

TERMOGRAFIA DIURNA, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E ASPECTOS  
HIGROMÉTRICO PARA ANÁLISE DE CLIMA URBANOS NAS CIDADES DE  
CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA E SANTA MARIA DAS BARREIRAS-PA

Eduardo Franco Santos<sup>1</sup>  
Cintia Ellen Dias da Silva<sup>2</sup>  
Luis Felipe dos Santos Lopes<sup>3</sup>  
Railson Luz Santos Mota<sup>4</sup>  
Matheus Martins Miranda<sup>5</sup>  
Lucas Nascimento de Almeida<sup>6</sup>  
Maria Rita Vidal<sup>7</sup>  
Abraão Levi dos Santos Mascarenhas<sup>8</sup>

## INTRODUÇÃO

Antes da década de 1970 os estudos de climatologia fundamentavam-se sobretudo em abstrações matemáticas, mensurações da temperatura e umidade do ar em pontos de observação ao solo no interior da cidade. Posteriormente passou a ser possível espacializar os dados térmicos e as coberturas nebulosas através do uso do sensoriamento aéreo, no qual imagens de alta resolução espacial passaram a ser usadas para avaliar o comportamento térmico de superfícies urbanas (ELIASSON,1992).

A análise da cidade como campo espacial para fins de clima urbano e termodinâmico em especial, é necessário recorrer à composição e dinâmica da atmosfera, e a sua interação com a superfície. Fundamentadas na observação e

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, [201940210030@unifesspa.edu.br](mailto:201940210030@unifesspa.edu.br).

<sup>2</sup> Graduando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, [ecintia036@unifesspa.edu.br](mailto:ecintia036@unifesspa.edu.br).

<sup>3</sup> Graduando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, [luislopes@unifesspa.edu.br](mailto:luislopes@unifesspa.edu.br).

<sup>4</sup> Graduando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA,; [railsonluz@unifesspa.edu.br](mailto:railsonluz@unifesspa.edu.br).

<sup>5</sup> Graduando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, [matheus.martins@unifesspa.edu.br](mailto:matheus.martins@unifesspa.edu.br);

<sup>6</sup> Graduando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, [almeidalucas@unifesspa.edu.br](mailto:almeidalucas@unifesspa.edu.br);

<sup>7</sup> Professora orientadora: Doutora em Geografia em UFC, [ritavidal@unifesspa.edu.br](mailto:ritavidal@unifesspa.edu.br).

<sup>8</sup> Professor orientador: Doutor em Geografia em USP, [abraãoolevi@unifesspa.edu.br](mailto:abraãoolevi@unifesspa.edu.br)

combinação de toda caracterização físicas do meio e dos elementos socialmente construídos (MONTEIRO,1990; JÚNIOR E AMORIM, 2016).

O clima urbano refere-se ao clima de um dado espaço terrestre associado ao seu processo de urbanização. No qual o espaço urbanizado mantém íntima relação com ambiente regional imediato em que se insere, atentando para articulação geográfica entre o clima local e o ambiente regional (MONTEIRO, 2013).

Deste modo destaca-se como escopo deste artigo analisar o clima urbano nas cidades de Conceição do Araguaia e Santa Maria das Barreiras, localizadas na mesorregião sudeste do estado do Pará, a partir dos pressupostos balizadores do Sistema Clima Urbano (S.C.U.) a fim de compreender como as mudanças ocorridas no interior das cidades têm influenciado no comportamento do campo térmico (calor de superfície do solo) e do campo hidrométrico (umidade do solo).

## **CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO**

Situada na margem esquerda do Rio Araguaia mesorregião sudeste do estado do Pará, Conceição do Araguaia tem como principais biomas o amazônico e o Cerrado. Teve sua ocupação e fundação em 1898 emancipando em 1935 ano que passou a ser uma cidade. Atualmente sua população e de 44.617 habitantes. (FIGUEIREDO, ARAÚJO E PINHEIRO, 2021; IBGE, 2022).

O município de Santa Maria das Barreiras encontra-se dividido em uma área ecótona de floresta nativa e faixas de contato com savana. No seu distrito de Sawanópolis mais conhecido como localidade de Casa de Tábua localizado próximo da rodovia BR-158, a sede fica a margem esquerda do rio Araguaia, atualmente sua população e de 16.548 habitantes (SANTA MARIA DAS BARREIRAS, 2014).

## **METODOLOGIA**

Esse estudo parte das proposições teórico-metodológicas do S.C.U de Monteiro (1976), além das contribuições de Oke (1972) sobre o clima das cidades. Relativo a cidade e seu processo de urbanização, serão considerados três elementos fundamentais da climatologia em geral: temperatura, umidade e pressão atmosférica (LIMA, 2012).

A etapa seguinte consistiu no levantamento de dados primários, no qual foram analisadas uma série histórica no período de quatro décadas entre 1980 a 2020, em virtude da cobertura nebulosa foram filtradas e escolhidas as imagens em que o perímetro urbano não estivesse encoberto, deste modo optou-se pela filtragem das imagens limitadas a 50% de nuvens, no buscador do serviço geológico Estados Unidos (USGS).

Os dados utilizados foram as imagens ópticas e termais dos sensores MSS e TM a bordo do (Landsat-4 e Landsat-5) sensor OLI e TIRS do (Landsat-8 e Landsat-9). Ao todo foram processadas 140 imagens para todos os anos com exceção para 2002 e 2012 devido a ausências de imagens para os critérios estabelecidos. Obtiveram-se 16 imagens para década de 1980, 36 para 1990, 36 para 2000, 36 para 2010 e 16 para 2020.

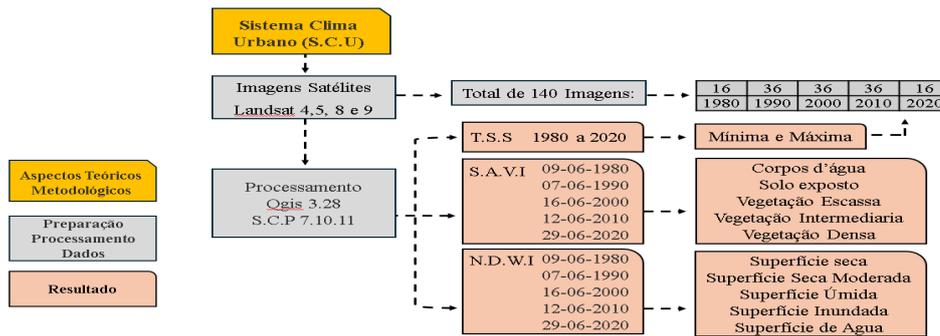
Para a análise da temperatura, foram somadas as imagens da série entre as décadas: 1984 a 1989; 1990 a 2000; 2000 a 2010; 2010 a 2020 e 2020 a 2023 em seguida foram obtidas as medias das temperaturas de superfície do solo para cada década resultando em uma única imagem com os valores máximos e mínimos.

As bases consultadas foram: dados planimétricos, vetores dos municípios (IBGE, 2021). Dados geoespaciais do Programa Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT) com resolução espacial de 30 m, obtidas no site <https://www.usgs.gov/>. O geoprocessamento foi realizado na plataforma Qgis 3.28, através do Algoritmo *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) versão 7.10.11, para as correções de radiância e conversões atmosféricas.

Para enfatizar a abordagem foram aplicados dois diferentes índices: Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o de Água por Diferença Normalizada (NDWI). Estes índices são utilizados como ferramentas de geoprocessamento capazes de mensurar o vigor da e vegetação e quantidade de água, relativo à abundância ou ausência.

Os valores do (SAVI) para as imagens processadas correspondem ao mesmo período do (NDWI) respectivamente exibem uma estimativa da densidade da vegetação quanto mais alta próximo a 1 e 0 geralmente indica ausência de vegetação e quantidade de água presente na área, onde os valores variam de 1 a -1, quanto mais próximo de 1 ocorre predominância de água e quanto mais próximo de 0 não ocorre a presença de água na superfície do terreno. Na sequência foram gerados os resultados do SAVI e NDWI a partir da seleção de uma imagem do mês de junho para cada intervalo/década.

Figura 1. Diagrama metodológico da pesquisa



Fonte: Autores, 2024.

Com relação a área de estudo e importante ressaltar a evolução e crescimento do perímetro urbano desde sua data de ocupação, visto que a malha viária atual de ambas as cidades não corresponde a mesma que a décadas passadas, assim foi subtraído do arruamento atual os domicílios que ainda não existiam.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Os estudos elaborados por Monteiro (1976) sobre a perspectiva da atmosfera urbana, constituem um dos pilares fundamentais da climatologia geográfica brasileira. No qual este construí uma abordagem do clima urbano de cidades de porte médio e pequeno, embasada num conhecimento cartográfico e geográfico como primeira e fundamental etapa no estudo (MENDONÇA,2003).

Nesta ótica toda e qualquer sistemática de análise no interior da cidade, realizada pelo geógrafo, deve transparecer que o clima da cidade como algo produzido a partir de um fenômeno de transformação entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem (MONTEIRO, 2003).

Observada a complexidade desse sistema, faz-se necessário analisar os padrões térmicos na área urbana a partir dos fluxos normais de reflexão, absorção e armazenamento de energia que geram anomalias térmicas e higrométricas conhecidas como ilhas de calor, ilhas frescas, ilhas úmidas e ilhas secas (JUNIOR; AMORIM,2016).

Para esta abordagem o campo do sensoriamento remoto térmico tem sido utilizado em áreas urbanas para avaliar os efeitos da ilha de calor, para classificação da cobertura do solo e como troca de energia entre a atmosfera e superfícies urbanas nos estudos desenvolvidos por (OKE; VOOGT, 2003).

Os dados provenientes de sensoriamento remoto, representam uma combinação de canais espectrais compostos por infravermelho (IR) e infravermelho próximo (NIR) utilizados para capturar informações sobre a radiação emitida ou refletida pela superfície, do qual serão admitidos os trabalhos de Huete (1988) e McFeeters (1996).

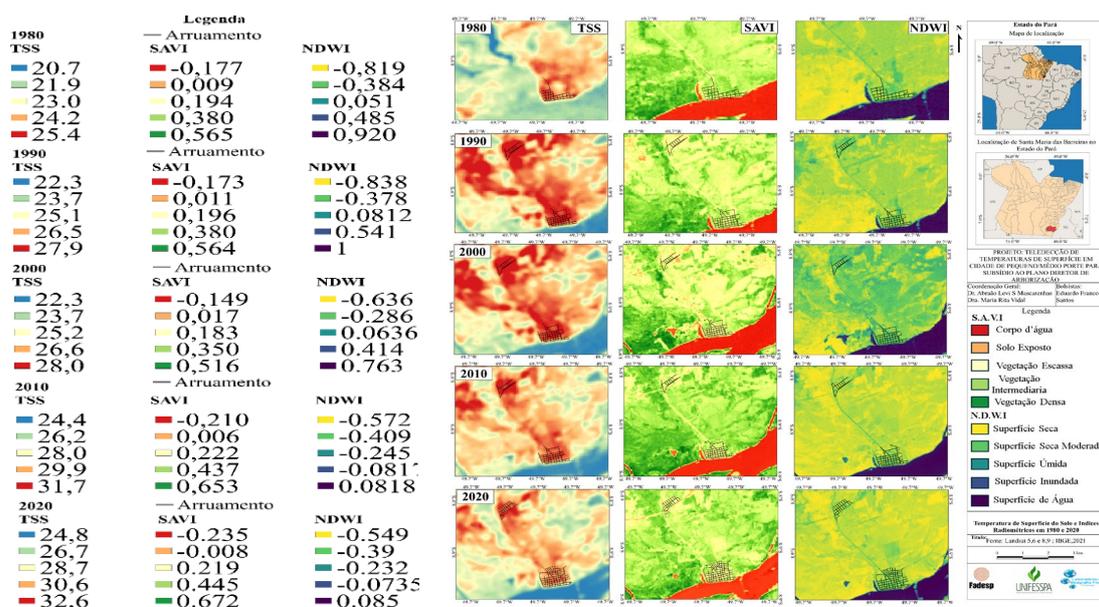
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a distribuição temporal da temperatura de superfície do solo nas últimas quatro décadas, observa-se que os aspectos geo-ecológico do sítio sobre o qual se assenta a cidade de Conceição do Araguaia e Santa Maria das Barreiras tem passado por transformações que expressam um processo de modificação na paisagem.

## IMPLICAÇÕES DA TEMPERATURA EM SANTA MARIA DAS BARREIRAS

A partir dos resultados do sensor termal da série histórica do Landsat para a área urbanizada de Santa Maria das Barreiras, verifica-se que a variação da TSS, teve um aumento gradativo ao longo das décadas registrando mínimas de 20,7 C° e máximas de 25,4 C° para década 1980 e para década 2020 mínimas de 24,8C°e máxima 32,6C°, deste modo a diferença entres as máximas confere um aumento de 7,2 C° (Figura 1).

Figura 1. Representação das Temperatura SAVI e NDWI em Santa Maria das Barreiras 1980-2020.



Fonte: Autores, 2024.

O centro urbano para década de 1980 encontrava-se pouco adensado em termos de população e desenvolvimento, composto por uma cobertura de vegetação mais densa a

intermediária com pequenas manchas de vegetação escassa nos respectivos valores 0,565 ; 0,380 e 0,194 associadas aos tons de verde escuro/claro e amarelo. Para década de 2020 o centro urbano demonstrou uma superfície coberta por uma vegetação escassa em amarelo com pequenas manchas de solo exposto em laranja e vegetação densa.

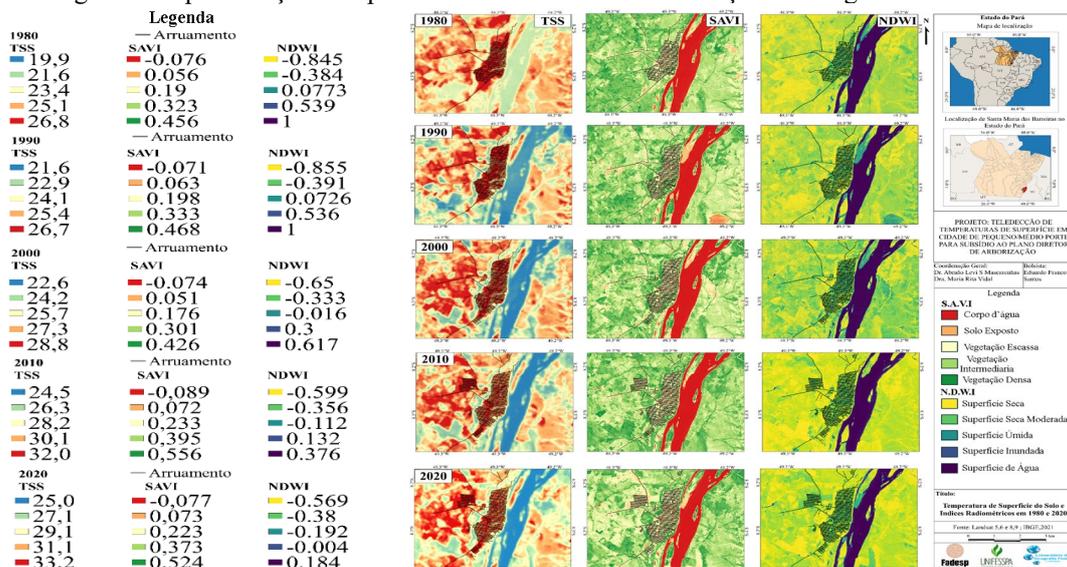
Para a década de 1980 a 2000 os valores do NDWI apresentaram no centro urbano uma superfície úmida em transição para seca moderada associadas as cores azul claro, verde e pequenas manchas de amarelo com valores entre -0,838 a 0,081 enquanto em 2010 e 2020 predominou em tons de amarelos a rodovia e centro urbano com os respectivos valores de -0,572 e -0,549 demonstrando uma superfície seca.

## IMPLICAÇÕES NA TEMPERATURA EM CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA

Ao analisar a distribuição temporal na cidade percebe-se o aumento gradativo da temperatura média mínima de 19,9 C° e máxima 26,8C° para 1980 e mínima de 25,0 C° a máxima 32,6C° para 2020. A diferenças entre as máximas destas décadas equivalem a 5,4 C°, pode-se correlacionar a este aumento as mudanças ambientais que ocorrem na superfície em função do processo de desenvolvimento e expansão da cidade.

Em comparação com SAVI o centro urbano para as décadas de 2000 e 2010 apresentou os respectivos valores 0,051 e 0,176 e 0,072 e 0,233 referente as classes de solo exposto e vegetação escassa. Desta maneira a percepção da temperatura torna-se agravada no interior da cidade devido à ausência de espaços verdes.

Figura 2. Representação Temperatura SAVI NDWI em Conceição do Araguaia 1980-2020.



Fonte: Autores, 2024.

O NDWI entre as décadas de 1980 a 2000 revelou que o perímetro urbano se encontrava em transição de uma superfície úmida para seca moderada com valores entre -0.333 e 0.077. Enquanto entre 2010 e 2020 o centro urbano predominou uma superfície seca associada aos tons de amarelo, apresentando os respectivos valores -0,599 e -0,569, ponto importante para acréscimo da temperatura uma vez que o déficit hídrico acelera os processos de trocas de energia e condução térmica.

Os efeitos do solo exposto ou coberto pela pavimentação nas imagens analisadas tornam mais evidente o aumento da temperatura e menos expressivo nas áreas cobertas por vegetação, ressalta-se que no centro urbano de ambas as cidades onde a manta asfáltica e o tipo de edificação contribuem para os processos de reflexão, absorção e armazenamento de calor, colaborando para o fenômeno da ilha de calor.

Assim a coparticipação do artefato físico criado pela urbanização associada aos aspectos da natureza são responsáveis pela elaboração do clima da cidade e refletem as mudanças no comportamento funcional climático expressas nos processos hidrológicos e termográficos. Visão organicista que constitui (SCU) elaborado por Monteiro (1976).

Tabela 1 – Índice de vegetação, higrométrico e termográfico diurno para as décadas de 1980 à 2020

Cidades	Índices	Variações das Médias Termográficas Para as Décadas				
		1984-1989	1990	2000	2010	2020-2023
Conceição do Araguaia	SAVI					
	Máximo	0,456	0,467	0,425	0,555	0,523
	Mínima	-0,076	-0,071	-0,073	-0,089	-0,077
	NDWI					
	Máximo	0,457	0,463	0,357	-0,038	-0,026
	Mínima	-0,787	-0,786	-0,565	-0,413	-0,398
	TSS					
	Máximo	26,8°C	26,7°C	28,8°C	32,0°C	33,2°C
Mínima	19,9°C	21,5°C	22,6°C	24,4°C	25,0°C	
Santa Maria das Barreiras	SAVI					
	Máximo	0,439	0,462	0,428	0,549	0,534
	Mínima	-0,093	-0,094	-0,082	-0,101	-0,104
	NDWI					
	Máximo	0,927	1	0,763	0,081	0,085
	Mínima	-0,818	-0,837	-0,636	-0,572	-0,548
	TSS					
	Máximo	25,4°C	27,9°C	28,0°C	31,7°C	32,6°C
Mínima	20,7°C	22,3°C	22,3°C	24,4°C	24,8°C	

Fonte: Autores, 2024.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historicamente o processo de ocupação de Conceição do Araguaia e Santa Maria das Barreiras revela um padrão de organização da vida das populações pioneiras em

torno do rio Araguaia. Contudo o rio por si só não é suficiente para entender o processo de produção espacial do lugar. Principalmente após as mudanças ocorridas ao longo dos anos com a entrada das cidades no circuito de economia seja local e global.

Os agentes formais da produção do espaço urbano, tem transformado e alterado a paisagem de modo que a expansão das cidades acarretou várias mudanças ambientais como visto nos padrões de superfície de temperatura, vegetação e água.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e demonstram que a temperatura de superfície e de suma importância para os estudos da climatologia urbana, devido a capacidade de articular o ar atmosférico as camadas mais baixas da atmosfera urbana. Através da detecção remota térmica aliada aos estudos de Monteiro mostrou-se possível analisar as mudanças e espaciais ocorridas, elencadas a morfologia da superfície urbana.

**Palavras-chave:** Temperatura de Superfície; Clima Urbano, Sensoriamento Aéreo.

## REFERÊNCIAS

ELIASSON, I. Infrared thermography and urban temperature patterns. **International Journal of Remote Sensing**, 13, 869– 879, 1992.

FIGUEREDO, AJA; ARAÚJO, E. S.; PINHEIRO, MM PLGB. Conceição do Araguaia, folha SB. 22-XB, estado do Tocantins e do Pará, escala 1: 250.000. CPRM/DIEDIG/ Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília:[sn], 2001.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment, Philadelphia**, v. 25, p.53-70, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, (IBGE). 2022 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acessado em: 10 mai. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, (IBGE). Malha de Setor Censitário 2021 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhasterritoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html> Acessado em: 10 mai. 2024.

JÚNIOR, J.C.U; AMORIM, M.C.D.C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 160-174, 2016.

LATRUBESSE, E. & STEVAUX, J. C. Geomorphology and Environmental aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. In: Z. **Geomorphologie**. Berlim: Suppl.-Bd.129,. 109-127.2002.

LIMA, N.R.de, et al. Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, Manaus, v.2, n.5, p.626 – 638, 2012.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MENDONÇA et al. Clima e planejamento urbano em Londrina. **Clima urbano**. Editora Contexto, 2003.

MONTEIRO, C.A.F. *Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura*. Geosul, ano V, n.9. EditoraUFSC, 1990.

MONTEIRO, C.A.F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MONTEIRO, C.A.; MENDONÇA, F (Ed.). **Clima urbano**. Editora Contexto, 2003.

OKE, T. *Boundary Layer Climate*. London: Methuen & Co, 1972.

Santa Maria das Barreiras. SECRETARIA DE ESTADO DE TURISMO - SETUR. Inventário Turístico: Inventário da oferta turística, 2014. Disponível em: [https://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/santa\\_maria\\_das\\_barreiras\\_2014.pdf.pdf](https://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/santa_maria_das_barreiras_2014.pdf.pdf). Acesso em: 05.06.2024.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climate. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, 2003.