

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ANÁLISE ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS DE
TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DO AR POR MEIO DE
IMAGENS LANDSAT-8 PARA O MUNICÍPIO DE HUMAITÁ,
AMAZONAS**

ELTON PATRICK GONÇALVES FRANÇA

**ORIENTADORA: DRA. JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA
QUERINO**

**Humaitá, AM
Janeiro/2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ANÁLISE ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS DE
TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DO AR POR MEIO DE
IMAGENS LANDSAT-8 PARA O MUNICÍPIO DE HUMAITÁ,
AMAZONAS**

ELTON PATRICK GONÇALVES FRANÇA

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais da
Universidade Federal do Amazonas, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre Ciências Ambientais.*

**ORIENTADORA: DRA. JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA
QUERINO**

**Humaitá, AM
Janeiro/2024**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

F814a França, Elton Patrick Gonçalves
Análise espacial das estimativas de temperatura da superfície e do ar por meio de imagens landsat-8 para o município de Humaitá, Amazonas / Elton Patrick Gonçalves França . 2024
34 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Juliane Kayser Albuquerque da Silva Querino
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Áreas verdes . 2. Desconforto térmico humano . 3. Sustentabilidade . 4. Sensoriamento remoto . I. Querino, Juliane Kayser Albuquerque da Silva. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DO AR POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 PARA O MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, AMAZONAS. (Linha de pesquisa 1: Componentes e dinâmicas dos ecossistemas com ênfase no bioma amazônico)

AUTOR: ELTON PATRICK GONÇALVES FRANÇA

Dissertação defendida e aprovada em 25 de julho de 2024, pela comissão julgadora:

Documento assinado digitalmente
 **JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA QUER**
Data: 21/08/2024 12:47:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino
PPGCA-IEAA/UFAM - Orientadora / Presidente

Documento assinado digitalmente
 **RENATO ABREU LIMA**
Data: 21/08/2024 16:39:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renato Abreu Lima
Membro Titular Interno

Documento assinado digitalmente
 **GRAZIELA TOSINI TEJAS**
Data: 21/08/2024 12:55:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Graziela Tosini Tejas
Membro Titular Externo

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à Deus, por me sustentar em todos os momentos da minha vida e aos meus pais Domingos Esteves França e Nazaré Gonçalves Barros, os quais serei eternamente grato.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem ele nada disso seria possível, que fez eu ultrapassar todos os obstáculos durante minha trajetória ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Domingos e Nazaré e aos meus irmãos pelas palavras de motivação, mesmo com as adversidades da vida, nunca me deixaram desistir.

Ao meu grande amigo Luíz Octávio e incentivador, que me acompanhou e ensinou a programar as ferramentas de sensoriamento remoto, obrigado!

À minha orientadora, Dra. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino, pelo apoio, orientação, confiança e incentivo em todos os momentos.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Interação Biosfera Atmosfera na Amazônia (GPIBA).

À Universidade Federal do Amazonas e ao Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais, em especial aos professores Renato Abreu, Carlos Querino, Benone Viviane Vidal.

Aos membros da minha banca de defesa, Prof^a. Dr^a. Graziela Tosini Tejas e Prof. Dr. Renato Abreu Lima, pelas contribuições e enriquecimento desta dissertação.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente me apoiaram e fizeram parte da vida nesse decorrer de minha formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo auxílio financeiro fornecido a este trabalho.

“Ainda que a minha mente e o meu corpo enfraqueçam, Deus é a minha força, ele é tudo o que sempre preciso.”

Salmos 73:23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	4
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral	8
2.2 Objetivos Específicos	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 Elementos do Clima	9
3.1.1 Temperatura do Ar.....	9
3.1.2 Clima.....	10
3.2 Índice de Desconforto e Conforto Térmico	12
3.3 Sensoriamento Remoto	13
3.4 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	14
3.5 Séries LANDSAT	16
3.6 ERA5-LAND	17
3.7 Reanálise Climática	18
4. METODOLOGIA	20
4.1 Área de estudo	20
4.2 Dados	21
4.2.1 LANDSAT-8.....	21
4.2.2 ERA-5 Land.....	22
4.2.3 Estimativa da Temperatura do Ar (TAR).....	22
4.2.4 Análise dos Dados.....	23
4.2.5 Indicadores de Performance.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1 Validação das estimativas de temperatura do ar	27
6. CONCLUSÃO	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) trabalhados nesta pesquisa.....	4
Figura 2 – Localização de Humaitá no âmbito da América do Sul e do Brasil.	20
Figura 3 – Histogramas e gráficos de dispersão resultantes de 10.000 reamostragens bootstrap dos dados de temperatura do ar estimados pelo ERA5-Land e Landsat-8.	28
Figura 4 – Correlação de Pearson (a), índice de Willmott (b), RMSE (c) e regressão linear (d) entre a temperatura do ar do ERA5-Land com as estimativas de temperatura do ar do Landsat-8 para o perímetro urbano de Humaitá-AM.....	30
Figura 5 – Correlação de Pearson (a), índice de Willmott (b), RMSE (c) e regressão linear (d) entre a temperatura do ar do ERA5-Land com as estimativas de temperatura do ar do Landsat-8 no perímetro rural de Humaitá-AM.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa de intervalos para análise do Índice de desconforto térmico humano (IDH) e seus respectivos efeitos.....	24
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do NDVI	21
Equação 2 – Equação da reta obtida pela regressão linear.	23
Equação 3 – Equação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).	24
Equação 4 – Índice de correlação de Pearson R.	25
Equação 5 – Índice de Willmott	25
Equação 6 – Índice de RMSE.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM – Amazonas

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AV – Áreas verdes

CT – Conforto Térmico

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DT – Desconforto Térmico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilhas de Calor Urbano

IDH – Índice de Desconforto Humano

IDT – Índice de Desconforto Térmico

IFAM – Instituto Federal do Amazonas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

JPL - Laboratório de Propulsão a Jato

LaSRC - Código de Reflectância da Superfície Terrestre

NASA - Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

QA – Banda de Qualidade

RMSE – Root Mean Squared Error

RIT - Rochester Institute of Technology

RO – Rondônia

SWIR - bandas de infravermelho de onda curta

ST – Surface Temperatura

SR - Surface Reflectance

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

LISTA DE SÍMBOLOS

°C – Graus Celsius

°F – Fahrenheit

km² – Quilômetro quadrado

RESUMO

FRANÇA, E.P.G. **ANÁLISE ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DO AR POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 PARA O MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, AMAZONAS.** Humaitá, 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas.

O município de Humaitá tem enfrentado impactos significativos devido as persistentes mudanças no uso do solo e cobertura da terra, alterando sua paisagem natural causando deterioração contínua do ambiente e o microclima local. Essas mudanças podem causar alterações no conforto térmico da região, afetando o bem-estar da população e a ecologia local resultando na diminuição de áreas verdes e causando o desconforto térmico. Assim, é crucial realizar estudos aprofundados para compreender e mitigar esses impactos, garantindo a sustentabilidade e qualidade de vida em Humaitá. Portanto, este trabalho tem objetivo principal avaliar as estimativas de temperatura da superfície e do ar por meio de imagens Landsat-8 para avaliação do desconforto térmico no município de Humaitá, Amazonas. Os registros de temperatura da superfície para as regiões urbanas e rural foram estimadas por meio da missão Landsat-8, e foram adquiridos utilizando a plataforma do Google Earth Engine durante o período compreendido de janeiro de 2000 a junho de 2023, totalizando 41 imagens. Os dados horários de temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho foram estimados pelo produto de reanálise ERA5 – Land com resolução espacial de 9 Km, disponibilizados no site da Climate Copernicus no mesmo período compreendido das imagens disponibilizadas pelo Landsat-8, e avaliado conforme os valores obtidos nas análises. As estimativas de temperatura do Landsat-8 mostraram consistência com o modelo ERA5-Land, especialmente em áreas urbanas. O ERA5-Land apresentou maior variabilidade em áreas vegetadas. Isso sugere que, mesmo com essa variabilidade, algumas estimativas permanecem dentro do intervalo de confiança de 95%, o que indica a utilidade das estimativas em certas áreas. O Landsat-8 é confiável para monitoramento climático, mas novas variáveis podem aprimorar a precisão.

Palavras-chaves: Áreas verdes; Desconforto Térmico Humano (DTH); Sustentabilidade; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

FRANÇA, E.P.G. **SPATIAL ANALYSIS OF SURFACE AND AIR TEMPERATURE ESTIMATES USING LANDSAT-8 IMAGES FOR THE MUNICIPALITY OF HUMAITÁ, AMAZONAS.** Humaitá, 2024, Dissertation (Master's Degree in Environmental Sciences) – Institute of Education, Agriculture and Environment, Federal University of Amazonas.

The municipality of Humaitá has faced significant impacts due to persistent changes in land use and land cover, altering its natural landscape causing continuous deterioration of the environment and the local microclimate. These changes can cause changes in the thermal comfort of the region, affecting the well-being of the population and the local ecology, resulting in the reduction of green areas and causing thermal discomfort. Thus, it is crucial to carry out in-depth studies to understand and mitigate these impacts, ensuring sustainability and quality of life in Humaitá. Therefore, this work has the main objective of evaluating surface and air temperature estimates through Landsat-8 images to assess thermal discomfort in the municipality of Humaitá, Amazonas. Surface temperature records for urban and rural regions were estimated through the Landsat-8 mission, and were acquired using the Google Earth Engine platform during the period from January 2000 to June 2023, totaling 41 images. Hourly air temperature and dew point temperature data were estimated by the ERA5-Land reanalysis product with a spatial resolution of 9 km, available on the Climate Copernicus website for the same period as the images made available by Landsat-8, and evaluated according to the values obtained in the analyses. The Landsat-8 temperature estimates showed consistency with the ERA5-Land model, especially in urban areas. ERA5-Land showed greater variability in vegetated areas. This suggests that, even with this variability, some estimates remain within the 95% confidence interval, indicating the usefulness of the estimates in certain areas. Landsat-8 is reliable for climate monitoring, but new variables can improve accuracy.

Keywords: Green areas, Human Thermal Discomfort (HTD), Sustainability, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

A Região Amazônica possui a maior floresta tropical do mundo, caracterizada por uma extraordinária diversidade de fauna e flora, além de apresentar uma variabilidade climática complexa (Xu et al., 2019). Paralelamente, essa região tem experimentado um desenvolvimento contínuo nos âmbitos econômico, político e social, o que tem contribuído para o surgimento de áreas urbanas em constante expansão. No entanto, esse crescimento desordenado resultou em uma influência antropogênica significativa, devido à ocupação desenfreada de terras (Cardoso et al., 2021).

Estas mudanças de paisagens, por conta da ampliação das áreas urbanas, implicam em condições particulares ao meio ambiente, devido a alterações complexas na superfície, que se manifestam e comprometem a qualidade do ambiente e impacta às atividades sociais, econômicas e ambientais. Além disso, interferências que modificam o balanço energético e hídrico de uma região, criam e modulam o próprio clima urbano. Contudo, em uma região que vem se desenvolvendo, cresce a preocupação quanto às consequências das atividades antrópicas no microclima, com destaque para a região sul do Amazonas, que atualmente, desenvolve-se com a expansão gradativa da fronteira agrícola e de rodovias (Lujan *et al.*, 2013; Querino 2017).

Além das pressões ambientais, o crescimento urbano desordenado traz desafios para o planejamento urbano sustentável. A urbanização na Amazônia frequentemente ocorre sem a infraestrutura adequada, resultando em condições de vida precárias para muitos habitantes e aumentando a vulnerabilidade das comunidades aos efeitos das mudanças climáticas. A falta de planejamento eficaz exacerba problemas como enchentes, poluição e ilhas de calor urbano, prejudicando a qualidade de vida e a saúde pública (Fernandes *et al.*, 2020).

Ademais, o desmatamento e a conversão de terras para uso agrícola e pecuário alteram significativamente os ciclos naturais da região, impactando não apenas a biodiversidade, mas também os recursos hídricos e o clima local. A perda de cobertura vegetal reduz a capacidade de sequestro de carbono da floresta, contribuindo para o aquecimento global. As mudanças na utilização da terra modificam o regime de chuvas, levando a secas mais severas e frequentes em

algumas áreas, enquanto outras podem enfrentar inundações mais intensas (Nepstad *et al.*, 2014).

No entanto, o entendimento de comportamentos microclimáticos de uma determinada região é de grande importância para o desenvolvimento dos setores agrícola, ambiental e/ou econômico (Carvalho *et al.*, 2016). A temperatura, a umidade do ar e o vento influenciam diretamente as condições ambientais e determinam a distribuição de plantas e animais na superfície terrestre. As condições atmosféricas e um clima agradável estão relacionados com o conforto, bem-estar e qualidade de vida dos seres humanos (Morais *et al.*, 2012).

A caracterização térmica de uma cidade é de grande importância para projetos de planejamentos urbanos, pois favorece a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes (Silva Junior *et al.*, 2013). Essa informação auxilia a implantação de medidas mitigadoras como a manutenção dos espaços verdes com cobertura vegetal arbórea para prevenir o desconforto térmico (DT). Em geral, o DT provoca respostas fisiológicas e comportamentais dos animais, e no caso do ser humano, há uma constante busca pela melhora da condição do conforto térmico (Russi *et al.*, 2012; Minaki, 2013).

Para uma compreensão mais abrangente do desconforto térmico, é essencial contar com dados climatológicos de alta qualidade em escalas espaciais e temporais refinadas. Essa precisão é essencial para a análise de informações meteorológicas de alto nível, crucial para o monitoramento e estudos que visam proporcionar informações vitais para o bem-estar da sociedade. Nesse contexto, torna-se fundamental a utilização de ferramentas alternativas para a obtenção de dados climatológicos. Uma abordagem eficaz envolve a sinergia entre produtos de sensoriamento remoto e os dados de reanálises para a realização de estudos em ampla escala (Matos, 2023).

O sensoriamento remoto, emprega tecnologias como satélites e sensores, que desempenham um papel crucial nesse cenário, permitindo a coleta de informações sobre as características espectrais da superfície detalhadas em vastas regiões geográficas e ao longo de períodos significativos (Erthal, 2023). Da mesma forma, os produtos de reanálise são dados em grade com suas devidas escalas espaciais e temporais que representam o estado físico da atmosfera utilizando o resultado da combinação de modelos atmosféricos numéricos, além de diferentes técnicas de assimilação de dados e uma variedade de conjunto de dados

observados de diversas variáveis meteorológicas (Hooker *et al.*, 2018).

Outro aspecto relevante é a necessidade de políticas públicas que integrem o conhecimento científico e as práticas tradicionais das comunidades locais. As populações indígenas e ribeirinhas possuem um vasto conhecimento sobre a floresta e seus ciclos naturais, que pode ser crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e adaptação às mudanças climáticas. A valorização e inclusão dessas práticas tradicionais nos planos de desenvolvimento podem contribuir significativamente para a conservação da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais (Almeida *et al.*, 2015).

Além disso, é crucial implementar medidas de educação ambiental que conscientizem a população local e os visitantes sobre a importância da preservação da Amazônia. Campanhas educativas podem promover práticas sustentáveis e engajar a comunidade em iniciativas de conservação. A participação ativa da sociedade civil é vital para o sucesso de programas de conservação e para assegurar que os benefícios do desenvolvimento econômico sejam equilibrados com a necessidade de preservar o meio ambiente para as gerações futuras (Castro *et al.*, 2019).

Na região Norte do Brasil, em áreas como a cidade de Humaitá, Amazonas, enfrentamos uma notável escassez de informações sobre a influência das atividades humanas no ambiente urbano e seu impacto no clima. Essa lacuna de conhecimento tem sérias implicações para o planejamento eficaz do desenvolvimento sustentável, que abrange aspectos técnicos, econômicos e sociais (Querino, 2017).

Portanto, é imperativo que as cidades se tornem mais sustentáveis e justas para garantir a sobrevivência da humanidade. Isso inclui promover uma melhor qualidade ambiental e de vida, saúde e bem-estar, além de proteger e restaurar os ecossistemas terrestres. Essas ações são essenciais para combater a desertificação, deter e reverter a degradação dos solos e impedir a perda da biodiversidade. Assim, este trabalho busca contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ajudando a alcançar a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) no Amazonas e no Brasil. Especificamente, foca nos objetivos 3 – Boa Saúde e Bem-Estar; 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis; 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima; e 15 – Vida Terrestre.



FONTE: Agenda 2030 (2015), adaptado pelo autor.

Figura 1 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) trabalhados nesta pesquisa.

1.1 Justificativa

Humaitá apresenta características ambientais únicas devido à sua localização geográfica e ao clima tropical úmido. O município é coberto predominantemente por floresta amazônica, o que proporciona uma rica biodiversidade e uma variedade de ecossistemas. As atividades econômicas principais incluem agricultura, pesca, e extrativismo vegetal, com destaque para a produção de castanha e açaí. Além disso, a infraestrutura de transporte, composta pelas rodovias BR-230 e BR-319, é vital para o escoamento de produtos e para a integração regional, facilitando o acesso a mercados e promovendo o desenvolvimento econômico local (Betez, 2021).

De acordo com Becker (2005), devido às diversas mudanças na dinâmica regional, Humaitá começou a assumir novas funções, atraindo cada vez mais a população excedente do meio rural. Essa migração populacional passou a ocupar as margens das rodovias recém-abertas, em vez das margens dos rios, que anteriormente eram as áreas prioritárias de ocupação. A construção e pavimentação das rodovias BR-230 e BR-319 desempenharam um papel crucial nesse processo, facilitando o acesso a Humaitá e promovendo o desenvolvimento econômico e social do município.

Segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2013), entre 2013 e 2017, a população de Humaitá cresceu a uma taxa média anual de 8,64%, superando a taxa média de crescimento do Amazonas, que foi de 6,71% no mesmo período. Esse crescimento populacional reflete não apenas a atração de novos moradores devido às melhorias na infraestrutura de transporte, mas também o aumento das oportunidades econômicas na região. O desenvolvimento de setores como a agricultura, o comércio e os serviços, aliado ao investimento em infraestrutura, tem sido fundamental para o crescimento sustentável de Humaitá, consolidando-o como um polo de desenvolvimento regional.

A localização estratégica de Humaitá na confluência das rodovias BR-230 e BR-319 fortalece sua posição como um centro logístico importante na região Norte do Brasil. Essas rodovias são essenciais para conectar Humaitá a outras cidades e estados, facilitando o fluxo de mercadorias e pessoas. A BR-230, conhecida como Transamazônica, é uma das principais vias de acesso para o interior da Amazônia, enquanto a BR-319 liga Humaitá a Porto Velho e Manaus, dois importantes centros urbanos e econômicos (Silva, 2020).

O clima de Humaitá, classificado como B4WA'a' pela classificação climática de Thornthwaite e Mather, é caracterizado por uma estação seca e uma estação chuvosa bem definidas. Essa variabilidade climática influencia diretamente as atividades agrícolas e extrativistas do município. Durante a estação chuvosa, a abundância de água favorece o crescimento da vegetação e a reprodução de espécies aquáticas, enquanto a estação seca é propícia para a colheita e outras atividades agrícolas (Martins *et al.*, 2019).

A riqueza ambiental de Humaitá é um dos seus maiores ativos. A floresta amazônica que cobre grande parte do município é um ecossistema vital para a biodiversidade global. Espécies endêmicas de plantas e animais encontram abrigo nessa floresta, que também desempenha um papel crucial na regulação do clima global através da captura de dióxido de carbono. Além disso, a floresta oferece recursos naturais valiosos para a população local, como frutos, madeira e produtos medicinais (Oliveira, 2018).

As atividades econômicas de Humaitá são diversificadas e refletem a interação entre a população local e seu ambiente natural. A agricultura é um dos pilares da economia, com a produção de mandioca, milho e feijão sendo predominante. A pesca é uma atividade tradicional, essencial para a subsistência e para a economia local, fornecendo peixe fresco para consumo e comércio. O extrativismo vegetal, especialmente a coleta de castanha-do-pará e açaí, é uma fonte significativa de renda para muitas famílias (Carvalho, 2021).

A infraestrutura de transporte, com destaque para as rodovias BR-230 e BR-319, é crucial para o desenvolvimento econômico de Humaitá. Essas rodovias permitem o escoamento eficiente de produtos agrícolas e extrativistas para mercados regionais e nacionais. Além disso, facilitam a mobilidade dos habitantes, promovendo o acesso a serviços de saúde, educação e comércio em outras localidades. A melhoria contínua dessas rodovias é essencial para sustentar o

crescimento econômico e social do município (Betez, 2021).

A migração da população rural para as áreas urbanas de Humaitá, impulsionada pela abertura das rodovias, tem transformado a paisagem social e econômica do município. As margens das rodovias tornaram-se novas áreas de ocupação, substituindo as tradicionais áreas ribeirinhas. Esse movimento populacional trouxe desafios e oportunidades, exigindo adaptações na infraestrutura urbana e nos serviços públicos para atender à crescente demanda por moradia, saúde e educação (Becker, 2005).

O crescimento populacional acelerado de Humaitá entre 2013 e 2017, conforme apontado pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, reflete a atratividade do município para novos moradores. Esse crescimento pode ser atribuído às melhorias na infraestrutura de transporte e ao aumento das oportunidades econômicas. A expansão dos setores agrícola, comercial e de serviços tem criado novos empregos e incentivado a migração para a cidade, contribuindo para o dinamismo econômico e social da região (IBGE, 2022).

O desenvolvimento sustentável de Humaitá depende de uma gestão equilibrada dos recursos naturais e da infraestrutura. A conservação da floresta amazônica é crucial para manter a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos que sustentam a vida no município. Políticas de manejo sustentável e práticas agrícolas ecologicamente corretas são necessárias para assegurar que o crescimento econômico não comprometa a integridade ambiental da região (Fernandes, 2021).

As políticas públicas desempenham um papel vital no desenvolvimento de Humaitá. Investimentos em infraestrutura, educação e saúde são fundamentais para melhorar a qualidade de vida dos habitantes e promover o crescimento econômico. Além disso, é essencial implementar programas de capacitação e incentivo para as atividades econômicas locais, como a agricultura sustentável e o ecoturismo, que podem gerar renda e preservar o meio ambiente ao mesmo tempo (Souza, 2022).

A educação é um fator chave para o desenvolvimento de Humaitá. A melhoria do sistema educacional local pode preparar os jovens para enfrentar os desafios do mercado de trabalho e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região. Programas educacionais voltados para a conservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais podem sensibilizar as novas gerações sobre a importância de proteger a Amazônia e promover práticas sustentáveis (Martins, 2019).

A saúde pública em Humaitá também precisa de atenção especial. O

crescimento populacional e a urbanização rápida exigem um sistema de saúde robusto e acessível para atender às necessidades da população. A melhoria das instalações de saúde, a formação de profissionais qualificados e a implementação de programas de saúde preventiva são essenciais para garantir o bem-estar dos habitantes e enfrentar desafios como doenças tropicais e condições de saúde relacionadas ao meio ambiente (Santos, 2021).

O turismo sustentável é uma oportunidade emergente para Humaitá. A riqueza natural e a biodiversidade do município podem atrair visitantes interessados em ecoturismo e turismo de aventura. Desenvolver infraestrutura turística adequada e promover a preservação dos recursos naturais pode transformar Humaitá em um destino turístico popular, gerando emprego e renda para a população local e contribuindo para a conservação ambiental (Almeida, 2020).

A integração regional através das rodovias BR-230 e BR-319 é um fator de crescimento importante para Humaitá. Essas vias não apenas facilitam o comércio e o transporte de mercadorias, mas também fortalecem os laços culturais e sociais com outras regiões. A cooperação regional pode resultar em benefícios mútuos, como o intercâmbio de tecnologias agrícolas, a promoção de eventos culturais e a colaboração em projetos de desenvolvimento sustentável (Silva, 2020).

Finalmente, o futuro de Humaitá depende de um equilíbrio entre desenvolvimento econômico, social e ambiental. A implementação de políticas públicas eficazes, a valorização do conhecimento tradicional, a promoção da educação e da saúde, e o incentivo a práticas sustentáveis são essenciais para garantir um crescimento equilibrado e sustentável. Somente através de uma abordagem integrada e participativa, Humaitá poderá alcançar um desenvolvimento que beneficie todos os seus habitantes e preserve a riqueza natural da Amazônia para as futuras gerações (Fernandes, 2021).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar as estimativas de temperatura da superfície e do ar por meio de imagens Landsat-8 para o município de Humaitá, Amazonas.

2.2 Objetivos Específicos

- Validar as estimativas da temperatura do ar em relação aos dados de referência.
- Avaliar a variabilidade das estimativas da temperatura do ar e temperatura de superfície em área urbana e rural do município de Humaitá-AM.
- Propor sugestões de planejamento urbano para a melhoria do desconforto térmico ambiental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Elementos do Clima

Tejas (2019), conforme citado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007), explica que os principais elementos climáticos utilizados para representar a atmosfera geográfica são a pressão, a temperatura e a umidade. Esses elementos são profundamente influenciados pela diversidade geográfica, resultando em diversas manifestações meteorológicas. Entre essas manifestações, destacam-se a precipitação, os ventos, a nebulosidade, as ondas de calor e frio, além de outros fenômenos atmosféricos. Esses fatores climáticos desempenham um papel crucial na determinação das condições meteorológicas locais e regionais, impactando diretamente o clima e o ambiente natural de diferentes áreas geográficas.

Giovoni (1976) afirma que, entre os diversos elementos do clima, a temperatura e a umidade do ar são os que mais afetam o conforto térmico humano. Além disso, a radiação solar e a ventilação são fatores climáticos cruciais que influenciam significativamente esse processo. Essas variáveis determinam a sensação térmica, ou seja, a temperatura aparente que é percebida pela pele exposta, resultante das interações com essas condições meteorológicas. Assim, os elementos do clima são fundamentais na definição do conforto ou desconforto térmico experimentado pelo corpo humano.

A sensação de conforto térmico não é uniforme e pode variar consideravelmente entre diferentes indivíduos, dependendo de fatores como saúde, idade, atividade física e até mesmo preferências pessoais. Por exemplo, uma pessoa pode se sentir confortável em temperaturas mais elevadas, enquanto outra pode preferir ambientes mais frescos. A percepção de conforto térmico também pode ser influenciada por fatores culturais e de adaptação ao clima local. Portanto, entender e controlar esses elementos climáticos é essencial não apenas para melhorar o bem-estar humano, mas também para projetar ambientes que atendam às necessidades térmicas específicas de diferentes populações (Gobo, 2018).

3.1.1 Temperatura do Ar

A temperatura do ar é um dos atributos climáticos mais cruciais, resultante da interação entre a radiação solar e a superfície terrestre. Esse processo de aquecimento da superfície ocorre principalmente pelo transporte de calor,

envolvendo mecanismos de condução e, de forma predominante, convecção, entre a superfície terrestre e a camada atmosférica circundante. O controle da temperatura envolve o equilíbrio de energia na superfície, influenciado por diversos fatores de escala macroclimática, como a intensidade da radiação solar, a dinâmica dos ventos, a presença de nuvens e a quantidade de vapor d'água na atmosfera. Além disso, fatores de escala topoclimática, como a exposição e a configuração do terreno, e fatores microclimáticos, como a cobertura vegetal, desempenham papéis determinantes na variação térmica (Pereira *et al.*, 2002).

A temperatura do ar é uma medida que quantifica a sensação de calor ou frio do ar em um local e instante específicos. Normalmente expressa em graus Celsius (°C) ou Fahrenheit (°F), ela reflete a quantidade de energia térmica presente nas moléculas do ar. Quanto maior a energia térmica, maior a temperatura (Querino, 2017). Essa variável climática é notoriamente variável, flutuando ao longo do dia e diferindo entre regiões devido a inúmeros fatores, como a exposição solar, a elevação, a latitude e as condições atmosféricas locais (Alves, 2020).

Vale ressaltar que a temperatura do ar é apenas uma das várias peças do quebra-cabeça que compõe o estado do tempo e o clima. Seus efeitos reverberam em várias esferas da vida na Terra, influenciando a evaporação da água, a formação de nuvens, os padrões de vento e até mesmo a distribuição de espécies nos ecossistemas terrestres e aquáticos. Portanto, o monitoramento e a compreensão da temperatura do ar desempenham um papel essencial na meteorologia, climatologia e em diversas áreas da ciência e da sociedade (Consigliari, 2023).

3.1.2 Clima

O clima de Humaitá, classificado como B4WA'a' pela classificação climática de Thornthwaite e Mather, é caracterizado por uma estação seca e uma estação chuvosa bem definidas. Essa variabilidade climática desempenha um papel crucial nas atividades agrícolas e extrativistas do município, moldando a forma como os recursos naturais são utilizados ao longo do ano. Durante a estação chuvosa, que se estende de dezembro a maio, a abundância de água favorece o crescimento exuberante da vegetação, proporcionando condições ideais para a reprodução de espécies aquáticas e o florescimento de plantas nativas. Esse período é fundamental para a renovação dos ecossistemas locais, garantindo a

sustentabilidade dos recursos naturais que são vitais para a economia e o sustento da população (Martins *et al.*, 2019).

Por outro lado, a estação seca, que ocorre entre junho e novembro, apresenta um cenário distinto, mas igualmente importante para as atividades econômicas de Humaitá.

Durante esse período, as condições climáticas são mais favoráveis para a colheita de produtos agrícolas, como a mandioca, o milho e o feijão, que são cultivos tradicionais na região. A redução das chuvas permite que os agricultores realizem a colheita de maneira mais eficiente, evitando perdas por excesso de umidade. Além disso, a estação seca é propícia para atividades como a extração de castanha-do-pará e açaí, que são importantes produtos do extrativismo vegetal e fontes significativas de renda para muitas famílias locais (Frare, 2024).

Essa alternância entre períodos de chuva e seca também influencia as estratégias de manejo dos recursos naturais em Humaitá. Os agricultores e extrativistas locais adaptam suas práticas conforme as variações climáticas, garantindo que suas atividades sejam sustentáveis e produtivas ao longo do ano. Durante a estação chuvosa, por exemplo, é comum a preparação do solo e o plantio de culturas que se beneficiarão da alta disponibilidade de água. Já na estação seca, as técnicas de armazenamento e conservação de água se tornam essenciais para manter a produtividade das terras agrícolas e garantir a continuidade das atividades extrativistas.

Além das implicações diretas para a agricultura e o extrativismo, a variabilidade climática de Humaitá também tem um impacto significativo sobre a infraestrutura e a vida cotidiana dos habitantes. As chuvas intensas durante a estação chuvosa podem causar inundações e afetar a infraestrutura de transporte, como estradas e pontes, dificultando o acesso a mercados e serviços essenciais. Por outro lado, a estação seca, embora favorável para muitas atividades, também pode trazer desafios como a escassez de água e o aumento do risco de incêndios florestais. Portanto, a gestão eficaz dos recursos hídricos e a adaptação às condições climáticas são essenciais para o desenvolvimento sustentável e a resiliência das comunidades de Humaitá (Martins *et al.*, 2019).

3.2 Índice de Desconforto e Conforto Térmico

O conforto térmico se define como a sensação de bem-estar mental em relação à temperatura proporcionada pelo ambiente em que as pessoas se encontram. Esse estado de conforto é alcançado quando há um equilíbrio entre temperaturas frias e quentes, de modo que as pessoas não experimentem sensações extremas de frio ou calor, e não enfrentem dificuldades para manter a temperatura corporal adequada. A importância do conforto térmico é inegável, como ressaltado por Ayoade (1988), que enfatiza que o clima é um componente vital do ambiente tropical e deve ser compreendido e considerado em qualquer programa de desenvolvimento destinado a elevar o padrão de vida e a qualidade de vida da população. Portanto, podemos claramente perceber que o conforto térmico está intrinsecamente ligado à qualidade de vida (Querino, 2017).

Adicionalmente, a avaliação e compreensão do conforto térmico em espaços ao ar livre desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade desses ambientes, influenciando positivamente o comportamento e a utilização das pessoas (Ghani *et al.*, 2021). O conforto térmico (CT) representa uma condição psicológica que reflete a satisfação das pessoas com o ambiente em que se encontram, avaliando o quão agradáveis ou desagradáveis são as condições térmicas desse local. Para essa avaliação, são considerados seis fatores fundamentais, com quatro deles relacionados a elementos meteorológicos, como temperatura, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, enquanto os outros dois estão relacionados a fatores biológicos, incluindo vestimenta e atividade metabólica (Parsons, 2014).

Variáveis meteorológicas, como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e circulação do ar, desempenham um papel fundamental na regulação térmica do corpo humano (Yan *et al.*, 2020). Os seres humanos possuem dois mecanismos de regulação térmica que lhes permitem ajustar-se às variações desses elementos climáticos: mecanismo fisiológico, que engloba processos como batimentos cardíacos, sudorese, variações no fluxo sanguíneo, contração muscular, entre outros; e mecanismo comportamental, que inclui a redução da capacidade de trabalho, prostração e sono. Portanto, as condições de conforto térmico são influenciadas por uma série de variáveis (Almeida-Junior, 2005).

A escassez de áreas livres, vegetação e água, juntamente com vastas

extensões de áreas pavimentadas densamente povoadas, são elementos que contribuem para o aumento da temperatura e, conseqüentemente, para o desconforto térmico nas áreas urbanas. No entanto, é importante ressaltar que todos esses fatores estão intrinsecamente ligados à distribuição das temperaturas, que tendem a ser de 1 a 3°C mais elevadas nas áreas urbanas em comparação com as áreas rurais. É relevante destacar que, em circunstâncias específicas, como noites de calma atmosférica, essa diferença pode ser ainda mais acentuada, chegando a atingir 10°C (Dacanal e Labaki, 2013).

As condições térmicas em áreas urbanas estão intimamente relacionadas com a expansão vertical das cidades (Monteiro *et al.*, 2016). Quando as cidades se expandem verticalmente com a construção de edifícios altos, ocorrem alterações substanciais nas condições climáticas locais. Isso envolve o aumento da absorção de calor pelos edifícios, a criação de ilhas de calor urbanas devido à retenção de calor e à modificação dos padrões de vento. Essas mudanças afetam diretamente o conforto e desconforto térmico das pessoas que vivem nas áreas urbanas, tornando-o muitas vezes menos confortável devido a temperaturas mais altas, falta de ventilação e aumento das temperaturas noturnas. Portanto, compreender e abordar as implicações da expansão vertical é crucial para o planejamento urbano sustentável e a criação de ambientes urbanos mais habitáveis e confortáveis para seus residentes.

3.3 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto emerge como uma poderosa ferramenta científica que nos permite observar e coletar informações sobre a superfície terrestre de maneira não intrusiva (Levizzani; Cattani, 2019). Fundamentado nos princípios da física eletromagnética, esse enfoque tem desempenhado um papel vital em estudos científicos, proporcionando uma compreensão mais profunda do ambiente, monitorando mudanças, identificando padrões e fornecendo dados cruciais para decisões bem-informadas (Levizzani; Cattani, 2019).

O sensoriamento remoto encontra sua base na interação entre a energia eletromagnética e os elementos presentes na superfície terrestre (Mertikas *et al.*, 2021). Sensores acoplados em plataformas aéreas, como satélites, aeronaves ou drones, capturam a energia eletromagnética, que é posteriormente processada e

analisada para extrair informações sobre as características dos objetos e materiais observados. Essa abordagem encontra aplicação em diversas áreas do conhecimento.

No âmbito da monitorização ambiental, essa técnica é essencial para avaliar a saúde dos ecossistemas, monitorar a qualidade da água, detectar a poluição atmosférica e analisar a cobertura vegetal (Mertikas *et al.*, 2021). Na climatologia, os dados de sensoriamento remoto desempenham um papel crucial no estudo dos padrões climáticos, previsões meteorológicas e análise de mudanças climáticas (Pei *et al.*, 2021). Contudo, é importante destacar que, apesar de sua eficácia, o sensoriamento remoto enfrenta desafios significativos, como a correção de distorções atmosféricas, o processamento de volumes massivos de dados e a necessidade de integração de informações de diversas fontes para uma compreensão holística do ambiente observado (Golubkov *Et Al.*, 2020).

Este campo está em constante evolução, impulsionado por avanços tecnológicos que permitem a aquisição de dados de alta resolução espacial e espectral (Pei *et al.*, 2021). Além disso, a crescente disponibilidade de dados gratuitos e de acesso aberto tem incentivado a pesquisa científica e a colaboração entre instituições. Essas perspectivas promissoras prometem aprimorar nossa compreensão do planeta e sustentar decisões informadas em áreas que abrangem desde gestão ambiental e agrícola até planejamento urbano e estudos climáticos (Kumar *Et Al.*, 2022). Dentro desse contexto, a utilização adequada e eficaz do sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental na abordagem dos desafios ambientais e sociais contemporâneos, bem como no avanço contínuo da ciência em direção a um futuro sustentável.

3.4 Temperatura da Superfície

A temperatura da superfície (T_s) é uma variável climática de extrema relevância, desempenhando um papel crucial na compreensão das mudanças climáticas atuais e futuras, além de contribuir significativamente para o desenvolvimento de modelos de previsão climática. A obtenção de dados de T_s pode ser realizada de forma remota, por meio de imagens de satélites, ou *in situ*, com o uso de geotermômetros. No entanto, a coleta *in situ* apresenta limitações, especialmente na resolução espacial das análises, uma vez que não consegue

identificar a heterogeneidade das temperaturas resultantes de diferentes tipos de uso e ocupação do solo (Upmanis *et al.*, 1998; Jin, 2012).

A pesquisa sobre a temperatura da superfície é amplamente explorada em diversos campos científicos, e esta revisão bibliográfica examina a literatura recente relacionada a esse parâmetro climático, destacando avanços e tópicos relevantes. Uma inovação notável tem sido o uso de satélites equipados com sensores infravermelhos, que revolucionaram a medição da Ts, permitindo a obtenção de dados globais com alta resolução espacial e detalhando as variações de temperatura em todo o planeta. Estudos nesta área investigam a evolução das técnicas de sensoriamento remoto e seu impacto na compreensão das mudanças climáticas e na análise de fenômenos meteorológicos extremos (Prado; Fialho; Santos, 2020).

A Ts é um indicador-chave das mudanças climáticas globais, atraindo a atenção de pesquisadores para analisar as tendências de aquecimento da superfície terrestre. As atividades humanas, como a emissão de gases de efeito estufa, têm um papel significativo nesse aumento de temperatura, o que motiva estudos adicionais sobre as implicações das mudanças climáticas na Ts dos oceanos e seus efeitos nos ecossistemas marinhos.

A urbanização crescente desempenha um papel crucial na modificação da Ts, resultando nas conhecidas "ilhas de calor urbanas", áreas com temperaturas de superfície substancialmente mais elevadas em comparação com as áreas rurais vizinhas. A pesquisa nesta área se concentra em compreender como a urbanização afeta a Ts, identificando estratégias de mitigação e explorando como o planejamento urbano pode desempenhar um papel fundamental na redução desses efeitos (Martins, 2020).

Além disso, a Ts influencia diretamente a agricultura, afetando o desenvolvimento e o ciclo de crescimento das culturas. Estudos recentes analisam como a monitorização da Ts pode aprimorar a gestão agrícola, otimizar o uso de recursos hídricos e mitigar os impactos das flutuações de temperatura nas colheitas (Field, 2014). Em resumo, a pesquisa sobre a temperatura da superfície abrange uma gama diversificada de tópicos, desde o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto até a compreensão das consequências das mudanças climáticas e do crescimento urbano. Essa área desempenha um papel central na compreensão das dinâmicas climáticas e na formulação de políticas e estratégias para lidar com os desafios relacionados ao clima e ao meio ambiente (Brognoli,

2023).

3.5 Séries LANDSAT

A série LANDSAT desempenha um papel fundamental nos estudos climáticos de Humaitá, Amazonas, fornecendo dados críticos para a análise e monitoramento das mudanças ambientais na região. As imagens de alta resolução e multiespectrais capturadas pelos satélites LANDSAT permitem aos pesquisadores observar alterações na cobertura do solo, na vegetação e nos corpos d'água ao longo do tempo, facilitando uma compreensão detalhada dos impactos das variações climáticas e das atividades humanas sobre o meio ambiente local (Sánchez, 2020).

Para o município de Humaitá, onde a dinâmica climática é marcada por estações secas e chuvosas bem definidas, os dados LANDSAT são particularmente valiosos. Eles possibilitam a avaliação da extensão e da saúde das florestas, a identificação de áreas desmatadas e a monitoração de padrões de uso do solo (Albuquerque, 2022). Essa informação é crucial para entender como o clima afeta a biodiversidade e os recursos naturais, além de ajudar a identificar práticas agrícolas e extrativistas que são sustentáveis ou prejudiciais ao meio ambiente. Por exemplo, durante a estação chuvosa, as imagens LANDSAT podem ser usadas para mapear inundações e avaliar a resposta da vegetação ao excesso de água (Mengue, 2018).

Além disso, a série LANDSAT permite o monitoramento das mudanças no clima urbano de Humaitá, uma questão crescente à medida que o município se desenvolve e se urbaniza. As imagens térmicas dos satélites podem detectar ilhas de calor urbanas, fornecendo dados sobre as variações de temperatura dentro da cidade. Essas informações são essenciais para planejar medidas de mitigação, como a criação de espaços verdes e a implementação de políticas de uso do solo que minimizem os impactos das altas temperaturas e melhorem o conforto térmico dos habitantes (Medeiro, 2017).

Outro aspecto crucial é a integração dos dados LANDSAT com outras ferramentas e modelos climáticos para uma análise mais abrangente. A sinergia entre os dados de sensoriamento remoto e as observações de campo permite um entendimento mais completo das mudanças microclimáticas em Humaitá. Essa abordagem integrada é vital para desenvolver estratégias de adaptação e mitigação às mudanças climáticas, garantindo que as políticas de desenvolvimento local levem

em consideração as variações ambientais e climáticas (Meira, 2013).

Por fim, os dados gratuitos e acessíveis da série LANDSAT promovem a participação ativa de diversos stakeholders na pesquisa e na formulação de políticas públicas em Humaitá. Governos, ONGs, universidades e comunidades locais podem utilizar esses dados para monitorar o impacto das atividades humanas e desenvolver soluções sustentáveis. Isso é particularmente importante em uma região como a Amazônia, onde a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico precisam ser equilibrados cuidadosamente para garantir um futuro sustentável para as próximas gerações (Silva, 2017).

3.6 ERA5-LAND

O ERA5-Land é uma reanálise global de alta resolução que fornece dados climáticos detalhados e consistentes ao longo do tempo (Matsunaga, 2023). Para o município de Humaitá, Amazonas, o ERA5-Land é uma ferramenta poderosa para estudos climáticos, pois oferece informações precisas sobre variáveis meteorológicas como temperatura, precipitação, umidade do solo, e fluxos de energia na superfície. Esses dados são essenciais para entender as dinâmicas climáticas locais, especialmente em uma região caracterizada por variações sazonais significativas (Dos Santos, 2024).

Os dados do ERA5-Land permitem uma análise detalhada das condições climáticas de Humaitá, auxiliando na compreensão dos padrões de precipitação e temperatura ao longo dos anos. Com esses dados, pesquisadores podem identificar tendências de longo prazo, como mudanças na frequência e intensidade das chuvas, que são críticas para o planejamento agrícola e para a gestão de recursos hídricos. Essa informação é particularmente relevante para Humaitá, onde a economia local depende fortemente da agricultura e do extrativismo, atividades diretamente influenciadas pelas condições climáticas.

Além disso, o ERA5-Land oferece dados sobre fluxos de energia na superfície, que são vitais para estudar o balanço energético e hídrico da região. Essas informações ajudam a entender como a superfície terrestre de Humaitá interage com a atmosfera, influenciando processos como evapotranspiração e aquecimento superficial. Esse conhecimento é crucial para modelar o microclima urbano e rural, permitindo a implementação de estratégias para mitigar os efeitos do

calor extremo e melhorar o conforto térmico dos habitantes.

Os dados detalhados do ERA5-Land também são valiosos para monitorar eventos extremos, como ondas de calor e períodos de seca, que podem ter impactos devastadores sobre a comunidade e o meio ambiente. Ao fornecer uma base de dados confiável e de alta resolução, o ERA5-Land facilita a antecipação e a resposta a esses eventos, permitindo a implementação de medidas de adaptação e mitigação mais eficazes. Para Humaitá, isso significa uma maior resiliência frente às variações climáticas, garantindo a segurança e o bem-estar da população.

Por fim, a integração dos dados do ERA5-Land com outras fontes de informação, como os dados de satélites LANDSAT, amplia ainda mais a capacidade de análise climática em Humaitá. Essa sinergia possibilita uma visão mais abrangente e detalhada das interações entre os diferentes componentes do sistema climático regional, promovendo uma gestão ambiental mais informada e eficaz. Dessa forma, o ERA5-Land não só contribui para a pesquisa científica, mas também apoia o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade e o desenvolvimento socioeconômico de Humaitá.

3.7 Reanálise Climática

Os produtos de reanálise constituem conjuntos de dados de suma importância para o estudo e a compreensão do clima em diversas escalas temporais e espaciais (Gehne *et al.*, 2016). Estes conjuntos de dados resultam da integração de observações reais com modelos de simulação climática, gerando informações climáticas consistentes e contínuas (Duan *et al.*, 2016). Dentre esses produtos, destacam-se as estimativas em tempo real de variáveis atmosféricas cruciais, como temperatura, pressão atmosférica, umidade, vento, entre outras.

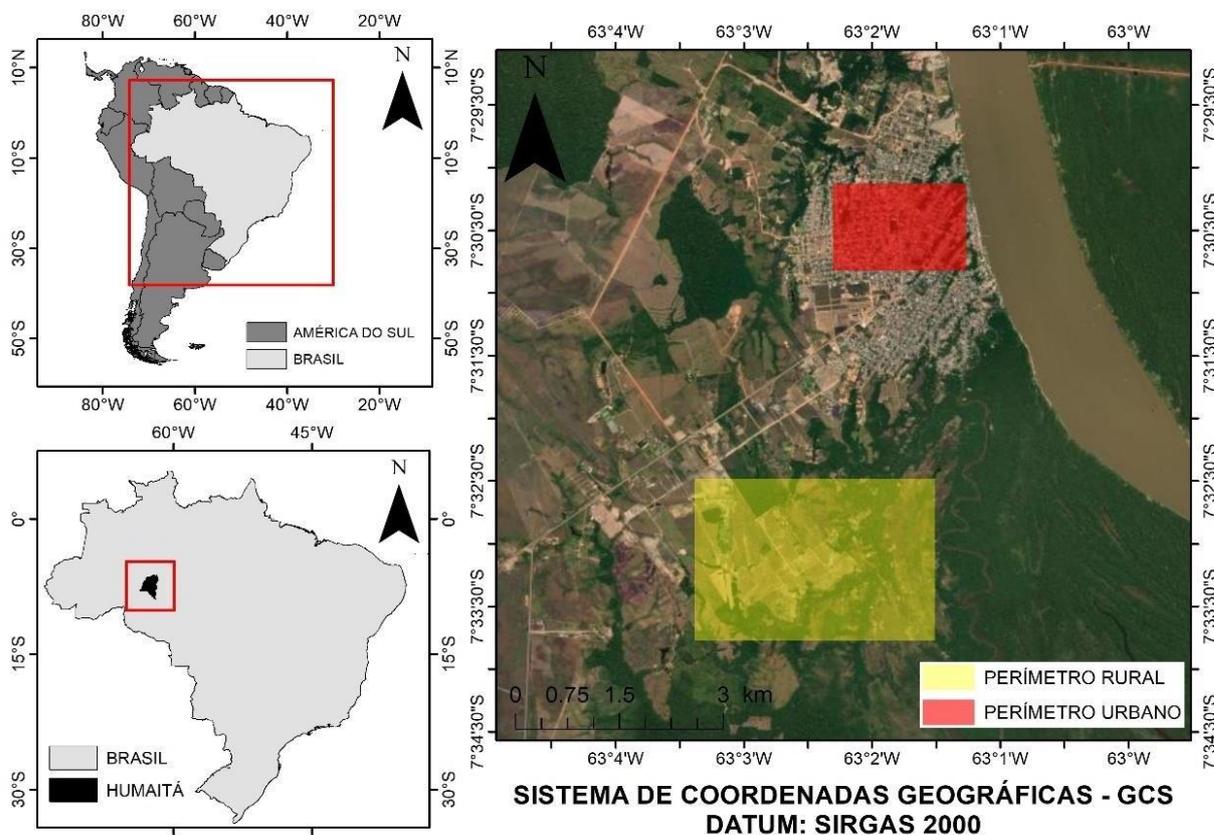
Através da assimilação de observações meteorológicas provenientes de fontes diversas, como satélites, estações meteorológicas e boias oceânicas, torna-se possível obter dados atualizados sobre as condições atmosféricas em diferentes regiões do globo (Uppala *et al.*, 2005). Além das informações em tempo real, os produtos de reanálise também englobam conjuntos de dados históricos (Uppala *et al.*, 2005), abarcando décadas de registros e fornecendo séries temporais de variáveis climáticas, como temperatura média, precipitação, radiação solar e outros parâmetros relevantes.

Esses conjuntos de dados habilitam os cientistas a analisar as flutuações climáticas ao longo do tempo, identificar padrões climáticos recorrentes e explorar tendências de longo prazo. Notavelmente, os produtos de reanálise de escala global desempenham um papel fundamental em estudos climáticos globais (Ramon *et al.*, 2019), cobrindo integralmente a superfície terrestre e oferecendo detalhadas informações sobre a atmosfera e os oceanos. Esses conjuntos de dados possibilitam a investigação de fenômenos climáticos de grande relevância e são essenciais para a compreensão das mudanças climáticas globais e seus impactos (Alexander *et al.*, 2020). Resumidamente, os produtos de reanálise representam uma pedra angular nas pesquisas climáticas, fornecendo um alicerce sólido para o estudo do clima.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A cidade de Humaitá está situada ao sul do estado do Amazonas, nas margens do rio Madeira, no ponto de encontro das Rodovias BR 319 (Porto Velho – Manaus) e BR 230 (Transamazônica). Com uma distância de 678,6 km em relação à capital, a cidade ocupa uma área territorial de 33.072 km² e compartilha fronteiras com os municípios de Canutama, Tapauá e Manicoré, além de fazer divisa com o estado de Rondônia (Figura 2).



Fonte: Autor 2024

Figura 2 – Localização de Humaitá no âmbito da América do Sul e do Brasil.

A classificação climática designada para Humaitá, de acordo com Thornthwaite e Mather (1955), é identificada como B4 W A' a' (Martins *et al.*, 2019). Com isto, o clima de Humaitá é classificado como úmido, com um índice de umidade que varia entre 80% e 100% e moderada escassez hídrica durante o inverno. Além disso, a precipitação média anual é de 2193,6 mm e evapotranspiração potencial anual (ETP) de 1140 mm. A região possui um clima caracterizado por uma estação

seca e uma estação chuvosa. A estação chuvosa ocorre entre outubro e abril, enquanto a estação seca entre junho e agosto, sendo maio e setembro considerados períodos de transição (Pedreira-Junior *et al.*, 2018)

Além disso, foram escolhidas duas áreas dentro do município de Humaitá para a avaliação das estimativas de temperatura da superfície (Ts), temperatura do ar (Tar) e subsequente cálculo do índice de desconforto térmico. Estas áreas foram delimitadas por meio de polígonos, os quais abrangem uma extensa porção da zona urbana de Humaitá, situada entre as coordenadas -63.038 °W -7.514 °S -63.021 °W -7.502 °S, e o outro compreendendo um setor da zona rural, definido pelas coordenadas -63.056 °W -7.563 °S -63.025 °W -7.541 °S (Figura 1).

4.2 Dados

4.2.1 LANDSAT-8

Os registros de temperatura da superfície para regiões urbana e rural (Ts) foram estimados por meio da missão Landsat-8, e foram adquiridos utilizando a plataforma avançada do *Google Earth Engine* (coleção: LANDSAT/LC08/C02/T1_L2), durante o período compreendido de janeiro de 2013 a junho de 2023. Nesse intervalo, foram obtidas um total de 41 imagens, sendo que todas estão concentradas nos meses de junho, julho e agosto. Adicionalmente, um pré-processamento foi executado nas imagens, incorporando critérios de qualidade, incluindo a aplicação de filtros para a remoção de informações ocultadas por cobertura de nuvens, a correção de dados ausentes e a eliminação de valores distorcidos. Como resultado dessa abordagem de qualidade dos dados, 29 imagens permaneceram para análise.

Além disso, foram adquiridas as bandas do vermelho e infravermelho próximo da missão Landsat-8 para o cálculo do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) de acordo com a Equação 1.

Equação 1 – Cálculo do NDVI

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

Em que, NIR representa a banda do infravermelho próximo e R é a banda do vermelho da missão Landsat-8.

Produzidos pelos sensores Landsat 8 OLI/TIRS. Essas imagens contêm 5 bandas visíveis e de infravermelho próximo (VNIR) e 2 bandas de infravermelho de onda curta (SWIR) processadas para reflectância superficial ortorretificada, e uma banda de infravermelho térmico (TIR) processada para temperatura superficial ortorretificada. Também contêm bandas intermediárias usadas no cálculo dos produtos Surface Temperature (ST), bem como bandas de qualidade (QA). Os produtos Surface Reflectance (SR) do Landsat 8 são criados com o Código de Reflectância da Superfície Terrestre (LaSRC). Todos os produtos ST da Coleção 2 são criados com um algoritmo de canal único desenvolvido em conjunto pelo Rochester Institute of Technology (RIT) e pelo Laboratório de Propulsão a Jato (JPL) da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). Este algoritmo avançado garante a precisão e confiabilidade dos produtos ST derivados do conjunto de dados.

4.2.2 ERA-5 Land

Os dados horários de temperatura do ar (T_{ar}) e temperatura do ponto de orvalho (T_d) foram estimados pelo produto de reanálise ERA5 – Land com resolução espacial de 9 km disponibilizados no site da Climate Copernicus (<https://climate.copernicus.eu/>) no mesmo período compreendido das imagens disponibilizadas pelo Landsat-8. O conjunto de dados do ERA5-Land consiste em uma extensão dos sistemas de assimilação da reanálise climática ERA5. Essa extensão oferece uma representação contínua e coesa da evolução dos parâmetros que compõem o sistema terrestre do ERA5, notavelmente aprimorada em termos de resolução espacial (Xu *et al.*, 2022).

4.2.3 Estimativa da Temperatura do Ar (TAR).

A estimativa da temperatura do ar (T_{ar}) foi determinada por meio de uma abordagem integrativa, utilizando os dados de temperatura da superfície nas regiões urbana e rural obtidos a partir da missão Landsat 8 e de temperatura do ar derivadas da reanálise ERA5-Land. Essa abordagem tem como objetivo gerar estimativas consistentes a fim de avaliar a variação térmica nestas regiões e ao mesmo tempo,

viabilizar o cálculo do índice de desconforto térmico (IDH). Desta maneira, estabeleceu-se uma relação entre as temperaturas da superfície (T_s) e do ar (T_{ar}) mediante a aplicação de uma regressão linear pixel a pixel. Cada pixel de temperatura da superfície foi submetido a essa regressão, considerando a série de dados de temperatura do ar. Essa abordagem foi essencial para modelar a interdependência intrínseca entre essas variáveis e, de modo ainda mais crucial, possibilitar a projeção das estimativas de temperatura do ar para locais nos quais a medição direta não foi realizada, compreendendo as áreas urbana e rural em foco.

Neste contexto, a equação da reta obtida pela regressão linear é expressa na Equação 2.

Equação 2 – Equação da reta obtida pela regressão linear.

$$T_{ar} = ax + b \quad (2)$$

Em que, T_{ar} representa a temperatura do ar estimada, a é o coeficiente angular da reta, representando a influência da temperatura da superfície na temperatura do ar, b é o coeficiente linear da reta, que contribui para a estimativa da temperatura do ar em situações em que a temperatura da superfície é nula ou não aplicável e x é a temperatura da superfície estimada pelo Landsat 8.

Ao aplicar essa equação em diferentes locais da área urbana e rural de Humaitá, foi possível estimar as variações espaciais da temperatura do ar, proporcionando uma visão mais detalhada das condições térmicas na região. Dessa forma, ao combinar dados de temperatura da superfície obtidos por sensoriamento remoto com informações de temperatura do ar de reanálise climática, a técnica de regressão linear possibilitou uma avaliação espacialmente ampla e mais precisa das temperaturas urbanas e rurais, enriquecendo a compreensão das condições térmicas em Humaitá e seus arredores.

4.2.4 Análise dos Dados

Para destacar a variabilidade das estimativas de temperatura da superfície (T_s) e temperatura do ar (T_{ar}) nas áreas urbanas e rurais especificadas, foram selecionadas deliberadamente 3 locais distintos, cada um caracterizado por

diferentes tipos de uso e cobertura de solo e assinaturas espectrais. Na zona urbana, foram selecionados três pontos: um com vegetação, outro localizado na rodovia BR-319 (Transamazônica) e um terceiro situado em uma construção/edifício. Na zona rural, foram selecionados igualmente três pontos representativos: um sobre vegetação densa, outro em um campo e um terceiro em uma área de solo exposto.

O Índice de Desconforto Humano (IDH) foi determinado pela metodologia de Ono & Kawamura (1991) (Equação 3) e avaliado conforme os valores descritos na Tabela (1).

Equação 3 – Equação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

$$IDH = 0,99Tar + 0,36Td + 41,5 \quad (3)$$

Em que, Tar é a temperatura do ar espacial estimada através da regressão linear e Td é a temperatura do ponto de orvalho.

Tabela 1 – Faixa de intervalos para análise do Índice de desconforto térmico humano (IDH) e seus respectivos efeitos.

IDH	Efeito
IDH > 80	Estresse devido ao calor
75 < IDH < 80	Desconfortável devido ao calor
60 < IDH < 75	Confortável
55 < IDH < 60	Desconfortável devido ao frio
IDH < 55	Estresse devido ao frio

Fonte: Autor (2024).

4.2.5 Indicadores de Performance

Para garantir uma avaliação abrangente da precisão das estimativas de temperatura do ar, foi utilizada a técnica de reamostragem bootstrap, com 10000 iterações. O método bootstrap, conhecido por sua eficácia na quantificação de incertezas, permite a geração de múltiplas amostras aleatórias a partir dos dados disponíveis. Isso permite analisar como diferentes conjuntos de dados de temperatura do ar podem variar e, assim, calcular intervalos de confiança a um nível de 95%. Esses intervalos de confiança fornecem uma medida robusta da

confiabilidade das estimativas de temperatura do ar obtidas neste estudo. Eles representam uma faixa na qual podemos ter um alto grau de certeza de que a verdadeira temperatura do ar está contida. Através desses indicadores sólidos de incerteza, podemos afirmar com confiança a qualidade das estimativas de temperatura do ar baseadas nos dados do Landsat-8.

A correlação entre as estimativas de temperatura do ar do Landsat-8 com as estimativas de temperatura do ar derivadas do ERA5-Land foi calculada pelo índice de correlação de Pearson R. Este índice indica a intensidade de relação entre dois conjuntos de dados, o qual varia de -1 até 1. Valores próximos de -1 indicam perfeita correlação negativa, enquanto valores próximos de 1 indicam perfeita correlação positiva e valores próximos a zero indicam ausência de correlação (Equação 4).

Equação 4 – Índice de correlação de Pearson R.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (4)$$

Onde, X_i e Y_i são os valores das amostras individuais. \bar{X} e \bar{Y} são as médias e X e Y , respectivamente e n representa o número de amostras disponíveis.

A concordância entre os valores foi avaliada através do índice “d” proposto por Willmott et al. (1985) (Equação 5). Este índice varia de 0 a 1, representando não concordância e concordância perfeita, respectivamente (Machado *et al.*, 2015).

Equação 5 – Índice de Willmott

$$D = 1 - \frac{\sum (Y_i - X_i)^2}{\sum (|Y_i - X| + |X_i - X|)} \quad (5)$$

Onde, Y_i é o valor estimado da variável (na escala de tempo diária, mensal ou anual), i representa um numerador para o número de observações de 1 a n (dias, meses ou anos). X_i é o valor da variável medida, e X é a média da variável medida.

A análise de quanto as estimativas de temperatura do ar derivadas do Landsat 8 erram em relação as estimativas de temperatura do ar da reanálise ERA5-Land baseou-se no Root Mean Squared Error (RMSE), o qual se espera valores

próximos a zero (Junior *et al.*, 2021; Machado *et al.*, 2015) (Equação 6).

Equação 6 – Índice de RMSE

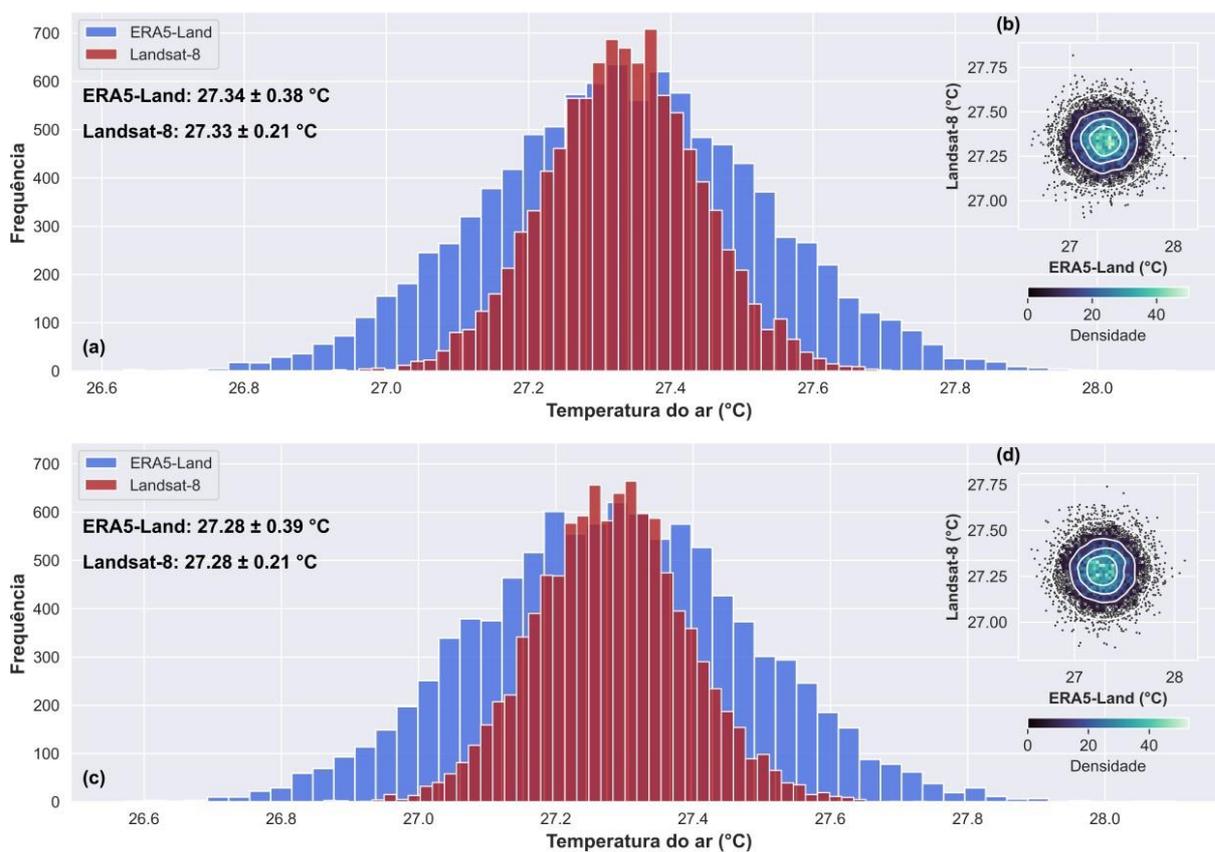
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - p_i)^2} \quad (6)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Validação das estimativas de temperatura do ar

Os resultados da análise de reamostragem bootstrap conduzida neste estudo revelaram que os dados de temperatura do ar estimados pelo Landsat-8 não exibiram diferenças significativas em comparação com as estimativas derivadas do ERA5-Land, tanto no perímetro urbano quanto no rural. No perímetro urbano, as médias de temperatura foram de $27,34 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$ do ERA5-Land e $27,33 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$ do Landsat-8 (Figura 2a). Da mesma forma, no perímetro rural, as médias registradas foram de $27,28 \pm 0,39^{\circ}\text{C}$ do ERA5-Land e $27,28 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$ do Landsat-8 (Figura 2c).

Esses resultados apontam para uma notável consistência entre as duas fontes de dados, sugerindo que as estimativas de temperatura do ar obtidas pelo Landsat-8 são comparáveis às do ERA5-Land em ambas as configurações de perímetro. No entanto, é relevante destacar que as medições da temperatura do ar derivadas do ERA5-Land exibem uma distribuição mais achatada em ambos os cenários, indicando uma maior variabilidade em comparação com os dados provenientes do Landsat-8. Além disso, é observado que a dispersão dos dados indica uma considerável concentração de pontos em torno da faixa de temperatura de $27,3^{\circ}\text{C}$ em ambos os cenários (urbano e rural). Isso sugere que $27,3^{\circ}\text{C}$ pode representar uma temperatura central ou ponto de referência nas distribuições das temperaturas do ar, comum à ambas as áreas analisadas e capturada por ambas as fontes de dados, o Landsat-8 e o ERA5-Land. No entanto, é importante considerar a variabilidade presente nesses dados, conforme indicado pelos intervalos de confiança (Figura 2b e 2d).



Fonte: Autor (2024).

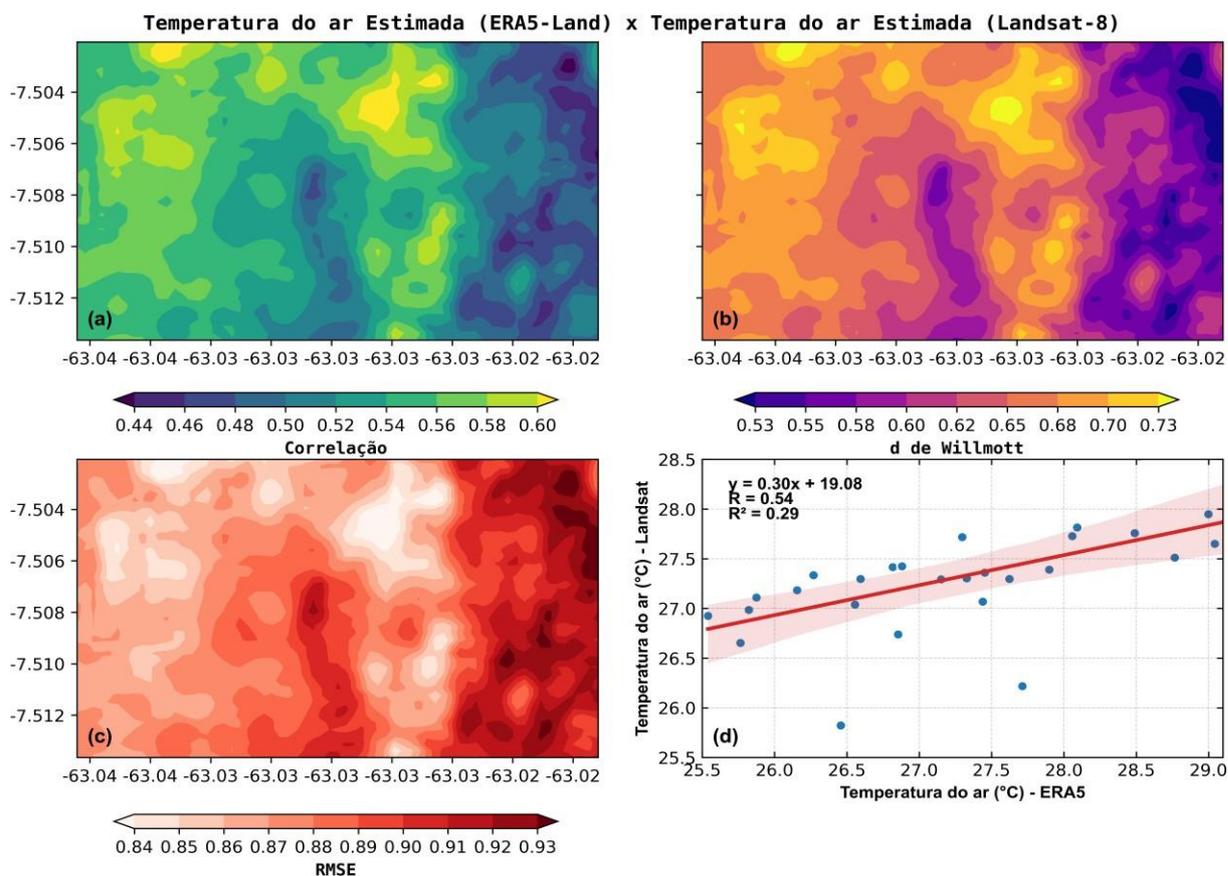
Figura 3 – Histogramas e gráficos de dispersão resultantes de 10.000 reamostragens bootstrap dos dados de temperatura do ar estimados pelo ERA5-Land e Landsat-8.

A figura (a) exibe o histograma para a área urbana, enquanto a figura (c) refere-se à área rural. As subfiguras (b) e (d) ilustram a dispersão entre as variáveis de temperatura para as áreas urbanas e rurais, respectivamente.

As estimativas de temperatura do ar derivadas satélite Landsat-8 no perímetro urbano tiveram correlações significativas sobre toda a região (Figura 3a). As correlações tiveram máximas de 0,62 e mínimas de 0,43 ao longo de toda a região. As maiores correlações foram observadas sobre as regiões noroeste e central da zona urbana, enquanto as menores correlações estão situadas ao nordeste e sudeste da área de estudo. O índice d de concordância de Willmott e o RMSE apresentaram padrões similares aos das correlações, indicando maiores concordâncias e menores erros sobre os mesmos setores (Figura 3b, 3c). O índice d de Willmott teve máximas de 0,75 e mínimas de 0,49, enquanto os maiores e menores RMSE foram de 0,95 °C e 0,82 °C, respectivamente.

Ressalta-se, que os melhores resultados foram observados nas regiões noroeste e central da zona urbana, enquanto as menores correlações foram identificadas nas áreas nordeste e sudeste da área de estudo, que possuem uma porção significativa de vegetação.

Esse padrão sugere a presença de interações complexas entre a cobertura vegetal, o ambiente urbano e a temperatura do ar. O aquecimento e resfriamento da superfície são influenciados por diversos fatores, e a vegetação desempenha um papel fundamental nesse contexto (Mendonça, 2017). As áreas com cobertura vegetal significativa tendem a ter temperaturas mais amenas, devido à sombra proporcionada pelas árvores e à evaporação da água do solo, que contribui para o resfriamento do ambiente. Por outro lado, as áreas urbanas, com suas superfícies impermeáveis, edifícios e estruturas de concreto, muitas vezes absorvem mais calor durante o dia e liberam calor à noite, levando à formação de ilhas de calor urbanas e a temperaturas mais elevadas (Oliveira, 2021). Adicionalmente, a variabilidade do albedo desempenha um papel significativo na interação entre diferentes tipos de cobertura terrestre e seus efeitos no clima local e global. Em áreas com coberturas de vegetação, como florestas e campos, observa-se que essas superfícies geralmente possuem albedos mais baixos. Esse fenômeno ocorre devido à capacidade da vegetação de absorver uma parte substancial da radiação solar incidente, principalmente devido à presença de clorofila nas folhas, que desempenha um papel crucial na fotossíntese. Conseqüentemente, parte da energia solar é utilizada na fotossíntese e aquece a vegetação, enquanto outra parte é transferida para o ar circundante, contribuindo para o aquecimento local (Soares, 2017). Além disso, a cobertura de vegetação também está associada à liberação de calor latente na atmosfera. Através do processo de fotossíntese e evapotranspiração, a vegetação converte água em vapor, liberando calor latente na atmosfera. Esse calor latente tem um efeito de resfriamento, o que pode influenciar a formação de chuvas e a regulação da temperatura em áreas cobertas por vegetação densa (Campos, 2018).



Fonte: Autor (2024)

Figura 4 – Correlação de Pearson (a), índice de Willmott (b), RMSE (c) e regressão linear (d) entre a temperatura do ar do ERA5-Land com as estimativas de temperatura do ar do Landsat-8 para o perímetro urbano de Humaitá-AM.

Por outro lado, em termos médios, os resultados da análise de regressão linear revelaram um padrão complexo entre as estimativas de temperatura do ar obtidas a partir do ERA5-Land e aquelas provenientes do Landsat-8 (Figura 3d). O coeficiente de determinação (R^2) indica que apenas cerca de 29% da variação na temperatura estimada pelo Landsat-8 pode ser explicada pela temperatura derivada do ERA5-Land. Este fator, sugere que o modelo de regressão linear não é capaz de explicar a maior parte da variação na temperatura estimada pelo Landsat-8, o que possivelmente se deve à influência de outros fatores não contemplados no modelo. No entanto, é importante notar que alguns pontos estão próximos da linha de regressão e encontram-se dentro do intervalo de confiança. Além disso, foi observada uma correlação de 0,54, o que indica um desempenho moderado na estimativa da temperatura do ar dentro da área urbana de Humaitá.

As estimativas de temperatura do ar para a área rural apresentaram um desempenho ligeiramente superior em comparação com a área urbana, de acordo

com as métricas de validação, embora tenham exibido uma maior variabilidade (Figura 4). As correlações variaram de fraca a forte, com valores mínimos de 0,34 e valores máximos de 0,73, sendo que os valores mais elevados foram observados nas regiões centra-oeste e centro-leste da área rural (Figura 4a). Além disso, tanto o índice de concordância de Willmott quanto o erro médio quadrático raiz (RMSE) seguiram a mesma tendência das correlações. O índice de concordância de Willmott teve valores máximos de 0,82, indicando uma notável concordância, e valores mínimos de 0,40. Quanto ao RMSE, observaram-se valores máximos de 0,98 °C e mínimos de 0,71 °C (Figura 4b e 4c).

Em síntese, o comportamento do albedo em áreas rurais é sensivelmente influenciado pela predominância da cobertura do solo na região. Áreas com vegetação natural tendem a apresentar albedos mais baixos, contrastando com superfícies de solo exposto, que exibem albedos mais elevados. Essas variações na capacidade de refletir a radiação solar têm notáveis implicações associadas ao clima local e regional, exercendo influência sobre as temperaturas, os padrões de precipitação e outros aspectos climáticos. Portanto, a investigação do albedo em ambientes rurais assume um papel de considerável relevância para a compreensão dos sistemas climáticos e a promoção da gestão sustentável das terras (Júnior; Amorim, 2016).

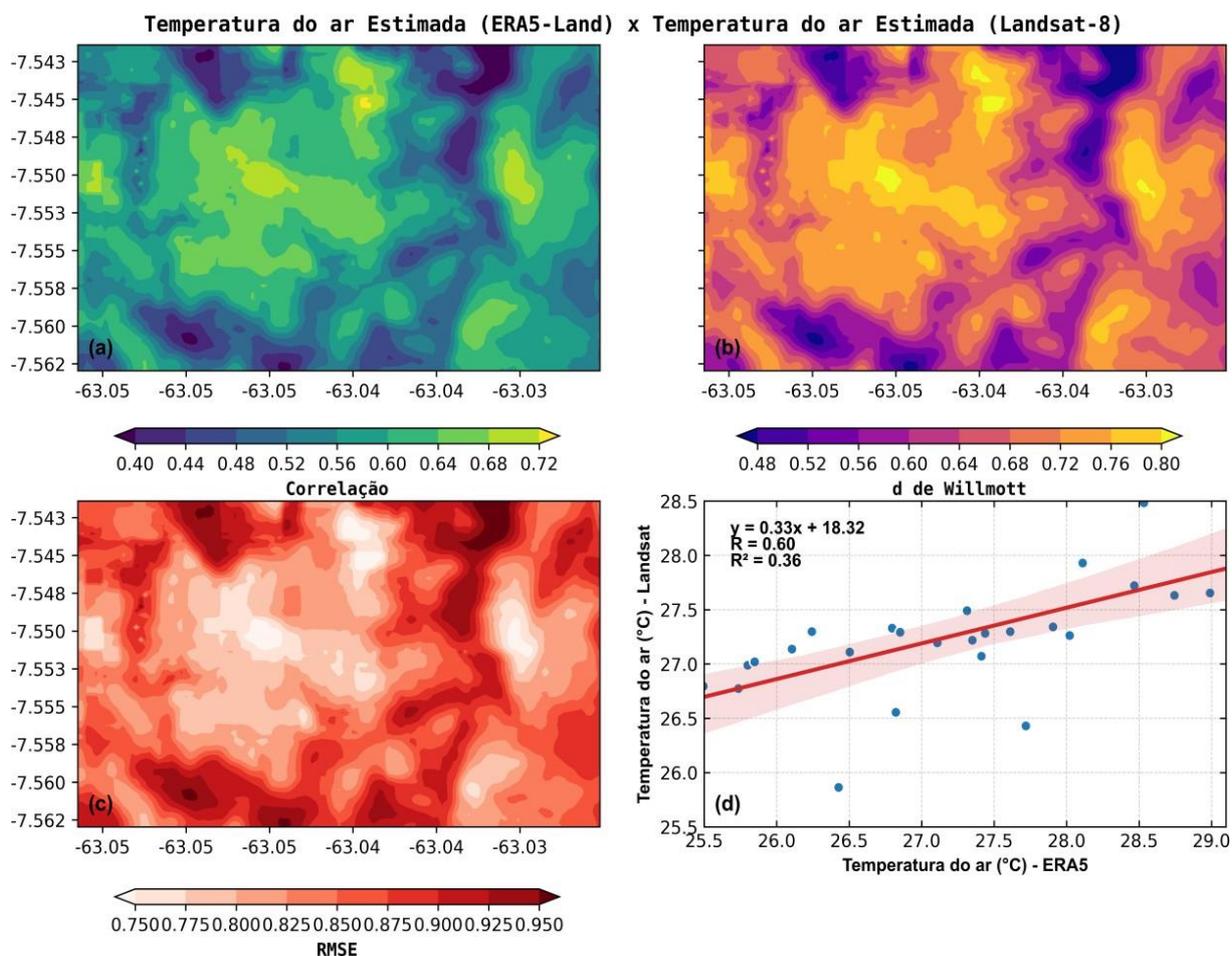


Figura 5 – Correlação de Pearson (a), índice de Willmott (b), RMSE (c) e regressão linear (d) entre a temperatura do ar do ERA5-Land com as estimativas de temperatura do ar do Landsat-8 no perímetro rural de Humaitá-AM

Temporalmente, a análise de regressão linear mostra um padrão que indica uma relação significativa entre as estimativas de temperatura do Landsat-8 e as estimativas derivadas do ERA5-Land para a área rural (Figura 4d). Essa relação é baseada por uma correlação considerada moderada a forte, atingindo 0,60, e um coeficiente de determinação de 36%. No entanto, é relevante destacar que esse coeficiente de determinação também indica para a presença de uma considerável variabilidade na temperatura estimada pelo Landsat-8 que não é explicada pelo modelo. É interessante notar que, mesmo com essa variabilidade, alguns pontos permanecem dentro do intervalo de confiança de 95%. Isso significa que, com 95% de confiança estatística, os valores estimados nesses pontos não estão significativamente distantes dos valores previstos pelo modelo de regressão.

6. CONCLUSÃO

As estimativas de temperatura do ar obtidas pelo satélite Landsat-8 demonstraram consistência comparável às estimativas do modelo ERA5-Land, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Essa consistência indica a confiabilidade das estimativas do Landsat-8. No entanto, vale destacar que as estimativas do ERA5-Land apresentaram maior variabilidade, especialmente em áreas com vegetação significativa, evidenciando o impacto da vegetação na regulação da temperatura local.

A análise de regressão linear na área rural revelou uma relação significativa entre as estimativas de temperatura do Landsat-8 e do ERA5-Land, embora com alguma variabilidade não explicada pelo modelo. Isso sugere que, mesmo com essa variabilidade, algumas estimativas permanecem dentro do intervalo de confiança de 95%, o que indica a utilidade das estimativas em certas áreas. Entretanto, é importante destacar que a exploração de novas variáveis no modelo de regressão pode representar uma abordagem promissora para aprimorar a precisão das estimativas de temperatura do ar em futuras pesquisas.

Em resumo, os resultados destacam a importância de considerar a cobertura vegetal e outros fatores na interpretação das estimativas de temperatura do ar e sugerem que o Landsat-8 é uma fonte confiável para monitoramento climático, especialmente em áreas onde esses fatores desempenham um papel crucial na regulação das condições ambientais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R. W. DE. **Aplicação de aeronaves remotamente pilotadas e fotogrametria para avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração florestal**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ALMEIDA, C. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; CUBO, P.; RAMOS, M. C. **Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013**. International Journal of Climatology, Estados Unidos, v.37,n.4, p.2013-2026, 2017.

ALMEIDA J, N. L. de. (setembro de 2005). **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica. Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica, 94**. Cuiabá, MT, Brasil.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, Péricles Vale et al. **Sazonalidade do índice ultravioleta na cidade de Humaitá-AM: contribuições para prevenção do câncer de pele**. 2020.

ARAÚJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da Chuva Estimada por Satélite "CMORPH" na Modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu. **Rev. Bras. de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 189-198, 2007.

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Humaitá – AM. 2023. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>; <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/130170>.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006.

AYOADE, J. O. 1988. **Tropical hydrology and water resources**. London: Macmillan.

BARBOSA, P. H. D.; DA COSTA, A. C. L.; DA CUNHA, A. C.; JUNIOR, J. D. A. S. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v.17, n.1, p.98-118, 2015.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M.; Silveira, A. L. L. (Eds.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2007. cap. 5, p 177-242.

BETEZ, CASSIELY ET AL. Transformações ambientais e socioculturais na Terra Indígena Jiahui em decorrência da construção da BR230/Transamazônica. 2021.

BINDLISH, R.; BARROS, A. Disaggregation of rainfall for one-way coupling of atmospheric and hydrological models in regions of complex terrain. **Global Planet**, v. 25, p. 111-132, 2000.

BROGNOLI, L. S. et al. **O incentivo à transferência de tecnologias verdes como estratégia para o desenvolvimento de Cidades Inteligentes pelo Clima** (Climate SmartCities) no Brasil. 2023.

CAMPOS, J. de O. **Variabilidade da precipitação no Cerrado e sua correlação com a mudança no uso da terra**. 2018.

CARDOSO, Marcelia Castro *et al.* Anthropogenic Actions and Socioenvironmental Changes in Lake of Juá, Brazilian Amazonia. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 16, p. 9134,2021.

CARVALHO, J. S.; ARAUJO, R. L. C.; SILVA, C. A.; BASÍLIO, C. M. Avaliação de conforto térmico urbano, com base em dados de temperatura—um estudo de caso na cidade de Manaus. **Scientia Amazonia**, Manaus, v. 3, n.1, p.65-74, 2014.

CARVALHO, R. L. S.; NASCIMENTO, B. I. S.; QUERINO, C. A. S.; SILVA, M. J. G.; DELGADO, A. R. S. Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação pluviométrica no município de Ariquemes (Rondônia-Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 123-146, 2016.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates, **Journal of Hydrology**, v. 360, p. 207-216, 2008.

CONSIGLIERI, L. M. **Confecção de uma estação meteorológica de baixo custo para fins educacionais**. 2023.

CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; NOBRE, C. A.; HODNETT, M. G.; WATERLOO, M. J.; MOTA DE OLIVEIRA, S. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 462-463, p. 15-27, 2012.

DESAI, M. S.; DHORDE, A. G. Trends in thermal discomfort indices over western coastal cities of India. **Theoretical and applied climatology**, Estados Unidos, v.131, n.4,p.1305-1321, 2018.

DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, L.; CONNOR, S. J.;

ROPELLEWSKI, C. F. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 28, nº. 7, 10 April.2007.

SANTOS, F. *et al.* Fabiana dos Santos e Souza. **Revista Fitos**, v. 18, n. Supl.4, p. 16-17, 2024

ERTHAL, D. A. *et al.* **Caracterização espectral-temporal de florestas subtropicais integrando dados multiespectrais, fitossociológicos e geomorfológicos**. 2023. Tese deDoutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, Atlanta, v.13, n.1, p. 1-23, 2008.

FIELD, CHRISTOPHER B. et al. **Alterações climáticas 2014: impactos, adaptação e vulnerabilidade: contribuição do grupo de trabalho II para o quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre alterações climáticas.** 2014.

FIOCRUZ. **Diagnóstico preliminar da vulnerabilidade e as previsões dos efeitos das mudanças climáticas na saúde pública no município de Manaus,** 2010.

FRARE, J. C. V. et al. **Qualidade do solo e dinâmica de crescimento de espécies florestais e frutíferas em sistemas agroflorestais sem queima na Amazônia.** 2024. Tese de Doutorado. Ufra-Campus Belém.

GOBO, J. P. A. **Bioclimatologia subtropical e modelização do conforto humano: da escala local à regional.** 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GHANI, SAUD *et al.* Assessment of thermal comfort indices in an open airconditioned stadium in hot and arid environment. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 40, p. 102378, 2021.

HOOKER, Josh; DUVEILLER, Gregory; CESCATTI, Alessandro. A global dataset of air temperature derived from satellite remote sensing and weather stations. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=glossario#P> Acessado em: 13/06/2022.

JÚNIOR, JOSÉ C. U.; AMORIM, M. C. de 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.

LIMA, L. D. C.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B. D.; SOUZA, E. L. D. Outdoor thermal comfort in a hot and humid climate: case study in an urban park in the Atlantic Forest Biome. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n.2, p.109-127, 2019.

LUJAN, M. P. R.; QUERINO, C. A. S.; MARTINS, P. A. S.; PAVAO, V. M.; QUERINO, J. K. A. S. **Variabilidade sazonal da direção do vento na região de Humaitá - AM em 2009.** In: 65ª Reunião anual da SBPC, 2013, Recife - PE. A Ciência para o Novo Brasil, 2013.

MARENGO, J. A.; B. LIEBMANN; V. E. KOUSKY; N. P. FILIZOLA; I. C. WAINER. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. **J. Climate**, v. 14, p. 833 – 852. 2001.

MARENGO, J.; SILVA DIAS, P. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. Capítulo 3 em Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação,** p.63-109. 2006. Eds. A. Rebouças, B., Braga e J. Tundisi. Editoras Escrituras, SP.

MARTINS, ANDRÉ F. D. **Lisboa 2030: Manifesto com os pés na Terra.** 2020. Dissertação de Mestrado.

MATSUNAGA, W. K. et al. Aplicações dos dados de reanálises ERA5-LAND e projeções climáticas do CMIP6 no zoneamento de risco climático do milho no estado da Bahia. 2023.

MATOS, I. Y. R. et al. Produção científica sobre repositório de dados: representações autorais e temáticas. **AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento**, v. 12, p. 1-13, 2023.

MEDEIROS, ANDRÉIA D. DE et al. **Análise da gestão das águas de reservatórios no Seridó do Estado do Rio Grande do Norte**. 2017.

MEIRA, M. B. Gestão de riscos associados a cultivos agroenergéticos por meio da modelagem espaço-temporal de parâmetros agrometeorológicos e domonitoramento da vegetação com imagens de sensoriamento remoto: estudo de caso em lavouras de milho safrinha. 2013. Tese de Doutorado.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MENGUE, VAGNER PAZ. Utilização de séries temporais de imagens de moderada resolução espacial para monitoramento das mudanças do uso do solo e cobertura vegetal do bioma Pampa. 2018.

MONTEIRO, J. C. R.; ARIDE, P. H. R.; OLIVEIRA, A. T. D.; SANTOS, S. M. D.; PANTOJA-LIMA, J.; HEYER, L. F. Descrição da temperatura e umidade relativa do ar em distintas localidades da cidade de Manaus com diferentes geometrizações e espacialidades urbanas nos bairros do parque dez, nova cidade e bairro centroManaus/AM. **REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM**, Manaus, v.10, n.1, p.25-45, 2016.

MORAIS, H.; RICCE, W. S.; CARAMORI, P. H. ; SILVA, D. A. B. **Conforto térmico humano no estado do Paraná**. In: X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2012, Manaus. X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2012.

OLIVEIRA, Nicole Alves et al. **A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido Norte Mineiro**. 2021.

ONO, H. S. P.; KAWAMURA, T. Sensible Climates in Monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n.20, p. 39-47, 1991.

PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance**. Estados Unidos: CRC press, 2014, p. 538.

PRADO, Leonardo Brandão; FIALHO, Edson Soares; SANTOS, Larissa Galvão Fontes. o sensoriamento remoto e o clima urbano: uma perspectiva de investigação através do campo térmico de superfície, na área central do município de Viçosa–mg. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 919-946, 2020.

QUERINO, Juliane Kayse Albuquerque da Silva et al. **Caracterização termohigrométrica e de conforto térmico em Porto Velho no período de transição seco-chuvoso**. 2017.

RUSSI, M.; VETTORAZZI, E.; SANTOS, J.C.P.; ZÓFOLI, G.R.; SOARES, R. M.D. Estratégias construtivas na busca de conforto térmico e eficiência energética em edificações unifamiliares de interesse social nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras. **Revista de Arquitetura da IMED**, v. 1, n. 2, p. 113-121, 2012.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Oficina de textos, 2020.

SILVA, F. L. da. **A extração do Caulim no município de Equador-RN: implicações ambientais e sociais**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA JUNIOR, J.A.; COSTA, A.C.L; PEZZUTI, J.C.B; COSTA, R.F. Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, p. 419-428, 2013.

SILVA, D. A.; AGUIAR, F. E. O. Ilha de calor na cidade de Manaus: especulação ou realidade? **Revista Geonorte**, Manaus, v.1, n.6, p.49-65, 2012.

SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2006. Recife, Brasil: Versão digital 2.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. Modelagem da hidrógrafia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v. 12, n. 3, p. 258-265, 2008.

SOARES, Mário Renato Moreira. **Conforto Térmico do Espaço Público. Caso de Estudo**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade do Porto (Portugal).

SOUZA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**, Estados Unidos, v.21, n.2, p.186- 193, 2014.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife-PE, 2006. Versão digital 2.

XU, D. *et al.* Estimation of Evapotranspiration of Amazon Rainforest Using the Maximum Entropy Production Method. *Geophysical Research Letters*, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 1402–1412, 2019.

YAN, H. *et al.* The coupled effect of temperature, humidity, and air movement on human thermal response in hot–humid and hot–arid climates in summer in China. *Building and Environment*, [s. l.], v. 177, p. 106898, 2020.