

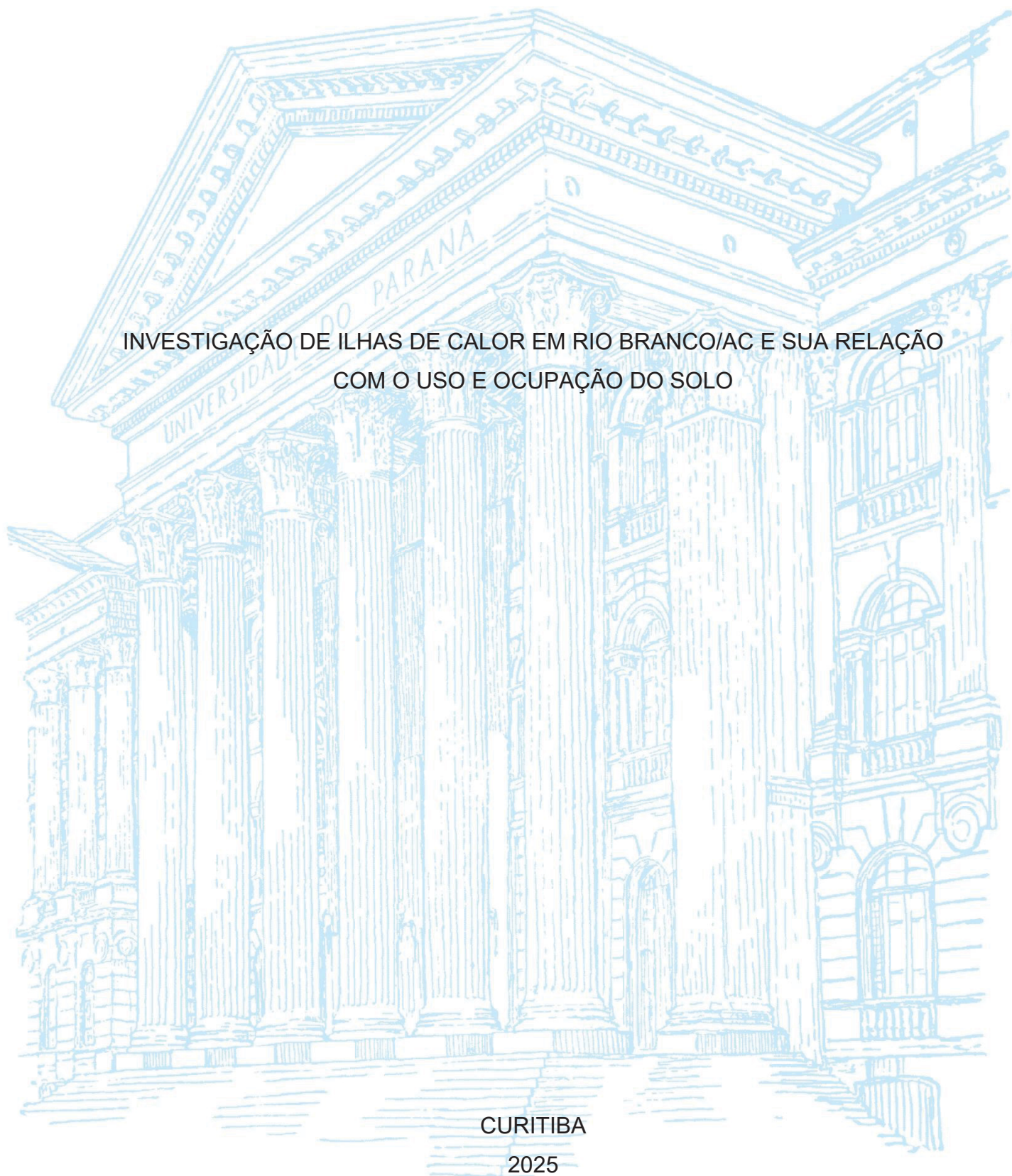
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BEATRIZ VITORINO LEÃO

INVESTIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM RIO BRANCO/AC E SUA RELAÇÃO
COM O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

CURITIBA

2025



BEATRIZ VITORINO LEÃO

INVESTIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM RIO BRANCO/AC E SUA RELAÇÃO
COM O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná - UFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Márcio José Sorgato
Coorientadora: Prof(a). Dr(a). Francine Aidie Rossi

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Leão, Beatriz Vitorino

Investigação de ilhas de calor em Rio Branco/AC e sua relação com o uso e ocupação do solo / Beatriz Vitorino Leão. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Márcio José Sorgato

Coorientador: Francine Aidie Rossi

1. Ilha de calor urbana – Rio Branco (AC). 2. Sensoriamento remoto. 3. Climatologia urbana. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Sorgato, Márcio José. IV. Rossi, Francine Aidie. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **BEATRIZ VITORINO LEÃO**, intitulada: **Investigação de ilhas de calor em Rio Branco/AC e a sua relação com o uso e ocupação do solo**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 04 de Setembro de 2025.

Assinatura Eletrônica

09/09/2025 13:46:17.0

FRANCINE AIDIE ROSSI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

15/09/2025 15:01:27.0

JEANNE MORO MOREIRA PINTO

Avaliador Externo (NENHUM VÍNCULO INSTITUCIONAL)

Assinatura Eletrônica

09/09/2025 15:34:25.0

LEONARDO MARQUES MONTEIRO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado, fundamental para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela oportunidade e infraestrutura oferecidas para o desenvolvimento desta dissertação. Em especial, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC).

À minha coorientadora, Francine Aidie Rossi, pela orientação, paciência e valiosas contribuições ao longo de todo o processo. Sua dedicação e conhecimento foram essenciais para a concretização deste trabalho.

Aos meus familiares, que sonharam esse sonho junto comigo, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo constante. Sem vocês, esta pesquisa não existiria.

Meu sincero agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A intensificação dos processos de urbanização nas últimas décadas tem provocado alterações significativas no microclima das cidades, favorecendo a formação de ilhas de calor urbanas. Em municípios de clima tropical úmido, como Rio Branco (AC), esses efeitos tendem a ser potencializados pela expansão desordenada da malha urbana, pela substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis e pela intensificação das atividades agropecuárias. Este trabalho tem como objetivo investigar o aumento da temperatura e o monitoramento das ilhas de calor urbana de superfície, entre 2013 e 2023, relacionando-as ao uso e ocupação do solo. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 e 9 (OLI/TIRS), com extração dos índices NDVI, NDBI, LST, UTFVI e SUHI. Os resultados mostraram que áreas centrais, com elevada densidade construtiva, forte impermeabilização e baixos valores de NDVI ($< -0,2$), registraram as maiores temperaturas de superfície, variando entre 34 e 36 °C, enquanto áreas vegetadas apresentaram 17 e 22 °C, resultando em contrastes térmicos de até 10 °C entre setores urbanos e 18 °C entre os pontos mais quente e mais frio do município. Esses setores concentraram as piores classificações ambientais segundo o UTFVI, indicando intenso estresse térmico. Em oposição, áreas com NDVI $> 0,5$ apresentaram temperaturas até 12 °C menores, atuando como zonas de equilíbrio térmico. A análise temporal evidenciou o avanço da urbanização sobre áreas antes vegetadas, refletido no aumento do NDBI e na intensificação dos núcleos de calor identificados pelo SUHI. Os achados confirmam que a redução da cobertura vegetal e o crescimento urbano têm ampliado as anomalias térmicas em Rio Branco, reforçando a necessidade de políticas de planejamento urbano sustentável para mitigação desses impactos.

Palavras-chave: Ilha de calor superficial; sensoriamento remoto; climatologia urbana; clima urbano; Rio Branco (AC).

ABSTRACT

The intensification of urbanization processes in recent decades has caused significant changes in the microclimate of cities, favoring the formation of urban heat islands. In municipalities with a humid tropical climate, such as Rio Branco (AC), these effects tend to be intensified by the unplanned expansion of the urban fabric, the replacement of vegetation cover with impermeable surfaces, and the intensification of agricultural activities. This study investigated the increase in temperature and the monitoring of surface urban heat islands between 2013 and 2023, relating them to land use and land cover. Images from Landsat 8 and 9 satellites (OLI/TIRS) were used, with extraction of the NDVI, NDBI, LST, UTFVI and SUHI indices. The results showed that central areas, with high building density, strong impermeabilization and low NDVI values (< -0.2), recorded the highest surface temperatures, ranging between 34–36 °C, while vegetated areas showed 17–22 °C, resulting in thermal contrasts of up to 10 °C between urban sectors and 18 °C between the hottest and coldest points of the municipality. These sectors concentrated the worst environmental classifications according to the UTFVI, indicating intense thermal stress. In contrast, areas with NDVI > 0.5 showed temperatures up to 12 °C lower, acting as thermal balance zones. The temporal analysis showed the advance of urbanization over previously vegetated areas, reflected in the increase of NDBI and in the intensification of heat nuclei identified by the SUHI. The findings confirm that the reduction of vegetation cover and urban growth have amplified thermal anomalies in Rio Branco, reinforcing the need for sustainable urban planning policies to mitigate these impacts.

Keywords: Superficial Urban Heat Island; Remote Sensing; Urban Climatology; Urban Climate; Rio Branco (AC).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SEÇÃO TRANSVERSAL GENÉRICA DE UMA TÍPICA ILHA DE CALOR.....	26
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS CAMADAS DA ATMOSFERA URBANA.....	28
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE RIO BRANCO (AC).....	44
FIGURA 4 – USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (2013).....	56
FIGURA 5 - USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2018).....	57
FIGURA 6 - USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2023).....	58
FIGURA 7 – NDVI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2013).....	60
FIGURA 8 - NDVI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2018).....	61
FIGURA 9 - NDVI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2023).....	62
FIGURA 10 – MAPA NBDI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2013).....	67
FIGURA 11 – MAPA NBDI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2018).....	68
FIGURA 12 – MAPA NBDI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2023).....	69
FIGURA 13 – MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (ANO 2013).....	72
FIGURA 14 – MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (ANO 2018).....	73
FIGURA 15 – MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (ANO 2023).....	74
FIGURA 16 – MAPA UTFVI (2013).....	75
FIGURA 17 – MAPA UTFVI (2018).....	76
FIGURA 18 – MAPA UTFVI (2023).....	77
FIGURA 19 – MAPA SUHI (2013)	80
FIGURA 20 – MAPA SUHI (2018)	81
FIGURA 21 – MAPA SUHI (2023)	82
FIGURA 22 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (AC).....	84

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO SIMPLIFICADA DE FORMAS URBANAS (2018).....	23
QUADRO 2 – ILHA DE CALOR URBANA DE SUPERFÍCIE E ATMOSFÉRICA	34
QUADRO 3 - VALORES-LIMITE DO UTFVI	51
QUADRO 4 - VALORES-LIMITE DO SUHI	52
QUADRO 5 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA NO CENTRO DE RIO BRANCO (2013–2023).....	85
QUADRO 6 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA EM ÁREA SUBURBANA DE RIO BRANCO (2013–2023)	86
QUADRO 7 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA - SHOPPING DE RIO BRANCO (2013–2023)	87
QUADRO 8 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA – ÁREA RURAL 1 DE RIO BRANCO (2013–2023)	88
QUADRO 9 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA – ÁREA RURAL 2 DE RIO BRANCO (2013–2023)	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DATAS DAS IMAGENS COLETADAS.	46
TABELA 2 – BANDAS DO SATÉLITE LANDSAT 8 e 9	47
TABELA 3 – ÁREA POR CLASSE DE COBERTURA VEGETAL (NDVI) EM RIO BRANCO (AC), 2013–2023 (KM ²).....	65
TABELA 4 - COMPARATIVO DE ÁREA POR CLASSE UTFVI — 2013 × 2018 × 2023 (km ²)	78

LISTA DE ABREVIATURAS

ICU	- Ilha de Calor Urbana
NDVI	- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada,
NDBI	- Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas
LST	- Temperatura de Superfície Terrestre
UTFVI	- Índice de Variação do Campo Térmico Urbano
SUHI	- Índice de Ilha de Calor Superficial
ZCU	- Zona Climática Urbana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 CLIMA URBANO	19
2.2 ILHAS DE CALOR URBANAS (ICU)	24
2.3 TIPOS DE ILHAS DE CALOR.....	33
2.4 MÉTODOS DE MITIGAÇÃO DA ICU	35
2.5 CLIMA URBANO NA AMAZÔNIA.....	36
2.6 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DAS ICUS	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.2 COLETA DE DADOS	45
3.3 COMPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE IMAGENS	47
3.3.1 Uso e ocupação do solo.....	47
3.3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	48
3.3.3 Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI).....	49
3.3.4 Temperatura de Superfície Terrestre (LST).....	49
3.3.5 Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI).....	50
3.3.6 Índice de Ilha de Calor Superficial (SUHI)	51
3.4 EVOLUÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS URBANAS	52
3.5 ANÁLISE, INTERPRETAÇÃO DE DADOS E VALIDAÇÃO DOS PRODUTOS...53	
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	55
4.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	59
4.3 ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DE ÁREAS CONSTRUÍDAS (NDBI) 66	
4.4 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (LST)	70

4.5 ÍNDICE DE VARIAÇÃO DO CAMPO TÉRMICO URBANO (UTFVI)	74
4.6 ÍNDICE DE ILHA DE CALOR SUPERFICIAL (SUHI).....	79
4.7 ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS URBANAS (ZCUS) 83	
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

Até o ano de 1950, a população brasileira concentrava-se, em sua maioria, no meio rural. Com o processo migratório denominado êxodo rural, houve o deslocamento da população para o meio urbano, tendo como atrativos melhores condições de emprego, renda e a infraestrutura das cidades. Outros fatores que influenciaram esse deslocamento campo-cidade foi a concentração fundiária e a mecanização do campo. De acordo com a Organização das Nações Unidas (2018), 55% da população mundial vive em áreas urbanas, e espera-se que atinja 70% até 2050. No Brasil, a população urbana representa uma parcela de aproximadamente 85% do total da população (EMBRAPA, 2017).

Com o aumento populacional nas áreas urbanas e a tendência de crescimento nas cidades, surge a necessidade de ampliar a malha urbana e realizar modificações na infraestrutura para acomodar o excedente populacional, gerando assim a necessidade de mais edifícios, construções e expansão das cidades, sendo necessário o desmatamento de áreas verdes nativas para dar lugar a novas construções e habitações (Sanches, 2020).

A urbanização brasileira ocorreu, em grande parte, de forma rápida e desordenada, gerando inúmeras consequências sociais e ambientais (Ugeda Júnior, 2014), resultando no crescimento desigual dos polos urbanos e alta densidade populacional em relação aos seus entornos, gerando o agravamento de problemas ambientais urbanos, mudanças climáticas e a distribuição desigual da população urbana pelo território nacional.

A expansão das cidades, quando realizada sem planejamento, compromete a qualidade ambiental dos meios urbanos, resultando na perda de cobertura vegetal, na ocupação inadequada do solo, na redução de áreas permeáveis e na formação de ilhas de calor, entre outros impactos. Esses fatores contribuem para a criação de microclimas próprios, decorrentes das alterações no balanço de calor à superfície (Oke et al., 1999). O crescimento urbano também traz grandes desafios, entre eles a mitigação dos efeitos da urbanização sobre o meio ambiente e a sociedade. A remoção da vegetação, a produção de calor e a emissão de gases poluentes intensificam mudanças no clima, no relevo, na flora e na fauna, ampliando os efeitos adversos do desenvolvimento urbano desordenado.

Os materiais utilizados nas construções, como: concreto e asfalto, acabam absorvendo mais radiação solar, que é reemitida na forma de calor, causando o fenômeno de ilhas de calor urbanas, e a mitigação dos seus efeitos é um grande desafio para cidades ao redor do mundo, pois a diferença de temperatura em áreas urbanas e rurais pode chegar aos 18°C (Barros; Lombardo, 2016).

No caso do estado do Acre, situado na região Norte do Brasil e integrante da Amazônia Legal, esses impactos são intensificados pelas condições climáticas locais. A evapotranspiração da floresta amazônica, combinada à proximidade com a linha do Equador, confere à região um clima equatorial quente e úmido predominante. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Rio Branco apresenta clima tropical de monções (Am) (IMAC, 2012), caracterizado por altas temperaturas e umidade, com alternância entre períodos de chuvas abundantes e de seca. Essas condições, quando associadas à presença de ilhas de calor urbanas, aumentam o desconforto térmico e podem agravar riscos à saúde da população (Aleixo et al., 2021).

Sendo assim, se faz necessário pensar no modelo de urbanização utilizado na região amazônica e como ele está ligado as mudanças climáticas em micro e macrorregiões. Portanto, esse estudo se propõe a investigar o fenômeno climático de ilhas de calor urbanas superficiais produzidas pelo processo de urbanização na cidade de Rio Branco (AC).

1.1 PROBLEMA

Atualmente, sabe-se que inúmeros são os fatores que influenciam no clima urbano, sendo a principal contribuinte a ação do homem sobre a natureza, tendo como consequências fenômenos como: a poluição do ar, chuvas intensas, inundações, desmoronamentos, entre outros (Lombardo, 1985). A associação das atividades urbanas com a forma de ocupação da terra provoca alterações nos processos dinâmicos da atmosfera e, conseqüentemente, nos elementos climáticos (Amorim, 2017).

“A ilha de calor urbana é um evento reconhecido, por mais de um século, e o mais documentado exemplo de mudança climática decorrente da ação antrópica no meio natural” (Oke, 1978, p. 254).

O meio urbano é o local de maior concentração de mudanças antrópicas, dada a sua configuração espacial, com áreas densamente construídas, alta impermeabilização de superfícies naturais, emissão de poluentes, pouca vegetação, alta concentração de meios de transporte e processos industriais. Como resultado desses processos, observa-se um aumento da temperatura da superfície durante o dia, o que contribui para a elevação da temperatura do ar durante a noite, caracterizando o fenômeno das ilhas de calor.

Os fenômenos climáticos decorrentes da transformação da paisagem natural não são de ocorrência exclusiva dos grandes centros urbanos, as cidades de médio e de pequeno porte também tem sofrido com as mudanças climáticas decorrentes da urbanização (Amorim, 2017).

As pesquisas acerca do clima urbano em cidades de pequeno porte têm se mostrado expressivas no Brasil, pois são essenciais para o planejamento e execução do espaço, focando na qualidade do ambiente construído, tendo em vista que é mais fácil planejar ações e adequações em áreas em processo de expansão territorial (Amorim, 2017; Amorim, 2020).

Na Amazônia Brasileira, os estudos sobre o fenômeno de ilhas de calor ainda são escassos, tendo em vista a malha urbana limitada, apresentando dificuldade de distinguir meio rural e meio urbano, entretanto, a produção e reprodução do meio urbano potencializa a formação de ilhas de calor nas cidades (Schor; Oliveira, 2011).

Localizada no oeste da região geoeconômica amazônica, a cidade de Rio Branco (AC) apresenta uma taxa de urbanização de 91,8%, abrigando 46,2% da população acreana. Por ser uma cidade em expansão territorial do meio urbano, dado a pressão do crescimento populacional, com uma taxa de crescimento de 8% entre os anos de 2007 e 2022, ocorre uma maior exploração dos recursos naturais e consequente degradação, gerando impactos causados pela crescente urbanização. Nesse contexto, surge a pergunta de pesquisa: a cidade de Rio Branco tem sofrido com o fenômeno de ilhas de calor no seu meio urbano e entorno urbano?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Investigar o aumento de temperatura e indícios de formação de ilhas de calor urbana de superfície da cidade de Rio Branco (AC) e a relação do fenômeno com o uso e ocupação do solo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a distribuição espacial das ilhas de calor de superfície na cidade de Rio Branco, identificando áreas com diferentes níveis de temperatura utilizando imagens de satélite.
- Correlacionar os padrões de distribuição das ilhas de calor de superfície com o uso e ocupação do solo, avaliando como diferentes tipos de cobertura influenciam na formação e intensidade do fenômeno.
- Produzir mapas temáticos que representem a temperatura de superfície, o uso e cobertura do solo e a ocorrência de ilhas de calor, de modo a apoiar a identificação e compreensão do fenômeno.

1.3 JUSTIFICATIVA

A presente dissertação se propõe a investigar o fenômeno de ilhas de calor superficiais urbanas na cidade de Rio Branco (AC). O tema de ecologia urbana é bastante debatido pela comunidade científica, porém, é um tema de pouca importância nos debates sociais e políticos, mesmo sendo um assunto que pode colaborar com a melhoria da qualidade de vida nas cidades.

Assim como a maior parte das cidades brasileiras, Rio Branco é uma cidade não planejada com crescimento desordenado, que alcançou um relativo progresso no período de valorização da borracha, entre 1880 e 1912. O primeiro período de declínio da borracha afetou a economia acreana, gerando uma queda populacional. Durante a Segunda Guerra Mundial, houve um aquecimento na comercialização da borracha no mercado mundial, fazendo com que os nordestinos do “exército da borracha”

migrassem novamente para o estado, agora se concentrando nos centros urbanos. Esse fato gerou a expansão da malha urbana e impulsionou obras de infraestrutura.

Na década de 1970, com a construção de rodovias, incentivos fiscais e programas agropecuários, pessoas de diversas partes do país migraram para o estado (Mesquita, 1989). Com as terras sendo ocupadas, antigos seringais vendidos e desmembrados, ocorre o êxodo rural de seringueiros, índios, posseiros e ribeirinho para os centros urbanos (Oliveira, 1985). Com a falta de condições financeiras, ocorreu o processo de invasão-ocupação das áreas periféricas e margens do rio Acre, contribuindo para a permanente falta de infraestrutura e falta de planejamento na expansão da malha urbana (Morais, 2000). A ausência de planejamento urbano contribui para o agravamento de fenômenos climáticos urbanos, afetando diretamente a qualidade ambiental do espaço e consequentemente a qualidade de vida da população que ali reside.

Outra questão é a qualidade ambiental da cidade, tendo em vista que nos últimos anos a cidade tem sofrido com condições climáticas extremas, desmatamento decorrente de atividades agropecuárias, grandes inundações e graves faltas de água, problemas decorrentes de mudanças climáticas e ações antrópicas, como o desmatamento das margens do rio. No ranking brasileiro de arborização de vias públicas, Rio Branco se encontra na 5302ª de 5570ª, com 13,8% (IBGE, 2010).

As alterações climáticas aliadas à ausência de planejamento urbano, contribuem para o agravamento dos problemas sociais urbanos. Sendo assim, o estudo de fenômenos climáticos urbanos contribui para o entendimento das dinâmicas ambientais e sociais da cidade, podendo servir como base para a implementação de políticas públicas para promoção do desenvolvimento social e urbano juntamente com a proteção do meio ambiente.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, além dos elementos pré e pós-textuais.

O Capítulo 1 – Introdução apresenta o contexto geral da pesquisa, descrevendo o problema de estudo, os objetivos gerais e específicos, bem como a justificativa que

fundamenta a relevância do tema e sua contribuição para o entendimento das dinâmicas térmicas urbanas na cidade de Rio Branco (AC).

O Capítulo 2 – Revisão de Literatura aborda os principais conceitos teóricos que sustentam o trabalho, tratando inicialmente do clima urbano e suas escalas de análise, seguido pela caracterização das ilhas de calor urbanas, seus tipos e métodos de mitigação. Também discute o clima urbano na Amazônia e o uso do sensoriamento remoto como ferramenta de investigação desse fenômeno.

O Capítulo 3 – Material e Métodos descreve detalhadamente os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa, incluindo a caracterização da área de estudo, a coleta de dados, o processamento e tratamento das imagens de satélite, bem como a aplicação dos índices NDVI, NDBI, LST, UTFVI e SUHI. Além disso, apresenta a metodologia utilizada para a análise e validação dos resultados.

O Capítulo 4 – Resultados e Discussões apresenta os mapas, gráficos e tabelas resultantes do processamento das imagens, analisando o comportamento térmico de Rio Branco ao longo do período de 2013 a 2023. São discutidas as relações entre o uso e cobertura do solo, os índices de vegetação e de áreas construídas e a variação da temperatura de superfície, evidenciando as áreas críticas e a evolução das zonas climáticas urbanas.

Por fim, o Capítulo 5 – Considerações Finais sintetiza as principais conclusões do estudo, destacando as implicações dos resultados para o planejamento urbano sustentável e indicando sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao monitoramento climático e à mitigação das ilhas de calor em cidades amazônicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será abordado o clima nas cidades, iniciando com a apresentação das dinâmicas do clima urbano para contextualizar o tema central deste trabalho: as ilhas de calor urbanas superficiais. Serão discutidas as origens desse aumento de temperatura local e seus efeitos sobre o ambiente urbano. Em seguida, a análise será direcionada ao clima urbano nas cidades da Amazônia, região de grande extensão territorial e com dinâmica climática singular, capaz de influenciar o clima de todo o continente. Por fim, será apresentada uma síntese sobre o sensoriamento remoto, tecnologia amplamente utilizada em estudos climáticos, que possibilita a observação e análise de variáveis atmosféricas por meio de imagens de satélites.

2.1 CLIMA URBANO

A preocupação desenvolvida acerca do clima decorre da influência que a atmosfera exerce no cotidiano, afetando o conforto térmico, a contaminação do ar e as variações do regime de chuvas que perturbam o espaço e as atividades econômicas em geral (Monteiro, 1976a). O clima ultrapassa todas as fronteiras das atividades naturais e humanas, influenciando na água, nas plantas, na fauna e na agricultura (Martinelli, 2008).

Em 1959, Organização Meteorológica Mundial (OMM) define clima como: “o conjunto flutuante das condições atmosféricas, caracterizado pelos estados e evolução do tempo no curso de um período suficientemente longo para um domínio espacial determinado” (Martinelli, 2010, s. p.).

Os termos “tempo” e “clima” estão diretamente relacionados. O tempo é o estado atmosférico de um certo instante ou de um dia, já o clima é a síntese de seus tempos atmosféricos em um determinado período (Ayoade, 1978).

As regiões bioclimáticas consistem na interação do tipo de clima existente em uma determinada área, zona ou região juntamente com toda a vida existente: seres humanos, animais e plantas. Elas são formadas a partir da interação de elementos climáticos, como precipitação, vento, temperatura, umidade e radiação, e processos físicos que envolvem a atmosfera, oceano e superfícies sólidas (vegetadas ou não), neve e gelo e apresenta enorme variabilidade no espaço e no tempo. E se formam em

escalas distintas, porém indissociáveis, sendo elas macroescala, mesoescala e microescala (Pinheiro, 2008).

O macroclima abrange uma extensa área, podendo ser de âmbito global, zonal ou regional, descrevendo características gerais em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações, não sendo eficiente para estudar condições do entorno imediato de uma edificação. O mesoclima se refere a áreas menores que as consideradas no macroclima, possuindo condições locais de clima modificadas por algumas variáveis, como vegetação, topografia, tipo de solo encontrado na região, posição geográfica, proximidade do mar e obstáculos naturais ou artificiais. Já o microclima é a escala mais próxima ao nível da edificação, podendo ser alterado pelo idealizador da construção.

O clima urbano ou microclima urbano, relaciona-se com mesoclima e microclima, possuindo algumas dinâmicas - e anomalias - que lhe são próprias, decorrente da concentração populacional e o impacto da ação humana sobre o meio natural e o espaço geográfico. É uma categoria específica de clima, consistindo em um subconjunto do clima regional, mas com características distintas devido às condições atmosféricas e meteorológicas decorrentes da influência do ambiente construído. Consiste em um ambiente climático cujas alterações ocorrem primeiramente no balanço energético, desencadeando, em seguida, modificações nos elementos climáticos (temperatura, umidade, ventos e precipitações, descargas elétricas, etc.) (Nascimento Júnior, 2019).

De acordo com Monteiro (1976a), o clima urbano consiste em um sistema complexo que abrange inúmeras variáveis que influenciam de forma direta ou indireta o ambiente urbano e se mantém pelo processo de troca de matéria e energia atmosférica, caracterizada pela entrada e saída de radiação e irradiação solar, salientando que o clima urbano não é decorrente apenas da dinâmica climática - como ilhas de calor e frescor, regime de ventos, composição do ar, entre outros - ele também é influenciado por processos inerentes à dinâmica do local, podendo citar a ocorrência de inundações, configuração da malha urbana, poluição atmosférica, etc.

Barbugli (2004) destaca que ao construir e ocupar as cidades, o homem interfere significativamente no ambiente climático. O crescimento das cidades é resultado de processos antrópicos de ocupação do solo de modo exponencial e,

portanto, se tornam fatores decisivos na formação do clima urbano (Lima; Amorim, 2012).

Com o crescimento das cidades e consequentemente da população urbana, são introduzidos na atmosfera urbana novos elementos físicos e químicos, desencadeando uma alteração das condições naturais do local, resultando em alterações climáticas recorrentes (Teixeira; Amorim, 2012).

Estudos acerca da vida urbana são relevantes devido ao fato de aproximadamente metade da população mundial viver em áreas urbanas, mesmo que distribuídas de forma irregular pelas áreas do planeta (Teixeira; Amorim, 2021). Países em desenvolvimento apresentaram, nas últimas décadas, a maior taxa de crescimento populacional urbana, sendo aqueles que, em grande parte, não possuem recursos financeiros, tecnológicos e científicos suficientes para mitigar os efeitos da urbanização, tendo como consequência o surgimento de problemas socioambientais em diversas escalas (Ferreira; Assis, 2016).

A ausência de planejamento urbano adequado, fato que ocorre e ocorreu em grande parte das cidades brasileiras (decorrente do crescimento populacional e territorial desenfreado ocorrido a partir do século XX) (Santos, 1993), colabora com a formação de anomalias urbanas, como poluição do ar e da água, agravamento de desigualdades socioeconômicas e espaciais, ilhas de calor, inundações, alteração no regime de chuvas, entre outras. Essas condições e anomalias tendem a se intensificar visto que o “processo de urbanização brasileiro é muito vivo, altamente dinâmico, desigual e de elevada complexidade” (Mendonça, 2015, p. 156 *apud* Pinheiro, 2022).

A substituição de superfícies naturais por áreas impermeáveis e estruturas urbanas, que visam suprir as demandas por estacionamento, indústrias, edificações e moradias nas cidades, causam mudanças significativas dos processos térmicos, hidrológicos e aerodinâmicos do clima local (Lombardo; Fruehauf; Pellegrino, 2022).

Segundo Zambonato et al. (2021), a substituição da cobertura vegetal por áreas impermeáveis modifica as propriedades da superfície, alterando o balanço hídrico, decorrente da redução do escoamento superficial e da evapotranspiração das plantas. Outra dinâmica afetada é o balanço de radiação solar, tendo em vista as alterações provenientes da nova constituição da superfície é composto por materiais com alta absorção de calor. Para Oke (1979), os fatores determinantes para alteração das variáveis climáticas - temperatura, umidade e regime de ventos - são as

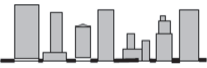






propriedades térmicas dos materiais que compõem os edifícios, a densidade construtiva, aliadas a redução da evaporação e as atividades exercidas pelos seres humanos, como atividades industriais, emissão de poluentes na atmosfera, tráfego de veículos, etc.





De acordo com Rossi e Krüger (2005), todos os fenômenos decorrentes de urbanização e das ações antropogênicas contribuem para a formação de microclimas. Em uma mesma cidade pode ocorrer microclimas específicos em diferentes áreas, essa variabilidade está associada aos diferentes tipos de materiais construtivos, à presença ou à ausência de vegetação e água, à altura das edificações, às atividades antrópicas e ao aumento constante dessas áreas. Esses fatores, combinados, dão origem ao clima urbano como um todo. Por exemplo, parques, áreas verdes e corpos d'água podem criar microclimas mais frescos em comparação com áreas densamente urbanizadas e impermeabilizadas.

Tendo em vista os estudos acerca dos microclimas e clima urbano, Stewart e Oke (2012) desenvolveram um sistema de classificação das áreas urbanas denominado Zonas Climáticas Urbanas (UCZ), o qual divide a área urbana em subclasses diferenciadas de acordo com as características de ocupação e recobrimento do solo (edificações, pavimentos, albedo, fator de céu visível, rugosidade e fatores antropogênicos).

Vianna (2018) buscou fazer uma simplificação do sistema desenvolvido por Oke e Stewart, como mostrado no QUADRO 1. Este sistema de classificação busca propor comparações entre os parâmetros climatológicos medidos na malha urbana (temperatura do ar, umidade, intensidade dos ventos, etc), de forma a correlacionar a intensidade das Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) e suas variações com as atividades humanas e formas urbanas.

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO SIMPLIFICADA DE FORMAS URBANAS (2018)

	Zona climática Urbana (UCZ)	Imagem	Classe de rugosidade (z)	Proporção das formas (H/W)	% Construída (impermeável)
1	Desenvolvimento urbano intenso, conjunto de arranha-céus revestidos, como por exemplo as torres do centro da cidade		8	>2	>90
2	Desenvolvimento urbano intenso, de alta densidade, edifícios de 2 a 5 pavimentos, muito próximos e de tijolo ou pedra, situados por exemplo, no centro da cidade antiga		7	1,0 - 2,5	>85
3	Desenvolvimento urbano alto de média densidade, com casas alinhadas separadas e próximas, lojas e apartamentos, como por exemplo, áreas habitacionais urbanas		7	0,5 – 1,5	70 - 85
4	4 Desenvolvimento urbano alto de baixa ou média densidade, com edifícios baixos e amplos, estacionamentos pavimentados, como por exemplo, shopping center e armazéns		5	0,05 – 0,2	70 – 95
5	Desenvolvimento suburbano médio, de baixa densidade, com casas de 1 ou 2 andares, como por exemplo, áreas de habitações suburbanas		6	0,2 – 0,6, até >1,0 com árvores	35 – 65
6	Uso misto com edifícios amplos em paisagem aberta, como por exemplo, hospitais, universidades e aeroportos		5	0,1 – 0,5, depende das árvores	<40
7	Desenvolvimento semi-rural, casas dispersas em áreas naturais ou agrícolas, como por exemplo, fazendas e propriedades		4	> 0,05, depende das árvores	<10

Legenda dos símbolos das imagens:  edifícios  vegetação  terreno impermeável  terreno permeável

FONTE: (Vianna, 2018, p. 21)

Assis (2000) ressalta a importância de identificar os atributos e morfologia das áreas urbanas para possibilitar usá-los como instrumento de controle da qualidade do clima urbano. Abreu e Labaki (2010) reafirma a importância de conhecimentos das feições das áreas urbanas nos estudos climáticos, tendo em vista a grande variação climática encontrada em pequenas distâncias dentro da estrutura de uma mesma cidade.

A urbanização brasileira resultou em redes urbanas de pequeno, médio e grande porte, destacando as regiões metropolitanas que concentram milhares de habitantes e apresentam inúmeros problemas sociais e ambientais (Medeiros; Cunha; Luiz, 2017). Até mesmo a região menos povoada do país, a região amazônica, apresenta 69,07% dos seus 20 milhões de habitantes vivendo em núcleos urbanos (Becker, 2005). Em contrapartida, as áreas urbanas ocupam 0,63% do território nacional, concentrando mais de 160 milhões de pessoas (cerca de 85% da população brasileira) em menos de 1% de todo território nacional (EMBRAPA, 2017).

Mesmo nas cidades de pequeno porte, estudos comprovam que as alterações decorrentes da urbanização e a ação antrópica são suficientes para promoverem modificações da atmosfera próxima à superfície (Teixeira, 2015). Essas cidades apresentam vantagens para uma investigação climática, tendo em vista as “possibilidades de intervenção no ordenamento territorial da cidade, fato que é muito mais difícil em cidades de grande porte” (Amorim, 2000, p. 22).

O conhecimento do clima urbano é de extrema importância para manutenção da qualidade de vida nas cidades, pois é responsável por influenciar diretamente no cotidiano e saúde dos habitantes, afetando a qualidade do ar, disponibilidade de água, manifestação de doenças etc. O entendimento de suas características é fundamental para o planejamento urbano e implementação de estratégias que visam criar ambientes urbanos mais saudáveis, resilientes e agradáveis.

Essa seção buscou mostrar brevemente as dinâmicas presentes no clima urbano e a importância de estudar esse fenômeno, de forma a introduzir a revisão de literatura das ilhas de calor, fenômeno presente em maior parte das cidades brasileiras.

2.2 ILHAS DE CALOR URBANAS (ICU)

As ilhas de calor consistem em áreas onde o “ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que em áreas rurais circundantes” (Gartland, 2010, p. 09). Ou seja, áreas urbanas apresentam temperaturas mais elevadas quando comparadas com áreas rurais (Lombardo, 1985).

Esse fenômeno pode ser observado em diferentes escalas, desde pequenas áreas, como arredores de edifícios, meio de uma avenida, ou em áreas maiores, como um bairro, região ou até uma cidade inteira (Perez et al., 2001).

As ICUs são originadas do espaço urbano, que é constituído por diversos materiais que possuem diferentes propriedades físicas e térmicas, pelo calor e resíduos decorrentes das atividades antrópicas (Lombardo, 1985).

A relação entre o homem e o clima é global, e se manifesta em escala local, em forma de ilhas de calor, que são reguladas por condições meteorológicas e moderadas pelas ações do homem. Esse fenômeno determina o conforto climático das populações urbanas, afetando a saúde, trabalho e atividades de lazer. Além dos efeitos na população, há os efeitos econômicos, como custos de controle climático dentro de edifícios e efeitos ambientais, como a formação de smog (fenômeno que ocorre principalmente nas cidades de grande porte e se caracteriza como uma mistura de gases, fumaça e vapores de água, formando uma grande neblina de poluentes no ambiente atmosférico próximo à superfície) (Gonçalves; Krieger, 2004).

Perez et al. (2001) explicam que as propriedades físicas e térmicas dos materiais que compõem as construções e superfície do solo urbano são capazes de provocar mudanças nas variáveis climáticas de maneira que ocorre a formação de áreas mais quentes, com fronteiras bem definidas, que as separam de seus arredores.

Os primeiros estudos acerca do clima urbano surgiram de preocupações em relação a atmosfera urbana na cidade de Londres, pois a Inglaterra já contava com 80% de sua população vivendo em áreas urbanas, apresentado anomalias climáticas decorrentes da urbanização e da grande concentração de indústrias e fábricas. Em 1661, John Evelyn detectou uma contaminação do ar decorrente da queima do carvão nas indústrias e sugeriu a criação de um cinturão verde para purificar o ar poluído de Londres. Em 1818, Luke Howard constatou um aumento da temperatura na cidade em comparação com as das áreas rurais ao redor (Silva, 2019).

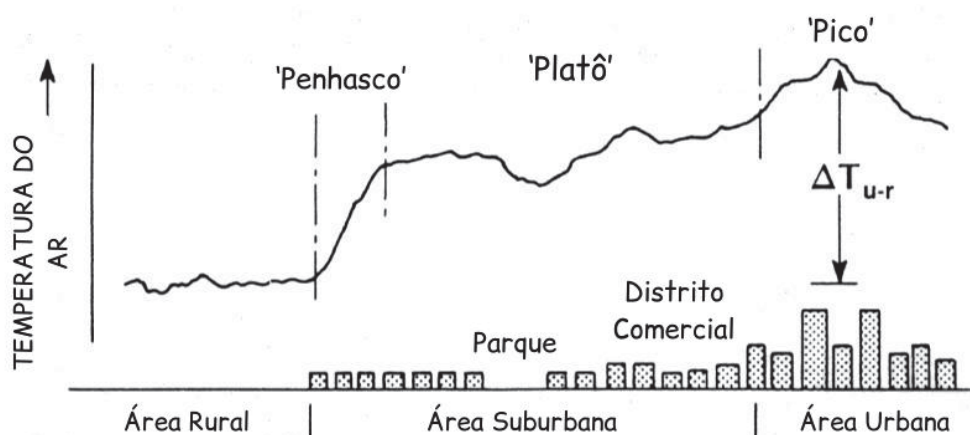
Em 1956, o meteorologista H. E. Landsberg, realizou uma síntese de estudos de climatologia urbana denominada *The Climate of Towns*, que discorre sobre a urbanização ser a causa de alterações climáticas em cidades (Werneck, 2018).

Estudos desenvolvidos por Landsberg e Maisel, em Maryland, no ano de 1972; Hsu, em 1984, na cidade de Phoenix; Lee, no ano de 1992, em Londres e Magee et al., 1999, no Alaska, constataram que os fatores responsáveis pela

diferença de temperatura entre cidades e seu entorno, caracterizando o surgimento do fenômeno Ilha de Calor, tem relação direta com o crescimento da malha urbana (Fialho, 2012).

Oke (1973a) buscou demonstrar que o clima urbano é produto da interação entre o ar atmosférico e o ambiente urbano construído, produzindo transformações e trocas energéticas, evidenciando que o processo de mudança climática ocorre pela diferença entre o gradiente térmico urbano e o rural, em função da variação da geometria urbana e a inércia térmica dos materiais utilizados nas construções. E desenvolveu a correlação entre a intensidade da ilha de calor e o tamanho da população urbana em cidades canadenses e europeias. Ele destaca o centro da cidade como o “pico” (*pick*) do fenômeno, conforme ocorre o afastamento do centro a temperatura vai diminuindo gradativamente, caracterizando o *plateau*. A divisão entre a área urbana e área rural é representado por uma queda brusca da temperatura, fenômeno que o autor denomina de “penhasco” (*cliff*). Essa caracterização foi chamada de “perfil clássico das ilhas de calor”, demonstrada pela FIGURA 1.

FIGURA 1 – SEÇÃO TRANSVERSAL GENÉRICA DE UMA TÍPICA ILHA DE CALOR



FONTE: Adaptado de Oke (1978).

Estudos realizados por Lombardo (1985) mostram que a diferença entre meio urbano e rural pode apresentar valores altos de temperatura, como é o caso da cidade de São Paulo, onde a diferença chegou a 10°C.

Monteiro (1976a) afirma que o clima urbano é um sistema complexo, aberto e adaptativo, que recebe entrada e saída de fluxos energéticos do sistema maior no qual está inserido, transformando-o de forma substancial. Desta maneira, ele desenvolveu o denominado Sistema Clima Urbano (SCU), que considera o clima urbano como um sistema composto de subsistemas, resultado da interação de

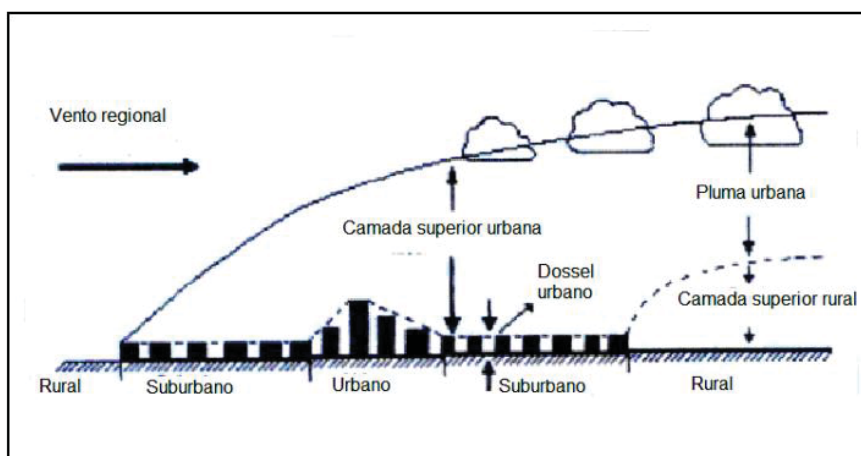
inúmeros fatores que se processam sobre a camada de limite urbano, de forma a alterar o clima em escala local.

Oke (1978) define o clima urbano como o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização e a interferência desse processo na dinâmica da atmosférica do determinado local. Ressaltando que comparações entre meio urbano e meio rural constituem na melhor metodologia para avaliar as mudanças climáticas decorrentes dos processos de urbanização. Sua contribuição para análise do clima urbano inclui importantes conceitos, como o fator de visão do céu; o efeito oásis (frescor decorrentes das áreas verdes urbanas) e o papel da mistura dos solos na formação do fenômeno de ilha de calor. O autor também discorre sobre a formação de “ilhas de umidade”, que se apresentam em cidades onde ocorrem a redução do ponto de orvalho devido a temperaturas mais elevadas no período noturno.

Para Ayoade (1978) os grandes centros urbanos são os que sofrem alterações climáticas de maior intensidade. Ele destaca que os fatores antrópicos contribuem para o aumento da temperatura, produzindo estresse térmico em determinadas áreas urbanas. Portanto, nos estudos de clima urbano, devem ser considerados o uso e ocupação do solo, associados à geomorfologia urbana e suas características.

Oke (1979) sintetizou os fatores causadores do fenômeno e subdividiu em mecanismos de camada superior (*boundary layer*) e mecanismos de camada limite do dossel (*canopy boundary layer*). Sendo os de camada superior o calor proveniente de telhados, aglomeração de telhas e chaminés; calor percorrido da camada dossel; calor excedente do ar pelo processo de convecção; e fluxo de radiação de onda curta que converge com a poluição do ar. Os de camada limite do dossel incluem o calor proveniente das construções; absorção elevada de energia radiante das construções; diminuição do fluxo de ondas longas perdidas; alto armazenamento de calor no período diurno pelos materiais da construção civil e liberação de calor no período noturno; excesso de calor sensível pela diminuição do fluxo de calor latente; convergência do calor sensível para redução da velocidade do vento.

FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS CAMADAS DA ATMOSFERA URBANA.



FONTE: Souza (2010, p. 6)

Lombardo (1984) realiza uma análise das alterações ocorridas na atmosfera e diferencia as alterações de origem natural e as alterações decorrentes da ação antrópica. Em um estudo posterior, a autora descreve alguns dos principais elementos que causam alterações em cadeia em áreas urbanas, entre eles a remoção da cobertura vegetal, impermeabilização do solo através de espessas camadas asfálticas e cimentícias que impossibilitam a infiltração de águas pluviais, modificando o regime de escoamento superficial e de evaporação, o que implica na redução da umidade relativa do ar. As condições climáticas de uma área urbana de construção densa são totalmente distintas daquelas dos espaços abertos do seu entorno, ocorrendo diferenças de temperatura do ar, de velocidade do vento, de umidade relativa do ar e de pureza do ar (Lombardo, 1985).

O ambiente urbano é marcado pela substituição de áreas verdes por áreas impermeáveis, ocorrendo tanto na malha urbana quanto no seu entorno, exercendo influência em todas as escalas do clima (Souza, 2010). Ele também é, por sua vez, produto de anomalias térmicas, higrométricas e pluviométricas, causadas pela introdução de formas artificiais, como edificações, concentração de equipamentos e pessoas, impermeabilização do solo, canalização de córregos, entre outros, no meio ambiente (Monteiro, 1976b).

A partir das características da forma urbana, denominada por Oke de “natureza intrínseca da cidade”, Oliveira (1988) destaca fatores que são responsáveis por condicionar o clima local, entre eles estão a rugosidade e porosidade, densidade das construções, ocupação do solo, dimensões, orientação da malha urbana,

permeabilidade do solo e propriedades termodinâmicas dos materiais utilizados. Assis (1990) apresenta a geometria da malha urbana como um importante fator morfológico que, ao interagir com as características climáticas, condicionam o clima local, influenciando-se mutuamente. Podendo citar a maior ou menor permeabilidade que a estrutura urbana apresenta aos ventos locais, podendo modificar essa característica de forma substancial dentro da área urbana.

A formação e intensidade da ICU está diretamente relacionada com características específicas locais, sendo elas o tamanho da cidade, densidade populacional, cultura local, variações diurnas e sazonais (Tarifa, 1994).

Tarifa (1994) discorre também sobre as dificuldades da análise geográfica do clima, destacando como empecilho o curto segmento temporal das séries históricas e as falhas e inconsistências dos dados meteorológicos. Dessa forma, o estudo das alterações de elementos climáticos é prejudicado, pois analisando os dados das séries temporais, que não são suficientemente longas, é difícil separar as oscilações climáticas naturais daquelas decorrentes dos processos antropogênicos.

O estudo climatológico é um importante instrumento, dentro da pesquisa geográfica, para analisar a relação entre o ambiente natural e a sociedade que ali reside. Desde a ocupação do território, até o desenvolvimento de atividade agrícolas, comerciais, extrativistas e industriais, o homem se constitui como principal agente modificador do meio ambiente, que por sua vez, responde às alterações impostas, resultando em níveis variados de alterações em um ecossistema (Sant'anna Neto, 1995).

Mesmo em cidades de médio porte, estudos mostram mudanças significativas na baixa atmosfera, na camada limite urbana, decorrentes de uma paisagem largamente alterada, afetando a qualidade ambiental e o conforto térmico (Sant'Anna Neto, 1995).

Cada cidade possui especificidades climáticas que devem ser consideradas e variam de acordo com suas próprias características, podendo citar a quantidade de água disponível para evaporação. A atmosfera da área urbana é menos úmida que a atmosfera da zona rural, porém as duas estão sujeitas a variações, tendo em vista que o ar da zona rural tem maior probabilidade de adquirir vapor d'água devido a maior concentração de áreas com vegetação, e consequentemente ter o solo mais permeável. Porém, o meio rural apresenta quedas mais rápidas nas temperaturas

durante a noite, provocando maior saturação do ar e impedindo a evaporação. Apesar das zonas de pressão diferenciadas promoverem a circulação do ar da zona menos quente e com alta pressão (rural) para zona mais quente e com baixa pressão (urbana), a atmosfera instável da cidade provoca a diminuição da velocidade dos ventos em relação a zona rural (Amorim, 2000).

Amorim (2000) também enfatiza que as condições climáticas locais não são consideradas na hora de realizar o planejamento urbano das cidades, e normalmente se utiliza de tecnologia e técnicas importadas de outros países. Como exemplo, têm-se técnicas de construção e desenho urbano adotado de países europeus, além da estrutura arquitetônica norte-americana e europeia. Apesar de avanços pontuais, a maioria das cidades brasileiras ainda negligência a adaptação do planejamento urbano ao clima local. A crítica de Amorim (2000) continua atual, principalmente em áreas de crescimento desordenado ou expansão urbana rápida.

A análise geográfica da ilha de calor faz-se essencial de forma a contribuir para a melhoria da qualidade ambiental, pois esse fenômeno cria uma circulação de ar no meio urbano que favorece a concentração de poluentes, contribuindo para manifestação de doenças respiratórias e circulatórias na população, além do grande desconforto térmico, principalmente em países tropicais, como o Brasil (Souza, 2010).

Segundo Sant'Anna Neto e Zavatini (2000), é importante distinguir as mudanças climáticas que ocorreram na escala geológica do tempo, ou seja, em milhares de ano, da variabilidade climática, que consiste em mudanças de curta duração, ocorrendo em um intervalo de tempo perceptível na escala humana.

Conti (2011) destaca que a não linearidade é a principal dificuldade dos estudos climatológicos, pois a natureza é capaz de apresentar reações diversas, sendo difícil prever o comportamento que será apresentado em eventos futuros.

Monteiro e Mendonça (2003) discorrem do crescimento populacional, crescente industrialização e urbanização descontrolada, que resultam em intensas transformações na superfície terrestre, como: emissão de poluentes, que afetam a transferência de radiação e regime de chuvas; supressão da vegetação nativa; asfaltamento das ruas, aumentando o estoque de calor; impermeabilização do solo, aumentando a possibilidade de enchentes; densidade e geometria das edificações, afetando a circulação de ar, no transporte de calor e vapor d'água. Todas essas

modificações, combinadas, causam alterações na atmosfera e, conseqüentemente, no clima urbano.

As principais atividades desenvolvidas nos centros urbanos, como serviços, meios de transporte, rede de saneamento, fiação elétrica, entre outros, entram em conflito direto com a vegetação, fazendo com que a relação população/vegetação se torne inversamente proporcional. Pode-se tomar como exemplo os centros urbanos que possuem abundância populacional e ausência de vegetação, já na zona rural, esses índices se invertem, apresentando baixa densidade populacional e grande área de vegetação (Silva Filho, 2004).

Gonçalves e Krieger (2004) também conclui que estudos acerca do clima se fazem essenciais para qualidade de vida nas cidades, principalmente nas grandes metrópoles, e devem ser considerados no planejamento urbano.

Os efeitos das ilhas de calor podem provocar um aumento do conforto térmico em regiões com clima mais temperado, tornando áreas urbanas locais mais confortáveis para se viver, no entanto, há casos em que os efeitos são negativos, aumento do desconforto para o calor, fazendo com que a população recorra a meios que amenizem o estresse térmico, como o uso de ar-condicionado, aumento do consumo de água, menos horas ao ar livre, entre outros (Perez et al., 2001).

Oke(2005) afirma que em situações extremas, as trocas de calor extrapolam os limites do centro urbano, como exemplo relação meio urbano-meio rural e meio urbano-periferia, ocorrendo alterações que vão além dos limites da cidade.

Os problemas climáticos mais comuns no meio urbano estão relacionados a temperatura e circulação de ar. A diminuição da velocidade do vento acarreta a diminuição do arrefecimento das áreas urbanas, trazendo prejuízos para a população (Alcoforado et al., 2006).

Landsberg (2011) estudou as modificações climáticas locais que ocorrem nas cidades, destacando a redução de radiação solar, elevação de temperatura devido ao calor liberado pelos materiais utilizados nas construções, decréscimo da umidade relativa do ar, aumento da nebulosidade e nevoeiros; redução da queda de neve, diminuição da velocidade dos ventos, entre outros.

Pinheiro e Amorim (2007) relatam que o processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma desordenada, sem planejamento urbano e ambiental, sendo uma

característica comum em países com economia voltada a produção primária, acarretando inúmeras anomalias climáticas.

Segundo Oke (1978), a influência da urbanização no clima local não está ligada somente ao número de habitantes, mas também a densidade populacional, concentração de áreas construídas, geometria das construções, entre outros. Amorim (2000) acrescenta outros fatores, como circulação de veículos, impermeabilização do solo, lançamento de partículas e gases poluentes na atmosfera, ocasionando alterações no balanço de energia e no balanço hídrico.

O processo de substituição dos materiais naturais por materiais urbanos acarreta mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão de radiação solar, alterando o balanço e características da atmosfera local.

Embora os efeitos da urbanização sobre o clima seja um assunto estudado desde o início do século XIX, foi apenas em 2011 que o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas publicou o Primeiro Relatório de Avaliação sobre Alterações Climáticas e Cidades. O relatório apresenta resultados de estudos em 12 cidades de grande porte, entre elas Londres, São Paulo, Nova Iorque, Tóquio, entre outras, e teve como objetivo construir uma base científica para ação nos ambientes urbanos. (Rosenzweig et al., 2011). Nesse documento, as cidades de pequeno e médio porte não foram consideradas geradoras de características climáticas nocivas ao meio ambiente e a população que ali reside.

Rocha, Souza e Castilho (2011) ao estudar a influência da morfologia urbana na temperatura do ar em duas avenidas na cidade de São José do Rio Preto (SP), constatou a influência do uso e ocupação do solo na formação de ilhas de calor, locais com maior densidade de construções e maior pavimentação nas ruas dissipam menos calor ao longo do dia, ocorrendo a formação de ilhas de calor noturnas mais intensas.

Nunes (2015, pg. 14-15) explica que as alterações antropológicas no ambiente natural, resultante do processo de urbanização, “tem ocorrido mais veloz do que a dinâmica dos processos físicos, contribuindo fortemente para criar e ampliar os riscos que resultam em desastres ambientais”.

Romero et al. (2019) cita alguns fatores independentes que contribuem para a formação de ilhas de calor, sendo eles: diferenças na média da radiação entre área urbana e seu entorno, ressaltando a baixa taxa de resfriamento noturno; armazenamento de energia solar por parte dos materiais construtivos, que é cedida à

atmosfera durante a noite; baixa evaporação na área urbana construída; fontes de calor cedidas ao ar urbano e geração de calor decorrentes das atividades urbanas.

A inversão térmica atua como intensificador da ilha de calor, reduzindo as trocas naturais de calor e, conseqüentemente, reduzindo a movimentação do ar nas áreas urbanas, provocando a concentração de poluentes nas cidades (Romero et al., 2019).

Essa seção evidenciou a relação direta entre o ambiente urbano e os fenômenos climáticos que o cercam, destacando os desafios inerentes e as implicações significativas para a qualidade de vida nas cidades. Ao examinarmos as causas, efeitos e possíveis soluções para as ilhas de calor, torna-se evidente que a gestão sustentável do ambiente urbano se faz essencial.

No entanto, para abordar adequadamente os desafios associados a esse fenômeno, é crucial analisar os diferentes tipos de ilhas de calor que podem surgir.

2.3 TIPOS DE ILHAS DE CALOR

Podem ser encontradas dois tipos diferentes de ICUs, que se diferenciam em relação a sua forma, intensidade e localização do núcleo, sendo elas: ilhas de calor de superfície e ilha de calor atmosférica (Voogt; Oke, 2003).

A ilha de calor de superfície consiste no aquecimento relativo das superfícies urbanas, já a ilha de calor atmosférica se forma em duas camadas: na Camada de Cobertura Urbana (CCU), localizada próxima às superfícies da cidade, compreendendo a camada de ar onde vive a população; e na Camada Limite Urbana (CLU), localizada acima do dossel, formando um domo de ar aquecido sobre a cidade. O QUADRO 2 mostra as principais diferenças entre os tipos de ICU.

QUADRO 2 – ILHA DE CALOR URBANA DE SUPERFÍCIE E ATMOSFÉRICA

Características	ICU Superfície	ICU Atmosférica
Desenvolvimento Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Presente em todas as horas do dia e noite; • Mais intensa durante o dia e no verão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser pequena ou inexistente durante o dia; • Mais intensa durante a noite e no inverno.
Intensidade	Maior variação espacial e temporal: <ul style="list-style-type: none"> • Dia: 10 a 15°C • Noite: 5 a 10°C 	Menor variação espacial e temporal: <ul style="list-style-type: none"> • Dia: -1 a 3°C • Noite: 7 a 12°C
Método de Identificação	Medição indireta: <ul style="list-style-type: none"> • Sensoriamento remoto 	Medição direta: <ul style="list-style-type: none"> • Estação meteorológica fixa • Transectos em rede de estações móveis
Representação Típica	<ul style="list-style-type: none"> • Imagem termal 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa isotérmico • Gráfico de temperatura

Fonte: Romero et al. (2019, pg. 16)

O presente estudo tem como foco a análise da Ilha de Calor Urbana de Superfície (ICUS), que se refere ao aumento da temperatura diretamente na superfície terrestre em áreas urbanizadas, em comparação com regiões rurais ou menos construídas. Esse tipo de ilha de calor é identificado por meio de imagens de sensoriamento remoto, com base na radiação térmica emitida pelos diferentes tipos de cobertura do solo. A escolha da ICUS como objeto de estudo justifica-se pela viabilidade técnica de sua medição com dados orbitais e pela sua capacidade de revelar padrões espaciais detalhados do aquecimento urbano. Através da extração da Temperatura da Superfície Terrestre (LST) e da utilização de índices como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o NDBI (Índice de Diferenças Normalizadas de Áreas Construídas), é possível correlacionar a temperatura com variáveis como densidade de vegetação, grau de urbanização e tipo de uso do solo. Dessa forma, a ICUS fornece uma base sólida para avaliar os impactos do crescimento urbano sobre o ambiente térmico local e subsidiar estratégias de mitigação.

À medida que exploramos os diferentes tipos de ilhas de calor, surge a necessidade de desenvolver métodos eficazes para mitigar seus impactos no meio ambiente e na qualidade de vida urbana, com o objetivo de promover ambientes

urbanos mais habitáveis, resilientes ao calor excessivo e saudáveis para as comunidades.

2.4 MÉTODOS DE MITIGAÇÃO DA ICU

A formas de mitigação de ilhas de calor abordam alguns aspectos como planejamento e geometria urbana adequada, inércia térmica dos materiais construtivos, zonas de frescor por meio de vegetação, entre outros.

Para Lombardo (1985), a precipitação na área urbana acompanhada do decréscimo das atividades humanas e a poluição do ar resulta no enfraquecimento da ilha de calor, dinâmica comprovada por Ashworth, em 1929 (Lombardo, 1985) na cidade industrial de Rochdale.

Amorim (2000) discorre sobre a influência da vegetação no meio urbano, sendo responsáveis por amenizar as temperaturas elevadas que provocam desconforto térmico, destacando estudos como: Kopec, de 1970, que mostra a influência da vegetação na velocidade do ar; Gomez e Garcia, em 1984, que encontraram diferenças de temperatura dentro de uma ilha de calor ocasionadas pela presença de um parque; Danni, em 1987, Cruz, em 1995, e Pitton, em 1997, que em suas respectivas pesquisas, estudaram como as áreas verdes interceptam, absorvem, refletem e transmitem radiação solar, suas interações com a água e interferência na dinâmica dos ventos.

Emmanuel (2005) aponta os benefícios do sombreamento obtidos pelo uso de arborização, responsável por absorver a radiação interceptada. Todas as espécies são capazes de alterar a sensação de conforto térmico no entorno imediato, sendo as espécies perenes responsáveis por proporcionar condições mais confortáveis no verão (Abreu; Labaki, 2010), fato também constatado por Gomes e Lamberts (2009), que apontaram o papel da vegetação na mitigação das elevadas temperaturas do clima urbano de Montes Claros/MG, onde verificaram que o aumento da cobertura vegetal proporciona uma diminuição da temperatura, principalmente no período noturno.

Cidades com maior concentração de áreas verdes ou próximas a reservatórios de água apresentam declínio na temperatura (Pinheiro; Amorim, 2007), informação já confirmada por Lombardo (1985), que afirma que a vegetação implica

em mudanças no balanço de energia, pois as plantas absorvem a radiação solar através do processo de fotossíntese e transpiração e as massas d'água, devido sua alta capacidade calorífica, provocam mudanças no balanço energético.

Um estudo realizado em Porto Alegre/RS constatou que o aumento da taxa de ocupação dos terrenos, do índice de aproveitamento e das alturas máximas permitidas, além da modificação da dinâmica do trânsito, ocasiona desconforto térmico e ambiental aos moradores, dada as mudanças de luz e sombra provocadas pelas novas construções, reordenação de áreas livres e modificação da paisagem (Scussel; Sattler, 2010).

Nas áreas rurais, a presença de vegetação arbórea proporciona áreas de sombra que são capazes de reduzir a incidência de radiação solar no solo e consequentemente a temperatura, proporcionando uma diminuição da temperatura atmosférica. A evapotranspiração também é um fenômeno responsável por amenizar temperaturas, no qual as plantas e o solo liberam água para o ar de forma a dissipar o calor do ambiente. Em áreas mais urbanizadas, as dinâmicas que tornam o clima mais ameno são escassas ou até mesmo ausentes, a água de precipitações que penetra no solo é bastante reduzida, há menos umidade local e o processo de evapotranspiração é menos intenso.

À medida que são estudados os métodos de mitigação das ilhas de calor, surge a necessidade de compreender de forma mais ampla o clima urbano em diferentes regiões. Dentro do contexto do presente trabalho, o foco será direcionado para uma área de extrema importância ecológica e climática: a Amazônia, com o intuito de estudar como as ilhas de calor se manifestam nessa região e como as estratégias de mitigação podem ser adaptadas às suas condições particulares.

2.5 CLIMA URBANO NA AMAZÔNIA

Reconhecida como a maior floresta tropical existente e o maior banco genético do planeta, a região amazônica é uma área caracterizada por sua alta biodiversidade de fauna e flora, por suas bacias hidrográficas com alta disponibilidade de água doce e suas reservas de minerais (IBGE, s. d.).

Malvestio e Nery (2012) discorrem sobre a importância do bioma amazônico para o continente sul-americano, que atua como um mecanismo essencial de controle

de variáveis climáticas, como precipitação, umidade e distribuição da umidade para as demais áreas do continente. E os estudos dos biomas tropicais brasileiros, em especial o Amazônico, tem se tornado foco de atenção mundial devido sua grande diversidade biológica e seu impacto no clima em escalas regionais e globais (Marengo et al., 2008).

Estudos climatológicos focados em cidades de clima equatorial, principalmente as localizadas na região norte, são realizados em menor proporção quando comparados com a quantidade de estudos realizados na região sul e sudeste, que são alvo de grande parte dos estudos climatológicos produzidos no Brasil (Aleixo; Silva Neto, 2019).

Pesquisas realizadas na região amazônica concentram-se em cidades de grande porte, principalmente capitais, como Belém/PA ou Manaus/AM (Aleixo; Silva Neto, 2019).

Uma das principais dificuldades no estudo climatológico é a ausência de longas séries históricas com dados diários, obtidos em diferentes pontos da cidade e em seu entorno (Souza; Alvalá, 2012).

Costa (1998) afirma que as atividades desenvolvidas durante a ocupação do território amazônico, como atividades garimpeiras, mineradoras e pecuárias, provocaram um rápido crescimento dos centros urbanos, que se tornaram cada vez mais numerosos, provocando uma elevada degradação ambiental e formação de fenômenos climáticos como as ilhas de calor.

Anos antes, Lombardo (1994) já afirmava que o desmatamento descontrolado na Amazônia seria a causa do desequilíbrio de variáveis climáticas, como umidade relativa, temperatura e precipitação.

Sousa (2020) constata que são poucas as pesquisas nos quais o objeto de estudo são localidades no sudoeste da Amazônia, uma delas realizada por Duarte (2005), que trata da climatologia do estado do Acre, nos períodos de 1971-2000.

A Amazônia tem enfrentado inúmeras alterações climáticas devido às atividades humanas desordenadas em várias áreas, especialmente relacionadas ao uso e ocupação da terra, como desmatamentos e queimadas. Essas práticas têm aumentado significativamente a probabilidade de ocorrência de desastres, que já se tornaram uma realidade frequente atualmente (IPCC, 2013).

Koren, Kaufman e Remer (2004) apontam que o efeito dos aerossóis de fumaça ocasiona a diminuição da precipitação na Amazônia, reduzindo em média, 15% da radiação incidente sobre a floresta, afetando a evapotranspiração, acarretando uma atmosfera mais seca, estável e com menor formação de nuvens. Em especial na cidade de Rio Branco, onde a profundidade óptica de aerossóis de fumaça alcança valores entre 0,5 e 0,7 no período de queimadas intensas, a formação de nuvens diminui cerca de 50%, e conseqüentemente, diminuindo a precipitação.

Santos et al. (2012) constataram que ao longo das duas últimas décadas, devido a substituição da cobertura vegetal para pavimentação e construções, a cidade de Macapá (AP) apresentou problemas associados com a mudança dos padrões do microclima local, apontando para uma tendência de comportamento do fenômeno conhecido como “ilha de calor urbana”.

Manaus, uma das cidades mais populosas do país e capital do Amazonas, apresenta diferença de temperatura de mais de 3°C entre a parte mais urbanizada da cidade e uma área de floresta distante cerca de 30 quilômetros. A cidade apresenta também uma atmosfera mais seca do que a das florestas vizinhas (Oliveira; Alvalá, 2012).

Silva (2012) discorre sobre o fenômeno ilha de calor na cidade de Manaus/AM, onde seu clima local associado ao sistema clima urbano (Monteiro, 1976a) ocasionam o aumento da temperatura, diminuição da umidade relativa e aumento da precipitação.

A substituição da floresta nativa para dar espaço para áreas de pastagem e agricultura também contribuem para a alteração das variáveis climáticas, reduzindo a precipitação e aumentando a evaporação e nebulosidade (Selles et al., 1984 apud Aguiar, 2001).

Costa et al. (2013) ao investigarem o conforto térmico em quatro cidades da Amazônia Brasileira (Belém/PA, Manaus/AM, Macapá/AP e Santarém/PA), nos períodos chuvoso e seco dos anos de 2009 a 2012, concluíram que a maioria das cidades apresentam predominância de situações de extremos desconforto térmico agravadas pelas características climáticas da região Amazônica, como elevadas temperaturas e elevada umidade do ar durante o ano todo, apesar das características diferenciadas.

Aleixo et al. (2021) fazem uma análise do campo térmico e hidrométrico na cidade de Uarini/AM na estação sazonal seca com o intuito de identificar a formação

de ilhas de calor, utilizando métodos de sensoriamento remoto e transectos móveis térmicos.

Almeida Filho e Aleixo (2022) em sua revisão de literatura sobre tendências climáticas e ilhas de calor urbanas, constaram que o Acre é um dos estados da região norte que apresenta poucos resultados de estudos climáticos relacionados a ilhas de calor.

Em resumo, esta seção explorou as ilhas de calor na Amazônia, revelando sua presença, muitas vezes negligenciada, e os potenciais impactos sobre o ecossistema da maior floresta tropical do mundo. Ao destacar as conexões entre o crescimento das cidades amazônicas, as atividades humanas e as mudanças climáticas globais, enfatizamos a importância de uma abordagem holística para a preservação do ecossistema. À medida que a região sofre com os efeitos colaterais do desenvolvimento, faz necessário enfatizar que a mitigação das ilhas de calor requer cooperação global na luta contra as mudanças climáticas.

O primeiro passo para a mitigação das ICUs é o seu estudo, que permite identificar a formação e desenvolvimento desse fenômeno. O método mais utilizado consiste nas ferramentas de sensoriamento remoto por meio de informações e imagens de satélites e radares.

2.6 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DAS ICUS

Uma das maneiras mais utilizadas de identificar e estudar ilhas de calor de superfície é por meio de técnicas de sensoriamento remoto, que consiste no método de aquisição de informações ou imagens de um objeto, área ou fenômeno terrestre, sem contato físico direto entre sensor e alvo. Essas informações são obtidas por meio de radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais, como o sol, ou por fontes artificiais, como o radar.

Os sensores, localizados nos satélites que giram numa órbita em torno do globo, são capazes de emitir ou receber energia eletromagnética refletida da Terra. Gerando imagens da órbita terrestre que possibilitam a produção, mapeamento e atualização de dados cartográficos, produção de dados meteorológicos, avaliação de impactos ambientais, planejamento regional e urbano, auxílio na tomada de decisões, entre outras aplicações.

Os dados obtidos a partir dos sensores que operam na faixa do infravermelho termal podem ser convertidos em temperaturas de superfície, após correção dos efeitos atmosféricos, a qual é estimada de acordo com a lei de Planck, que diz que quanto maior a temperatura, maior a quantidade de energia emitida por um corpo negro em um comprimento de onda (Dash et al., 2002)

As imagens termais também permitem realizar o monitoramento da variação espectral da vegetação de uma determinada área, o que possibilita identificar a delimitação de área com cobertura vegetada em todo o globo terrestre (Braga, Sansigolo e Rao., 2000). Essa função permite monitorar as alterações naturais ou humanas, nos ecossistemas.

As imagens do satélite Landsat no estudo de áreas urbanas tem auxiliado na identificação e análise do uso e ocupação do solo, distribuição de construções, morfologia urbana, poluição, entre outros (Monteiro; Mendonça, 2003). De acordo com Rodrigues et al. (2023), 90% da produção científica sobre o fenômeno de ilhas de calor utilizando sensoriamento remoto é realizada nos continentes Asia e Europa, sendo a China o país que representa 40% de toda produção.

Nas últimas décadas, esse método de estudo vem sendo amplamente utilizado nos estudos de clima urbano, oferecendo visões em diferentes escalas, permitindo o aumento de pesquisas relacionadas ao clima, tais como Lombardo, 1985; Carnahan e Larson, 1990; Oke et al., 1991; Goldreich, 1995; Perez et al., 2001; Pongracz, Bartholy; Dezso, 2005; Moreira e Galvêncio, 2007; Cruz, 2009; Amorim e Monteiro, 2011; Leiva, 2014; Almutairi, 2015; Aleixo; Silva Neto, 2019.

No Brasil, Lombardo (1985) foi pioneira no estudo do fenômeno de ilhas de calor utilizando sensoriamento remoto. Ao analisar a cidade de São Paulo utilizando dados do satélite NOAA, encontrou diferenças de temperatura de até 10°C. Também verificou que o fenômeno se faz presente tanto durante o dia como durante a noite. Streutker (2002) discorre sobre a grande quantidade disponível de dados de sensores em plataformas orbitais para o estudo de ICUs. Baptista (2003), utilizando imagens do sensor termal do satélite Landsat 5, no período de 1984 a 2001, percebeu a mitigação dos efeitos das ilhas de calor em uma área degradada por mineração que foi recuperada por meio do reestabelecimento de vegetação, apresentando uma diminuição de temperatura de 8°C a 10°C.

Castro (2009) buscou identificar, através de técnicas de sensoriamento remoto, a relação entre ilhas de calor urbanas, ilhas de frescor urbanas e variação da cobertura vegetal no município de Belém/PA, no período de 1997 e 2008.

Foram estudadas oito cidades da Ásia, sendo elas: Tóquio, Beijing, Shanghai, Seoul, Pyongyang, Bangkok, Manila e Ho Chin Minh, com o uso do sensor MODIS/Terra. Foram analisadas intensidade (diária e sazonal) e o padrão espacial do fenômeno de IC, utilizando temperatura de superfície e índice de vegetação, no período de 2000-2003. A cidade que apresentou a maior intensidade de ilhas de calor foi Tóquio, com diferenças de até 12°C (Hung et al.; 2006)

Nascimento (2010) buscou realizar uma análise comparativa da evolução histórica das ilhas de calor no município de Goiânia/GO, em relação ao crescimento urbano e as mudanças de uso e cobertura do solo, no período de 1986-2010, utilizando métodos de sensoriamento remoto. Assim como Santos (2011), que buscou analisar a evolução das ilhas de calor na cidade de Recife/PE, no período de 1998 a 2010.

Gamarra, Corrêa e Targino (2014) utilizaram métodos de sensoriamento remoto aplicadas a imagens do satélite Landsat 5 para análise de albedo e temperatura de superfície em Londrina/PR, no período de junho, junho e agosto de 2011, constatando a presença de temperaturas mais elevadas na mancha urbana da cidade em comparação com seu entorno.

Barboza, Bezerra Neto e Caiana (2020) utilizaram imagens do satélite Landsat 8 para analisar a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Vitória/ES, constatando a relação direta do vigor da biomassa e da urbanização com valores de temperatura de superfície, evidenciando a ocorrência de ilhas de calor na cidade.

Medeiros et al. (2023) busca analisar a variabilidade da temperatura de superfície terrestre e NDVI ao longo dos anos de 2013, 2016, 2019 e 2022 e relacionar com a dinâmica de uso e ocupação do solo da cidade de João Pessoa/PB, através do uso de imagens da série Landsat.

O estudo de Sousa (2025) investiga os impactos da urbanização desordenada na intensificação das ilhas de calor urbano (ICU) em São Paulo, com base na análise de imagens de satélite e revisão da legislação municipal. A autora evidencia que há uma desconexão entre as políticas públicas existentes e a sua efetiva aplicação, o

que compromete a mitigação das ICUs e a adaptação climática urbana. Os resultados mostram um diferencial térmico de até 7°C entre áreas densamente urbanizadas e zonas com vegetação, indicando a urgência de estratégias integradas de planejamento urbano e sustentabilidade.

Além dos métodos clássicos de sensoriamento remoto, o estudo de Bezerra et al. (2023) demonstrou a aplicabilidade prática dessa abordagem na análise de ilhas de calor urbanas em Rio Branco, Acre. Utilizando imagens dos satélites Landsat-5 e Landsat-8 e o modelo SEBAL, os autores observaram um aumento de aproximadamente 14,97 % na temperatura média da superfície entre os anos 2000 e 2020, associado à redução da vegetação, expansão urbana não planejada e impermeabilização do solo com concreto e asfalto. Esse resultado reforça o potencial do sensoriamento remoto na identificação temporal e espacial do fenômeno em áreas urbanas tropicais.

Em síntese, o sensoriamento remoto aplicado aos estudos de ilhas de calor é uma valiosa contribuição que auxilia na compreensão e monitoramento desse fenômeno urbano. Ao explorar a capacidade dos sensores remotos em capturar dados precisos e em tempo real, evidenciamos a sua eficácia na identificação e análise das ilhas de calor, oferecendo uma visão abrangente e detalhada das dinâmicas térmicas nas áreas urbanas. A aplicação dessas ferramentas não apenas fornece *insights* valiosos para pesquisadores e planejadores urbanos, mas também desempenha um papel crucial na formulação de estratégias de mitigação e adaptação.

Portanto, o sensoriamento remoto se revela uma tecnologia estratégica no estudo das ilhas de calor urbanas, não apenas pela capacidade de monitoramento sistemático, mas também pela possibilidade de cruzamento de variáveis ambientais, sociais e estruturais, promovendo uma leitura integrada do espaço urbano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo dessa pesquisa é investigar a formação de ilhas de calor superficiais na cidade de Rio Branco (AC) e a relação do fenômeno com o uso e ocupação do solo através da produção e análise de produtos gerados a partir de imagens de satélite, que serão utilizados para analisar e representar características do uso do solo, da cobertura vegetal e das condições térmicas de uma área, sendo classificada como pesquisa descritiva do tipo quantitativa. Será utilizado o sensoriamento remoto para a análise da ilha de calor e levantamento da ocupação urbana.

O método é dividido nas seguintes etapas, são elas:

- Caracterização da área de estudo;
- Coleta de imagens de satélite;
- Composição e tratamento das imagens; e
- Análise e interpretação dos dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

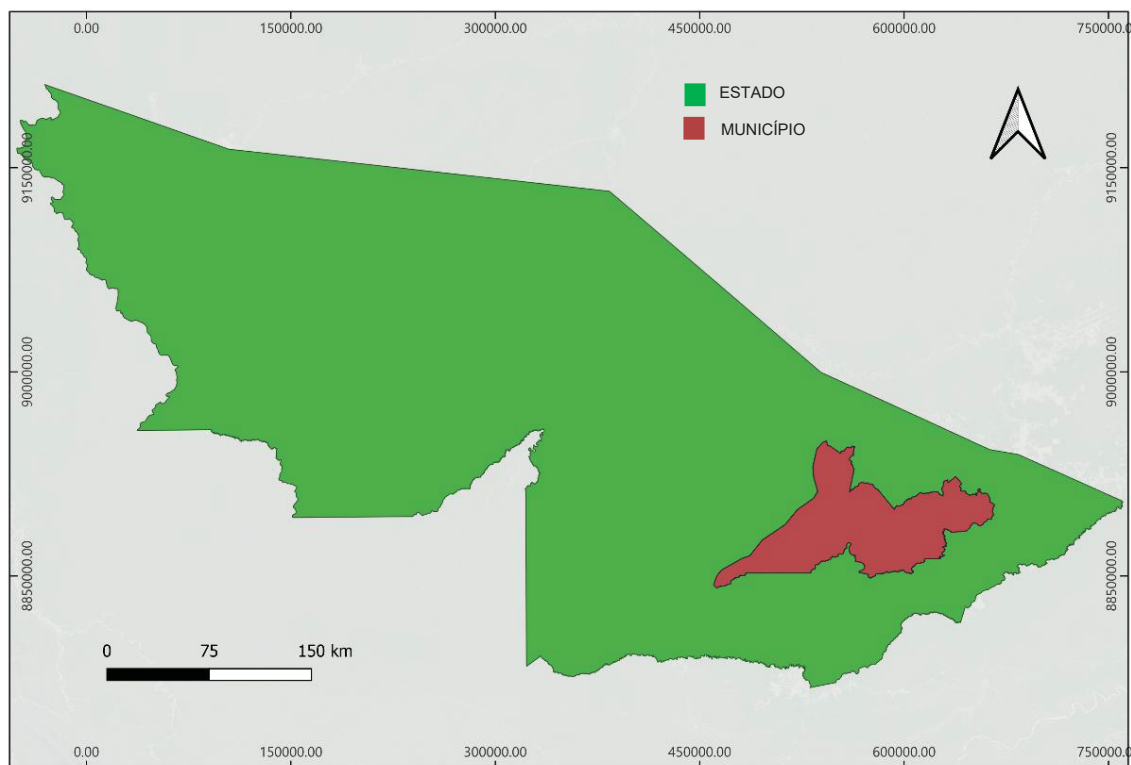
A Amazônia Legal abrange cerca de 58,9% do território brasileiro, com uma superfície aproximada de 5.015.067,749 km², e engloba os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, parte do Maranhão e cinco municípios de Goiás (IBGE, 2020).

O estado do Acre, localizado na região Norte do Brasil, possui uma área territorial de 164.163,429 km², correspondendo a 4% da Amazônia Brasileira. O estado possui 22 municípios agregados em cinco regionais de desenvolvimento: Alto e Baixo Acre, Tarauacá-Envira e Juruá (IMAC, 2012). A população atual do estado é de 830.018 habitantes (IBGE, 2022), com uma taxa de urbanização de 72,61% (IMAC, 2012), sendo apenas 6 municípios responsáveis por concentrar 73,9% da população do estado (Rio Branco, Cruzeiro do Sul, Sena Madureira, Tarauacá, Feijó e Brasiléia).

O município de Rio Branco, conforme mostrado na FIGURA 3, capital do Acre, possui uma superfície territorial de 8.834,942 km², com 407.319 habitantes, e encontra-se inserido na Mesorregião do Vale do Acre, localizado na latitude 09°57' Sul, longitude 67°51' Oeste (IBGE, 2019). A região leste do Estado, onde se encontra

a capital, é a mais favorecida em termos de infraestrutura administrativa, dos serviços de saúde e de outros setores relevantes da economia regional (Sousa, 2020).

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE RIO BRANCO (AC).



FONTE: Autora (2025)

A classificação pelo método de Köppen-Geiger divide o Acre em dois principais subtipos climáticos (Cunha; Duarte, 2005), sendo eles tropical úmido (Af), típico de floresta tropical e tropical de monções (Am), clima intermediário entre floresta tropical e savana, subdividido em Am1 e Am2. O tipo predominante cidade de Rio Branco é o tropical de monções do tipo Am2, com uma estação seca acentuada no verão (3 meses) (IMAC, 2012).

Nas últimas décadas, a Amazônia tem sofrido com as severas mudanças climáticas, em especial pode-se citar o estado do Acre, onde tem ocorrido secas severas (2005, 2009, 2016, 2022 e 2023) e enchentes históricas (2012, 2015, 2024), fatores que provocam um impacto enorme na economia, meio ambiente e na vida da população (Cabral Júnior et al., 2022).

Dos 22 municípios do Acre, pelo menos 17 já foram atingidos por algum desastre, como enchentes, inundações, erosão fluvial e incêndios florestais, entre os

anos de 1991 e 2010. O mais afetado foi o município de Rio Branco, capital do Acre situado na região leste do Estado (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2011).

Portanto, faz-se necessário pesquisas direcionadas para esse estado, com o intuito de realizar análises com o objetivo de subsidiar políticas públicas no âmbito de monitoramento ambiental e controle de recursos naturais (Figueiredo et al., 2015).

3.2 COLETA DE DADOS

A análise da ilha de calor superficial e o levantamento do uso e ocupação do solo foram realizados a partir de imagens de satélite processadas em software de geoprocessamento.

As imagens utilizadas para a análise do uso e cobertura do solo foram obtidas na plataforma MapBiomas, com as seguintes características:

- 2013 e 2018: As coleções correspondentes a esses anos foram geradas a partir de imagens dos satélites da série Landsat (Landsat 5, 7 e 8), com resolução espacial de 30 metros.
- 2023: Para este ano, foram utilizados dados dos satélites Sentinel-2, que possuem resolução espacial de 10 metros. Essa coleção abrange o período de 2016 a 2022 e adota metodologia compatível com as coleções anteriores.

Além disso, para a análise térmica e cálculo dos índices relacionados à temperatura de superfície, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 e Landsat 9 OLI/TIRS, adquiridas gratuitamente por meio do portal USGS EarthExplorer¹.

O critério de seleção das imagens consiste em períodos com poucas interferências de nuvens ou cortinas de fumaça, fatores que prejudicam a visualização total da superfície do solo, inviabilizando as análises e interpretações (Polidorio et al., 2005). Portanto, o período escolhido foi o “verão amazônico”, que consiste no período de inverno no hemisfério sul, porém, na região amazônica, consiste no período de seca, baixo volume dos rios e temperaturas extremas, entre os meses de julho e novembro, utilizando, preferencialmente, imagens de meses que apresentam temperaturas mais elevadas, sendo agosto, setembro e outubro. As temperaturas

¹ Acesso no site: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

mais elevadas intensificam a diferença entre áreas urbanas e áreas rurais, tornando mais evidente o fenômeno das ilhas de calor.

Após a aplicação dos critérios mencionados, período do ano e cobertura de nuvens inferior a 10%, foram selecionadas as imagens apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1 – DATAS DAS IMAGENS COLETADAS.

ANO	DIA DA COLETA	SATÉLITE
2013	17 de setembro	Landsat 8
2018	14 de agosto	Landsat 8
2023	20 de agosto	Landsat 9

FONTE: A autora (2024).

A partir das imagens de satélite serão desenvolvidos mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI), Temperatura de Superfície, UTFVI e SUHI. Os mapas serão desenvolvidos utilizando o software QGIS 3.28.8 de código aberto, onde foram empregadas diferentes combinações de bandas espectrais do sensor do satélite, utilizando o plugin de Correção Atmosférica (SCP) do software para aplicar correções atmosféricas às imagens.

Cada banda dos satélites representa diferentes faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético capturadas por sensores a bordo de satélites. Fornecendo informações sobre características específicas da superfície terrestre, como vegetação, corpos d'água, estruturas urbanas e temperatura. Essas bandas são usadas para uma variedade de aplicações, desde monitoramento ambiental até agrícola e geológico.

No presente trabalho, serão utilizadas as seguintes bandas dos satélites Landsat 8 e 9, como apresentado na TABELA 2.

TABELA 2 – BANDAS DO SATÉLITE LANDSAT 8 e 9

Banda	Utilização	Intervalo Espectral	Resolução
2	Azul	0.450 – 0.515 μm	30 m
3	Verde	0.525 – 0.600 μm	30 m
4	Vermelho	0.630 – 0.680 μm	30 m
5	Infravermelho próximo	0.845 – 0.885 μm	30 m
6	Infravermelho de ondas curtas (SWIR 1)	1.560 – 1.660 μm	30 m
10	Infravermelho termal (TIRS 1)	10.30 – 11.30 μm	100 m

FONTE: EOS Data Analytics (Traduzido)

3.3 COMPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE IMAGENS

O tratamento de imagens de satélite é essencial para o processo de estudo de ilhas de calor, pois permite aprimorar a resolução e a qualidade das imagens, possibilitando uma análise mais precisa e detalhada das características do terreno e das temperaturas superficiais, permitindo a extração de dados específicos para análise de temperatura, características do solo e vegetação, entre outros.

O método utilizado no presente trabalho é baseado na metodologia proposta por Liguori e Monteiro (2023) e Coelho e Correa (2013).

3.3.1 Uso e ocupação do solo

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo, obtido por meio da Plataforma MapBiomas e processado no software QGIS, é uma ferramenta essencial para o monitoramento anual das transformações na paisagem brasileira. Através da análise de imagens de satélite e do uso de inteligência artificial, o sistema classifica automaticamente os diferentes tipos de cobertura vegetal e uso da terra, permitindo acompanhar a dinâmica territorial com precisão.

Esse recurso é amplamente utilizado em estudos ambientais, planejamento urbano e rural, além da formulação e avaliação de políticas públicas relacionadas à conservação, uso sustentável e ocupação do solo.

As classes de uso e cobertura são organizadas em categorias principais, com uma escala cromática padronizada conforme o Código de Cores da Legenda da Coleção 9 do MapBiomas Brasil:

- Áreas Naturais: Floresta (verde escuro), vegetação savânica (verde claro), áreas alagadas (azul claro).
- Áreas Antrópicas: Agricultura (amarelo), pastagem (laranja), áreas urbanas (vermelho).
- Corpos d'água: Rios, lagos e represas (azul escuro).

A padronização das cores facilita a visualização, comparação e interpretação das mudanças temporais observadas no território. Dessa forma, o mapa torna-se uma base confiável para análises espaciais e decisões estratégicas nas mais diversas áreas do conhecimento.

3.3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) é um indicador da saúde e densidade da vegetação de uma determinada área, calculado pela combinação das bandas 4 e 5 do satélite.

É obtido através da equação (1):

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (1)$$

Onde:

IVP = Banda correspondente ao infravermelho próximo (5)

V = Banda referente ao sensor vermelho (4)

Os valores de NDVI variam de -1 a 1, quando mais próximo de 1 maior a presença de vegetação densa e vigorosa e quanto mais próximo de -1 indica vegetação alterada, áreas desmatadas ou corpos d'água.

O NDVI é crucial para subsidiar políticas públicas no monitoramento ambiental e controle dos recursos naturais, tais como: estudos sobre degradação ambiental, monitoramento de seca, estudos globais de balanços de água e energia, entre outros (Figueiredo et al., 2015).

3.3.3 Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI)

O Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI, do inglês *Normalized Difference Built-Up Index*) é um índice utilizado para identificar e mapear áreas urbanas ou construídas (ZHA; Gao; Ni, 2003). Para sua composição, são utilizadas as bandas 5 e 6 do satélite Landsat 8 e 9 e pode ser obtido pela equação (2):

$$NDBI = \frac{(IVM - IVP)}{(IVM + IVP)} \quad (2)$$

Onde:

IVM = Banda correspondente ao infravermelho de ondas curtas (6)

IVP = Banda referente ao infravermelho próximo (5)

O resultado do índice NDBI também varia de -1 a +1, em um gradiente de cores partindo do vermelho em direção ao azul. Áreas com vegetação tendem a ter valores mais baixos, enquanto áreas urbanas ou construídas apresentam valores mais altos.

3.3.4 Temperatura de Superfície Terrestre (LST)

A Temperatura de Superfície da Terra (*Land Surface Temperature* - LST) é aferida na superfície terrestre, considerando a emissão térmica detectada pelo sensor do satélite. Esta temperatura difere da temperatura do ar medida por estações meteorológicas e reflete a radiação térmica emitida pela superfície da Terra.

De acordo com o método proposto por Liguori e Monteiro (2023), a banda infravermelha termal (banda 10) combinada com o arquivo MTL proveniente do satélite Landsat 9, permite aferir diferenças de temperaturas superficiais nas áreas analisadas.

Para calcular a Temperatura de Superfície Terrestre, foi utilizado o método proposto por Coelho e Correa (2013). O procedimento aplica as equações de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância e, em seguida, converte esses valores para temperatura em Kelvin. Posteriormente, a temperatura é convertida para Celsius (°C), resultando nas equações (3) e (4), de acordo com o satélite correspondente à imagem utilizada. Essas equações foram aplicadas na calculadora raster do software QGIS:

$$LANDSAT\ 8 = \left(\frac{1321.08}{Ln\left(\frac{774.89}{3.3420E - 04 * banda10.tif + 0.10000} + 1\right)} \right) - 273.15$$

$$LANDSAT\ 9 = \left(\frac{1329.2405}{Ln\left(\frac{799.0284}{3.8000E - 04 * banda10.tif + 0.10000} + 1\right)} \right) - 273.15$$

(3) e (4)

Onde:

Banda10.tif = Camada Banda 10 (Imagem Termal da Área de Estudo)

A diferença nas equações ocorre porque os índices utilizados variam de acordo com o satélite, mesmo sendo da mesma família *Landsat*. O uso dos dois satélites justifica-se pelo fato de o *Landsat 9* ter sido lançado apenas em dezembro de 2021.

Os mapas obtidos permitem realizar uma comparação de temperaturas entre áreas urbanas e seu entorno, permitindo uma análise espacial das ilhas de calor, e possui diversas aplicações ambientais, meteorológicas e agrícolas, proporcionando dados valiosos para o monitoramento e a gestão ambiental.

3.3.5 Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI)

O UTFVI é um índice utilizado para avaliar o desconforto térmico urbano, sendo baseado na diferença entre a temperatura de superfície de cada pixel e a temperatura média da área urbana, sendo amplamente aplicado em estudos de ilhas de calor urbanas, qualidade ambiental e planejamento urbano sustentável (García; Díaz, 2023). Mostrado pela equação 5:

$$UTFVI = \frac{LST_{pixel} - LST_{médio}}{LST_{médio}}$$

(5)

Onde:

LST_{pixel} = temperatura da superfície em um ponto específico

LST_{médio} = temperatura média da área urbana

Os valores do UTFVI são classificados em faixas, permitindo identificar níveis de desconforto térmico e sua distribuição espacial, conforme mostrado no QUADRO 3.

QUADRO 3 - VALORES-LIMITE DO UTFVI

Intervalo UTFVI	Tipo de fenômeno	Significado
≤ 0	Nenhum	Área sem estresse térmico
$0 < \text{UTFVI} \leq 0,005$	Fraco	Leve aumento térmico
$0,005 < \text{UTFVI} \leq 0,015$	Moderado	Moderado aumento térmico
$0,015 < \text{UTFVI} \leq 0,025$	Forte	Desconforto térmico leve
$0,025 < \text{UTFVI} \leq 0,04$	Muito Forte	Desconforto térmico moderado
$> 0,04$	Extremamente Forte	Forte estresse térmico (ilha de calor)

FONTE: Naim; Kafy, 2021 (Adaptado)

Essas classificações do UTFVI possibilitam a identificação de áreas com diferentes níveis de desconforto térmico, subsidiando análises sobre a qualidade ambiental e o impacto do uso e cobertura do solo sobre o campo térmico urbano. Esse índice representa uma importante ferramenta para diagnósticos ambientais e para o planejamento territorial orientado à mitigação do desconforto térmico.

Complementarmente ao UTFVI, o Índice de Ilha de Calor Superficial (SUHI) é utilizado para quantificar e representar o desvio da temperatura de superfície em relação à média da área estudada, permitindo uma análise padronizada e comparativa das variações térmicas ao longo do território.

3.3.6 Índice de Ilha de Calor Superficial (SUHI)

O SUHI (Ilha de Calor de Superfície) é um índice amplamente utilizado para identificar e quantificar as diferenças de temperatura entre áreas urbanas e suas regiões do entorno urbano ou rurais. É utilizado para quantificar o quanto uma determinada área urbana está mais quente ou mais fria em relação à média da região, permitindo identificar zonas críticas de aquecimento ou resfriamento anômalo.

O efeito da ilha de calor superficial é dado pela relação entre o LST do pixel, o LST médio e o desvio padrão (Faisal et al., 2021; Halder et al., 2022).

$$SUHI = \frac{(LST_{pixel} - LST_{médio})}{DP}$$

Onde:

LST_{pixel} = temperatura da superfície em um ponto específico

LST_{médio} = temperatura média da área urbana

DP = desvio padrão

O QUADRO 4 apresenta uma classificação do Índice de Ilha de Calor Urbana Superficial (SUHI). Valores positivos indicam a existência de ilha de calor urbana, sendo a intensidade do fenômeno diretamente proporcional a diferença de temperatura. Essa métrica é essencial para o diagnóstico ambiental urbano, permitindo avaliar os impactos do uso e cobertura do solo sobre o microclima.

QUADRO 4 - VALORES-LIMITE DO SUHI

Intervalo SUHI	Significado
≤ -2	Área muito mais fria do que a média (≥ 2 desvios padrão abaixo)
-2 a -1.5	Área bem mais fria que a média
-1.5 a -1	Mais fria que a média
-1 a 0	Um pouco mais fria que a média
0 a 0.75	Um pouco mais quente que a média
0.75 a 1.5	Mais quente que a média
> 1.5	Muito mais quente que a média (≥ 1.5 desvios padrão acima)

FONTE: Autora (2025)

As faixas de SUHI foram definidas com base em desvios padrão em relação à temperatura média da área de estudo, conforme aplicado em trabalhos como Faisal et al. (2021), Halder et al. (2022) e Linguori e Monteiro (2023).

Neste trabalho, a utilização do SUHI visa complementar a análise de conforto térmico urbano, em conjunto com índices como o UTFVI (Índice de Variação do Campo Térmico Urbano) e o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), permitindo uma abordagem integrada da dinâmica térmica e ambiental urbana.

3.4 EVOLUÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS URBANAS

Para a identificação e análise da evolução das Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs) no município de Rio Branco, foi adotado um procedimento de análise visual com base em imagens de satélite obtidas por meio da plataforma Google Earth,

selecionando registros dos anos 2013, 2018 e 2023, sendo cinco amostras de partes distintas da cidade, abrangendo centro urbano, área suburbana, em expansão e área rural.

As imagens foram analisadas de forma qualitativa, utilizando como referência a classificação simplificada de formas urbanas proposta por Vianna (2018), que categoriza as áreas urbanas em sete tipos distintos de ZCUs.

A análise consistiu em identificar visualmente, em cada imagem, os elementos estruturais que caracterizam o tipo de ocupação do solo, como presença e densidade de edificações, vias de acesso, cobertura vegetal e áreas pavimentadas. A partir dessas observações, foram atribuídas categorias de ZCU às áreas analisadas, permitindo inferir as mudanças no padrão de ocupação e no grau de urbanização ao longo do tempo.

Embora o ideal fosse relacionar diretamente a classificação das Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs) com os mapas de temperatura de superfície (LST), essa associação não foi possível devido à limitação da resolução espacial das imagens utilizadas do sensor Landsat, que é de 100 metros para a banda térmica. Essa resolução não permite identificar com clareza as variações de temperatura dentro de pequenas áreas urbanas ou entre diferentes tipos de formas urbanas, especialmente em zonas densamente construídas ou com ocupação heterogênea. Por esse motivo, optou-se por uma abordagem qualitativa baseada na análise visual das imagens do Google Earth, que apresenta melhor definição espacial para fins morfológicos.

Embora a análise visual não ofereça a precisão métrica de técnicas baseadas em classificação supervisionada ou dados vetoriais, ela se mostra adequada para identificar tendências gerais de ocupação e subsidiar análises espaciais e ambientais complementares.

3.5 ANÁLISE, INTERPRETAÇÃO DE DADOS E VALIDAÇÃO DOS PRODUTOS

As informações obtidas após o tratamento das imagens apresentaram um sistema de coloração, tomando como referência uma escala de cores pré-estabelecida, que associadas aos valores de referentes a cada índice, permite analisar e comparar resultados através de análises visuais, cruzamento de camadas (overlay), e observação de zonas críticas de maior ou menor variação térmica.

Os dados de NDBI, NDVI e LST serão analisados estatisticamente para calcular valores máximo, mínimo e médio em toda a região de estudo. Permitindo entender as variações nos padrões de urbanização, vegetação e temperatura da superfície ao longo do tempo e do espaço.

As informações obtidas permitirão comparar os mapas gerados de diferentes períodos para detectar mudanças de temperatura, desmatamento, uso e ocupação do solo, expansão urbana e outros fenômenos ao longo do tempo.

Para garantir a qualidade e confiabilidade dos produtos, foram adotadas as seguintes estratégias de validação:

- Verificação visual cruzada entre mapas temáticos e imagens de cor real;
- Comparação com bases secundárias (ex.: MapBiomas, dados do IBGE, Google Earth);
- Coerência interna entre os índices: por exemplo, a correspondência entre áreas com altos valores de NDBI e baixos valores de NDVI com altas temperaturas de LST e altos valores de UTFVI;
- Validação lógica baseada na literatura, utilizando faixas consagradas na interpretação de índices (como os limites de UTFVI e SUHI citados em autores como Weng et al. e Amiri et al.).

Essa abordagem metodológica possibilitará a identificação e interpretação sistemática dos padrões térmicos e ambientais associados à dinâmica urbana no território estudado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir das análises de imagens de satélite tratadas e comparação com índices ambientais (NDVI, NDBI, LST, UTFVI e SUHI), visando compreender a dinâmica térmica e espacial do município de Rio Branco (AC) entre os anos de 2013, 2018 e 2023. As seções descrevem e interpretam os padrões identificados, relacionando-os ao uso e ocupação do solo, à cobertura vegetal e às alterações no ambiente urbano e rural.

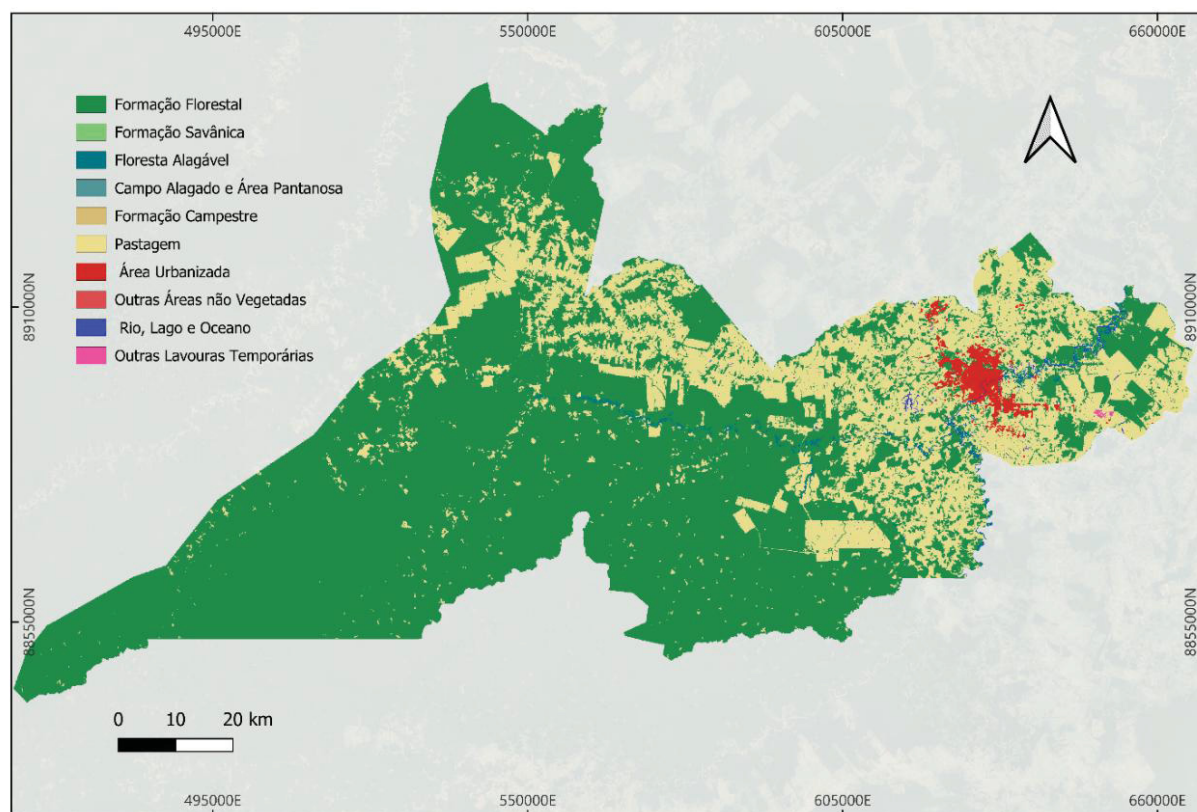
4.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A análise do uso e ocupação do solo é fundamental para compreender os processos de expansão urbana, desmatamento, conversão de áreas naturais em pastagens ou agricultura. Ao identificar as mudanças no padrão de ocupação da terra, é possível estabelecer relações com a formação de ilhas de calor, alterações no balanço energético da superfície e impactos ambientais associados ao desenvolvimento urbano.

Nesta seção, são apresentados os dados referentes ao uso e à ocupação do solo no município de Rio Branco, com base nas informações disponibilizadas pela plataforma MapBiomas, base de dados reconhecida por sua abrangência e metodologia padronizada, permitindo o monitoramento detalhado das transformações da cobertura terrestre brasileira ao longo dos anos, utilizando imagens de satélite processadas e classificadas automaticamente. Método também utilizado por Medeiros et al. (2023).

No mapa de uso e ocupação do solo para o município de Rio Branco no ano de 2013 (FIGURA 4) pode-se observar que a cobertura de formação florestal predomina, especialmente na metade oeste do município, com algumas manchas de pastagem fragmentadas. Para esse ano, a área conta com aproximadamente 643.126 ha de área de formação florestal, 227.467 ha de área destinada a pecuária, atividade econômica predominante no município e 10.161 ha de área urbana, sendo aproximadamente 101,61 km².

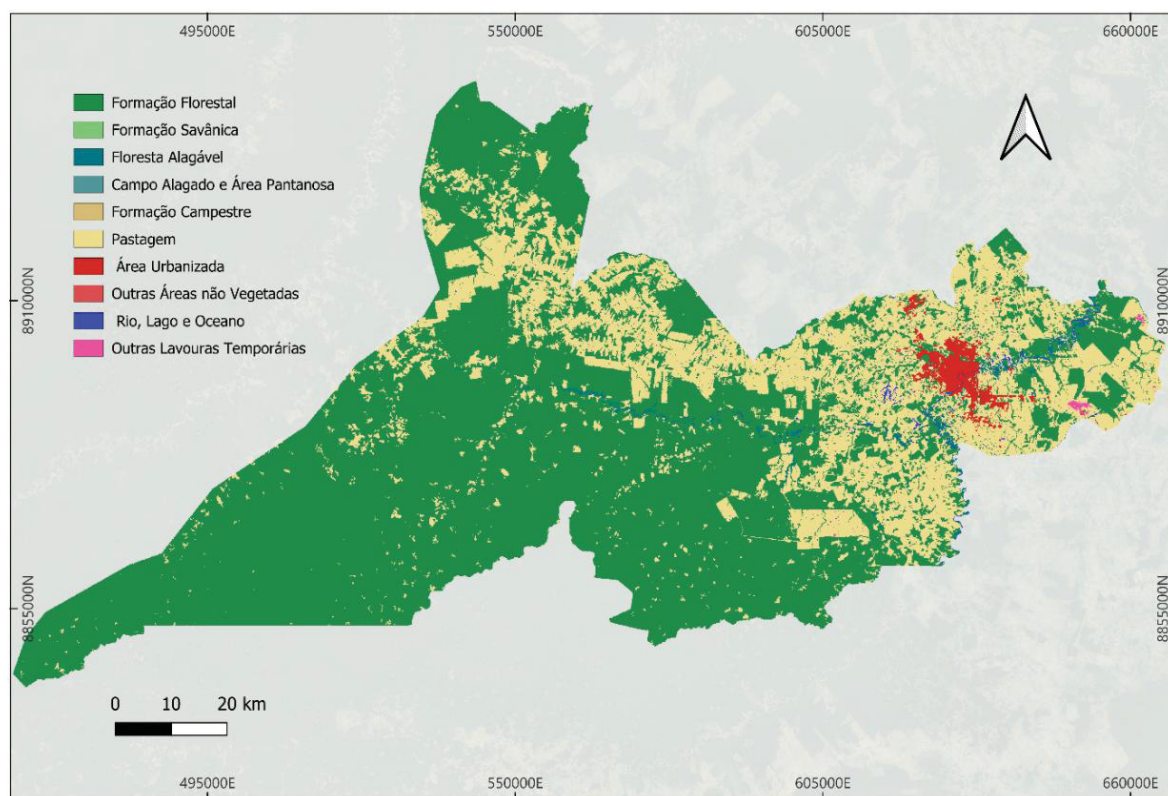
FIGURA 4 – USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (2013)



FONTE: Autora (2025)

Para o mapa do ano de 2018 (FIGURA 5) a cidade de Rio Branco conta com aproximadamente 630.706 ha de área verde, 238.902 ha de área destinada a pecuária, atividade econômica predominante no município e 10.539 ha de área urbana, sendo aproximadamente 105,4 km². É visível o avanço das áreas de pastagem e o adensamento das áreas urbanizadas, indicando processos de urbanização e expansão rural intensificados.

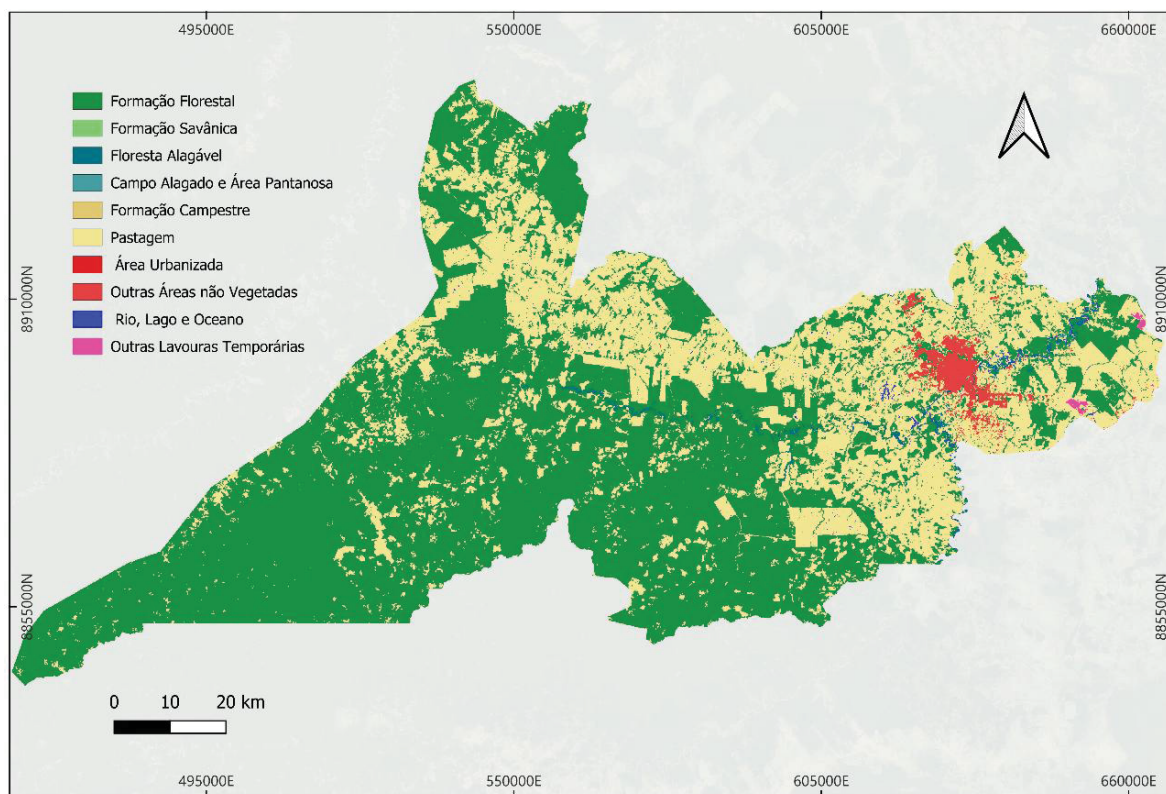
FIGURA 5 - USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2018)



FONTE: Autora (2024)

Para o ano de 2023 (FIGURA 6), o padrão de expansão se intensifica ainda mais, com aumento das áreas verdes convertidas em áreas urbanas e redução das manchas contínuas de vegetação nativa, evidenciando uma dinâmica de uso do solo fortemente marcada por conversão de uso rural e crescimento urbano.

FIGURA 6 - USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2023)

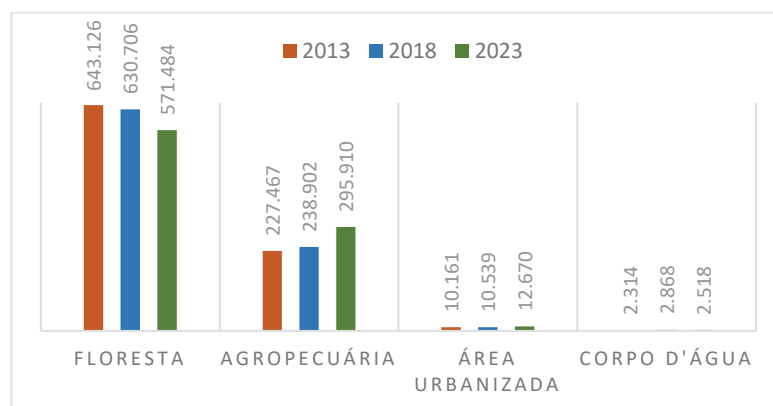


FONTE: Autora (2024)

Observa-se, ao longo dos três períodos, uma clara tendência de redução da vegetação nativa, sobretudo da formação florestal (em verde escuro), especialmente nas porções centro-leste do município, onde se nota um avanço expressivo das áreas de pastagem (amarelo) e, em menor escala, de área urbanizada (vermelho), uma evolução do padrão de modificação do solo já observado por Duarte (2005).

Conforme mostrado no GRÁFICO 1, é possível observar a evolução das classes de uso e ocupação do solo no município.

GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (HA)



FONTE: Autora (2024)

Na classe Formação Florestal, percebe-se uma redução de aproximadamente 11,14% entre os anos de 2013 e 2023, indicando desmatamento contínuo na região. Houve também um crescimento de 68.043 hectares de área destinada a Pastagem no período, sugerindo expansão das atividades agrícolas e pecuárias.

O GRÁFICO 1 evidencia uma tendência clara e contínua de substituição das áreas florestais por superfícies destinadas às atividades agropecuárias, acompanhada por um leve, mas consistente, aumento das áreas classificadas como não vegetadas. Esse processo reflete uma dinâmica persistente de transformação do uso e ocupação do solo, impulsionada principalmente pelas pressões econômicas locais e pela expansão urbana e rural, situação também observada por Nascimento (2010) na cidade de Goiânia/GO.

Essa mudança no padrão de uso do solo tem contribuído diretamente para a redução da cobertura florestal, o aumento das superfícies expostas e a fragmentação dos remanescentes vegetados. Como consequência, intensificam-se os desafios relacionados ao conforto térmico da população, à conservação ambiental e ao planejamento territorial sustentável, reforçando a necessidade de políticas públicas integradas que conciliem desenvolvimento socioeconômico com preservação ambiental.

4.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma das principais ferramentas utilizadas no monitoramento da cobertura vegetal por meio de imagens de satélite. Utilizando bandas 4 (vermelha) e 5 (infravermelho próximo) do Landsat, esse índice permite estimar a densidade e a atividade da vegetação, sendo amplamente utilizado para estudos ambientais e de uso e ocupação do solo.

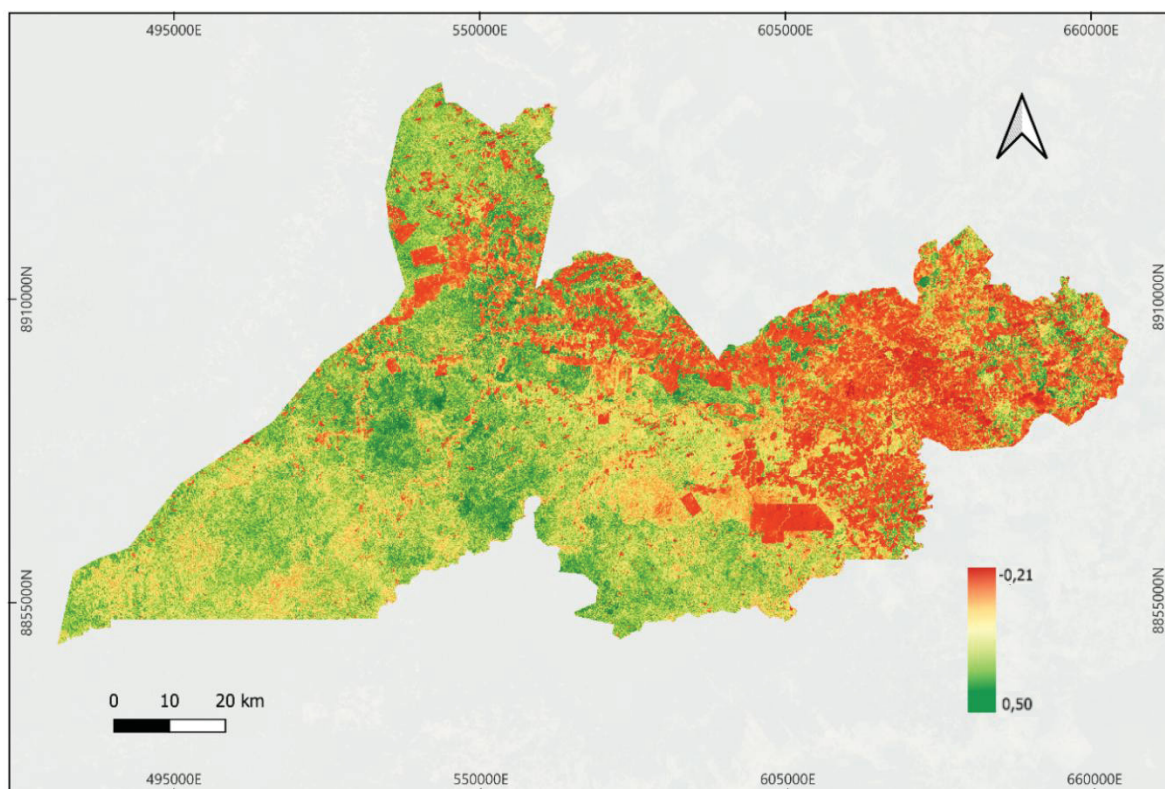
Nesta seção, apresentam-se os resultados do NDVI para o município de Rio Branco nos anos de 2013, 2018 e 2023, com o intuito de identificar áreas de maior concentração vegetal e identificar regiões com indícios de degradação.

No mapa de 2013 (FIGURA 7) a cobertura vegetal do município de Rio Branco apresenta uma distribuição já bastante fragmentada, com destaque para grandes áreas em tons amarelados e alaranjados, concentradas nas regiões central, norte e

nordeste do mapa, indicando vegetação de baixa densidade, pastagens degradadas e solo exposto.

Os dados estatísticos reforçam essa interpretação: o NDVI médio é de 0,145, variando de -0,21 a 0,50, com um desvio padrão de 0,355. Esses números indicam uma grande diferença entre áreas preservadas e regiões degradadas. Esse cenário é compatível com o contexto regional da época, marcado por expansão da fronteira agrícola e aumento da urbanização na Amazônia.

FIGURA 7 – NDVI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2013)



FONTE: Autora (2024)

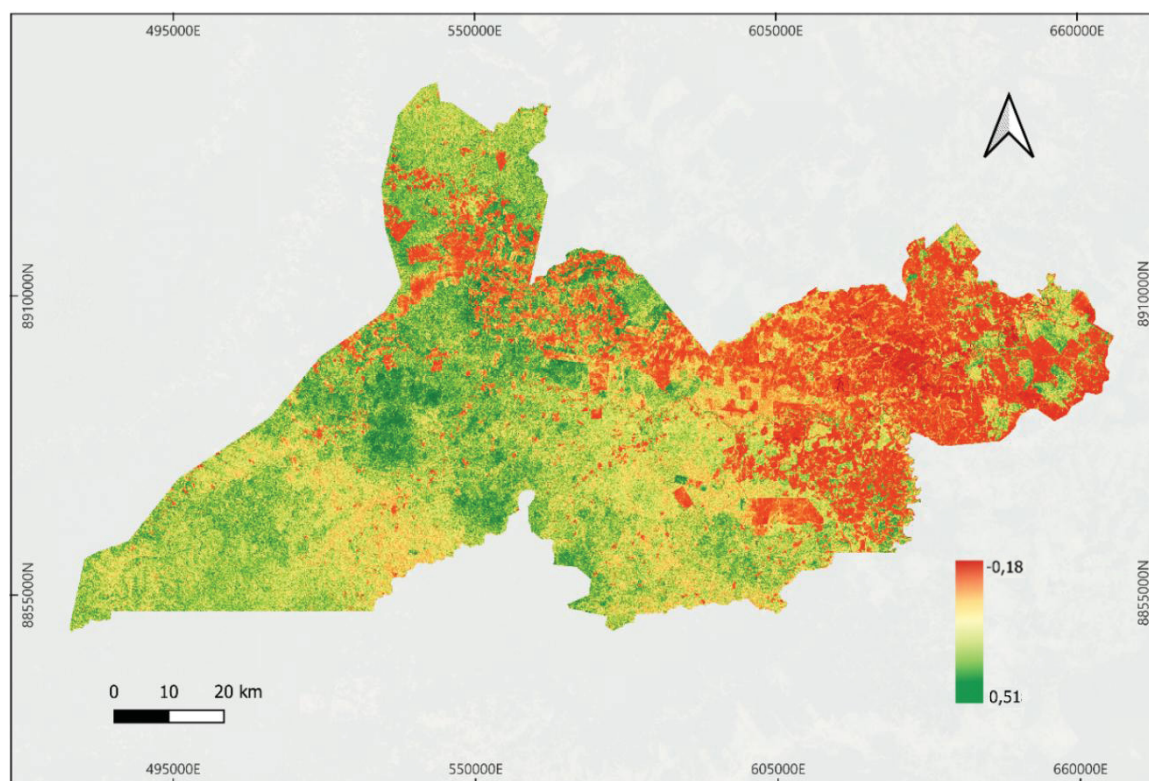
No ano de 2018 (FIGURA 8) é possível notar uma leve melhora na cobertura vegetal de Rio Branco em comparação com 2013, embora ainda existam muitas áreas com sinais evidentes de degradação. As regiões leste e nordeste do município continuam marcadas por manchas alaranjadas e avermelhadas, o que indica baixa densidade de vegetação, reflexo de solos expostos, pastagens degradadas ou uso intensivo do solo, principalmente pela agropecuária e pelo crescimento de áreas urbanas.

No sul e sudoeste do município, há um aumento das manchas verdes, que representam vegetação mais densa ou em processo de regeneração, pode estar

associado a práticas de conservação, à diminuição da pressão sobre certas regiões ou mesmo à regeneração natural da vegetação, informação comprovada pelos dados da TABELA 3, que mostra um aumento da vegetação densa entre os anos de 2013 e 2018.

O NDVI médio em 2018 foi de 0,165, com valor máximo de 0,51 e mínimo de -0,18. O desvio padrão foi de 0,345, mostrando uma variação um pouco menor em relação a 2013, o que sugere uma distribuição mais equilibrada entre áreas bem vegetadas e aquelas em condição mais crítica. Apesar dos avanços sutis, boa parte do município apresenta cobertura vegetal fragilizada.

FIGURA 8 - NDVI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2018)



FONTE: Autora (2024)

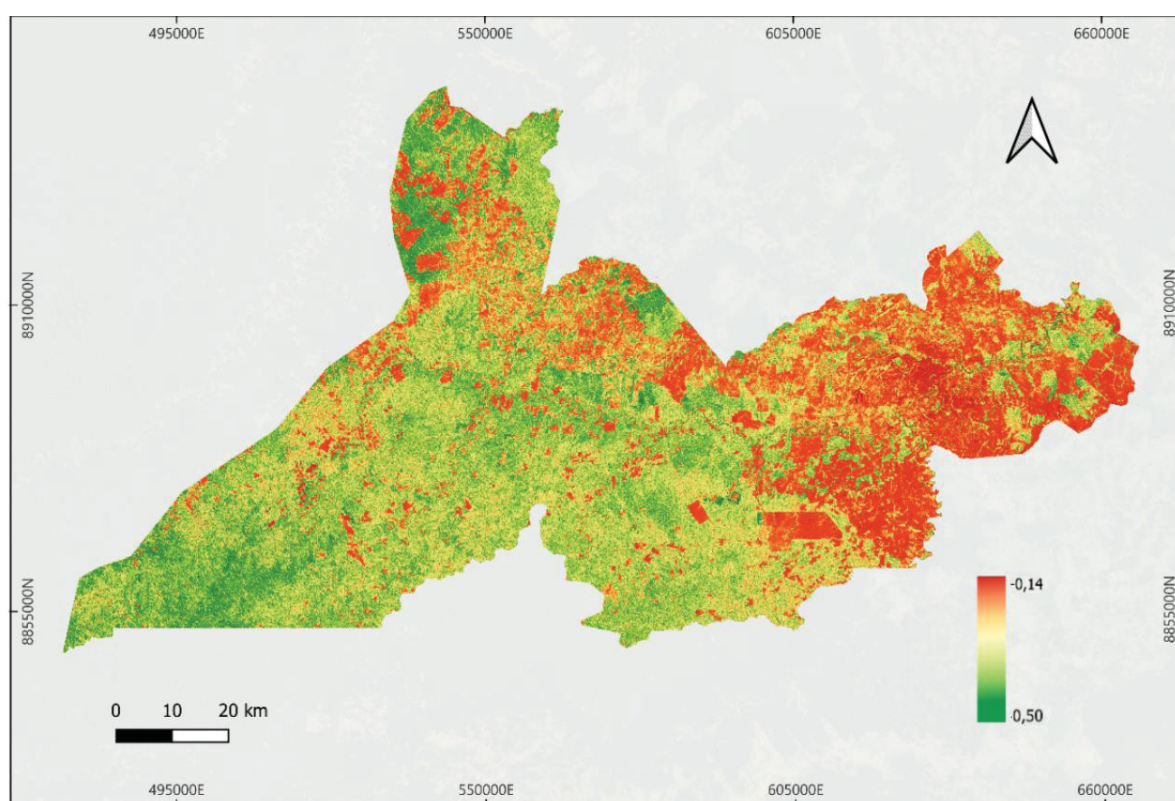
Para o mapa NDVI de 2023 (FIGURA 9) é possível notar uma leve melhora nas condições da cobertura vegetal em comparação com os anos anteriores. As regiões ao sul e sudoeste do município aparecem levemente mais esverdeadas, indicando áreas com vegetação mais densa e saudável.

Por outro lado, o setor leste ainda chama atenção pelos tons avermelhados predominantes, que continuam indicando vegetação espalhada, pastagens degradadas e solo exposto. Esses padrões sugerem que, apesar de alguns avanços,

ainda há uma pressão significativa sobre o uso do solo nessa região por conta da expansão urbana e de atividades agropecuárias.

O valor médio do NDVI aumentou para 0,18, o que mostra uma vegetação um pouco mais presente e distribuída em relação a anos anteriores. O valor mínimo também apresentou aumento (-0,14), indicando que áreas totalmente degradadas foram reduzidas.

FIGURA 9 - NDVI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2023)



FONTE: Autora (2024)

Embora esse leve aumento possa inicialmente sugerir uma melhoria na cobertura vegetal, a leitura espacial mostra uma realidade mais complexa. O mapa mostra uma expansão significativa das manchas em tons alaranjados e avermelhados. Essa ampliação indica uma degradação progressiva em novas áreas, antes menos impactadas, apontando para uma possível intensificação do uso do solo com baixa cobertura vegetal.

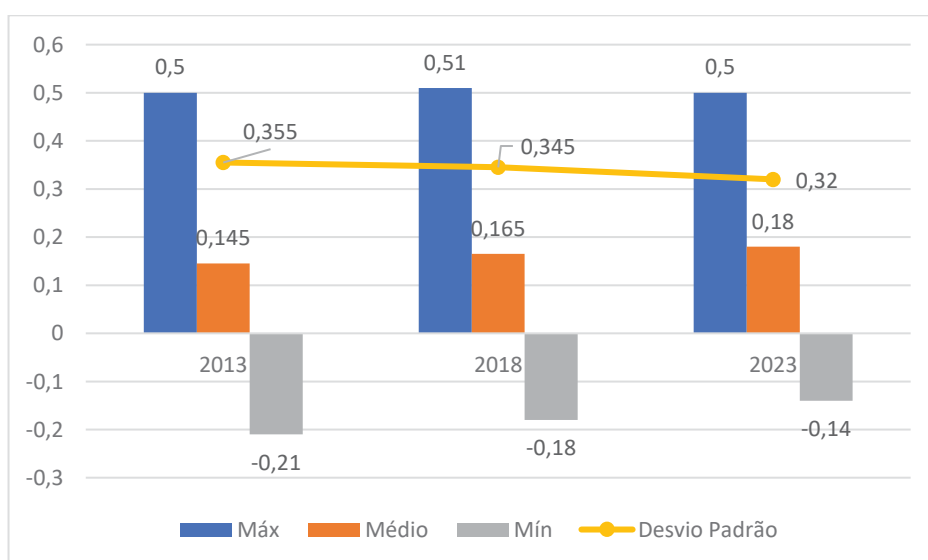
O GRÁFICO 2 apresenta os valores estatísticos do NDVI ao longo do período analisado, permitindo uma avaliação comparativa da dinâmica da cobertura vegetal na área estudada. Os valores máximos mantiveram-se estáveis ao longo do período, variando entre 0,5 e 0,51, o que indica a presença contínua de áreas com vegetação

densa e preservada. Em contrapartida, os valores mínimos evoluíram de forma positiva, passando de -0,21 em 2013 para -0,14 em 2023, sinalizando uma redução de superfícies com baixa ou nenhuma vegetação.

Observa-se também um aumento progressivo dos valores médios de NDVI, que passaram de 0,145 para 0,18 no intervalo analisado. Essa elevação sugere uma melhoria na qualidade média da vegetação, possivelmente devido à regeneração de áreas degradadas ou ao avanço de vegetação sobre terrenos desocupados. Paralelamente, o desvio padrão apresentou tendência de queda, reduzindo-se de 0,355 em 2013 para 0,32 em 2023, o que pode ser interpretado como uma distribuição mais homogênea dos valores de vegetação ao longo da área.

Em conjunto, os dados indicam uma tendência de recuperação ou melhoria das condições ambientais locais, com aumento da cobertura vegetal média e redução das disparidades entre áreas altamente e pouco vegetadas.

GRÁFICO 2 – ANÁLISE NDVI NOS ANOS DE 2013, 2018, 2023



FONTE: Autora (2024)

A ligeira redução do desvio padrão indica que a variabilidade da vegetação no território tem se mantido praticamente constante, sugerindo que o contraste entre áreas densamente vegetadas e superfícies artificiais não sofreu grandes alterações ao longo do período estudado.

A análise do NDVI para os anos de 2013, 2018 e 2023 demonstra uma relativa estabilidade nos valores máximos do índice, o que sugere a permanência de áreas com vegetação mais densa no território ao longo do período.

A incoerência entre os dados numéricos e o padrão visual do ano de 2023 reforça a importância de uma análise integrada: enquanto os indicadores estatísticos sinalizam uma tendência de estabilidade ou leve melhora, a distribuição espacial do NDVI revela uma homogeneização da paisagem em direção a níveis intermediários de vegetação, muitas vezes indicando evolução de áreas degradadas ou em transição.

Além dos dados analisados no GRÁFICO 2, é fundamental observar como a cobertura vegetal se distribui entre as diferentes classes de vegetação. Esse tipo de classificação permite entender melhor os processos ambientais em curso, como degradação ou regeneração vegetal. No caso de Rio Branco, o estudo de Bezerra et al. (2023) utilizou um método parecido, aplicando NDVI e temperatura de superfície urbana (LST) com imagens Landsat e o modelo SEBAL e observou variações significativas relacionadas à perda de áreas verdes e ao crescimento urbano (2000–2020).

A TABELA 3 apresenta a área ocupada por cada classe de NDVI para os anos de 2013, 2018 e 2023, possibilitando uma avaliação mais detalhada das transformações na cobertura vegetal de Rio Branco ao longo da última década.

A área total permaneceu estável no intervalo estudado, conforme mostrado na TABELA 3, em torno de 8.662 km², mostrando consistência no recorte e na metodologia utilizada. As classes foram definidas com base nos intervalos propostos pelo EOS – Earth Observing System, o que garante padronização e comparabilidade com outros estudos. Apesar da estabilidade na área total, a composição da cobertura vegetal mudou de forma significativa ao longo do período.

A classe “Água/Solo exposto” teve pequenas variações, passando de 10,42 km² em 2013 para 10,90 km² em 2018 e reduzindo para 7,89 km² em 2023, possivelmente por fatores sazonais, regeneração da vegetação ou uso temporário do solo.

A “Vegetação rala” cresceu de 1.692,49 km² em 2013 para 2.820,16 km² em 2023, um aumento expressivo que indica perda de densidade da vegetação. No sentido oposto, a “Vegetação moderada” caiu de 6.959,16 km² para 5.834,01 km² no mesmo período, uma redução de cerca de 1.125 km², sugerindo que muitas dessas áreas passaram para a classe de vegetação rala.

Já a “Vegetação densa” manteve-se praticamente ausente em todos os anos (< 0,01 km²), o que pode estar ligado aos limites usados para a classificação, à época

de aquisição das imagens ou à realidade do município, onde predominam áreas de vegetação menos densa.

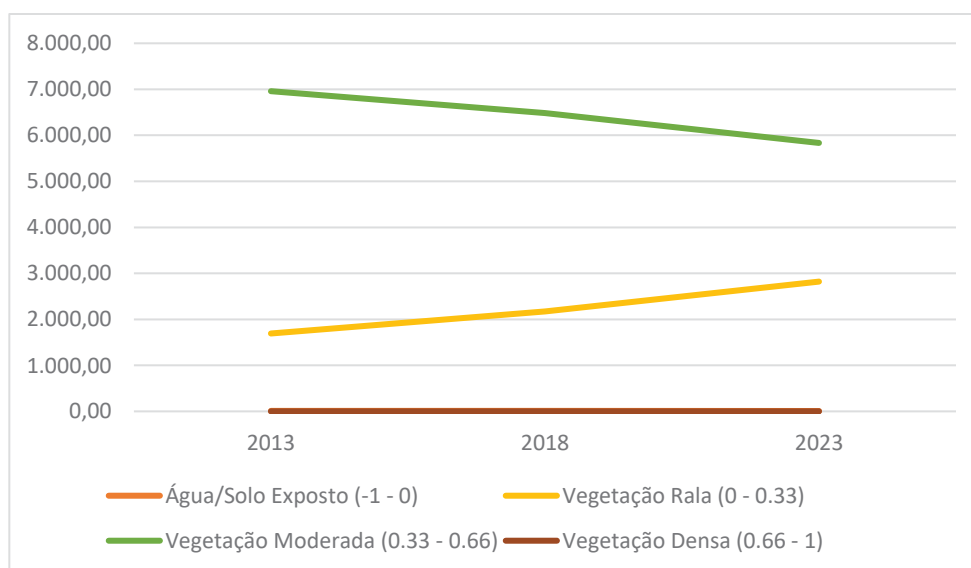
TABELA 3 – ÁREA POR CLASSE DE COBERTURA VEGETAL (NDVI) EM RIO BRANCO (AC), 2013–2023 (KM²)

Classe	Área (km ²)		
	2013	2018	2023
Água/Solo Exposto (-1 - 0)	10,42	10,90	7,89
Vegetação Rala (0 - 0.33)	1.692,49	2.170,30	2.820,16
Vegetação Moderada (0.33 - 0.66)	6.959,16	6.480,88	5.834,01
Vegetação Densa (0.66 - 1)	0,0036	0,0045	0,0036

FONTE: Autora (2025)

No geral, observa-se uma tendência de substituição da vegetação moderada por vegetação rala, acompanhada por pequenas variações na área de solo exposto (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3 – GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DAS CLASSES (NDVI)



FONTE: Autora (2025)

Portanto, o NDVI permite concluir que, apesar de pequenas oscilações positivas nos valores médios ao longo da década, a expansão das áreas com baixa densidade vegetal em 2023 indica que o município enfrenta um processo de perda gradual de cobertura vegetal densa, com consequência importantes para o equilíbrio ambiental, o conforto térmico urbano e a sustentabilidade do uso do solo em Rio Branco. Esses resultados reforçam a importância de estratégias de planejamento

urbano e gestão ambiental que considerem a preservação e recuperação de áreas verdes como elemento central para a sustentabilidade da cidade.

4.3 ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DE ÁREAS CONSTRUÍDAS (NDBI)

O Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI — *Normalized Difference Built-up Index*) é um indicador bastante utilizado no mapeamento e monitoramento de superfícies construídas em áreas urbanas. Ele permite destacar regiões com alta concentração de estruturas artificiais, como edificações, pavimentações e demais superfícies impermeáveis, utilizando as bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) e do infravermelho próximo (NIR).

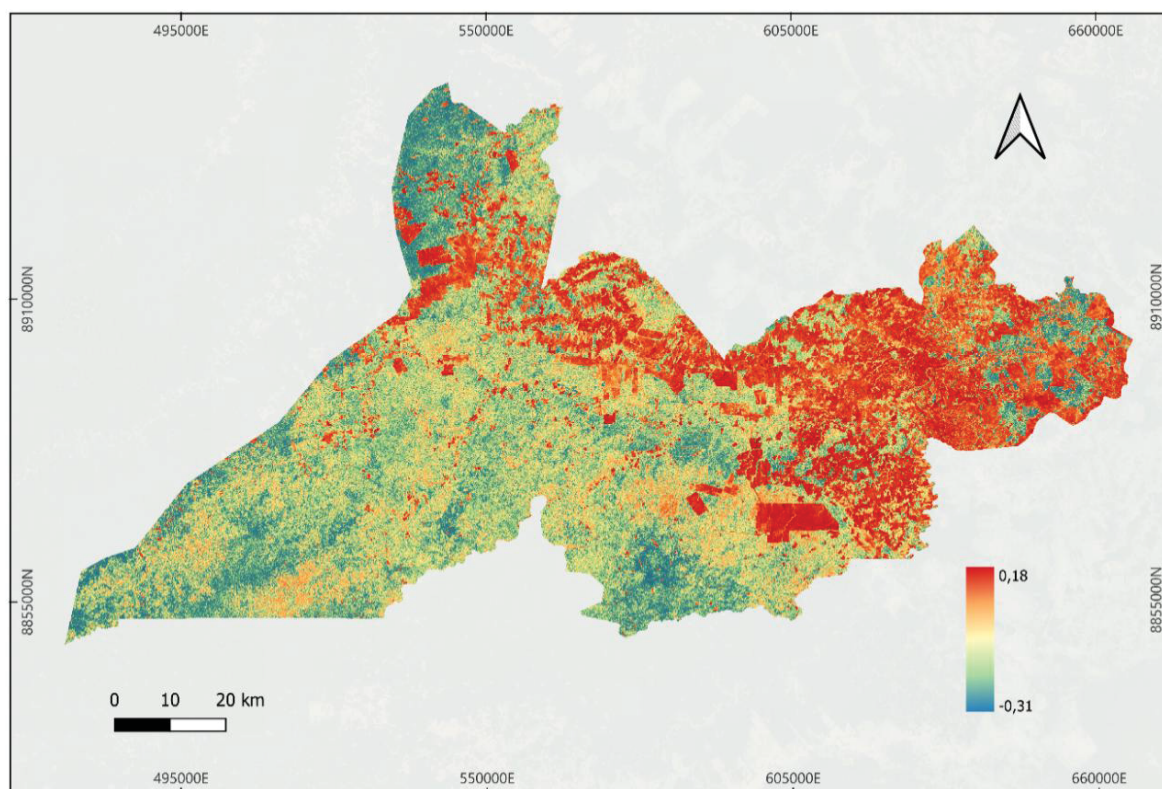
Valores positivos do índice estão associados predominantemente a superfícies construídas, enquanto valores negativos indicam áreas com maior presença de vegetação ou corpos d'água.

Analisando o mapa de 2013 (FIGURA 10) é possível observar o padrão de ocupação urbana e superfícies com alto grau de impermeabilização do solo. As tonalidades em vermelho indicam os valores mais elevados de NDBI (próximos de 0,18), que estão diretamente associados a regiões com maior presença de edificações, ruas pavimentadas e áreas urbanizadas. Já as áreas em azul, com valores mais baixos (até -0,31), indicam a presença predominante de vegetação ou corpos d'água.

O mapa apresenta uma forte concentração de áreas avermelhadas na parte leste do município, sugerindo que a expansão urbana e a ocupação do solo estavam mais intensas nessa região. Já na parte oeste, apresenta ampla predominância de áreas azuladas e esverdeadas, o que indica maior presença de vegetação e menor grau de urbanização naquela área.

Esse padrão espacial do NDBI reforça os resultados encontrados no NDVI do mesmo ano, evidenciando o contraste entre zonas mais preservadas e regiões sujeitas a maior pressão antrópica, especialmente devido à urbanização e atividades agropecuárias.

FIGURA 10 – MAPA NBDI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2013)



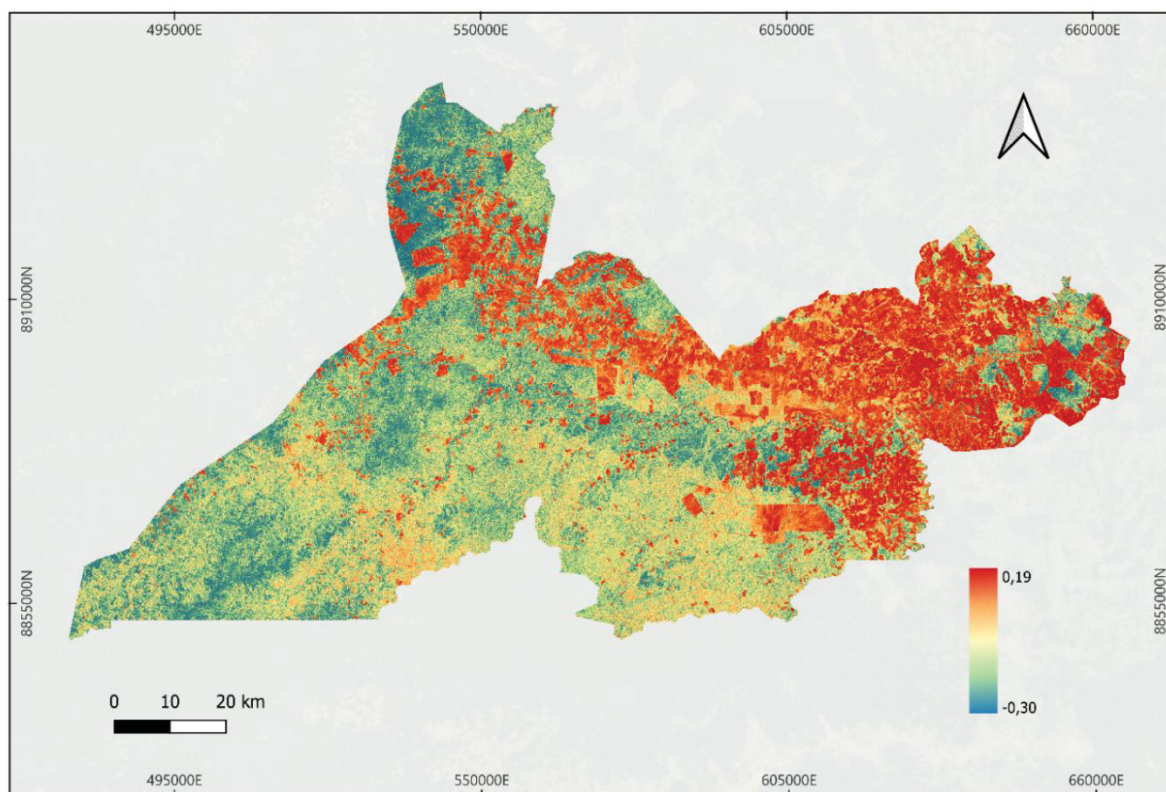
FONTE: Autora (2024)

O mapa do NBDI de 2018 (FIGURA 11) mostra uma intensificação das áreas com valores mais altos do índice (em tons alaranjados e vermelhos), indicando um crescimento das superfícies construídas ou de solo exposto em comparação a 2013. Pode-se observar uma ampliação das manchas avermelhadas especialmente nas regiões central, nordeste e sul do município, sugerindo maior ocupação urbana e, provavelmente, expansão de áreas agrícolas ou de pastagens degradadas, atividade econômica predominante na região.

Ao mesmo tempo, ainda há presença de áreas em tons azulados e esverdeados, principalmente na porção oeste e sudoeste do mapa, o que representa cobertura vegetal mais preservada e menor grau de urbanização.

A comparação com o ano de 2013 indica uma tendência clara de aumento das áreas impermeabilizadas, associadas a processos de urbanização e conversão do uso do solo. Essa mudança é coerente com os padrões observados no NDVI de 2018, onde houve leve melhora na média da vegetação, mas ainda com forte presença de áreas degradadas. Isso evidencia que o crescimento urbano não foi necessariamente acompanhado de recuperação ambiental proporcional.

FIGURA 11 – MAPA NBDI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2018)



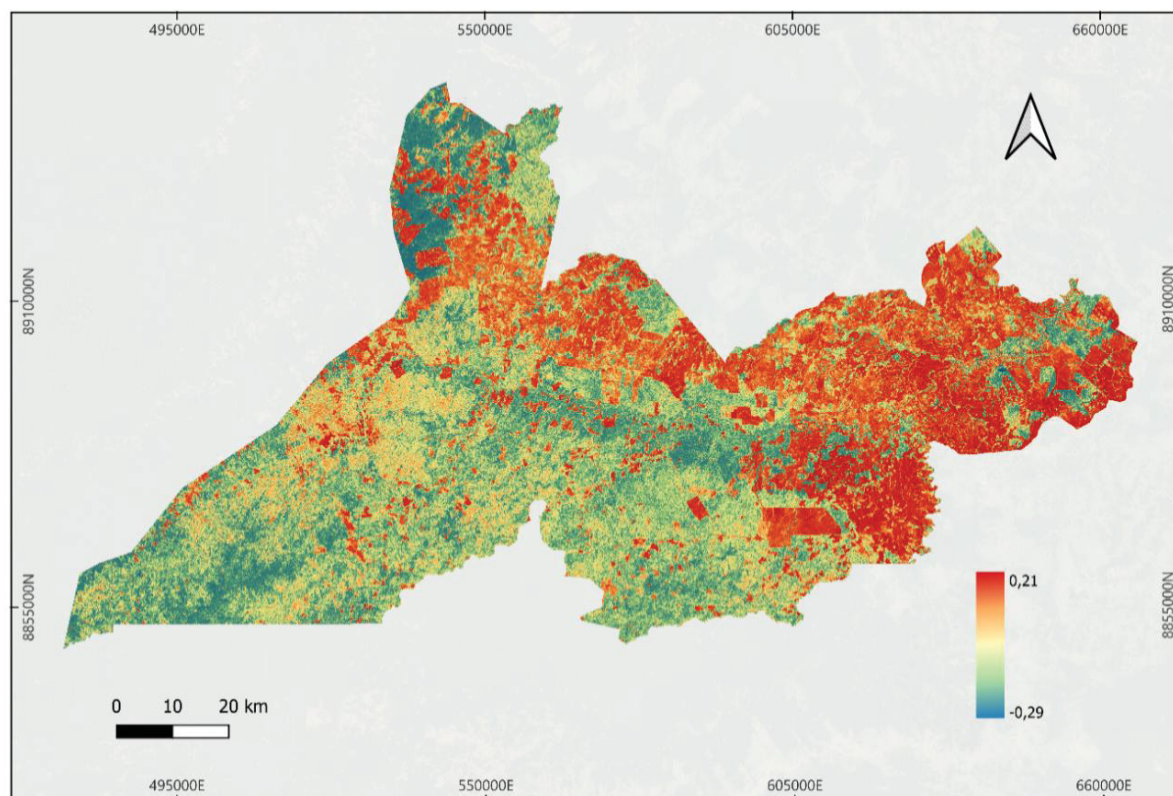
FONTE: Autora (2024)

O mapa do ano de 2023 (FIGURA 12) mostra uma intensa presença de áreas com alto grau de ocupação, evidenciada pelas manchas em tons alaranjados e vermelhos espalhadas por todo o território.

As regiões leste e nordeste do município continuam apresentando os maiores valores de NBDI, indicando uma concentração mais densa de áreas urbanizadas ou de solo exposto, como ocorre em zonas residenciais, comerciais ou de atividade agropecuária. Além disso, nota-se uma expansão dessas manchas vermelhas também para áreas do centro-sul, o que sugere o avanço da ocupação para áreas que antes possuíam menor área de ocupação.

Por outro lado, as áreas em tons esverdeados e azulados, que representam solos menos alterados e presença de vegetação ou umidade superficial, estão mais restritas ao extremo oeste e sul do município. Mesmo nessas regiões, há uma fragmentação crescente, com manchas avermelhadas espalhadas, indicando que os espaços com vegetação remanescente têm sofrido com a expansão urbana.

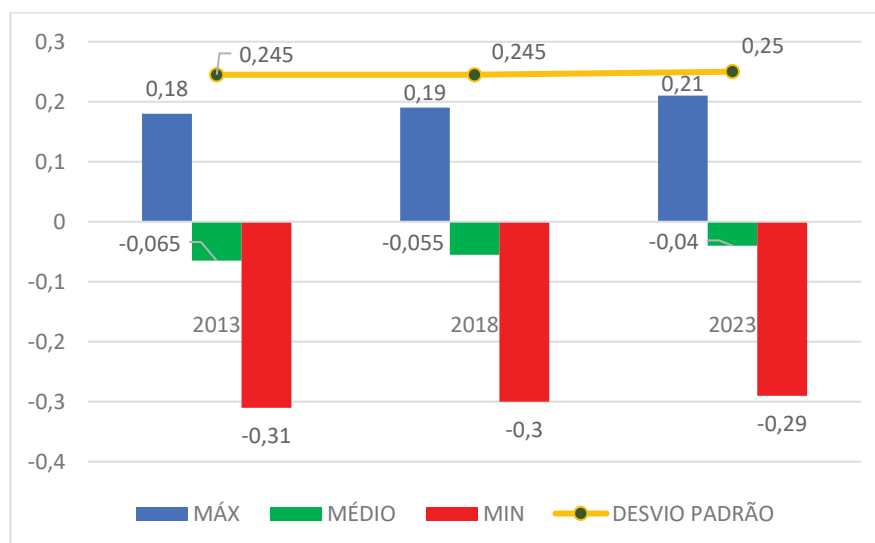
FIGURA 12 – MAPA NBDI DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (ANO 2023)



FONTE: Autora (2024)

O GRÁFICO 4 apresenta a variação dos valores do NBDI (Índice de Construção por Diferença Normalizada) para o município de Rio Branco nos anos de 2013, 2018 e 2023, considerando os valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão para cada ano.

GRÁFICO 4 - EVOLUÇÃO DOS VALORES ESTATÍSTICOS DO NBDI EM RIO BRANCO (2013–2023)



FONTE: Autora (2024)

Pode-se perceber um leve aumento ao longo do tempo do valor máximo de NDBI. Em 2013, o valor máximo foi de 0,18, subiu para 0,19 em 2018 e atingiu 0,21 em 2023. Esse crescimento indica a ampliação de áreas com forte presença de superfícies construídas e solo exposto.

O valor médio também seguiu uma tendência de crescimento, embora sutil: -0,065 em 2013, -0,055 em 2018 e -0,04 em 2023. Apesar de ainda estarem em valores negativos, esses números sugerem uma lenta, porém contínua e progressiva, substituição de áreas vegetadas ou úmidas por áreas antrópicas.

O valor mínimo apresentou pouca variação, oscilando de -0,31 em 2013 para -0,29 em 2023. Isso mostra que ainda existem áreas no município com pouca ou nenhuma interferência antrópica, especialmente regiões com vegetação densa ou alta umidade superficial.

O desvio padrão permaneceu constante entre os anos de 2013 e 2018, com um leve aumento para 0,25 em 2023. Esse pequeno crescimento sugere uma leve intensificação na heterogeneidade do uso e cobertura do solo, tornando o contraste entre áreas naturais e áreas urbanizadas um pouco mais evidente.

Portanto, há um avanço gradual da ocupação humana sobre o território de Rio Branco, com um crescimento discreto, porém constante, dos índices associados à urbanização e ao solo exposto. Ao mesmo tempo, a permanência de valores mínimos baixos e o desvio padrão relativamente estável indicam que ainda há áreas preservadas, mas com sinais de crescente fragmentação e transformação.

A análise do NDBI em Rio Branco evidenciou um padrão semelhante ao observado em São Paulo, onde áreas urbanas mais densamente construídas apresentaram valores mais elevados do índice, indicando expansão urbana e redução da vegetação. Esse resultado está alinhado com o estudo de Liguori e Monteiro (2023), que, ao aplicar metodologia similar utilizando Landsat-8, identificaram que o aumento do NDBI nas zonas centrais de São Paulo acompanhou a expansão da malha urbana e a formação de ilhas de calor.

4.4 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (LST)

A Temperatura da Superfície Terrestre (LST) é uma variável fundamental para o monitoramento ambiental, pois está diretamente relacionada ao balanço de energia

da superfície, ao uso e cobertura do solo e à formação de ilhas de calor. A análise espacial da LST permite compreender os padrões térmicos urbanos e identificar áreas críticas sujeitas a desconforto térmico e degradação ambiental.

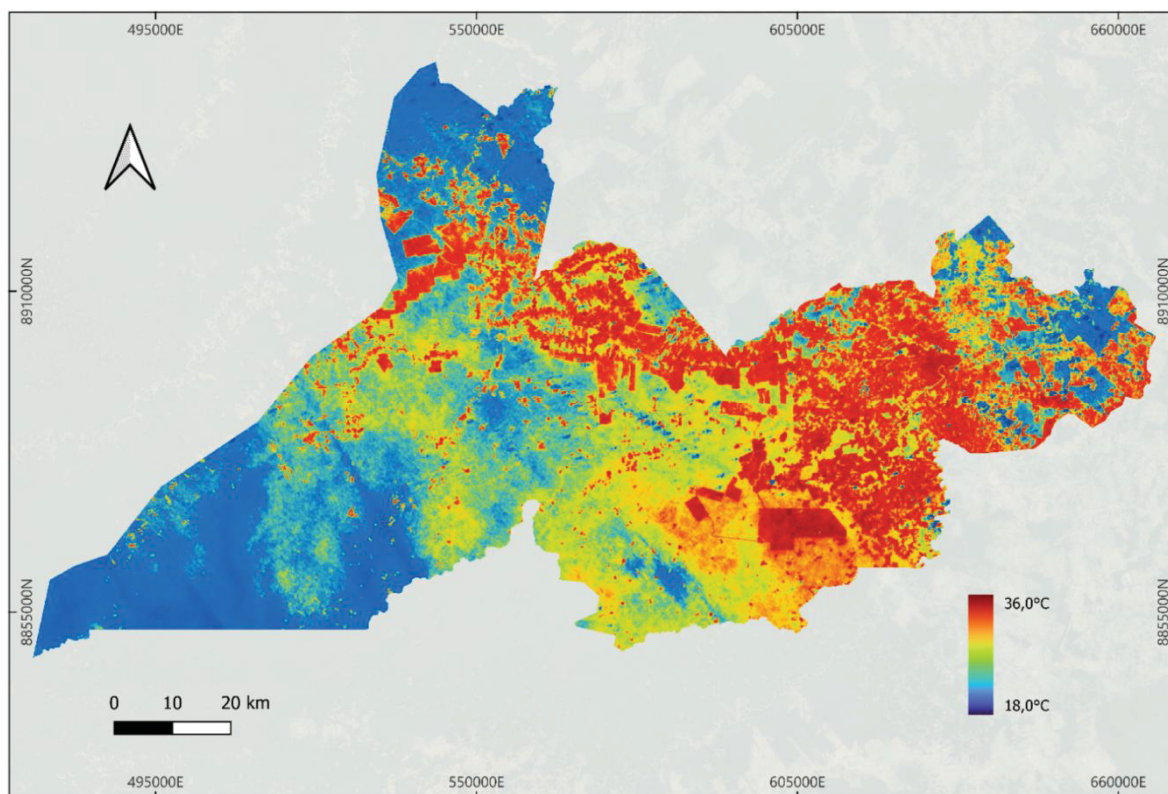
Atualmente, a estimativa da temperatura de superfície através da banda termal de satélites se apresenta como uma das alternativas mais eficientes para avaliação espacial de temperaturas de grandes áreas. Isso se deve à dificuldade de estimar a temperatura do ar em ambientes urbanos utilizando estações meteorológicas, já que, na maioria dos casos, esses equipamentos estão localizados em sítios aeroportuários afastados da malha urbana e, portanto, menos representativo das verdadeiras condições. (Barros; Lombardo, 2016)

Nesta seção, serão apresentados e interpretados os mapas de LST para o município de Rio Branco (AC), com base nos dados obtidos por sensoriamento remoto para os anos de 2013, 2018 e 2023. A interpretação desses mapas visa contribuir para o entendimento da dinâmica térmica do solo e sua relação com o processo de urbanização e cobertura vegetal.

O mapa LST para o ano de 2013 (FIGURA 13), possui um intervalo de valores variando entre 18 °C e 36 °C. As tonalidades azuis e verdes indicam áreas com temperaturas mais amenas, predominantemente localizadas no sudoeste do município e em algumas regiões ao norte. Essas zonas, mais frias, coincidem com áreas de maior cobertura vegetal, como florestas preservadas, como mostrado nos mapas NDVI e NDBI do mesmo ano. Essas áreas desempenham um papel essencial no resfriamento da superfície por meio da evapotranspiração e da proteção oferecida pelas copas das árvores.

As áreas em tons de amarelo, laranja e vermelho, com temperaturas mais elevadas, concentram-se especialmente nas porções leste, nordeste e sudeste do município. Essas regiões coincidem com zonas de ocupação urbana mais densa, solo exposto e áreas de uso agropecuário intensivo, o que favorece o acúmulo de calor e contribui para o surgimento de ilhas de calor superficiais. Os valores mais altos, que atingem até 36 °C, indicam a influência direta da ação antrópica sobre a dinâmica térmica local.

FIGURA 13 – MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (ANO 2013)



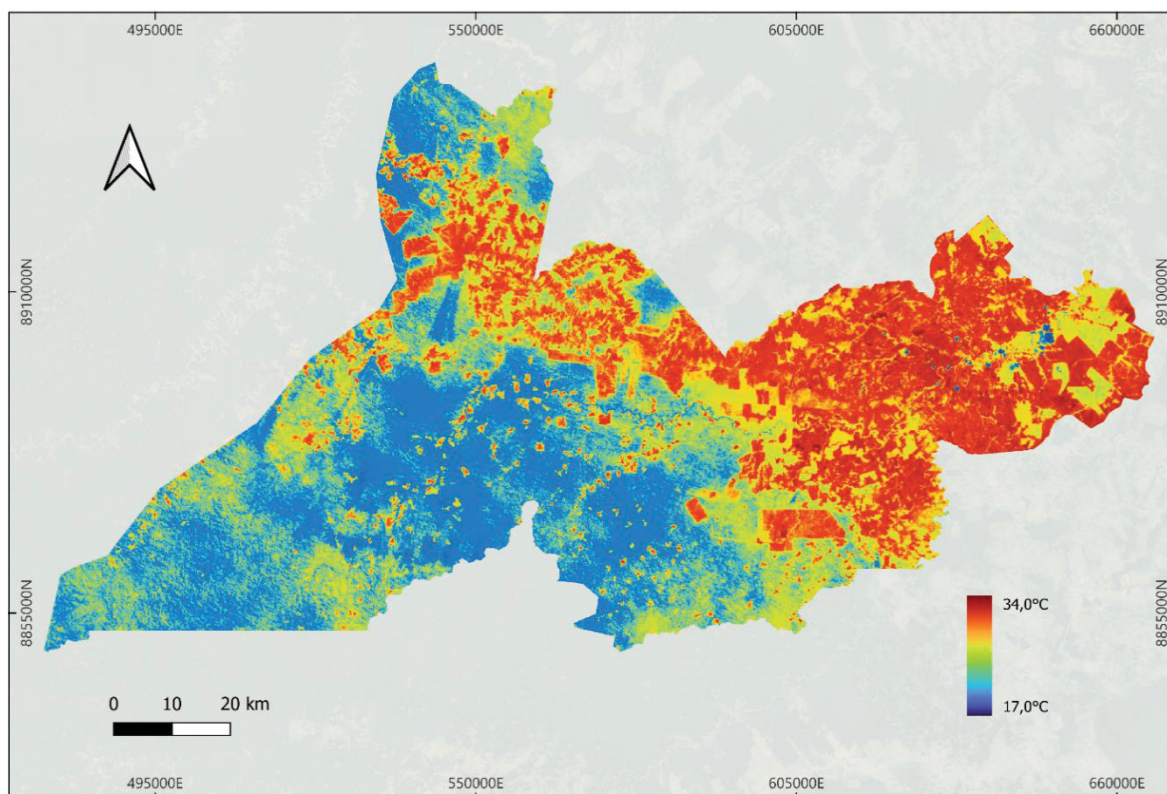
FONTE: Autora (2024)

O mapa referente ao ano de 2018 (FIGURA 14) revela uma dinâmica térmica parecida à observada em 2013, mas com indícios de agravamento das áreas mais quentes. Os valores variam de 17 °C a 34 °C, com destaque para a expansão das zonas em tons alaranjados e vermelhos, especialmente na área leste do município, onde se concentram áreas de urbanização mais intensa, atividade agropecuária e solo exposto, que apresenta temperaturas mais elevadas, indicando o agravamento do fenômeno de ilhas de calor.

As áreas em azul e verde, que representam temperaturas mais amenas, continuam presentes no setor sudoeste e em fragmentos ao norte, elas coincidem com porções de maior cobertura vegetal preservada, como áreas florestais, que exercem um papel importante na regulação térmica do território.

A comparação visual com o ano de 2013 sugere uma leve redução nas temperaturas máximas, porém com um aumento na distribuição espacial das temperaturas intermediárias (tons amarelos e alaranjados), o que pode refletir mudanças no uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Esse padrão reforça a correlação entre a perda de vegetação e o aumento das temperaturas superficiais.

FIGURA 14 – MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (ANO 2018)

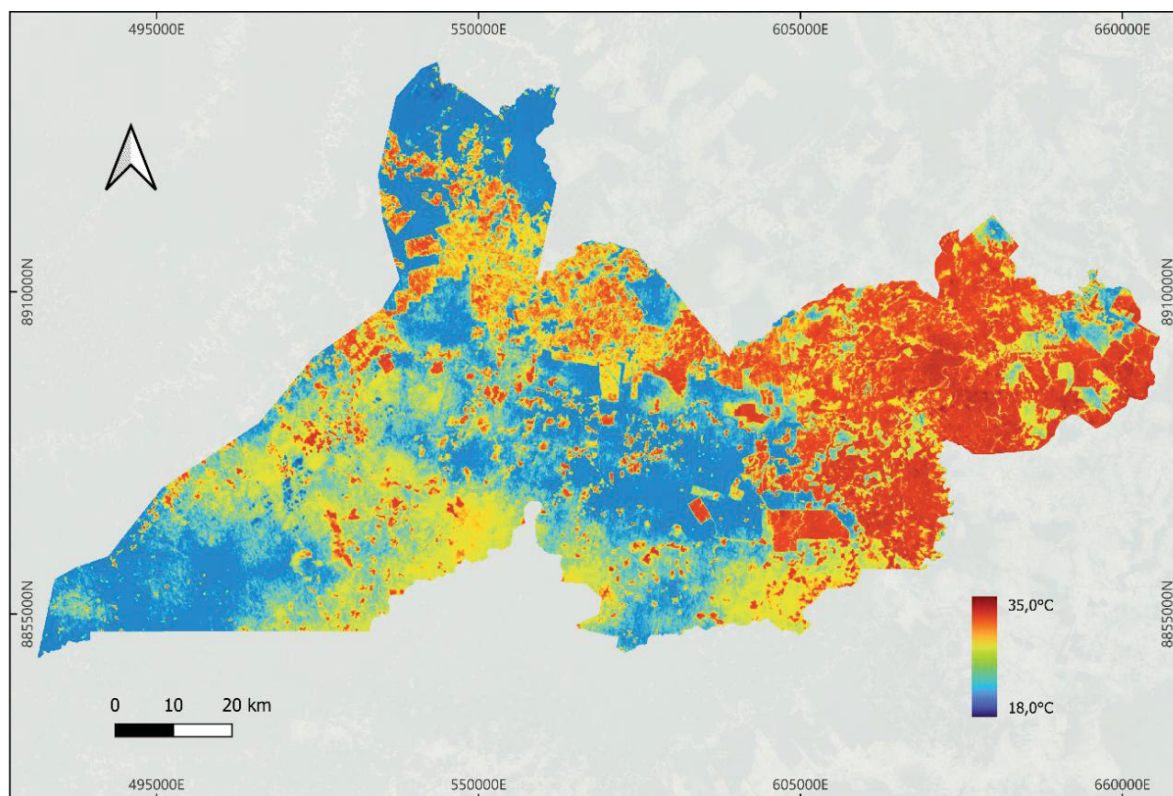


FONTE: Autora (2024)

O mapa LST para o ano de 2023 (FIGURA 15) evidencia uma intensificação das áreas com temperaturas elevadas, especialmente na área leste. Os valores variam de 18 °C a 35 °C, com predominância dos tons alaranjados e vermelhos em regiões com menor cobertura vegetal, áreas urbanizadas e zonas de solo exposto, características que favorecem a formação de ilhas de calor, como já evidenciado nos mapas dos anos anteriores.

Comparado aos anos 2013 e 2018, o padrão térmico de 2023 evidencia uma expansão das zonas de calor, ao mesmo tempo em que áreas com temperaturas moderadas (representadas em amarelo e verde) continuam visíveis, principalmente em regiões de transição entre as áreas florestadas e as ocupações humanas. Já os tons azuis, que indicam temperaturas mais amenas, seguem mais concentrados no setor sudoeste e em pequenos porções ao norte, coincidindo com áreas preservadas de vegetação.

FIGURA 15 – MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (ANO 2023)



FONTE: Autora (2024)

A comparação entre os três anos revela uma correlação clara entre a perda de vegetação e o aumento da temperatura superficial diretamente proporcional ao crescimento urbano, desmatamento e mudanças no uso do solo. Essa evolução reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à conservação ambiental e ao planejamento urbano sustentável, como forma de mitigar os efeitos das ilhas de calor e garantir maior qualidade de vida à população.

4.5 ÍNDICE DE VARIAÇÃO DO CAMPO TÉRMICO URBANO (UTFVI)

O Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI) é uma ferramenta que permite avaliar o desconforto térmico em áreas urbanas, indicando o quanto a temperatura de cada ponto do território se desvia da média da região estudada. Esse índice auxilia na identificação de zonas de maior e menor impacto térmico, contribuindo para o entendimento da distribuição espacial do calor na cidade.

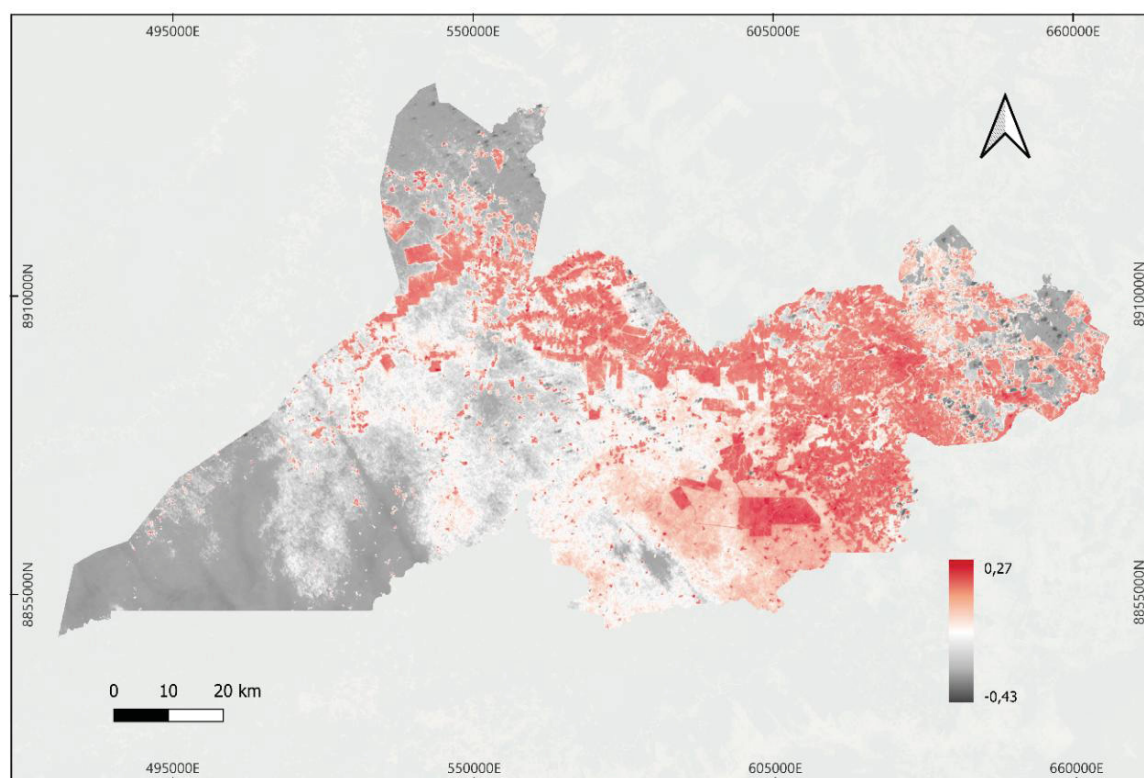
Os mapas apresentados nesta seção mostram a variação térmica obtida a partir das imagens de satélite processadas, evidenciando as áreas com maior concentração

de calor e aquelas com melhores condições de conforto térmico. Essas informações são importantes para subsidiar o planejamento urbano e propor estratégias que possam mitigar os efeitos das ilhas de calor.

Os mapas a seguir apresentam a distribuição espacial do Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI) para os anos de 2013, 2018 e 2023, permitindo visualizar as mudanças no desconforto térmico ao longo do tempo.

O mapa de 2013 (FIGURA 16) revela uma predominância de áreas com valores positivos de UTFVI (superior a 0,025), principalmente nas regiões centrais, leste e sudeste, que apresentam áreas mais urbanizadas. Essas áreas indicam maior desconforto térmico, possivelmente relacionado ao adensamento urbano, à baixa cobertura vegetal e à presença de superfícies impermeáveis. As zonas em tons de cinza e branco representam áreas com valores negativos, associadas a maior conforto térmico, geralmente coincidentes com regiões mais vegetadas ou menos urbanizadas. As áreas em tons escuros, correspondentes a $UTFVI \leq 0$, distribuem-se em manchas nos setores oeste e norte, geralmente associadas a vegetação nativa ou de proteção ambiental e áreas menos urbanizadas.

FIGURA 16 – MAPA UTFVI (2013)

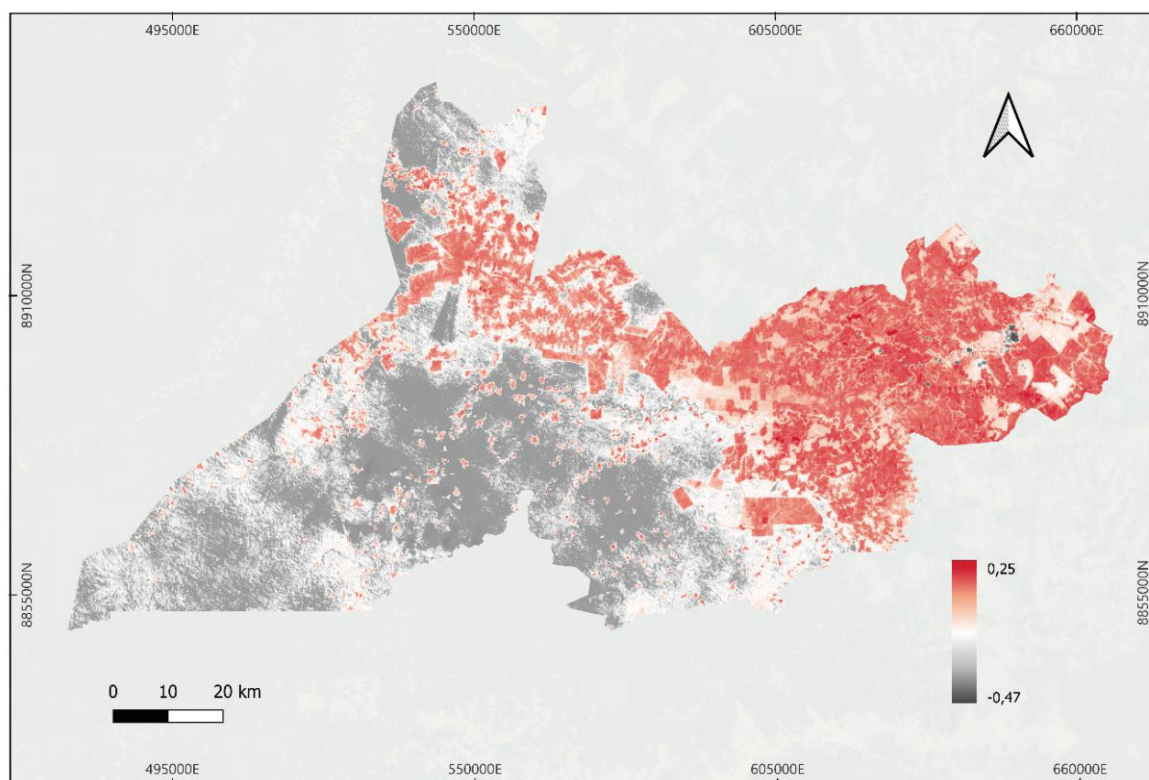


FONTE: Autora (2025)

Para o mapa do ano de 2018 (FIGURA 17), nota-se um avanço das áreas com forte estresse térmico ($< 0,04$) em direção às regiões periféricas, evidenciando o crescimento urbano ao longo do período e o aumento das superfícies artificiais. A mancha vermelha torna-se mais extensa e contínua, especialmente na região leste e sudeste, revelando um cenário de intensificação do desconforto térmico e ampliação da malha urbana. As áreas com $UTFVI \leq 0$ tornam-se mais fragmentadas e restritas, reforçando a tendência de redução do conforto térmico em decorrência da expansão urbana e da diminuição das áreas vegetadas.

Por outro lado, há redução das áreas em tons escuros (indicativas de conforto térmico), mostrando que fragmentos vegetados e áreas naturais foram progressivamente substituídos por usos urbanos. A fragmentação das zonas de conforto térmico torna-se mais evidente, sugerindo maior pressão sobre os ambientes naturais.

FIGURA 17 – MAPA UTFVI (2018)

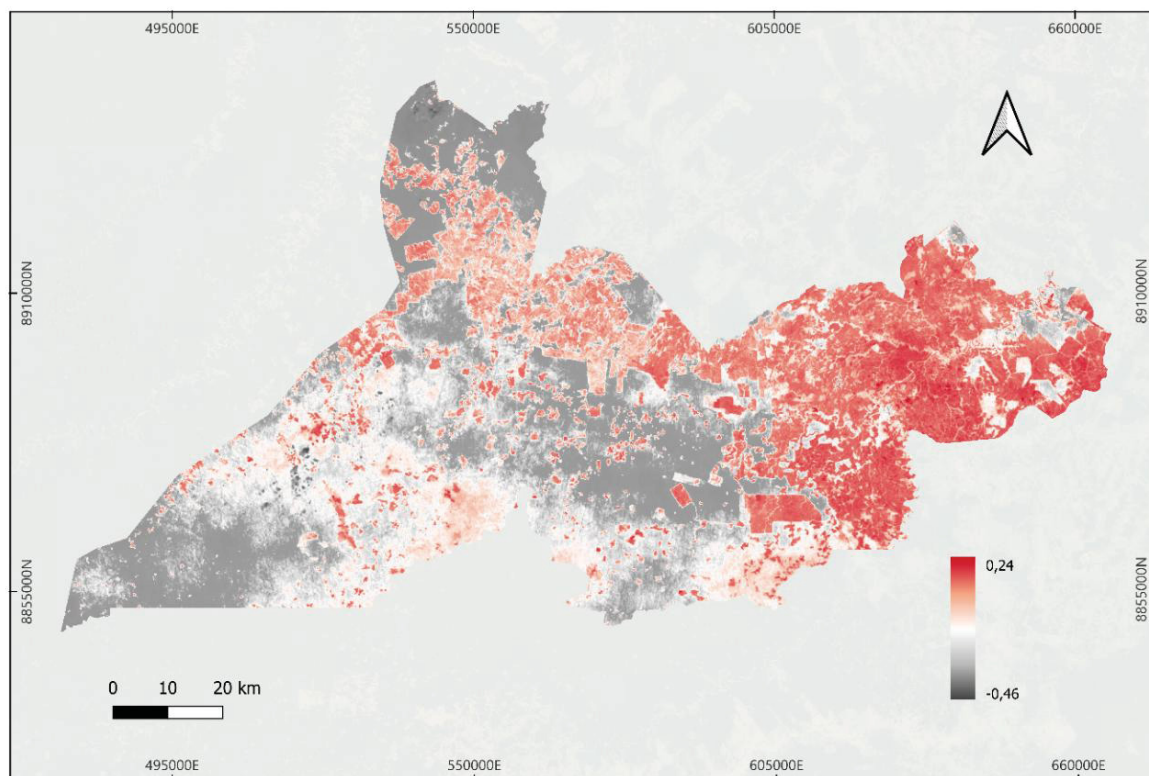


FONTE: Autora (2025)

Em 2023 (FIGURA 18), o padrão identificado em 2018 se consolida, com predomínio ainda maior das áreas com estresse térmico. As zonas críticas, com os

maiores valores do índice, permanecem nas regiões centrais e ao longo dos eixos de expansão urbana, principalmente no quadrante leste.

FIGURA 18 – MAPA UTFVI (2023)



FONTE: Autora (2025)

Embora se observe uma leve redução nos valores máximos do índice em comparação com 2018, o desconforto térmico continua bastante disseminado no território. É importante destacar que em 2021 foi instituída em Rio Branco a Política Municipal de Arborização Urbana, com diretrizes voltadas à ampliação da cobertura vegetal na cidade (PDP Rio Branco, 2021). Essa iniciativa pode ter contribuído para a diminuição das áreas classificadas com estresse térmico extremo observada em 2023. As áreas em cinza escuro permanecem restritas a poucas manchas isoladas, indicando a urgência de medidas de preservação e recuperação ambiental. Nota-se pontos de desconforto térmico em áreas que antes não apresentavam estresse térmico.

Os mapas mostram que embora comumente associado ao ambiente urbano, o desconforto térmico e o fenômeno da ilha de calor superficial não se limitam às áreas densamente edificadas. Atividades agropecuárias, em especial a pecuária, também exercem papel importante na intensificação do calor superficial.

A substituição da vegetação nativa por pastagens e áreas de solo exposto reduz a capacidade da superfície de regular a temperatura por meio da evapotranspiração, além de modificar a refletância e aumentar a absorção de radiação solar. Como resultado, extensas áreas destinadas à pecuária podem apresentar comportamento térmico semelhante ao das áreas urbanizadas, contribuindo significativamente para a formação de ilhas de calor em regiões rurais.

Após observar visualmente as mudanças no conforto térmico ao longo dos anos por meio dos mapas temáticos, torna-se relevante aprofundar a análise a partir dos valores numéricos obtidos. Para isso, utiliza-se a TABELA 4, que permite comparar diretamente a variação da área ocupada por cada classe de estresse térmico entre os anos de 2013, 2018 e 2023, utilizando os intervalos do QUADRO 3.

TABELA 4 - COMPARATIVO DE ÁREA POR CLASSE UTFVI — 2013 × 2018 × 2023 (km²)

Classe	Área (2013)	Área (2018)	Área (2023)	Variação (13–23)
Sem estresse térmico	531,934	566,658	542,997	+11,063
Fraco	27,327	10,814	17,231	–10,096
Moderado	44,993	20,382	30,724	–14,269
Forte	36,965	19,018	29,839	–7,126
Muito forte	45,156	28,701	42,334	–2,822
Extremamente forte	178,718	218,515	202,883	+24,165

FONTE: Autora (2025)

A análise dos dados revela alterações significativas na distribuição do estresse térmico em Rio Branco (AC). Observa-se uma tendência de crescimento em áreas com maior desconforto térmico, apesar de oscilações pontuais ao longo dos anos.

A classe "sem estresse térmico", que representa as áreas com melhores condições de conforto, apresentou uma leve expansão entre 2013 e 2018 (de 531,93 km² para 566,66 km²), mas voltou a reduzir em 2023 (542,99 km²). Ainda assim, o resultado aponta um aumento de 11,06 km² na última década.

Por outro lado, a classe de "estresse térmico extremamente forte", considerada a mais crítica, teve um aumento expressivo ao longo do período, passando de 178,71 km² em 2013 para 202,88 km² em 2023 – um crescimento de 24,16 km². Essa expansão aponta para um agravamento das condições térmicas urbanas, possivelmente ligado ao avanço da urbanização, impermeabilização do solo e perda de vegetação.

As classes intermediárias também apresentaram comportamentos distintos. A classe "fraco" teve uma redução de 10,1 km², enquanto as classes "moderado" e "forte" tiveram uma diminuição de 14,27 km² e 7,126 km², respectivamente. Já a classe "muito forte" reduziu 2,82 km² no período.

Esses dados evidenciam que, embora algumas ações possam ter contribuído para a melhoria localizada do conforto térmico, como a implementação do plano de arborização urbana, os efeitos da urbanização predominaram, refletindo-se no aumento das áreas com maior desconforto térmico. Isso destaca a importância da continuidade e expansão de políticas públicas voltadas ao planejamento urbano sustentável e à ampliação de áreas verdes, visando mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas.

Nesse contexto, o UTFVI representa uma ferramenta valiosa ao apontar não apenas os núcleos urbanos como fontes de desconforto térmico, mas também áreas rurais convertidas para atividades produtivas, especialmente aquelas destinadas à pecuária extensiva, que apresentam comportamento térmico semelhante ao das áreas urbanizadas. Essa constatação vai ao encontro dos resultados obtidos por Zhang et al. (2024), que também utilizaram o índice UTFVI em sua análise do ambiente térmico na cidade de Nanjing, China. Por meio de algoritmos, os autores demonstraram que a substituição da vegetação por áreas urbanizadas está diretamente associada ao agravamento do estresse térmico, reforçando a utilidade do UTFVI como indicador eficaz para áreas com diferentes tipos de cobertura e uso do solo. Para complementar essa análise e permitir uma avaliação padronizada do desvio térmico em relação à média da área estudada, foi utilizado o índice de Ilha de Calor Superficial (SUHI), apresentado a seguir.

4.6 ÍNDICE DE ILHA DE CALOR SUPERFICIAL (SUHI)

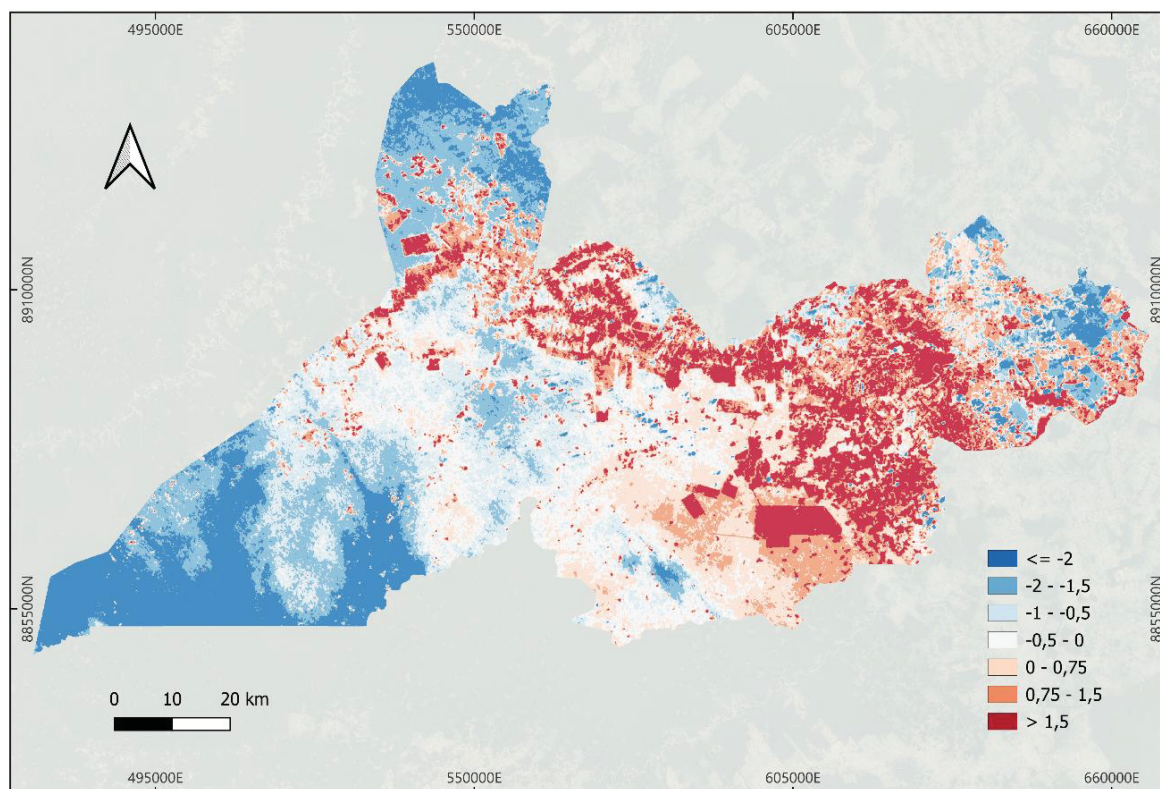
O Índice de Ilha de Calor Superficial (SUHI) é uma ferramenta que permite avaliar o desconforto térmico em áreas urbanas ao comparar a temperatura de superfície de cada ponto do território em relação à média da área estudada. Esse índice padronizado expressa o número de desvios padrão acima ou abaixo da temperatura média, identificando regiões mais quentes ou mais frias.

Conforme apresentado na QUADRO 4, o SUHI é classificado em diferentes faixas que indicam o grau de variação térmica. Áreas com valores negativos do índice representam zonas mais frias que a média, sendo classificadas como “levemente mais frias” até “muito mais frias” (quando estão dois ou mais desvios padrão abaixo da média). Por outro lado, valores positivos indicam áreas mais quentes, com destaque para aquelas que apresentam SUHI superior a 1,5, classificadas como “muito mais quentes que a média”, o que caracteriza a presença de ilhas de calor superficial.

Nesta seção, serão apresentados os mapas de SUHI elaborados para os anos de 2013, 2018 e 2023, com o objetivo de identificar e analisar a distribuição espacial e a evolução do desconforto térmico ao longo do tempo na área de estudo.

Em 2013 (FIGURA 19) é possível identificar a predominância de áreas classificadas como “muito mais quentes que a média” ($SUHI > 1,5$) e “mais quentes que a média” ($SUHI$ entre 0,75 e 1,5), concentradas principalmente nas regiões centrais e no quadrante leste do território, áreas de núcleos urbanos consolidados e em amplas regiões destinadas à pecuária. Essas zonas em tons de vermelho indicam núcleos urbanos consolidados, áreas com alta densidade de superfícies construídas e superfícies impermeáveis.

FIGURA 19 – MAPA SUHI (2013)

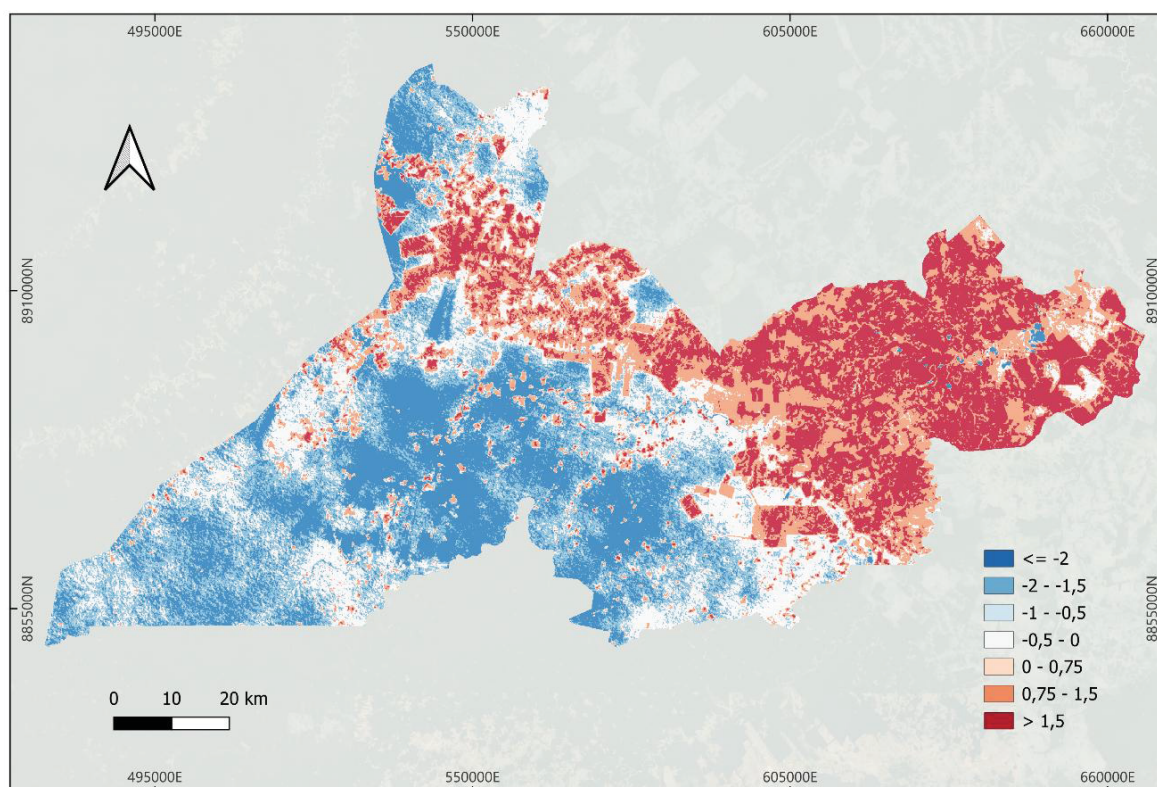


FONTE: Autora (2025)

Já o setor oeste e algumas áreas ao norte e sul apresentam extensas manchas classificadas como “área muito mais fria do que a média” ($SUHI \leq -2$) e “área bem mais fria que a média” ($SUHI$ entre -2 e -1,5), representadas em tons de azul. Essas áreas estão associadas a regiões com maior cobertura vegetal, presença de corpos d’água e menor densidade construtiva, funcionando como zonas de equilíbrio térmico no território.

Em 2018 (FIGURA 20) observa-se um aumento da extensão das áreas quentes, com maior continuidade das faixas de $SUHI$ positivo elevado, abrangendo não apenas as zonas urbanizadas, mas também grandes áreas abertas destinadas ao uso agropecuário. O avanço dessas manchas vermelhas reflete a redução da cobertura vegetal e o aumento das superfícies que favorecem o acúmulo de calor, independentemente do tipo de uso do solo.

FIGURA 20 – MAPA $SUHI$ (2018)



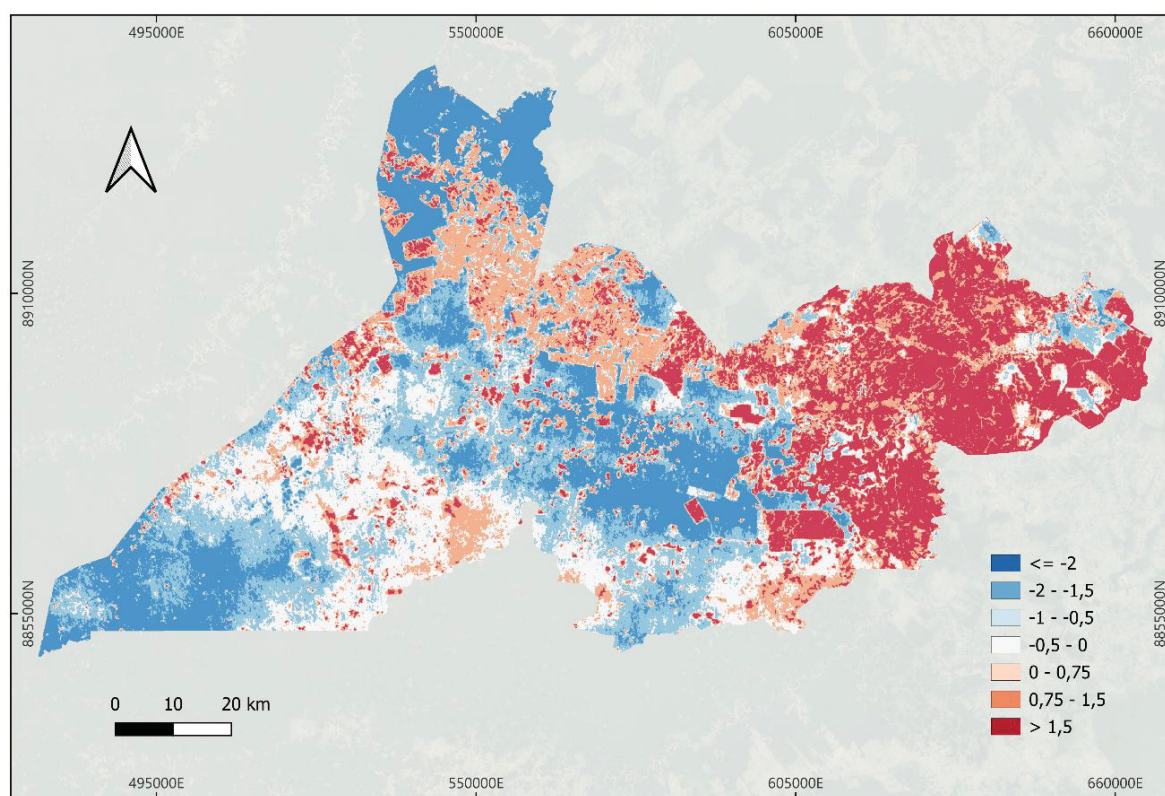
FONTE: Autora (2025)

As áreas frias tornam-se mais fragmentadas, restringindo-se a manchas menores e isoladas, o que reforça o padrão de homogeneização térmica em níveis mais elevados.

Em 2023 (FIGURA 21), o padrão se mantém, com predomínio das classes “mais quentes que a média” e “muito mais quentes que a média”, abrangendo extensas áreas do município, incluindo setores urbanos e regiões agropecuárias. Nota-se que o desconforto térmico elevado deixou de ser um fenômeno associado exclusivamente à mancha urbana, refletindo também os impactos do uso do solo na zona rural.

As áreas classificadas como mais frias continuam restritas a pequenas manchas vegetadas ou a faixas lineares ao longo de corpos d’água, reforçando a necessidade de preservação e recuperação dessas áreas para promover maior equilíbrio térmico no território.

FIGURA 21 – MAPA SUHI (2023)



FONTE: Autora (2025)

A evolução do SUHI ao longo do período analisado demonstra que o desconforto térmico elevado não está limitado ao espaço urbano do município, estendendo-se também às áreas de uso agropecuário, especialmente aquelas destinadas à pecuária. Essa condição evidencia a importância de estratégias de manejo do solo que considerem práticas sustentáveis tanto no ambiente urbano quanto rural, com foco na recuperação da vegetação, na conservação dos recursos

naturais e na mitigação dos efeitos da ilha de calor superficial. Estudos como o de Halder et al. (2022) confirmam que a expansão urbana e as alterações no uso da terra contribuem diretamente para o agravamento do SUHI, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas ao planejamento territorial sustentável.

4.7 ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS URBANAS (ZCUS)

Esta seção apresenta amostras representativas da evolução das Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs) em diferentes áreas do município de Rio Branco, com base na análise visual de imagens históricas obtidas por meio da plataforma Google Earth. Foram selecionados registros dos anos de 2013, 2018 e 2023, permitindo a comparação entre distintos momentos e a observação de transformações na morfologia urbana.

A classificação das zonas foi realizada conforme os critérios propostos por Vianna (2018), conforme apresentado no QUADRO 1, considerando elementos como a densidade e altura das edificações, o grau de impermeabilização do solo e a presença de cobertura vegetal. A interpretação visual dessas imagens possibilitou a identificação de mudanças nos padrões de ocupação, como adensamento construtivo, substituição de áreas verdes por superfícies pavimentadas e expansão de áreas urbanas.

As amostras foram escolhidas de modo a contemplar diferentes tipologias urbanas, abrangendo desde áreas centrais consolidadas até regiões em processo de urbanização recente. A proposta é oferecer uma leitura qualitativa do crescimento urbano e de seus efeitos sobre a configuração das zonas climáticas da cidade, contribuindo para a compreensão dos processos que influenciam o conforto térmico e a paisagem urbana ao longo do tempo.

Com base nessa seleção de áreas representativas, elaborou-se a FIGURA 22, que apresenta a distribuição espacial das tipologias urbanas escolhidas para análise. A imagem permite visualizar a localização das amostras dentro do contexto territorial do município, evidenciando a relação entre diferentes padrões de ocupação e a dinâmica da paisagem urbana. Essa representação cartográfica auxilia na

compreensão das características específicas de cada zona, contribuindo para a interpretação dos resultados apresentados nos capítulos subsequentes.

FIGURA 22 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO (AC)



Fonte: Imagens de satélite obtidas no Google Earth (acesso em [11/2025])

A área central de Rio Branco apresenta características compatíveis com a Zona Climática Urbana (ZCU) 2, conforme a classificação proposta por Vianna (2018). A análise visual das imagens de satélite de diferentes anos (QUADRO 5) revela um padrão urbano já consolidado, com edificações com dois a cinco pavimentos, locadas de forma densa, porém com certo distanciamento, o que permite a formação de pequenos espaços entre as construções.

A região apresenta predominância de solo impermeável, com ruas asfaltadas, calçadas extensas e construções contínuas que ocupam a maior parte das quadras. A vegetação está restrita a alguns trechos localizados, como praças ou canteiros, sendo insuficiente para atenuar o efeito de calor absorvido pelas superfícies construídas.

Essas características se enquadram na ZCU 2, que é definida por alta densidade de edificações, proporção das formas entre 1,0 e 2,5, e cobertura

construída superior a 85%. A persistência desse padrão ao longo do tempo reforça a identidade morfológica do centro urbano e sua contribuição para o microclima da cidade.

QUADRO 5 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA NO CENTRO DE RIO BRANCO (2013–2023)



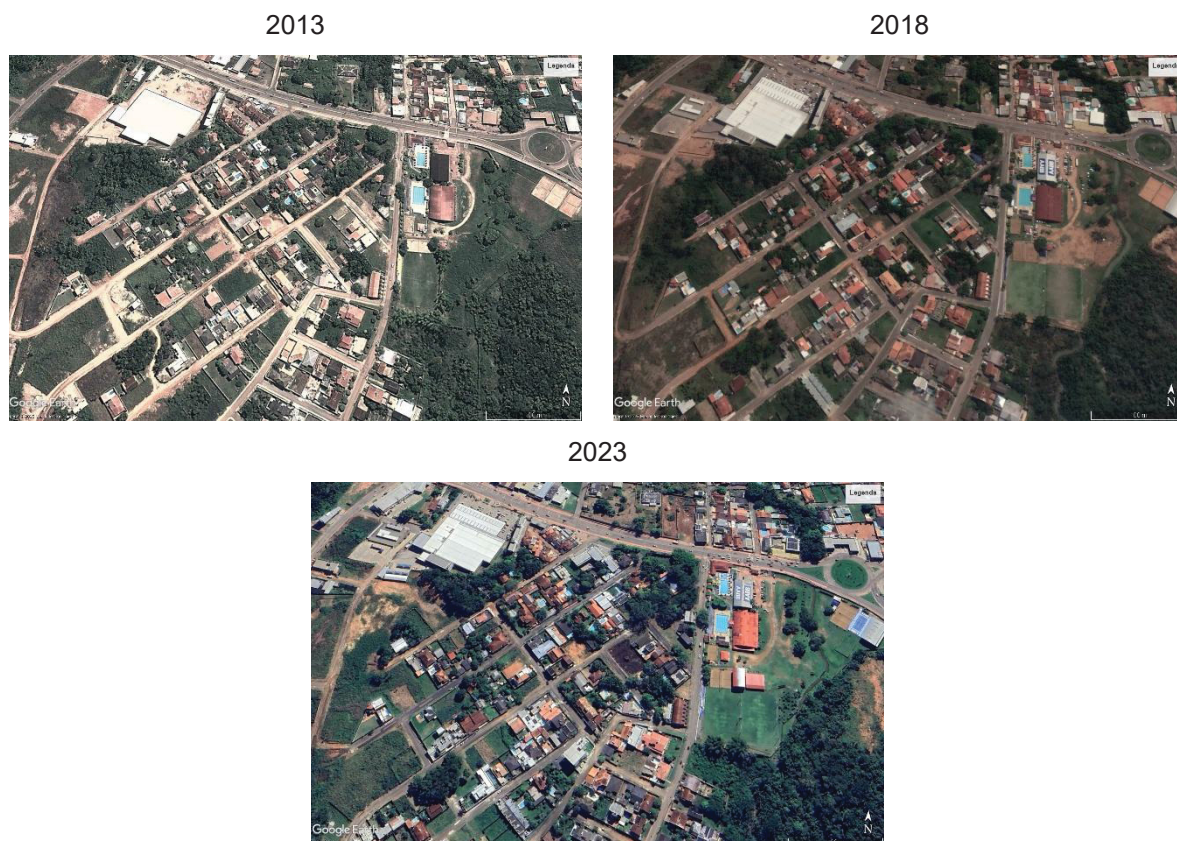
FONTE: Imagens de satélite obtidas no Google Earth (acesso em [05/2025])

A área analisada nesta amostra (QUADRO 6) apresenta características que se aproximam da Zona Climática Urbana (ZCU) 5, conforme os critérios de Vianna (2018). Essa zona refere-se ao desenvolvimento suburbano médio, de baixa densidade, com edificações residenciais de um ou dois pavimentos, dispostas de maneira espaçada e intercaladas por áreas verdes.

As imagens de satélite dos anos de 2013, 2018 e 2023 revelam um processo gradual de adensamento construtivo e consolidação urbana. Em 2013, observa-se uma ocupação mais dispersa, com muitos terrenos ainda vazios e vias não pavimentadas. Já em 2018, a quantidade de construções aumenta, embora ainda haja espaços livres e uma cobertura vegetal perceptível. Em 2023, nota-se a pavimentação de diversas ruas, o preenchimento de lotes anteriormente vagos e uma redução significativa nas áreas permeáveis, indicando uma intensificação da urbanização.

A evolução da paisagem evidencia um processo de transição de um padrão rural-suburbano para um estágio mais consolidado, com maior ocupação do solo e possível aumento da temperatura superficial, dado o crescimento das áreas impermeáveis e a redução da vegetação, característica do crescimento da área urbana da cidade.

QUADRO 6 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA EM ÁREA SUBURBANA DE RIO BRANCO (2013–2023)



FONTE: Imagens de satélite obtidas no Google Earth (acesso em [05/2025])

As imagens de satélite da área situada ao fundo do shopping center de Rio Branco (QUADRO 7) referentes aos anos de 2013, 2018 e 2023, mostram um processo contínuo de expansão urbana, com a substituição progressiva da cobertura vegetal por áreas loteadas e edificadas.

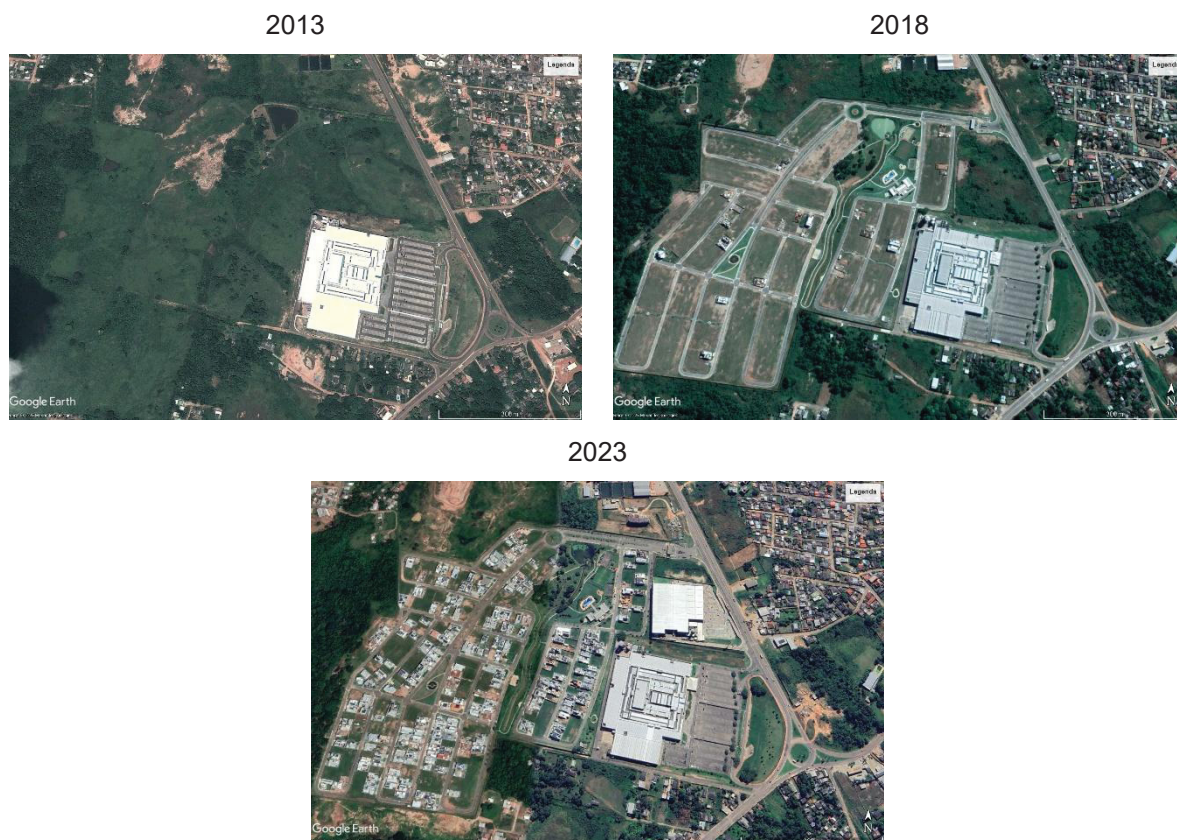
Em 2013, o local apresenta uma área predominantemente natural, com vegetação densa, solo permeável e poucas vias em processo inicial de abertura, se enquadrando na Zona Climática Urbana 7 (ZCU 7), caracterizada por áreas rurais ou de vegetação preservada, com baixa densidade construtiva ou ocupação inexistente.

No ano de 2018, pode-se observar a implantação de vias asfaltadas e o surgimento das primeiras construções residenciais, ainda de forma dispersa. Os lotes

estão definidos, mas a ocupação é parcial, mantendo-se grandes áreas verdes entre os lotes edificadas, correspondendo à Zona Climática Urbana 5 (ZCU 5), que representa áreas em processo de urbanização recente, com baixa densidade construtiva e significativo percentual de cobertura vegetal.

Já em 2023, torna-se uma ocupação já consolidada, com aumento da densidade de edificações, pavimentação de vias, instalação de equipamentos urbanos e redução expressiva da vegetação. A impermeabilização do solo é expressiva, com substituição de áreas naturais por elementos construídos, como calçadas, muros e edificações contínuas. Esse padrão se assemelha as características da Zona Climática Urbana 3 (ZCU 3), marcada por um adensamento construtivo intermediário, presença de habitações unifamiliares e áreas com cobertura vegetal bastante reduzida.

QUADRO 7 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA - SHOPPING DE RIO BRANCO (2013–2023)



FONTE: Imagens de satélite obtidas no Google Earth (acesso em [05/2025])

A evolução observada nas imagens evidencia o avanço do tecido urbano sobre áreas anteriormente naturais, refletindo o padrão de crescimento periférico do município de Rio Branco.

As imagens referentes aos anos de 2013, 2018 e 2023 (QUADRO 8) retratam a transformação de uma área localizada nos arredores de Rio Branco (AC), evidenciando um processo contínuo de expansão urbana sobre áreas anteriormente cobertas por vegetação e pastagens.

Em 2013, a paisagem era composta majoritariamente por vegetação e áreas de uso rural, com poucas construções dispersas. Esse cenário se enquadra na ZCU 6, representando zonas de baixa densidade, com alta permeabilidade do solo e cobertura vegetal predominante.

Em 2018, nota-se a abertura do traçado viário, supressão da vegetação e início da ocupação com infraestrutura básica. O estágio observado sugere uma transição para a ZCU 4, associada a áreas em processo de urbanização, com presença de terrenos vagos, solo exposto e ocupação incipiente.

Em 2023, a urbanização é consolidada com quarteirões formados, vias pavimentadas e predominância de construções regulares. A configuração atual corresponde à ZCU 3, típica de zonas urbanas de média densidade, com maior impermeabilização do solo e menor cobertura vegetal.

QUADRO 8 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA – ÁREA RURAL 1 DE RIO BRANCO (2013–2023)



FONTE: Imagens de satélite obtidas no Google Earth (acesso em [05/2025])

Essa comparação entre tipologia urbana e temperatura contribui para entender a dinâmica das ilhas de calor e reforça a importância do planejamento urbano sensível. A análise temporal da transformação urbana em uma área específica de Rio Branco, com base em imagens de satélite do Google Earth e no referencial teórico de Vianna (2018), permite identificar a progressiva transição entre diferentes tipos de Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs).

Em 2013 (QUADRO 9), a área apresentava características compatíveis com a ZCU 7 – desenvolvimento semirural, com casas dispersas em meio a extensas áreas vegetadas, como sítios e chácaras, baixa proporção de formas ($H/W > 0,05$) e percentual construído inferior a 10%. A vegetação predominava, e a rugosidade urbana era mínima, com influência climática natural ainda fortemente preservada.

Já em 2018, é possível observar um adensamento da ocupação com o surgimento de mais edificações e o aumento da impermeabilização do solo, indicando uma possível transição para a ZCU 5 – desenvolvimento suburbano médio. Essa zona é caracterizada por construções de 1 ou 2 pavimentos, aumento da densidade urbana, proporção H/W variando entre 0,2 e 0,6, e superfície construída entre 35% e 65%. Ainda há presença significativa de vegetação, mas os efeitos urbanos sobre o microclima começam a se intensificar.

Em 2023, o padrão de ocupação se consolida com a presença de mais construções contínuas e vias bem demarcadas. O cenário se aproxima de uma ZCU 3 – desenvolvimento urbano alto de média densidade, com edificações próximas, ruas organizadas e percentual de área impermeabilizada que pode chegar a 85%. A proporção das formas (H/W) tende a variar entre 0,5 e 1,5, e a rugosidade da superfície também se eleva. Nesse estágio, o efeito de ilha de calor urbana é potencializado e as alterações microclimáticas tornam-se mais evidentes.

QUADRO 9 – ANÁLISE VISUAL DA EVOLUÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA URBANA – ÁREA RURAL 2 DE RIO BRANCO (2013–2023)



FONTE: Imagens de satélite obtidas no Google Earth (acesso em [05/2025])

A análise das zonas de amostragem mostra que as zonas centrais e comerciais estão localizadas nas áreas com os maiores índices de SUHI, refletindo alta densidade construtiva, forte impermeabilização e baixos valores de NDVI. As zonas suburbanas situam-se em setores com intensidade intermediária de SUHI, onde a presença moderada de vegetação reduz parcialmente o aquecimento superficial.

As zonas em expansão apresentam comportamento térmico variável: trechos recentemente urbanizados tendem a se inserir em áreas de SUHI elevado, enquanto porções ainda vegetadas permanecem em faixas de menor aquecimento. Em contraste, as zonas rurais encontram-se predominantemente em áreas de baixo SUHI, associadas à maior cobertura vegetal e menor pressão urbana.

Esse conjunto evidencia que o posicionamento das zonas ao longo do município acompanha diretamente o gradiente de urbanização, onde áreas mais construídas coincidem com maior intensidade do fenômeno e áreas vegetadas se relacionam aos menores níveis de aquecimento.

Portanto, o uso da tipologia de ZCUs proposta por Vianna (2018) em conjunto com a análise visual por imagens históricas permite compreender a dinâmica de ocupação urbana e seus impactos ambientais, evidenciando a necessidade de políticas públicas que promovam o crescimento urbano equilibrado, com preservação de áreas verdes e planejamento do uso do solo. A comparação entre os anos destaca o avanço da malha urbana sobre áreas naturais, promovendo mudanças significativas na configuração morfológica da cidade e influenciando variáveis como temperatura, escoamento superficial e conforto ambiental. Esse tipo de análise permite compreender a dinâmica de uso e ocupação do solo mesmo sem o uso de sensores térmicos, contribuindo para reflexões sobre planejamento urbano e sustentabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se no conteúdo mostrado no Capítulo 2, utilizando a metodologia mostrada no Capítulo 3 e nos resultados obtidos segundo o Capítulo 4, a seguir são apresentadas as conclusões e considerações finais dessa pesquisa e, por último, as sugestões para trabalhos futuros.

O primeiro objetivo consistiu em analisar a distribuição espacial das ilhas de calor na cidade de Rio Branco, identificando áreas com diferentes níveis de temperatura utilizando imagens de satélite. Por meio da aplicação dos índices UTFVI e SUHI, foi possível mapear a evolução do desconforto térmico superficial entre os anos de 2013, 2018 e 2023.

O UTFVI e o SUHI reforçaram a relação entre o uso e cobertura do solo e o desconforto térmico. As áreas com maior desconforto térmico não ficaram restritas ao núcleo urbano consolidado, mas também se estenderam a regiões de uso agropecuário, em especial as destinadas à pecuária. O avanço das zonas com SUHI positivo elevado demonstra o impacto direto da substituição da vegetação por superfícies impermeáveis e áreas expostas sobre o microclima local.

Os mapas e análises evidenciaram que o desconforto térmico elevado passou a abranger tanto as zonas urbanas quanto rurais, revelando um processo de homogeneização térmica em níveis mais elevados e a fragmentação das áreas de maior conforto térmico. As regiões com valores mais baixos dos índices analisados permaneceram associadas a fragmentos vegetados e corpos d'água, confirmando a importância desses elementos para o equilíbrio térmico no território.

O segundo objetivo buscou investigar como o uso e ocupação do solo estão relacionados com a formação e intensidade das ilhas de calor. As análises dos índices NDVI e NDBI permitiram constatar que as áreas com maior densidade de vegetação tendem a registrar menores temperaturas superficiais, enquanto superfícies impermeáveis e edificadas concentram os valores mais elevados de calor.

A análise do NDVI indicou uma relativa estabilidade nos valores máximos do índice, sugerindo a permanência de áreas com vegetação mais densa. No entanto, foi observada um aumento discreto no valor médio ao longo do tempo, refletindo um processo leve de recuperação da cobertura vegetal. Porém enquanto os valores sinalizam uma tendência de leve melhora, a distribuição espacial do NDVI revela uma

homogeneização da paisagem, porém em direção a níveis intermediários de vegetação, geralmente indicando áreas degradadas ou em transição para uso urbano.

Os dados do NDBI confirmaram o avanço das áreas urbanizadas, com aumento dos valores máximos do índice e maior fragmentação no padrão de ocupação do solo. As áreas urbanas se expandiram de forma significativa nos últimos dez anos, com destaque para os setores leste, sudeste e nordeste do município, onde a mancha urbana se tornou mais densa e contínua.

O terceiro objetivo visou correlacionar os padrões térmicos observados com a dinâmica de uso e cobertura da terra, integrando a análise da temperatura superficial às categorias da Zona Climática Urbana (ZCU).

A análise das ZCUs entre 2013 e 2023 em Rio Branco revelou um processo de adensamento urbano, com expansão de áreas classificadas como ZCU 3 e ZCU 4, caracterizadas por média a alta densidade e maior impermeabilização. Esse crescimento ocorreu principalmente sobre zonas anteriormente classificadas como ZCU 6 e ZCU 7, associadas a áreas rurais ou com vegetação.

Essas transformações indicam uma tendência clara de urbanização nas bordas da cidade e reforçam a necessidade de um planejamento urbano que considere os impactos ambientais, como o aumento da temperatura em áreas densamente construídas e a perda de cobertura vegetal. A análise visual das ZCUs se mostrou útil para acompanhar essas mudanças e pode apoiar políticas de uso do solo mais sustentáveis.

Diante dos resultados obtidos, reforça-se a necessidade da implementação de políticas públicas e ações integradas de planejamento e gestão territorial, que contemplem:

- A preservação e ampliação das áreas vegetadas e dos corpos d'água;
- O incentivo ao uso de materiais construtivos e técnicas de urbanização que favoreçam o conforto térmico;
- A recuperação ambiental de áreas degradadas, inclusive nas zonas rurais, com foco no manejo sustentável das áreas destinadas à pecuária;
- O monitoramento contínuo das condições térmicas e do uso do solo, utilizando ferramentas de sensoriamento remoto para embasar decisões e políticas de mitigação.

O estudo reforça a relevância do uso do sensoriamento remoto e dos índices térmicos e espectrais como ferramentas eficazes para o diagnóstico e acompanhamento dos impactos das atividades humanas sobre o ambiente. Além disso, destaca-se a importância de ampliar o escopo de pesquisas futuras, incluindo análises em maior escala temporal, avaliação de cenários simulados de mitigação, estudos de correlação com dados socioeconômicos e de saúde pública e a aplicação de modelos preditivos que possam subsidiar políticas de adaptação às mudanças climáticas no contexto amazônico.

Por fim, fica evidente que a mitigação das ilhas de calor superficiais e a promoção do conforto térmico demandam uma abordagem multidisciplinar, integrando aspectos ambientais, sociais e econômicos, e envolvendo o poder público, a iniciativa privada e a sociedade civil na construção de soluções efetivas e sustentáveis para o território de Rio Branco e demais áreas de características similares.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Futuros estudos podem explorar a aplicação do sensoriamento remoto como ferramenta estratégica para o planejamento urbano e a gestão ambiental. Uma possibilidade é o desenvolvimento de metodologias que utilizem imagens de satélite para subsidiar a revisão de planos diretores, identificando áreas críticas de adensamento, déficit de vegetação ou vulnerabilidade ambiental. Outra abordagem relevante seria a análise sazonal da ilha de calor superficial (SUHI) por meio de séries temporais de imagens multiespectrais, visando compreender como as variações climáticas e o uso do solo influenciam os padrões térmicos urbanos. Além disso, recomenda-se a integração de dados de sensoriamento remoto com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a modelagem de riscos ambientais urbanos, incluindo suscetibilidade a inundações, deslizamentos e ilhas de calor, a fim de apoiar a formulação de políticas públicas baseadas em evidências geoespaciais.

REFERÊNCIAS

ABREU, Loyde. V.; LABAKI, Lucila. C. Conforto Térmico Propiciado por Algumas Espécies Arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010. DOI: 10.1590/S1678-86212010000400008. Acesso em: 24 jul. 2023.

AGUIAR, F. E. O. **Análise climática da província petrolífera do Rio Urucu (AM): identificação de possíveis impactos no clima de uma área de floresta tropical sob processo de intervenção antrópica e seus reflexos em meso e macroescala**. 2001. 373 f. Tese (Doutorado em Geografia). – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-31082022-103705/publico/2001_FranciscoEvandroOliveiraAguiar.pdf. Acesso em: 24 abr. 2024.

ALCOFORADO, M.J.; ANDRADE, H.; LOPES, A.; VASCONCELOS, J.; VIEIRA, R. Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) And their influence on daytime regional and urban thermal patterns. **Merhavim**, v. 6, p. 90–112, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313658778_Observational_studies_on_summer_winds_in_Lisbon_Portugal_and_their_influence_on_daytime_regional_and_urban_thermal_patterns. Acesso em: 20 ago. 2023

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. **Revista GeoUERJ**, n. 34, p. 1-22, 2019. DOI: 10.12957/geouerj.2019.40949. Acesso em: 24 de nov. de 2021.

ALEIXO, N. C. R.; SILVA NETO, J. C. A.; MARTINS, R. A. A.; ALMEIDA, E. S. *Ilhas de calor em cidade de pequeno porte na Amazônia Brasileira: análise de Uarini-AM*. **Revista Geoaraguaia**, Cuiabá, v. 11, ed. esp., p. 166-186, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/12072>. Acesso em: 23 nov. 2023

ALMEIDA FILHO, L.; ALEIXO, N. C. R. As Tendências climáticas e ilhas de calor urbanas no Brasil: revisão da literatura. **REVISTA GEONORTE**, [S. l.], v. 14, n. 43, 2023. DOI: 10.21170/geonorte.2023.V.14.N.43.01.16. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10880>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ALMUTAIRI, M. K. Derivation of urban heat island for Landsat 8 TIRS Riyadh City (KSA). **Journal of Geoscience and Environment Protection**, 3, p. 18-23, 2015. DOI: 10.4236/gep.2015.39003. Acesso em: 20 nov. 2024

AMORIM, M. C. C. T.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins** (Paris), v.13, p.1–18, 2011. DOI: doi.org/10.4000/confins.7284. Acesso em: 17 abr. 2024

AMORIM, M. C. de C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra**, [S. l.], v.

52, n. 105, 2017. DOI: 10.18055/Finis6888. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/6888>. Acesso em: 24 jan. 2024.

AMORIM, M. C. de C. T. Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e o contexto das mudanças climáticas. *Confins*, n. 46, 2020. DOI: 10.4000/confins.31403. Acesso em: 13 jul. 2024.

AMORIM, M. C. T. O clima urbano de Presidente Prudente/SP. 2000. 369f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2000. DOI: 10.11606/T.8.2000.tde-26122022-144828. Acesso em: 24 ago. 2023.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. 2000. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1978. 332p.

BAPTISTA, G. M. M. **Ilhas Urbanas de Calor**. *Scientific American Brasil*, São Paulo, v. 8, n.08, p. 54-59, 2003.

BARBOZA, E. N.; BEZERRA NETO, F. das C.; CAIANA, C. R. A. Remote Sensing applied to the analysis of the phenomenon of Urban Heat Islands in the City of Vitória, Espírito Santo. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 6, p. e187963655, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i6.3655. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3655>. Acesso em: 5 jun. 2023.

BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP**. 2004. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4635>. Acesso em: 7 set. 2023.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/97783>. Acesso em: 4 jun. 2023. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783

BECKER, B. K. **Geopolítica da Amazônia**. *Estudos Avançados*, São Paulo, Brasil, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10047>. Acesso em: 23 abr. 2023.

BEZERRA, E.; MAFALDA, S.; ALVAREZ, A. B.; CHAVEZ, R. Análise temporal de ilhas de calor utilizando processamento de imagens de satélite: estudo de caso Rio Branco, Acre. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 15, n. 1, p. 70-78, 25 abr. 2023.

BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; RAO, T. V. R. Padrões de variabilidade espaciais e temporais de NDVI na região nordeste do Brasil utilizando análise fatorial. **Congresso Brasileiro de Meteorologia** (CBMET), Edição XI. Rio de Janeiro, RJ, 2000.

CABRAL JÚNIOR, J. B. C.; SILVA, H. J. F. da; REIS, J. S. dos. Características da Cobertura do Solo em Anos de Contrastes Climáticos (chuvoso e seco) no Oeste da Amazônia, Rio Branco – Acre. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 15, n. 6, p. 2704–2714, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.6.p2704-2714. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/253521>. Acesso em: 23 abr. 2024.

CARNAHAM, W. H.; LARSON, R. C. Na analysis af na urban heat sink. **Remote Sensign of Enviroment**, v. 33, n. 1, p. 65-71, 1990. DOI: 10.1016/0034-4257(90)90056-r.

CASTRO, A. R. da C. **Aplicação de sensoriamento remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém - Pará, nos anos de 1997 e 2008**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém (PA), 2009. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Aplica%C3%A7%C3%A3o-de-sensoriamento-remoto-na-an%C3%A1lise-das-de-Castro/188b86feb16e36ccc36e3d368cddd818503ef275>. Acesso em: 5 mai. 2023.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES – CEPED UFSC; SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. Volume Brasil. 2. ed. rev. ampl.* Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p. Disponível em: https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/07/atlas_brasileiro_desastres_naturais.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de S. C. Temperatura de superfície Celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista de Geografia Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, dez. 2013. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/2996>. Acesso em: 23 jul. 2024.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 16, p. 70–75, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47286>. Acesso em: 19 abr. 2024. DOI: 10.7154/RDG.2005.0016.0007

COSTA, A. C. L. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização: o caso de Belém - PA**. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000949443>. Acesso em: 19 abr. 2024.

COSTA, A. C. L.; JUNIOR, J. de A. S.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P.; PORTELA, B. T. T.; GUIMARÃES, G. C.; COSTA, R. F. Índices de Conforto Térmico e suas Variações Sazonais em Cidades de Diferentes Dimensões na Região Amazônica (Thermal comfort indices and their seasonal variations in cities of different sizes in the

Amazon Region). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 478–487, 2013. DOI: 10.26848/rbgf.v6.3.p478-487. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgf/article/view/232962>. Acesso em: 24 abr. 2024.

CRUZ, G.C.F., 2009. **Clima urbano de Ponta Grossa –PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira**. Tese (Doutorado). São Paulo, FFLCH/USP.

CUNHA, R. M. da; DUARTE, A. F. Diferenças na climatologia das chuvas entre as regiões leste e oeste do estado do Acre. In: CONGRESSO DE ESTUDANTES E BOLSISTAS DO EXPERIMENTO LBA, 2., 2005, Manaus.

DASH, P.; GOTTSCHKE, F. S.; OLESEM, F.S.H.; FISCHER H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. **International Journal of Remote Sensing**, 23: 2563–2594. 2002. DOI: 10.1080/0143116011011504.

DUARTE, A. Variabilidade e Tendência das Chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 1, p. 37–42, 2005. Disponível em: https://acreibioclima.net/abcpublications/Environment_and_Health/AFDuarte_Chuvas.pdf. Acesso em: 4 jan. 2024

EMBRAPA. **Mais de 80% da população brasileira habita 0,63% do território nacional**, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional>>. Acesso em: 23 abr. 2024.

EMMANUEL, M. R. *An Urban Approach to Climate-Sensitive Design: Strategies for the tropics*. New York: Spon Press, 2005.

EOS – EARTH OBSERVING SYSTEM. NDVI FAQ: All you need to know about NDVI. Artigo de 30 ago. 2019. Disponível em: <https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

FAISAL, A.; KAFY, A.-A.; AL RAKIB, A.; AKTER, K. S.; JAHIR, D. M. A.; SIKDAR, M. S.; ASHRAFD, T. J.; MALLIK, S.; RAHMAN, M. M. *Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area*. *Environmental Challenges*, v. 4, 100192, 2021. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100192.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S. **Clima urbano aplicado ao planejamento de cidades: Uma proposta de metodologia de suporte à decisão dos planejadores**. Anais do Seminário de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação. Belo Horizonte, UFMG, 2018. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/PAPCSseminario/75017-clima-urbano-aplicado-ao-planejamento-de-cidades--uma-proposta-de-metodologia-de-suporte-a-decisao-dos-planejadore>. Acesso em: 23 jun. 2023.

FIALHO, E. S. Ilhas de Calor: reflexões acerca de um conceito. **Acta Geográfica**, Boa Vista - RR, Edição Especial de Climatologia Geográfica, p. 61-76, 2012. DOI:10.5654/actageo2012.0002.0004

FIGUEIREDO, S. M. M.; VENTICINQUE, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; FERREIRA, E. J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, vol. 45(2), p.167-174, 2015. DOI: Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1038606>. Acesso em: 25 nov. 2023.

GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. de P.; TARGINO, A. C. de L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina - PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 537–550, dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130671>. Acesso em: 6 abr. 2023.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Israel – a Review. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 4, p. 467-478, 1995.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O Estudo do Clima Urbano e a Legislação Urbanística: considerações a partir do caso de Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan./mar. 2009. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/6916>. Acesso em: 17 ago. 2025.

GONÇALVES, F. L. T.; KRIEGER, S. Estudos biometeorológicos do clima urbano. Instituto de Astrofísica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

HALDER, B.; KARIMI, A.; MOHAMMAD, P.; BANDYOPADHYAY, J.; BROWN, R. D.; YASEEN, Z. M. Investigating the relationship between land alteration and the urban heat island of Seville city using multi-temporal Landsat data. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 150, n. 1–2, p. 613–635, 2022. DOI: 10.1007/s00704-022-04180-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362854783_Investigating_the_relationship_between_land_alteration_and_the_urban_heat_island_of_Seville_city_using_multi-temporal_Landsat_data. Acesso em: 17 ago. 2025.

HUNG, T.; UCHIHAMA, D.; OCHI, S.; YASUOKA, Y. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 8, no. 1, pp. 34-48, 2006. DOI: 10.1016/j.jag.2005.05.003

IBGE - Educa | Jovens. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 24 abr. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio Branco: IBGE, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Panorama – Cidades, 2019. Rio Branco: IBGE, 2010

IBGE | Limite da Amazônia Legal (2020). Disponível em: <https://portal-espacial.sibbr.gov.br/ws/layers/view/more/lim_amz_legal_4326_iso88591?lang=en_GB>. Acesso em: 24 abr. 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário 2017: Resultados Preliminares. Rio Branco: IBGE, 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017.pdf. Acesso em: 23 jul. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO ACRE – IMAC. *Indicadores do Grau de Efetividade da Execução (IGEE) – Acre, ano base 2010*. Rio Branco: IMAC, set. 2010. Disponível em: <https://imc.ac.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/IGEE-AC2010.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2024.

IPCC, 2013: Resumo para Decisores. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.

KOREN, I. Y. J.; KAUFMAN, L. A.; REMER, J. V. Measurements of the effect of Amazon smoke on inhibition of cloud formation. **Science**, 303, p. 1342-1345, 2004. DOI: 10.1126/science.1089424

LANDSBERG; H. E. O clima das cidades. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 18, p. 95-111, 2011. Disponível em: [Disponível em: https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47269](https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47269). Acesso em: 19 abr. 2024. DOI: 10.7154/rdg.v0i18.73.

LEIVA, S.R. Islas frías urbanas en la ciudad de Santiago. **Boletín Electrónico de Geografía**, n.2, p. 32-44, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272293375_Islas_frias_urbanas_en_la_ciudad_de_Santiago. Acesso em: 17 ago. 2025.

LIGUORI, I. N.; MONTEIRO, L. M. Avaliação comparativa da temperatura de superfície e indicadores geoespaciais na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais [...]**. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.4186. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4186>. Acesso em: 24 abr. 2024.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. de C. T. O clima urbano em Rosana/SP: comparações entre a cidade e o campo. **Caderno Prudentino De Geografia**, 2(33), p. 66–84, 2012. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/1927>. Acesso em: 12 ago. 2023

LOMBARDO, M. A. Ilha de calor da metrópole paulistana. 1984. 210f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000755316>. Acesso em: 10 jun. 2023

LOMBARDO, M. A. Mudanças Climáticas Recentes e Ações Antrópicas. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 8, p. 29-34, USP, São Paulo, 1994.

LOMBARDO, M. A.; FRUEHAUF, A. L.; PELLEGRINO, P. R. M. Clima urbano nas metrópoles e seus impactos ambientais, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 434–448, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n1-029. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/42264>. Acesso em: 23 apr. 2024.

MALVESTIO, L. M.; NERY, J. T. A importância da Amazônia para o regime pluviométrico da região sudeste do Brasil. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 8, p. 786, 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2434>. Acesso em: 22 nov. 2023.

Marengo, J., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M., Oliveira, G., Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L., Brown, I. *The drought of Amazonia in 2005*. *Journal of Climate*, v. 21, n. 3, p. 495–516, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>.

MARTINELLI, M. **Clima do Estado de São Paulo**. *Confins*, n. 8, p. 16, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.6348>. Acesso em: 23 abr. 2024.

MEDEIROS, Mirela; PATRIOTA, Eduardo; SILVA, Luiz; COELHO, Victor. A relação entre ilhas de calor urbana superficial, ocupação do solo e conforto térmico: um estudo da cidade de João Pessoa, Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais [...]**. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3756. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3756>. Acesso em: 14 ago. 2025.

MENDONÇA, F.; CUNHA, F. C. A.; LUIZ, G. C. PROBLEMÁTICA SOCIOAMBIENTAL URBANA. **Revista da ANPEGE**, [S. l.], v. 12, n. 18, p. 331–352, 2017. DOI: 10.5418/RA2016.1218.0017. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6409>. Acesso em: 23 abr. 2024.

MESQUITA, M. G. G. C. Rio Branco, Cruzeiro do Sul e a Implantação de Rodovias. In: VALVERDE, O. *A Organização do Espaço na Faixa da Transamazônica*. Rio de Janeiro: IBGE, V. 2, 1989.

MONTEIRO, C. A. de F. **O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP, 54p., 1976a. (Série Teses e Monografias, n. 28). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001344122>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e clima urbano. 181f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976b.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA; F. (Org) *Clima Urbano*. São Paulo: Editora Contexto, n. 81, p. 93-120.2003.

MORAIS, M. J. Rio Branco (AC), uma Cidade de Fronteira: o Processo de Urbanização e o Mercado de Trabalho, a partir dos Planos Governamentais dos Militares aos Dias Atuais. Florianópolis, 2000, 181 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geociências - Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78996>. Acesso em: 30 mar. 2023.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNCIO, J. D. Distribuição Espacial das Temperaturas à Superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM Landsat – 7. **Revista de Geografia UFPPE/DCE**, v. 20, n. 3, p. 77-89, 2007.

NASCIMENTO JÚNIOR, L. N. O Clima Urbano como Risco Climático. **Geo UERJ**, [S. l.], n. 34, p. e40956, 2019. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/40956>. Acesso em: 19 abr. 2024. DOI: 10.12957/geouerj.2019.40956.

NASCIMENTO, D. T. F. **Use of remote sensing techniques and geoprocessing in multitemporal analysis of heat island phenomenon in the municipality of Goiânia- Go (1986/2010)**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

NUNES, L. H. **Urbanização e Desastres Naturais: abrangência América do Sul**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen & Co, 1978. 372p.

OKE, T. R. City size and urban heat island. **Atmospheric environment**, New York, v. 7, n. 8, p. 769–779, 1973a. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6). Acesso em: 28 jun. 2023.

OKE, T. R. **Review of urban climatology: 1968-1973**. Geneva: World Meteorological Organization, 1973b (WMO Technical Note, n. 134).

OKE, T. R. **Review of urban climatology: 1973-1976**. Geneva: World Meteorological Organization, 1979 (WMO Technical Note, n. 169).

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, Viena, n. 84, p. 179-190, 2005.

OKE, T.R.; SPRONKEN-SMITH, R.; JÁUREGUI, E.; GRIMMOND, C.S.B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**. v .33. p. 3919-3930, 1999.

OLIVEIRA, D.O.; ALVALÁ, R.C.S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**. 2012.

OLIVEIRA, L. A. P. O Sertanejo, o Brabo e o Posseiro: os cem anos de andanças da população acreana. Rio Branco: Rio Branco: Governo do Estado do Acre, 1982.

OLIVEIRA, P. M. P. de. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília: Editora Universitária de Brasília, 1988.

ONU News. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PEREZ, J. C.; SÁNCHEZ, M. de los. A. V.; BARRADAS, V.L. Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de México. **Red Nacional de Investigación Urbana**, Puebla, México, Ciudades 51, jul/set. 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264551500_Clima_urbanizacion_y_uso_del_suelo_en_ciudades_tropicales_de_Mexico. Acesso em: 15 set. 2023.

PINHEIRO, G. M.; AMORIM, M. C. C. T. Uma contribuição ao estudo da temperatura e da umidade relativa do ar em Euclides da Cunha Paulista/SP. **Geografia em Atos**, Presidente Prudente, n. 7, v. 2, p. 58-70, 2007.

PINHEIRO, J. **Clima urbano e suas influências**. Belém: UFPA, 2008. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/clima-urbano-e-suas-influencias/10118/>. Acesso em: 23 nov. 2023

PINHEIRO, M. A. **Ilha de calor urbana no semiárido: um estudo de caso na cidade de Iguatu/Ceará**. Orientador: Rebecca Luna Lucena. 2022. 79f. Dissertação (Mestrado em Geografia - Ceres) - Centro de Ensino Superior do Seridó, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50920>. Acesso em: 19 out 2023.

POLIDORIO, A. M.; FLORES, F. C.; FRANCO, C.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. Detecção automática de sombras e nuvens em imagens CBERS e Landsat 7 ETM. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12.**, 2005, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4233–4240. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.27/doc/4233.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2025.

PONGRACZ, R.; BARTHOLY, J.; DEZSO, Z. Remotely sensed thermal information Applied to urban climate analysis. **Advances in Space Research**, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.06.069>

RIO BRANCO (AC). *Rio Branco é a capital mais arborizada do Brasil, com mais 32 % de área verde*. Mural de Notícias da Prefeitura de Rio Branco, 18 nov. 2024. Disponível em: <https://www.riobranco.ac.gov.br/rio-branco-e-a-capital-mais-arborizada-do-brasil-com-mais-32-de-area-verde/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 161–175, 2011. DOI: Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/17890>. Acesso em: 24 abr. 2024.

RODRIGUES, R. G.; QUINTO JÚNIOR, L. P.; GOMES FILHO, H. ILHAS DE CALOR URBANO: REVISÃO SISTEMÁTICA DAS METODOLOGIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA URBANA EM ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, SC, 2023.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. M.; LIMA, E. A.; WERNECK, D. R.; VIANNA, E. O.; SALES, G. L. *Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas*. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; ETB, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18830/ISBN.978-85-67405-25-4>. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/34661>. Acesso em: 17 ago. 2025.

ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W. D.; HAMMER, S. A.; MEHROTRA, S. Urban climate change in context. In *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Eds., **Cambridge University Press**, pp. 3-11, 2011.

ROSSI, F. A., KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. **RA'E GA - O Espaço Geográfico Em Análise**, Curitiba, n. 10, p. 93-105, 2005. Editora UFPR. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3377/3772>. Acesso em: 6 ago. 2023.

SANCHES, P. M. **Cidades compactas e mais verdes: conciliando densidade urbana e vegetação por meio do desenho urbano**. 2020. 161 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-04052020-152955>. Acesso em: 27 mar. 2023.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. 1995. 202f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: EDUEM, 2000, p. 17-28. Disponível em: <http://www1.rc.unesp.br/igce/geografia/pos/downloads/livrospos/variabilidade/sumario.pdf>. Acesso em: 7 set. 2023

SANTOS, K. P. C. dos; CUNHA, A. C. da; COSTA, A. C. L. da; SOUZA, E. B. de. Índices de tendências climáticas associados à “ilha de calor” em Macapá-AP (1968-2010). **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (RBCIAMB), Rio de Janeiro, n. 23, p. 1–16, 2012. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/327. Acesso em: 23 nov. 2023.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Hucitec. 1993.

SANTOS, T. O. dos. **Identificação de ilhas de calor em Recife - PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. 54 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SCHOR, T. OLIVEIRA, J. A. Reflexões Metodológicas sobre o Estudo da Rede Urbana no Amazonas e Perspectivas para a Análise das Cidades na Amazônia Brasileira. ACTA Geográfica, Ed. Esp. **Cidades na Amazônia Brasileira**, p.15-30, 2011. Disponível em:

https://www.dpi.inpe.br/Miguel/AnaPaulaDALasta/Acta_Geografica_CidadesAmazonicas_EdicaoEspecial_2011/Schor&Oliveira_AnaliseCidadesAmazBrasileira_ActaGeo_2011.pdf. Acesso em: 24 jan. 2024

SCUSSEL, M. C. B.; SATTTLER, M. A. Cidades em (trans)formação: impacto da verticalização e densificação na qualidade do espaço residencial. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 137–150, 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/12874>. Acesso em: 24 abr. 2024.

SILVA FILHO, D.F. da. **Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana**. 2004. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

SILVA, D. A FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NO CONFORTO DO CLIMA URBANO DA CIDADE DE MANAUS. **REVISTA GEONORTE**, [S. l.], v. 3, n. 9, p. 22 –, 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2476>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SILVA, S. A. da. Clima urbano: análise do campo termo-higrométrico em episódios de inverno e primavera em Ituiutaba-MG. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27170>

SOUSA, J. W. DE. Características climáticas do município de Rio Branco, Acre, período de 1990-2019. *Scientia Naturalis*, v. 2, n. 2, 2020.

SOUSA, M. P. de. Impactos da urbanização e da legislação na mitigação de ilhas de calor urbano em São Paulo (Brasil): um estudo sobre temperaturas de superfície e políticas climáticas. *Ar@cne. Revista Electrónica de Recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona, v. 29, n. 298, p. 1–20, 1 jan. 2025. DOI: 10.1344/ara2025.298.47532. Acesso em: 18 maio 2025.

SOUZA, D.O; ALVALÁ, R.C.S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**, vol. 21, p. 186-193, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/met.1340>. Acesso em: 17 mar. 2023.

SOUZA, M. B. **Clima Urbano: Aspectos Teóricos e Metodológicos**. Mini-Curso. 2010. Disponível em: https://lcb.fflch.usp.br/sites/lcb.fflch.usp.br/files/upload/paginas/Mini_curso_clima_urbano_marcos_barros_de_souza.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Accessed in: April 8th of 2020.

STREUTKER, D.R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, p. 2.595-2.608, 2002.

TARIFA, J. R. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n.8, p.15-28, 1994.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de Rancharia (SP)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

TEIXEIRA, D.; AMORIM, M. Mensuração e frequência da intensidade da ilha de calor urbana noturna de Santo Anastácio, São Paulo, Brasil. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 10, n. 1, p. e101211, 2021. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10691>. Acesso em: 24 set. 2023

UGEDA JÚNIOR, J. C. Planejamento da paisagem e planejamento urbano: reflexões sobre a urbanização brasileira. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, Cuiabá, v. 17, n. 1 p. 101 - 116 - jan/jun 2014. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geografia/article/view/764>. Acesso em: 28 jan. 2024.

VIANNA, E. O. **O campo térmico urbano: ilhas de calor em Brasília - DF**. 2018. 267 f., Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.

WERNECK, D. R. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília – DF**. 2018. 118 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

ZAMBONATO, B.; LIMA, K. F. de S.; LEHR, P. M.; SERAFIN DE ALBERNARD, R.; GRIGOLETTI, G. de C. Caracterização de zonas climáticas locais na cidade de Santa Maria - Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 85–107, 2021. DOI: 10.51359/2238-6211.2021.245685. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/245685>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International journal of remote sensing**, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003.

ZHANG, Junyu; HU, Longjun; WANG, Xiuqiang; WU, Huifang; QIAN, Yujiao; MA, Yixin; WU, Jianguo. *Predicting the impacts of urban development on urban thermal environment using machine learning algorithms in Nanjing, China*. *Journal of Environmental Management*, v. 350, p. 119951, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.119951>. Acesso em: 17 ago. 2025.