

GEOTECNOLOGIAS E CLIMA URBANO NA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE EM CANAÃ DOS CARAJÁS-PA.

Railson Luz Santos Mota ¹
Abraão Levi Santos Mascarenhas ²
Maria Rita Vidal ³
Cintia Ellen Dias da Silva ⁴
Lucas Nascimento de Almeida ⁵
Matheus Martins Miranda ⁶

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, discussões sobre crises climáticas, efeito estufa e fenômenos como La Niña e El Niño têm sido pauta constante no meio acadêmico. Nesse mesmo contexto, surgem também as preocupações e debates sobre o clima urbano e como essas mudanças afetam o cotidiano e a qualidade de vida dos moradores de pequenas e médias cidades, na região Amazônica. Os estudos de Souza e Avalá (2014) colocam em tela as ilhas de calor na cidade de Manaus, usando dados do Satélite MODIS. Corrêa et al., (2016), usando dados temporais de 2002 - 2005, também do satélite MODIS, reafirmam a tendência de clima antropogênico em Manaus. Nessa linha, as recentes pesquisas de Silva et al. (2021) para a região metropolitana de Belém utilizando vários índices geoestatísticos para definir índices biogeofísicos são uma importante contribuição aos estudos de clima urbano para a região amazônica.

Diante dessa realidade, o presente estudo tem visa analisar a variabilidade climática urbana na cidade de Canaã dos Carajás - PA, no recorte temporal das décadas de 1980 e início da década de 2020. Para isso, utilizam-se imagens do satélite Landsat como principal ferramenta. Por meio da análise integrada da temperatura da superfície, cobertura vegetal e campo hidrométrico, investiga-se como a estrutura urbana influencia o clima local e a qualidade de vida dos moradores. Além disso, a pesquisa visa subsidiar

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, Railsonluz@Unifesspa.edu.br;

² Professor orientador: Doutor em Geografia pela USP, abraaolevi@unifesspa.edu.br;

³ Professora orientadora: Doutora em Geografia pela UFC, ritavidal@unifesspa.edu.br;

⁴ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, ecintia036@unifesspa.edu.br;

⁵ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, almeidalucas@unifesspa.edu.br;

⁶ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - PA, matheus.martins@unifesspa.edu.br.

conhecimento para possíveis políticas públicas, com foco no conforto térmico e na melhoria do espaço urbano em cidades amazônicas.

A pesquisa tem sua fundamentação teórica nos estudos de Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (1976), especialmente no que se refere ao sistema do clima urbano. O clima urbano é conceituado como um sistema aberto, uma vez que influencia de maneira complexa os fluxos de matéria e energia. Segundo Monteiro (1976), o clima urbano abrange o clima de um determinado espaço terrestre associado ao seu processo de urbanização. O autor explica esse fenômeno sob uma perspectiva conjunta e integradora. Isso significa que, na abordagem conjunta, ele considerava uma variedade de fatores, como geografia urbana, uso e ocupação do solo, topografia, vegetação, edificações e suas estruturas, padrões de ventilação urbana e qualidade do ar. Quanto à abordagem integradora, Monteiro explica que o clima urbano é complexo e resultado de uma série de fatores inter-relacionados, não podendo ser compreendido isoladamente (MONTEIRO, 1976).

Além disso, utilizam-se métodos analíticos presentes nas pesquisas sobre as ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. As ilhas de calor e frescor, conforme apontado por Amorim (2012), Soares e Marego (2012), Monteiro (1976; 1990), Sant'Anna Neto (2012) e outros autores, são resultados das modificações nas características da superfície devido às atividades desenvolvidas pela sociedade. Amorim (2012, p. 25) define as ilhas de calor como “bolsões de ar quente registrados nos ambientes urbanos, decorrentes da capacidade dos materiais encontrados na superfície de armazenar e refletir a energia solar, bem como da produção de calor antropogênico”. Essas diferenças no balanço de energia entre a área urbana e rural são responsáveis pela formação dessas ilhas de calor.

Com base nos autores citados anteriormente, considera-se que o principal fator para a alteração do clima local é o processo de urbanização. Na realidade estudada, na cidade de Canaã dos Carajás - PA, devem-se levar em conta os resultados das políticas estatais.

A partir da década de 1950, o governo brasileiro iniciou políticas de incentivo e integração da Amazônia, visando o desenvolvimento regional por meios de um complexo de atividades Agrosilviomineral, com isso, as atividades de mineração passaram a ser inseridas em Canaã dos Carajás, o que conseqüentemente atraiu um intenso fluxo migratório para a cidade. Diante dessas circunstâncias, ocorreu um processo de

urbanização desordenada, caracterizado pela impermeabilização do solo, modificação da dinâmica hídrica e, conseqüentemente, alterações na temperatura do solo local, Mascarenhas, Vidal e Souza (2021).

Para melhor compreensão do recorte espacial da área de estudo aqui abordada, se faz necessário caracterizá-la (Figura 1). Canaã dos Carajás está localizada no sudeste do estado do Pará, no norte do Brasil. A cidade surgiu de um assentamento agrícola em 1982, como parte do Projeto de Assentamento Carajás. Conforme dados do (IBGE 2022), a área do município em 2022 era de 3.146,821 km², a população no último censo é de 77.079 pessoas, tendo uma densidade demográfica de 24,49 habitantes por km², ocupando a posição de 19^o no estado em quantitativo de habitantes.

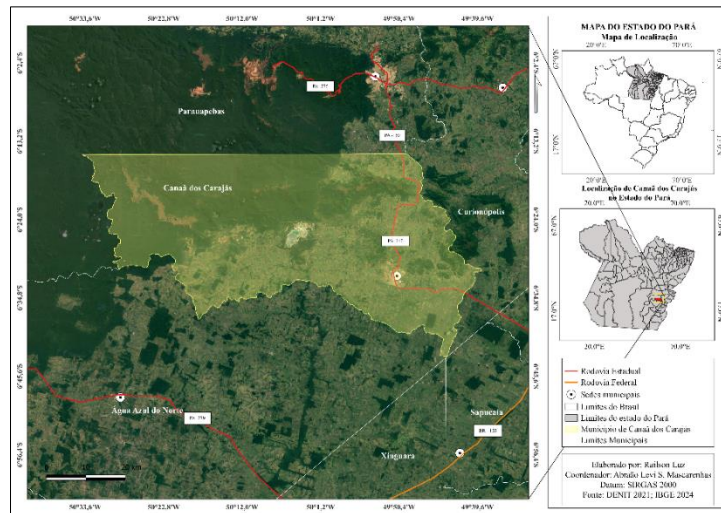


Figura 1: Localização e acesso do município de Canaã dos Carajás
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Destaca-se que a atividade de mineração (industrial e manual) é a principal atividade econômica, o que corrobora com o crescimento da área urbana e, sobretudo, o crescimento urbano desigual e desordenado. Com a chegada em massa de migrantes em busca de oportunidades de trabalho, principalmente a partir do complexo minerário de ferro a partir da serra sul, conjunto de Serra dos Carajás. A cidade apresenta 35,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado e 42,4% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização, e apenas 3,7% desses domicílios estão com as vias urbanas adequadas (IBGE, 2010).

Destaca-se a importância de pesquisa no âmbito das pequenas cidades da Amazônia, por ser evidente que esses espaços apresentaram um aumento significativo na expansão urbana nas últimas décadas, devido a inúmeros processos socioeconômicos na

região, Mascarenhas, Vidal, Souza (2021). Nesse contexto, as políticas locais devem propor alternativas para a convivência com as mudanças climáticas, a fim de prevenir as relevantes consequências que a população pode sofrer devido ao uso e ocupação desordenada do espaço urbano. Portanto, a pesquisa sugere o uso de geotecnologias, principalmente devido ao seu baixo custo, praticidade, eficácia e rapidez. Essas ferramentas surgem atualmente como uma solução com ótimo custo-benefício para diagnóstico e soluções que visam amenizar os efeitos dessa problemática.

METODOLOGIA

Para a confecção dos produtos cartográficos, foram utilizadas imagens de satélite do banco de dados geospaciais do Serviço Geológico Americana (Earth Explore - USGS). Foram utilizados shapefiles georreferenciados do órgão oficial IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para delimitar a área de estudo.

Foram analisadas 117 imagens, porém apenas 71 tiveram aproveitamento para a observação do campo térmico urbano da cidade de Canaã dos Carajás, devido ao excesso de nuvens ou de fumaça de queimadas. Para uma melhor organização e compreensão dos dados, ver os dados do quadro 1.

Décadas	Landsat 4, 5, 8 e 9	QtDs. de imagens	Meses
1980	Sensor Termal	7	Julho e agosto
1990	Sensor Termal	15	Junho, julho e agosto
2000	Sensor Termal	16	Junho, julho e agosto
2010	Sensor Termal	23	Julho, julho, agosto e setembro
2020 a 2023	Sensor Termal	10	Julho, julho, agosto e setembro
Total		71	

Quadro 1: Quantitativo de imagens por décadas.

Fonte: autores

No total, foram utilizadas 39 imagens do sensor Landsat 4-5 - Landsat Thematic Mapper, este sensor possui 7 bandas espectrais nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal, com resolução espacial variando de 30 m a 120 m. Em relação ao sensor Landsat 8-9, foram adquiridas 32 imagens. Este sensor é equipado com o Operational Land Imager e o Thermal Infrared Sensor, contendo 11 bandas espectrais. A resolução espacial para estas bandas é de 30m, exceto para a banda pancromática, que possui uma resolução de 15 m.

Na etapa de processamento das imagens, utilizou-se o programa de geoprocessamento QGIS, um software de código aberto que permite a análise e edição de

dados georreferenciados. A versão utilizada foi a 3.28.8-Firenze. Além disso, foi empregado o plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), que permite a classificação supervisionada ou semi-automática de imagens de sensoriamento remoto, pixel a pixel. Utilizando a calculadora raster e uma equação específica, foi possível calcular os índices de NDWI (Normalized Difference Water Index) e do SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index).

$$\text{Fórmula 1} \quad \text{NDWI} = \frac{\text{Green} - \text{NIR}}{\text{Green} + \text{NIR}}$$

$$\text{Fórmula 2} \quad \text{SAVI} = \frac{(\text{NIR} - R)}{(\text{NIR} + R + L)} \times (1 + L)$$

A primeira fórmula traz o índice NDWI que foi desenvolvido por Gao (1996), possibilita detectar a presença ou a variação de água na superfície terrestre ao passo que a segunda fórmula (SAVI), proposta por Huete (1988) é utilizado para avaliar a vegetação, levando em consideração a influência do solo, assim reduzindo a distorções do solo exposto.

É importante salientar que a relação entre a temperatura de superfície e os indicadores de NDWI e SAVI é crucial para o monitoramento ambiental e a gestão de recursos naturais. Diante disso, correlacionar esses índices permite uma análise integrada das condições ambientais, possibilitando a detecção de estresses hídricos e térmicos, mudanças climáticas e seus impactos. Dessa forma, essa relação fornece informações valiosas para a tomada de decisões em políticas ambientais e planejamento urbano sustentável.

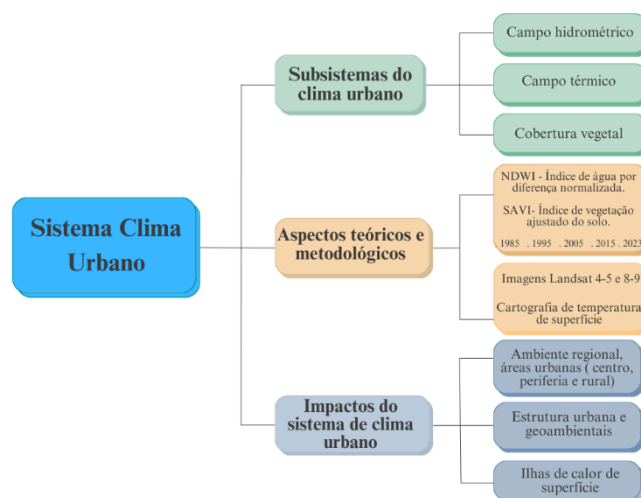


Figura 2: Diagrama metodológico da pesquisa

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Para melhor sistematizar e apresentar maior clareza a metodologia recorrida, foi organizada a síntese da pesquisa através do diagrama metodológico na figura 2. O esquema demonstra as estruturas e processos técnicos operacionais, que possibilita compreender os elementos abordados na análise, conforme a figura 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Imagens de satélites como ferramenta metodológica, de fato, possibilitam uma melhor acurácia em estudos ambientais como esse, visto a rapidez, praticidade e a eficácia em coleta de dados. Nessa pesquisa, fica evidente, ao analisar a mudança no espaço urbano de Canaã dos Carajás, a expansão da cidade de forma acelerada, principalmente a partir da década de 2010. A atividade econômica predominante em Canaã dos Carajás é um dos principais fatores para esse inchaço populacional abrupto.

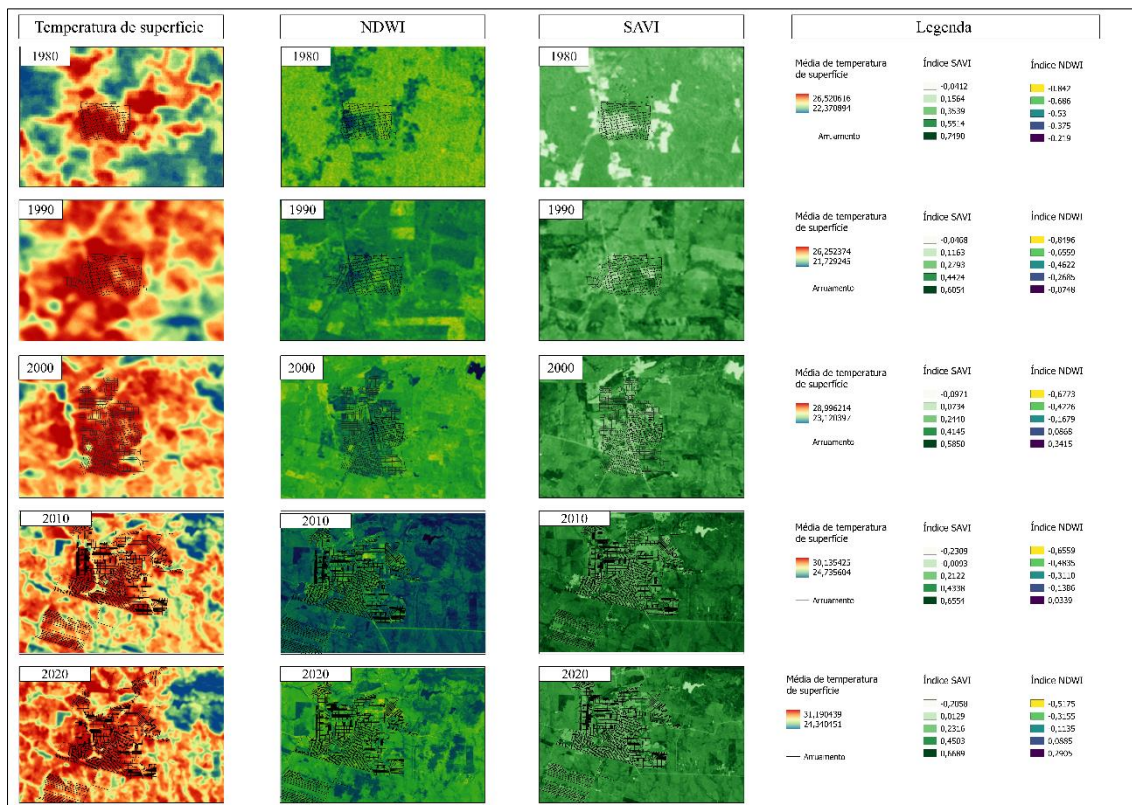


Figura 3: Carta comparativa de temperatura e índices de SAVI e NDWI por década.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O crescimento rápido e desordenado traz consequências ao meio urbano e ao meio ambiente, por meio da eliminação das florestas, intervenções em corpos d'água e vazios urbanos com solos expostos. As queimadas são, de forma geral, uma alternativa mais econômica na limpeza de lotes. Ao comparar as imagens da década de 1980 com as de 2010 (figura 3), é possível perceber como o espaço urbano cresceu nesses 40 anos.

Quanto aos índices expostos nos mapas, por meio do SAVI (índice de vegetação) (Figura 3), nota-se a diminuição da densidade da vegetação, onde em 1980 suas maiores concentrações alcançavam o índice de 0,7490 e em 2020 passou a ser 0,6689. Essas alterações no espaço urbano, por meio da ocupação do solo, derrubada da vegetação, poluição, construções, impermeabilização do solo e outros, têm causado aumento de temperatura de superfície.

Ao comparar o SAVI da década 1990 com a de 2000, nota-se um diferencial de 0,0204 na concentração do índice, que passou de 0,6054 para 0,5850. A média de temperatura entre as décadas, também sofreram alterações, tanto nas mínimas quanto nas máximas, um aumento de $\pm 2,7$ °C. Outro ponto importante é o índice de NDWI, revelando uma grande predominância de áreas pouco úmidas, conforme apontado em amarelo na legenda, que em sua maior concentração no mesmo período (1990 a 2000), houve aumento 0,2667, saindo de -0,0748 para 0,3415. Ao utilizamos a ferramenta Google Earth, percebe-se a construção de uma pequena represa próximo à cidade e, na parte leste da área rural, a construção e concentração de pequenos açudes para atividades como a piscicultura.

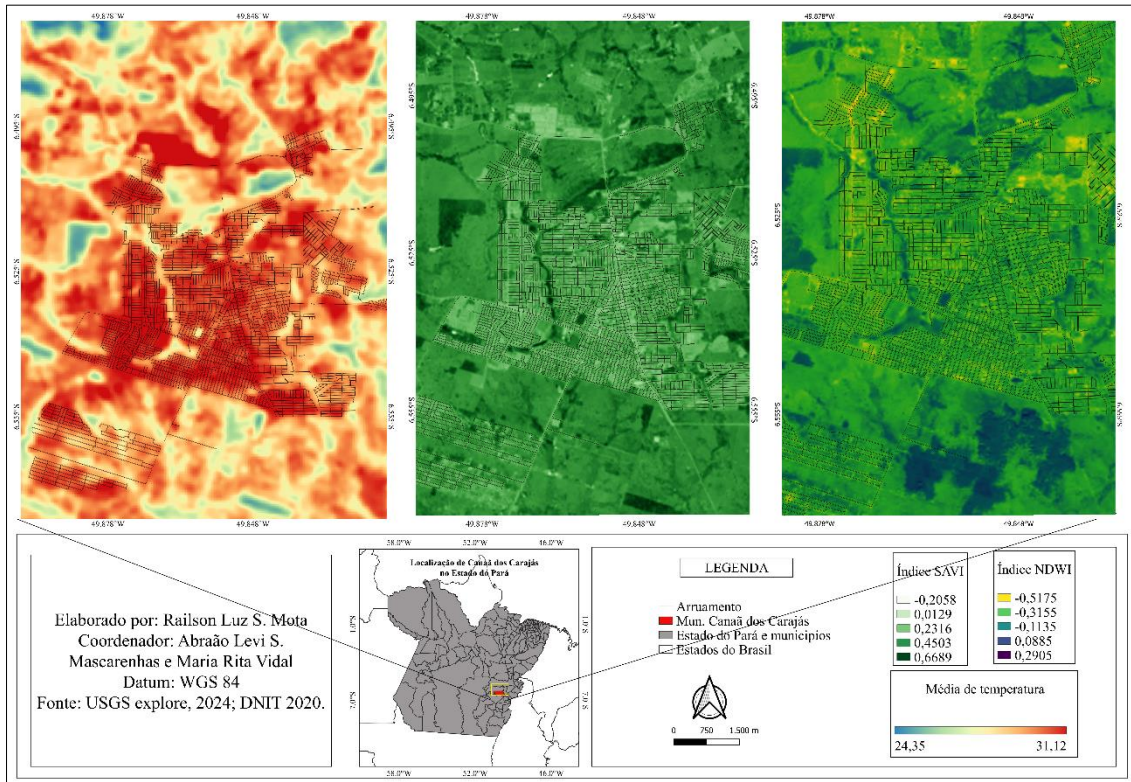


Figura 4: Carta de temperatura e índices de SAVI e NDWI para o ano de 2020.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

De modo geral, é possível constatar que houve aumento na temperatura de superfície, onde a máxima na década de 1980 eram de 26,5 °C e mínima de 22,3 °C. Já em 2020, conforme carta imagem da figura 4, a máxima foi de 31,1 °C e a mínima de 24,3 °C, demonstrando um aumento de 4,6 °C nesse recorte temporal analisado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante disso, os estudos sobre o clima urbano têm avançado e alcançado notórios resultados. O uso de geotecnologia, atrelada ao rigor metodológico, tem permitido perceber as mudanças do clima e simular cenários climáticos futuros em suas variadas escalas e impactos, sobre tudo nas escalas mesoclimáticas e topoclimáticas, gerado por atividades humanas em áreas urbanas (SOARES; MAREGO, 2012), que, por sua vez, foi nomeado por Monteiro (1990) como clima urbano antropogênico. No mesmo entendimento, Sant' Anna Neto (2012) aponta que, para melhor compreender esse fenômeno, é preciso incorporar à análise a dimensão social na interpretação do clima urbano, pois o clima urbano é também socialmente construído.

Nesse sentido, ao mudarmos nossa perspectiva de grandes centros urbanos, como as capitais brasileiras, para pequenas e médias cidades da Amazônia, é possível perceber que os processos de urbanização e alterações no espaço natural, tais como a concentração das áreas construídas, fontes de poluição, superfícies pavimentadas, deficiência de saneamento básico, retirada da cobertura vegetal, alterações de corpos d'água e mudanças na topografia, têm afetado significativamente as temperaturas locais, como apontado por (LOPES; ALEIXO e SILVA NETO, 2019). Ao analisar a amplitude térmica e a magnitude das ilhas de calor em Tefé, no estado do Amazonas, os pesquisadores concluíram que, mesmo em cidades de médio porte como Tefé, as mudanças no uso do solo devido à expansão urbana, têm influenciado significativamente o balanço de energia local.

Canaã dos Carajás continua em acelerado crescimento urbano, passando por processos de redução de vegetação, compactação e impermeabilização do solo. A pesquisa ainda precisa de um refinamento metodológico, mas já subsidia conhecimento da realidade local, para medidas públicas futuras quanto ao conforto térmico dos cidadãos.

Palavras-chave: Clima Urbano; Ilhas de calor e frescor, Amazônia, Canaã dos Carajás - Pa.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, N. C. R.; SILVA-NETO, J. C. A. O campo térmico em área urbana na Amazônia brasileira: análise episódica na cidade de Tefé-AM. **Geo UERJ**, p. 1-29, Rio de Janeiro, n. 34, 2019. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40949>.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; QUINZAN, H.; SABOYA NETO, J. L. S. **Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França)**. *Confins - Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia*, n. 7, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.6070>. Acesso em: 5 jun. 2024.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. *Revista Brasileira de Climatologia, Presidente Prudente*, v. 15, Edição Especial, XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, jun. 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/65136>. Acesso em: 12 jun. 2024.

CORRÊA, Polari B.; CANDIDO, Luiz A.; SOUZA, Rodrigo A. F.; ANDREOLI, Rita V.; KAYANO, Mary T. Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Manaus/AM: um estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 167-176, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778631220150012>

GAO, Bocai. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, **Journal Remote Sensing of Environment**, n.58, vol.3, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

Huete, A. R. Adjusting Vegetation Indices for Soilin fluencies. **International Agrophysics**, vol.4, no. 4, 1988. pp.367-376.

IBGE. Censo Demográfico 2010: Resultados gerais da amostra. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/canaa-dos-carajas/panorama>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MASCARENHAS, Abraão L. S.; VIDAL, Maria R.; SOUZA, Marcus V. M. Análise dos impactos ambientais da expansão urbana em cidades de mineração a partir de produtos temais de sensores orbitais. **Ciência Geográfica – Bauru**, n°25, vol. 25 (2), 2021.

MONTEIRO. C. A. F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo, IGEOG/USP, 1976, 181p.

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

MONTEIRO. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um clima urbano. **Geosul**, Florianópolis, v. 5, n. 9, 1990b. p. 80-114.

MONTEIRO. C. A. F.; MENDONÇA, Francisco. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. **Clima Urbano** 2.ed. São Paulo: Editora contexto, 2011. p. 9-67.

SILVA, Madson T.; MARGALHO, Eduardo S.; SERRÃO, Edivaldo A. O.; SOUZA, Amanda C.; SOARES, Caroline S.; SANTOS, Carlos A. C.; SILVA, Bernardo B.; Application of Spatial Modeling of Biophysical Variables in an Urbanized Area in the Amazon: The Case of the Metropolitan Area of Belém-Pará, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 2, p. 271-283, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863620063>.

SANT'ANNA NETO, J. L. Desafios da climatologia geográfica no Brasil: da competência técnica ao compromisso social. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org.). *Concepções e Ensaio da Climatologia Geográfica*. 1ed. Dourados: Editora da UFGD, 2012, v. 1, p. 13-38

SOARES, W.; MARENCO, J. A. Projeções de secas na Amazônia no futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 209-223, jul./set. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322132064_Projecoes_de_secas_na_amazonia_no_futuro. Acesso em: 12 jun. 2024.

SOUZA, Diego O.; ALVALA, Regina C. S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. *Journal Meteorol. Appl.* n.21, v.2, p. 186-193, 2014. <https://doi.org/10.1002/met.1340>