRA, Paulo Eduardo; MORAES, Eiky Tatsuya de; SOARES, Ismael. Análise da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 70, n. 3, p. 803-818, 30 set. 2018. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv70n3-45701>.

CAMPOS, Flávia Rezende; MOTA, Bruna Pereira de Almeida; REIS, Matheus Ferreira dos. A Ferrovia Norte-Sul e sua influência no desempenho econômico dos municípios goianos. **Desenvolvimento em Questão**, [S.L.], v. 21, n. 59, p. 1-17, 31 jul. 2023. Editora Unijui. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2023.59.13112>.

CARVALHO COSTA, M. C. Implantação e avanço do pentecostalismo na Amazônia maranhense: as assembleias de deus em imperatriz e na região sul do Maranhão (1952-1984). *Estudos Teológicos*, [S. l.], v. 61, n. 1, p. 110–125, 2021. Disponível em: <http://revistas.est.edu.br/index.php/ET/article/view/772>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CARVALHO, Juliana Wilse Landolfi Teixeira de; MARAGON, Fernando Helmut Syring; SANTOS, Irani dos. Recuperação de rios urbanos: da interdependência e sincronicidade dos processos de desnaturalização em rios e bacias hidrográficas urbanas. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.L.], v. 40, p. 163-174. 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v40i0.162247>

CASTILHO, Denis; ARRAIS, Tadeu Alencar. A Ferrovia Norte-Sul e a economia regional do centro-norte do Brasil. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 209-228, 29 nov. 2017. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v29n2-2017-2>.

CELENTANO, Danielle; ROUSSEAU, Guillaume X.; MUNIZ, Francisca Helena; VARGA, István van Deursen; MARTINEZ, Carlos; CARNEIRO, Marcelo Sampaio; MIRANDA, Magda V.C.; BARROS, Márcia N.R.; FREITAS, Luciana; NARVAES, Igor da Silva. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land Use Policy**, [S.L.], v. 68, p. 692-698, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.041>.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Açailândia - Maranhão. Brasília - DF: Serviço Geológico do Brasil, 2017, 38 p.

EBLING, Éderson Diniz; REICHERT, José Miguel; PELÁEZ, Jhon Jairo Zuluaga; RODRIGUES, Miriam Fernanda; VALENTE, Mirian Lago; CAVALCANTE, Rosane Barbosa Lopes; REGGIANI, Paolo; SRINIVASAN, Raghavan. Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. **International Soil and Water Conservation Research**, [S.L.], v. 9, p. 180 – 194. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.008>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Landsat. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 28 jul. 2021.

MOHANASUNDARAM, S.; BAGHEL, Triambak; THAKUR, Vishal; UDMALE, Parmeshwar; SHRESTHA, Sangam. Reconstructing NDVI and land surface temperature for cloud cover pixels of Landsat-8 images for assessing vegetation health index in the Northeast region of Thailand. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 195, n. 1, p. 1-15, 19 dez. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-022-10802-5>.

OLIVEIRA, Ronison Ferreira; SILVA, Guilherme Sousa da; SANTOS-SILVA, Domingos Lucas dos; OLIVEIRA, Regiglauca Rodrigues de; PERALTA, Denilson Fernandes; CONCEIÇÃO, Gonçalo Mendes da. Distribuição geográfica das briófitas no Maranhão, Brasil: uma análise do conhecido para entender o desconhecido. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 19, n. 10, p. 1-15, 9 nov. 2023. Associação Sergipana de Ciência. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2023.101201>.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY

SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: **NASA**, 1973. v.1, p.309-317.

RIZZO, Felipe Alexandre; SILVA, Darllan Collins da Cunha e; TONELLO, Paulo Sérgio. Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão. **Revista Do Departamento De Geografia**, [S.L.], v. 43. e192740. doi: [10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.192740](https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.192740)

SHIMAKURA, S. E. Interpretação do coeficiente de correlação. 2006. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html> Acesso em: 15 set. 2021.

SANTOS, Roberto Souza. A construção da rodovia BR-153 na fronteira e urbanização da cidade de Araguaína, Tocantins. **Novos Cadernos Naea**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 97-114, 15 maio 2018. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v20i3.4378>.

SANTOS, Rodrigo Lima; NUNES, Fabrizia Gioppo. Imperatriz do Maranhão: proposição para a compreensão do processo de ocupação e consolidação da cidade. **Geotextos**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 117-141, 19 dez. 2018. Universidade Federal da Bahia. <http://dx.doi.org/10.9771/geo.v14i2.26988>.

SANTOS, Arthur Pereira dos; SANTIL, Fernando Luiz de Paula; CARBONE, Samara; SILVA, Claudionor Ribeiro da. The influence of urban and mineral expansion on surface temperature variation. **Acta Scientiarum. Technology**, [S.L.], v. 45, p. 1-13, 19 dez. 2022. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.60117>.

SANTOS, Arthur; SIMIONATTO, Henzo. Methodological proposal for evaluating the transformation of urban microclimate in medium-sized cities: a case study in the urban mesh of the municipality of Paracatu, Minas Gerais. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.L.], v. 57, p. 46-65, set. 2023. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/88156>>. Acesso em: 12 nov. 2023. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v57i0.88156>

SANTOS, Arthur Pereira dos; SIMIONATTO, Henzo Henrique; ARANTES, Letícia Tondato; SIMONETTI, Vanessa Cezar; OLIVEIRA, Renan Angrizani de; SALES, Jomil Costa Abreu; SILVA, Darllan Collins da Cunha e. The Influence of Land Use and Land Cover on Surface Temperature in a Water Catchment Sub-Basin. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1-20, 2 ago. 2023. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v35-2023-69161>

SANTOS, Arthur Pereira dos; SIMIONATTO, Henzo Henrique; ARANTES, Leticia Tondato; SANTACRUZ SALAS, Angie Paola; SILVA, Darllan Collins da Cunha e. Relación espacio-temporal de la temperatura superficial con el tipo de cobertura y uso del suelo, en los barrios del municipio de Paracatu, Mina Gerais, Brasil. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**, [S.L.], v. 44 (1), p. 235-249. 2024. <https://doi.org/10.5209/aguc.94211>

SENA, Leila Andréa Fernandes de. Impactos sócio-ambientais no contexto dos grandes projetos de desenvolvimento no Município de Açailândia-MA: luta e resistência dos camponeses do Assentamento João do Vale. 2016. Tese de Doutorado. UEMA.

SHAHBANDEH, Mahsa; ELHAG, Mohamed. Microclimate changes and trend analysis of remotely sensed environmental parameters in West Asia Semi-arid region. **Environment, Development And Sustainability**, [S.L.], p. 1-15, 15 maio 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-023-03201-4>.

SOUZA, Denivaldo Ferreira de; GONZALEZ, German Dario Duarte; TEIXEIRA FILHO, José. variação temporal do índice de vegetação normalizada como ferramenta de identificação dos açudes na bacia hidrográfica do ribeirão das Cabras. **Revista Cerrados**, [S.L.], v. 17, n. 01, p. 222-239, 21 fev. 2020. Universidade Estadual de Montes Claros (UNIIMONTES). <http://dx.doi.org/10.22238/rc2448269220191701222239>.

SOUZA, Diego Oliveira de; NASCIMENTO, Marília Guedes do; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos. The influence of urban growth on the microclimate of Manaus and Belém: a observational study. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 1109-1124, 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20150057>.

TANAJI, Patil Prashant; AJIT, Chougule Vidya; VISHNU, Dhupal Satyavan. Urban weather assessment using LST, NDBI and NDVI of Kolhapur city, Maharashtra. **Desaster Advances**, v. 14, n. 4, p. 76-84. 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/350399343\\_Urban\\_weather\\_assessment\\_using\\_LST\\_NDBI\\_and\\_NDVI\\_of\\_Kolhapur\\_city\\_Maharashtra](https://www.researchgate.net/publication/350399343_Urban_weather_assessment_using_LST_NDBI_and_NDVI_of_Kolhapur_city_Maharashtra). Acesso em: 01 nov. 2023.

TEIXEIRA, G.; RODRIGUES, G.S.S.C. Trajetória geográfica da silvicultura em Minas Gerais. **Mercator**, [S.L.] v. 20, e20004. 2021.

TIGREROS, Natasha; KOZHORIDZE, Giorgi; DAVIDOWITZ, Goggy; ZIV, Yaron. Influence of the direct and indirect effects of habitat fragmentation, via microclimate change, on animal locomotion. **Landscape Ecology**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 847-859, 13 jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-022-01588-5>.

TONOY, K Das; KABIR, Alija; ZHAO, Weiyang; STENSTROM, Michael K.; DITTRICH, Timothy M.; MOHANTY, Sanjay K. A review of compaction effect on subsurface processes in soil: Implications on stormwater treatment in roadside compacted soil. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 160121, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160121>

ULLAH, Waheed; AHMAD, Khalid; ULLAH, Siddique; TAHIR, Adnan Ahmad; JAVED, Muhammad Faisal; NAZIR, Abdul; ABBASI, Arshad Mehmood; AZIZ, Mubashir; MOHAMED, Abdullah. Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 1-16, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13322>.

USGS - UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. Landsat surface reflectance level-2 science products, 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>. Acesso em: 10 out. 2023.



Técnicas de geoprocessamento aplicadas para análise temporal do microclima na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, Maranhão

Felipe Alexandre Rizzo. Arthur Pereira dos Santos. Darllan Collins da Cunha e Silva

USGS – United States Geological Survey. Imagem do Satélite Landsat 5 Thematic Mapper (TM). Órbita/Ponto 223/64 de 9 de agosto de 1984. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 jun. 2021.

USGS – United States Geological Survey. Imagem do Satélite Landsat 5 Thematic Mapper (TM). Órbita/Ponto 223/64 de 9 de agosto de 1984. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 jun. 2021.

USGS – United States Geological Survey. Imagem do Satélite Landsat 8 Sensor Operacional Land Imager (OLI). Órbita/Ponto 223/63 de 22 de junho de 2020. : <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 jun. 2021.

USGS – United States Geological Survey. Imagem do Satélite Landsat 8 Sensor Operacional Land Imager (OLI). Órbita/Ponto 223/64 de 22 de junho de 2020. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 jun. 2021.

VALE, F. Lá entre os brejos. **Imperatriz**: Ética, 2012, 119 p.

## Publisher

Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

## Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. O primeiro autor, Felipe Alexandre Rizzo, ficou especialmente responsável pelo desenvolvimento teórico-conceitual do trabalho, aquisição dos dados e revisão do texto. O segundo autor, Arthur Pereira dos Santos, ficou responsável pela aplicação da metodologia, análise dos resultados e desenvolvimento inicial do texto. O terceiro autor, Darllan Collins da Cunha e Silva, ficou responsável por orientar o desenvolvimento do trabalho e revisão do texto em sua versão final. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais do BGG.

**Felipe Alexandre Rizzo**, Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (1999). Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente pela Escola Nacional de Saúde Pública / FIOCRUZ (2015). Doutorado em Ciências Ambientais pela UNESP (2022). Professor do Instituto Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal. Engenheiro Florestal lotado no município de Bom Jesus das Selvas - MA.

**Arthur Pereira dos Santos** Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), atuando na linha de pesquisa de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental. Mestre em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) (2020) e Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade do Oeste Paulista (2018). Atualmente, vem aprofundando os seus estudos na área de Inteligência Artificial (IA), com enfoque nas técnicas de Machine Learning. Possui experiência em monitoramento ambiental, conforto térmico, análises espaciais do uso da terra e tomada de decisão por meio de geotecnologias.

**Darllan Collins da Cunha e Silva**, Possui Graduação e Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto e Doutorado em Ciências Ambientais pela UNESP - Campus de Sorocaba. Tem experiência na área de Engenharia Ambiental, com ênfase em Controle da Poluição do Ar, Mapeamento Cartográfico, Gestão de Bacias Hidrográficas e Indicadores Ambientais. Atuando principalmente nos seguintes temas: Indicadores Ambientais, Gestão de Recursos Hídricos, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Tem experiência na coordenação e participação em projetos de pesquisa e extensão aprovados em empresas e IES públicas e privadas. Participou da Oficina de Elaboração e Revisão de Itens do Enade 2017 para Engenharia Ambiental. Atualmente é Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de Sorocaba, onde ministra aulas na graduação em Engenharia Ambiental.

Data de recebimento 05 de dezembro de 2023

Aceite em 18 de abril de 2024

Publicação em 17 de junho de 2024