



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL**

ANA RAQUEL DE MACÊDO LEITE

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DAS ILHAS DE
CALOR DE SUPERFÍCIE NO CRAJUBAR-CE**

**CRATO – CE
2024**

ANA RAQUEL DE MACÊDO LEITE

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DAS ILHAS DE
CALOR DE SUPERFÍCIE NO CRAJUBAR-CE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial à obtenção do título de mestra em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de pesquisa: Tecnologia e modelagem.

Sublinha: Sensoriamento remoto e monitoramento ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

L533u Leite, Ana Raquel de Macêdo.

Utilização do sensoriamento remoto na análise das ilhas de calor de superfície no Crajubar-CE / Ana Raquel de Macêdo Leite. - 2024.

145 f. il. color.; 30 cm.

(Inclui bibliografia, p. 132-140).

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira.

1.Clima urbano. 2. Mudanças Climáticas. 3. Planejamento urbano. 4. ODS.
5.Cidades sustentáveis. I. Oliveira, Carlos Wagner - orientador. II. Título.

CDD 333.7

Bibliotecária: Maria Eliziana Pereira de Sousa – CRB 15/564

ANA RAQUEL DE MACÊDO LEITE


UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE NO CRAJUBAR-CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial à obtenção do título de mestra em Desenvolvimento Regional Sustentável.


Linha de pesquisa: Tecnologia e modelagem.

Sublinha: Sensoriamento remoto e monitoramento ambiental.


Aprovado em: 27 de junho de 2024

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS WAGNER OLIVEIRA**
Data: 15/08/2024 17:47:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO MARTINS DE MOURA FÉ**
Data: 19/08/2024 08:31:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé (Membro interno)
Universidade Regional do Cariri (URCA) / Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Documento assinado digitalmente
 **JULIANA MARIA OLIVEIRA SILVA**
Data: 28/08/2024 19:20:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Juliana Maria Oliveira Silva (Membro externo)
Universidade Regional do Cariri (URCA)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa. Sem o apoio e incentivo de cada um de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Agradeço ao meu esposo, Francivânio Vieira, pelo amor, paciência e apoio incondicional durante todo o processo. Sua presença constante foi fundamental para minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador, o professor Phd. Carlos Wagner Oliveira, pela orientação cuidadosa, contribuições valiosas e dedicação incansável. Sua expertise foi fundamental para moldar este trabalho.

Aos professores da banca examinadora, o professor Dr. Marcelo Martins de Moura Fé e a professora Dr^a. Juliana Maria Oliveira Silva, cujas contribuições críticas e sugestões enriqueceram significativamente o conteúdo desta dissertação.

Ao Dr. Filipe Maciel de Moura, que primeiro me incentivou a explorar esta área de estudo.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro concedido.

A todos os colegas, professores, amigos e familiares que apoiaram e encorajaram meu crescimento acadêmico.

RESUMO

O processo de urbanização contemporâneo, marcado pelo crescimento acelerado das cidades e a expansão das áreas urbanas, transformou significativamente o cenário global. Hoje, mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas e tal efeito trouxe como consequência alterações climáticas notáveis. As ilhas de calor, caracterizadas por temperaturas consideravelmente elevadas nas áreas urbanizadas em comparação às áreas rurais, tornaram-se preocupação crescente em estudos recentes. Assim, esta dissertação tem o objetivo de analisar a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor de superfície numa escala espaço-temporal considerando os anos 2013, 2018 e 2023, através de imagens orbitais, e investigar a influência dos processos de uso e ocupação do solo e a presença de vegetação na alteração da temperatura dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, no sul cearense. Para o cumprimento dos objetivos, a presente pesquisa foi dividida em três etapas: revisão bibliográfica, cartográfica e coleta de dados; elaboração e integração de banco de dados; organização e interpretação de dados, elaboração de mapas de temperatura de superfície, índice de vegetação e uso e ocupação do solo. Para atingir o resultado foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento, a partir de imagens de satélite Landsat, de onde puderam ser extraídos dados de temperatura e índices de vegetação. A análise dos resultados permitiu identificar os padrões de distribuição das ilhas de calor e compreender os fatores que contribuem para sua formação, averiguando a influência dos tipos de cobertura do solo, principalmente no que se refere à presença da vegetação. Com base no arcabouço teórico e nas análises dos resultados, observou-se que os dados demonstraram o agravamento do fenômeno observado, indo ao encontro das diversas notícias que constata o aumento gradativo da temperatura das cidades. Assim, esta dissertação fornece subsídios para o planejamento urbano e para a implementação de medidas de adaptação e mitigação das ilhas de calor nesses municípios.

Palavras-chave: Clima urbano. Mudanças Climáticas. Planejamento urbano. Cidades sustentáveis. ODS.

ABSTRACT

The contemporary urbanization process, marked by the accelerated growth of cities and the expansion of urban areas, has significantly transformed the global scenario. Today, more than half of the world's population lives in urban areas and this effect has led to notable climate changes. Heat islands, characterized by considerably higher temperatures in urbanized areas than in rural areas, have become a growing concern in recent studies. Thus, this dissertation aims to analyze the occurrence of the surface heat island phenomenon on a spatio-temporal scale considering the years 2013, 2018 and 2023, through orbital images, and to investigate the influence of land use and occupation processes and the presence of vegetation on temperature changes in the municipalities of Crato, Juazeiro do Norte and Barbalha, in southern Ceará. In order to achieve its objectives, this research was divided into three stages: a bibliographic and cartographic review and data collection; the creation and integration of a database; and the organization and interpretation of data, the creation of maps of surface temperature, vegetation index and land use and occupation. To achieve this, remote sensing techniques and geoprocessing tools were used, based on Landsat satellite images, from which temperature data and vegetation indices could be extracted. Analysis of the results made it possible to identify the distribution patterns of heat islands and understand the factors that contribute to their formation, looking at the influence of land cover types, especially with regard to the presence of vegetation. Based on the theoretical framework and the analysis of the results, it was observed that the data showed a worsening of the observed phenomenon, in line with the various reports that show a gradual increase in the temperature of cities. This dissertation therefore provides support for urban planning and for the implementation of measures to adapt to and mitigate heat islands in these municipalities.

Keywords: Urban climate. Climate change. Urban planning. Sustainable cities. ODS.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µm – micrômetro

CE - Ceará

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CRAJUBAR – Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FLONA – Floresta Nacional do Araripe

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GLONASS - GLObal NAVigational Satellite System

GPS – Global Positioning System

Hz - Hertz

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INSA - Instituto Nacional do Semiárido

IPCC - Intergovernmental Panel on climate Change

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estatística Econômica do Ceará

Km – quilômetros

Landsat - Land Remote Sensing Satellite

LST - Temperatura de superfície

m – metro

mm - milímetro

MSS – Multispectral Scanner System

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

nm – nanômetro

ODS – Objetivo do Desenvolvimento Sustentável

OLI – Operational Land Imager

ONU – Organização das Nações Unidas

ONU-Habitat – Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos

RBV – Return Beam Vidicon

TIRS – Thermal Infrared Sensor

TM – Thematic Mapper

UFCA – Universidade Federal do Cariri

USGS – United States Geological Survey

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	24
Figura 02: Esquema hipotético da ilha de calor.....	28
Figura 03: Tipos de ilhas de calor.....	31
Figura 04: Princípios físicos do SR.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Imagens de satélite utilizadas.....	43
Quadro 3: Categorização da LST.....	47
Quadro 4: Categorização do NDVI.....	47
Quadro 5: Reclassificação do uso e ocupação do solo.....	48
Quadro 6: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte.....	58
Quadro 7: Temperatura de superfície no Crato.....	70
Quadro 8: Temperatura de superfície em Barbalha.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperaturas médias mensais conforme normal climatológica.....	42
Gráfico 2: Evolução das temperaturas médias de Juazeiro do Norte.....	59
Gráfico 3: Temperaturas médias de Juazeiro do Norte.....	60
Gráfico 4: Evolução das temperaturas médias do Crato.....	71
Gráfico 5: Temperaturas médias do Crato.....	72
Gráfico 6: Evolução das temperaturas médias de Barbalha.....	82
Gráfico 7: Temperaturas médias de Barbalha.....	83

Gráfico 8: Temperaturas médias na zona urbana de Juazeiro do Norte.....	93
Gráfico 9: Temperaturas médias na zona urbana do Crato.....	103
Gráfico 10: Temperaturas médias na zona urbana de Barbalha.....	112
Gráfico 11: Distribuição do NDVI no território de Juazeiro do Norte.....	118
Gráfico 12: Relação entre temperatura e NDVI em Juazeiro do Norte.....	119
Gráfico 13: Distribuição do NDVI no território do Crato.....	122
Gráfico 14: Relação entre temperatura e NDVI no Crato.....	123
Gráfico 15: Distribuição do NDVI no território de Barbalha.....	125
Gráfico 16: Relação entre temperatura e NDVI em Barbalha.....	126
Gráfico 17: Relação entre temperatura e uso e ocupação do solo.....	129

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização do Crajubar.....	41
Mapa 2: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em julho de 2013.....	50
Mapa 3: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em julho de 2018.....	51
Mapa 4: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em julho de 2023.....	52
Mapa 5: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em setembro de 2013....	53
Mapa 6: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em outubro de 2018.....	54
Mapa 7: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em outubro de 2023.....	55
Mapa 8: Temperatura de superfície no Crato em julho de 2013.....	62
Mapa 9: Temperatura de superfície no Crato em julho de 2018.....	63
Mapa 10: Temperatura de superfície no Crato em julho de 2023.....	64
Mapa 11: Temperatura de superfície no Crato em setembro de 2013.....	65
Mapa 12: Temperatura de superfície no Crato em outubro de 2018.....	66
Mapa 13: Temperatura de superfície no Crato em outubro de 2023.....	67
Mapa 14: Temperatura de superfície em Barbalha em julho de 2013.....	73
Mapa 15: Temperatura de superfície em Barbalha em julho de 2018.....	74

Mapa 16: Temperatura de superfície em Barbalha em julho de 2023.....	75
Mapa 17: Temperatura de superfície em Barbalha em setembro de 2013.....	76
Mapa 18: Temperatura de superfície em Barbalha em outubro de 2018.....	77
Mapa 19: Temperatura de superfície em Barbalha em outubro de 2023.....	78
Mapa 20: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em julho de 2013.....	85
Mapa 21: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em julho de 2018.....	86
Mapa 22: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em julho de 2023.....	87
Mapa 23: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em setembro de 2013.....	88
Mapa 24: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em outubro de 2018.....	89
Mapa 25: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em outubro de 2023.....	90
Mapa 26: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em julho de 2013....	95
Mapa 27: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em julho de 2018....	96
Mapa 28: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em julho de 2023....	97
Mapa 29: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em setembro de 2013.	98
Mapa 30: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em outubro de 2018	99
Mapa 31: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em outubro de 2023....	100
Mapa 32: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em julho de 2013...	104
Mapa 33: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em julho de 2018...	105
Mapa 34: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em julho de 2023...	106
Mapa 35: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em setembro de	

2013.....	107
Mapa 36: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em outubro de 2018.....	108
Mapa 37: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em outubro de 2023.....	109
Mapa 38: NDVI do Crajubar em 2013.....	114
Mapa 39: NDVI do Crajubar em 2018.....	115
Mapa 40: NDVI do Crajubar em 2023.....	116
Mapa 41: Uso e ocupação do solo no Crajubar.....	128

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 CLIMA URBANO.....	20
2.2 SUSTENTABILIDADE CLIMÁTICA.....	21
2.3 ILHAS DE CALOR.....	27
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO.....	32
3 METODOLOGIA.....	39
3.1 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
3.2 PROCEDIMENTOS E COLETA DE DADOS.....	42
4 PANORAMA GERAL DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE.....	49
4.1 JUAZEIRO DO NORTE.....	49
4.2 CRATO.....	60
4.3 BARBALHA.....	72
5 ANÁLISE DOS NÚCLEOS DE CALOR URBANO.....	84
5.1. JUAZEIRO DO NORTE.....	84
5.2 CRATO.....	94
5.3. BARBALHA.....	103
6 RELAÇÃO DO NDVI E DO USO DO SOLO COM A TEMPERATURA.....	113
6.1 NDVI.....	113
6.1.1 Juazeiro do Norte.....	117
6.1.2 Crato.....	121
6.1.3 Barbalha.....	124
6.2 USO DO SOLO.....	127
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130

1 INTRODUÇÃO

O rápido aumento da degradação ambiental e as mudanças do clima em uma escala global despontam entre os temas de maior urgência a serem tratados na atualidade. Já se sabe que o clima do planeta sofreu diversas alterações ao longo das eras, inclusive em períodos anteriores ao surgimento da espécie humana. Estas mudanças climáticas de ordem natural têm ocorrido com maior ou menor intensidade. Não obstante, é inegável que a ação antrópica tem intensificado o aumento da temperatura global (Lombardo, 1994).

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as atividades humanas são responsáveis por um aumento de 1,1°C na temperatura da superfície global acima do registrado no período 1850-1900. Além disso, o relatório mostra que a temperatura aumentará em 1,5°C na primeira metade da década de 2030, intensificando os riscos em todas as regiões do mundo (IPCC, 2023). O mesmo relatório também atesta que muitos ecossistemas terrestres e oceânicos já se alteraram devido ao aquecimento global.

Diante de tais alertas, é notório que a cidade constitui-se como um importante ponto focal de estudos, ações e discussões acerca do clima global, pois é nela que costumam ocorrer os maiores efeitos negativos concernentes ao desequilíbrio ambiental e climático. As cidades são espaços que refletem e materializam esses fenômenos, tornando-se cenários de intensas transformações do ambiente natural. Nesse contexto, a atmosfera urbana passa por alterações e novas estruturas se formam sobre a cidade (Rampazzo, 2012). As ilhas térmicas são consequências desse processo, influenciadas pelo albedo urbano e pela mudança dos fluxos de energia solar incidente na superfície urbana que, por sua vez, afetam a temperatura do ar por meio de processos físicos (Moura, 2008).

As áreas urbanas têm experimentado um aumento populacional significativo nas últimas décadas. Conforme relatório mundial das cidades, lançado pelo Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos (ONU-Habitat) em 2022, mais da metade da população mundial residia em áreas urbanizadas. As projeções estimam que até 2050 essa porcentagem atinja a marca de 68%, representando um aumento de 2,2 bilhões de pessoas (ONU, 2022).

O Brasil abriga uma população cada vez mais concentrada em zonas urbanas. O fenômeno da expansão urbana brasileira, como um componente de mudanças estruturais na sociedade, ocorreu na segunda metade do século XX (Brito, 2006). Brito (2006) também aponta para um aspecto curioso do crescimento demográfico brasileiro: este se deu mais velozmente quando comparado a países capitalistas mais consolidados. Ainda sobre a realidade brasileira, os dados do último censo demográfico revelam que, no ano de 2022, as concentrações urbanas comportavam 61% dos brasileiros, ou 124,1 milhões de pessoas (IBGE, 2022). O censo também apurou que a população cresceu em cerca de 12,3 milhões de habitantes no período de 2010 a 2022. O rápido processo de urbanização pode alertar para transformações significativas nas paisagens urbanas e no clima das cidades, entre os quais a formação de ilhas de calor se encontra entre os que mais afetam diretamente a população.

A esse respeito, conforme afirmam Santos e Pimentel (2012), o clima apresenta um papel significativo dentro da dinâmica das cidades, não devendo ser tratado separadamente das atividades humanas. A morfologia urbana, associada à presença de edificações, ao uso de materiais absorvedores de calor, à redução da vegetação e à emissão de poluentes atuam na remodelação da dinâmica natural, dando origem a manifestações climáticas que caracterizam o clima urbano. A compreensão acerca do clima urbano faz-se essencial para o planejamento e o projeto de cidades mais sustentáveis e resilientes, além de permitir compreender as dinâmicas climáticas locais e identificar os fatores que contribuem para a formação e a intensificação das ilhas de calor urbanas (Rosa, 2014).

Em meio aos fenômenos do clima urbano, as ilhas de calor, (independentemente de sua natureza) estão, certamente, entre as ocorrências mais estudadas. Entende-se por ilhas de calor as anomalias térmicas evidenciadas nos centros das cidades e produzidas por elas mesmas, tendo como característica marcante a temperatura do ar e da superfície mais elevada em relação às áreas circunvizinhas (García, 1993; Lombardo, 1985). Estas anomalias formam-se em áreas urbanas e suburbanas, em consequência da propriedade de muitos dos materiais de construção presentes nos equipamentos urbanos absorverem e reterem mais calor proveniente do sol, do que superfícies naturais em áreas rurais menos densas (Gartland, 2010). Este fenômeno relaciona-se diretamente com o “estresse térmico”, que, segundo Lamberts (2011) consiste no estado psicofisiológico a que

está submetida uma pessoa, quando exposta a situações ambientais extremas de frio ou calor. O estresse térmico encontrado nos perímetros urbanizados pode ser ocasionado por uma série de elementos e as ilhas de calor contribuem de maneira determinante para a sua intensificação.

O presente estudo das ilhas de calor justifica-se em contraponto aos desafios climáticos enfrentados pelas cidades em todo o mundo. Como visto, as modificações do clima natural do espaço urbano estão atreladas, entre outros fatores, aos fenômenos da urbanização e industrialização, que resultam em ações como substituição da superfície natural, alteração de cursos d'água, impermeabilização do solo, dentre outras, que têm provocado variações no aumento da temperatura do ar gerando desconforto térmico (Matos *et al.*, 2021).

Compreender o clima urbano e a formação das ilhas de calor é essencial para promover cidades mais sustentáveis. Isso envolve o desenvolvimento de estratégias de planejamento urbano que considerem a mitigação e a adaptação aos efeitos das ilhas de calor, a promoção do uso de materiais e técnicas construtivas mais eficientes em termos energéticos e a criação de áreas verdes (Näslund-Hadley *et al.*, 2016).

O estudo das ilhas de calor urbanas em regiões semiáridas é de grande significância, visto os impactos efetivos gerados em decorrência de características como altas temperaturas, baixa umidade e falta de chuvas frequentes, aliada a vulnerabilidade da vegetação, bem como a gestão do uso do solo (INSA, *s.d.*). Tais fatores demandam adaptação específicas para garantir a sustentabilidade dessas regiões.

Inicialmente, as investigações desta anomalia climática concentraram-se, sobretudo, nas grandes cidades e regiões metropolitanas, muito embora posteriormente tenham sido desenvolvidos também nas cidades médias e pequenas, já que o crescimento dessas traz representatividade para além das capitais (Pereira, 2012). Nesse sentido, faz-se necessário saber se, no ambiente urbano do Crajubar, com as constantes alterações do uso do solo e o crescente adensamento populacional, existe potencial de sobreaquecimento da cidade.

É nesse cenário que se insere a presente dissertação, que busca analisar a ocorrência de ilhas de calor no aglomerado de três municípios, conhecido popularmente como Crajubar, que se encontram com estágio avançado de

conurbação urbana, a saber, Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, todos esses situados no sul do estado do Ceará.

Foi a carência de pesquisas atuais que abordem esse tema para os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha (Crajuubar) o principal motivo que levou à formulação deste trabalho. Tal conhecimento pode se traduzir em melhorias na qualidade de vida do meio urbano, além de servir de base para ações ambientais ligadas à gestão pública, principalmente no que diz respeito a projetos de arborização e redução de consumo energético. Sobre esse último, esta pesquisa pode vir a contribuir de maneira significativa, uma vez que, com o agravamento das temperaturas, uma das consequências mais facilmente observáveis consiste no aumento da utilização de condicionamento ativo para melhoria do conforto térmico.

Apesar da raridade ímpar, o trabalho de pesquisa chegou a alguns estudos científicos que abordam o mesmo recorte espacial, como os trabalhos de Estevão (2016), Araújo *et al.* (2021), Matos *et al.* (2022) e Freitas *et al.* (2022), que tratam das cidades de Juazeiro e Crato. Nesse sentido, a presente dissertação busca preencher algumas lacunas, incluindo em seu estudo o município de Barbalha, haja visto que sua malha urbana tende a se mesclar com as sedes dos municípios citados, para além de trazer análises para anos sequentes ao período trabalhado pelos autores.

Assim, este estudo consiste em uma análise da evolução temporal das ilhas de calor urbana dentro do perímetro dos municípios em questão, fazendo distinção entre o primeiro semestre (mais ameno) e o segundo semestre (mais quente) dos anos 2013, 2018 e 2023. Para alcançar esse resultado, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento, pois, conforme aponta Santos (2011), esta é uma abordagem que vem se tornando bastante disseminada, por possibilitar extrair informações de caráter térmico (infravermelho termal) de diferentes escalas espaciais e temporais.

Espera-se que os resultados desta pesquisa forneçam subsídios para o planejamento urbano e para a implementação de medidas de adaptação e mitigação das ilhas de calor nesses municípios do semiárido nordestino. Além disso, almeja-se que este trabalho venha a contribuir para a produção de conhecimento científico sobre o tema, proporcionando base para futuras investigações em locais semelhantes ao objeto de estudo: aglomerações urbanas de porte médio em regiões de clima quente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor de superfície numa escala espaço-temporal considerando os anos 2013, 2018 e 2023, através de imagens orbitais, e investigar a influência dos processos de uso e ocupação do solo e a presença de vegetação na alteração da temperatura dos municípios que compõem o triângulo Crajubar.

1.2.2 Específicos

- Mensurar a temperatura local emitida pela superfície através da análise de imagens de satélite utilizando técnicas de sensoriamento remoto;
- Elaborar de forma clara e objetiva, mapas, gráficos e tabelas, para evidenciar as diferenças espaciais e temporais das ilhas de calor nos municípios do Crajubar;
- Avaliar a relação entre a variação da temperatura e as características do ambiente urbano, incluindo o tipo de uso do solo e a presença de áreas verdes, buscando compreender como esses fatores contribuem para a intensificação ou atenuação das ilhas de calor nas áreas urbanas estudadas.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

No que concerne à estruturação, essa dissertação encontra-se distribuída em 7 capítulos. Após a presente introdução, o capítulo 2 delimita todo o referencial teórico que serve de embasamento para a construção do trabalho. Ele versa inicialmente sobre as conceituações de clima urbano e sustentabilidade climática, relacionando-os em seguida ao tema das ilhas de calor. Faz-se então uma explanação sobre a ocorrência deste fenômeno no semiárido nordestino, assim como se apontam os seus agentes influenciadores.

Ademais, houve necessidade de abordar em subtópico próprio um aspecto metodológico central para a pesquisa: o sensoriamento remoto. Neste subtópico está a conceituação de sensoriamento remoto, o uso de satélites, suas resoluções e bandas e os métodos e técnicas que podem ser utilizados na análise das ilhas de calor em ambiente urbano.

O capítulo 3 trata sobre a metodologia, com a caracterização da área de estudo e definição dos procedimentos e coleta de dados. Nesse tópico são apresentados o período de estudo, a obtenção das imagens e as fórmulas necessárias para o cálculo da temperatura de superfície e do NDVI.

Nos capítulos 4, 5 e 6 são apresentados os resultados obtidos e sua discussão e análise. Apresentam o modo como se deu a evolução temporal e espacial das ilhas de calor urbana e a relação existente entre as ilhas de calor e fatores como vegetação e ocupação do solo. Por fim, o capítulo 7 conclui esta dissertação. Ele sintetiza os principais resultados obtidos e as possíveis contribuições e limitações do presente trabalho, apresentando uma série de sugestões para a realização de futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CLIMA URBANO

O clima pode ser compreendido como um conjunto de elementos que interagem entre si, os quais apresentam naturezas diversas e convivem no espaço em um mecanismo de trocas de energia, influenciados pelo desenvolvimento urbano. Entre os principais fatores geomorfológicos e espaciais que compreendem a formação do clima têm-se o sol, latitude, altitude, ventos, topografia, vegetação, solo, massas de terra e água etc., que podem ser influenciados por elementos como temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações (Ribeiro, 1993; Romero, 2000).

Segundo Ribeiro (1993), de acordo com a interação entre esses elementos, o clima pode-se apresentar em três níveis interativos. O nível macroclimático, onde as interações acontecem entre a radiação solar, a curvatura da Terra e os seus movimentos de rotação e translação. O nível mesoclimático, com interação entre a energia disponível e as feições do meio terrestre. Já o nível microclimático, entendido como a interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, umidade e massa. Para Monteiro (2013), a abrangência climática está associada à estrutura geográfica. Assim, o clima local está inserido em climas sub-regionais, bem como pode ser subdividido em microclimas. Isso acontece porque as cidades se dividem em setores, bairros, ruas, casas, ambientes internos, entre outros.

O clima sempre foi alvo de discussões por sua influência significativa na vida das pessoas, pois a dinâmica que caracteriza o clima urbano é tida como um dos componentes da qualidade do ambiente. O clima sofre modificações em função das transformações ambientais e modificações com relação ao crescimento das cidades e tais fatos implicam consideráveis transformações, como formação de ilhas de calor e poluição atmosférica (Monteiro, 2013). Historicamente, eventos marcantes, como a Revolução Industrial, deram destaque à urgência de entender o clima urbano, visto o aumento expressivo da população nas cidades e conseqüentemente intensos níveis de poluição. Assim, tal contexto influenciou os estudos climáticos em diversas escalas de abordagem e complexidade (Castelhana, 2020).

Com relação à climatologia urbana, Castelhana (2020) afirma ser uma área específica dentro da climatologia geográfica, sendo um dos fatores que compõem o espaço geográfico, estabelecendo diversas inter-relações entre os vários elementos da paisagem. O clima urbano é uma área específica do estudo do clima que trata das interações entre os fenômenos da atmosfera e as cidades e sociedades urbanas. É uma consequência do processo de urbanização, devido a substituição das superfícies naturais pelas estruturas urbanas, acarretando alterações das propriedades físicas e químicas, além dos processos térmicos, hidrológicos... (Lombardo, 2021).

Diversos autores têm debatido sobre o tema e apresentam suas conceituações, como Oke (1987), que define o clima urbano como a ciência que estuda as transformações atmosféricas ocasionadas pelo processo de urbanização. Monteiro (1990), ratifica o conceito, acrescentando que a relação clima e urbanização é considerado um sistema aberto, visto que as interferências são dinâmicas (Carvalho; Barbosa, 2019).

Estudos no ramo da climatologia urbana tornaram-se possíveis em vista do avanço de técnicas e tecnologias de monitoramento ambiental. Satélites com capacidade térmica, sensores de precisão e modelos estatísticos proporcionaram uma visão detalhada das interações entre as cidades e o clima, permitindo mais acurácia nas análises (Castelhana, 2020).

O clima das cidades constitui um tema de grande relevância e complexidade, visto a quantidade de variáveis e nuances embutidas em sua análise, bem como as consequências para a população. As mudanças climáticas já são evidentes em diversas localidades pelo mundo, tornando as cidades cada vez mais vulneráveis à ação do clima, demandando estudos para analisar as alterações (Castelhana, 2020). Nesse sentido, o combate a essas vulnerabilidades perpassa por outro conceito, a sustentabilidade climática, abordada a seguir.

2.2 SUSTENTABILIDADE CLIMÁTICA

O crescimento das cidades, aliado às ações antrópicas e aos processos de industrialização no modo de produção capitalista, tem provocado mudanças significativas no meio ambiente natural em diversas magnitudes, inclusive do clima

natural (Moura, 2008). Dentre as preocupações inerentes a esse panorama, estão as condições da qualidade ambiental urbana, que tendem a diminuir ao passo que modificações substanciais, como impermeabilização do solo e supressão do extrato vegetal, incidem no ambiente urbano e afetam intimamente a qualidade de vida dos habitantes. As cidades passaram a ser alvo de preocupações ecológicas e ambientais em decorrência da percepção do crescimento ilimitado, mediante a escassez de recursos, mostrando a urgência pela promoção de cidades sustentáveis para garantir a permanência do homem e a sua qualidade de vida futura (Romero *et al.*, 2019).

As notícias sobre desastres ambientais decorrentes das mudanças climáticas são cada vez mais frequentes ao redor do globo. A cidade de Phoenix, nos Estados Unidos, apresentou em 19 de julho de 2023 o seu vigésimo dia com temperatura acima de 43°C, levando uma unidade hospitalar à lotação de leitos semelhante ao que foi observado na pandemia de Covid-19 (Jornal Nacional, 2023). No mesmo período, uma onda de incêndios arrasou a Grécia, queimando florestas e casas a 30 km de Atenas (Jornal Nacional, 2023). A Europa enfrenta temperaturas e verões atípicos neste começo da década de 2020. Em 2021 foi registrada na Ilha da Sicília a maior temperatura da história do continente, a saber, 48,8°C. Os anos de 2021 e 2022 foram os verões mais quentes que a Europa já registrou (Amante; Farge, 2023).

Na Ásia, que abriga os dois países mais populosos do mundo (Índia e China), as ondas de calor também têm causado tragédias cada vez mais recorrentes. Na Índia, aponta-se que elas são responsáveis por quedas de energia, aumento de poeira e poluição do ar, e por contribuírem para o derretimento do gelo no Himalaia. Estima-se que desde 1992, as ondas de calor acarretaram a morte de mais de 24 mil pessoas (Regan, 2023). Conforme noticiado pelo “The New York Times”, em junho de 2022, uma forte onda de calor na Índia e no Paquistão provocou temperaturas acima de 38° C, tendo resultado pelo menos 90 mortes em algumas localidades. O referido mês se tornou o mais quente em 122 anos (Fountain, 2022).

Pequim, capital chinesa, registrou temperatura recorde de 41,1°C em Junho de 2023 (Climainfo, 2023). Um mês depois, também na China, a cidade de Sanbao enfrentou o dia mais quente já registrado no país, chegando à máxima de 52,2°. Autoridades da região recomendaram que trabalhadores e estudantes permanecessem em casa e que deram ordem para que veículos borrifassem água

nas ruas (52º: China, 2023). Por fim, cabe mencionar que, em uma escala global, o mês de julho de 2023 se converteu no mês mais quente já registrado na história, de acordo com os dados mais recentes do Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos (Maes; Yukari, 2023).

Esse cenário também se reflete no Brasil. A nível local, houve recentemente uma onda de calor no estado do Ceará. Conforme dados da Funceme (2023), o município de Barro, localizado na macrorregião do Cariri, registrou temperatura de 40,8°C, no dia 25 de Agosto, sendo o maior pico de temperatura do Ceará no ano de 2023. Além disso, para 12 e 14 de Dezembro de 2023, foram previstas temperaturas com 3°C a 5°C acima da média histórica, afetando especialmente as regiões do Vale do Jaguaribe e do Cariri (Falconery, 2023). Em Janeiro de 2024, a cidade de Jaguaribe atinge temperatura de 40°C, sendo considerada pelo Inmet a mais quente do país (Lima, 2024). Casos como estes deixam claro que urge tratar com especial atenção a questão das mudanças de temperatura, em especial nos ambientes urbanos.

Todo esse panorama tem alertado as nações, que passaram a discutir ao longo dos últimos 50 anos a correlação entre o desenvolvimento humano, o clima e os recursos naturais. Em 1972, foi realizada, em Estocolmo - Suécia, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, onde pela primeira vez foi trazido para a ribalta o desafio de manter a sustentabilidade no contexto do crescimento e desenvolvimento econômico (Sachs, 2017). No que tange ao aquecimento global, desde os anos de 1980 esse tema tem sido foco de interesse da comunidade científica, dos ambientalistas e dos governos (Lombardo, 1994).

Em 1992, delegações de 175 países membros das Nações Unidas realizaram, na cidade do Rio de Janeiro, uma conferência para definição de medidas de enfrentamento a problemas causados pela emissão de gases do efeito estufa. Essa conferência, conhecida como RIO-92 ou Eco-92, ratificou um documento intitulado como Agenda 21, que colocou no papel uma série de políticas e ações que tinham como eixo o compromisso com a responsabilidade ambiental (IPEA, 2009). A Agenda 21 se destaca como o mais importante compromisso socioambiental em prol da sustentabilidade firmado na RIO-92 (caderno de debate Agenda 21).

Em seu capítulo 28, a Agenda 21 pede maior atenção para com as cidades, visto que estas são fundamentais para a implementação das políticas propostas no documento (caderno de debate Agenda 21). Enfaticamente, o documento atesta:

“Como muitos dos problemas e soluções tratados na Agenda 21 têm suas raízes nas atividades locais, a participação e cooperação das autoridades locais será um fator determinante na realização de seus objetivos” (capítulo 28, Agenda 21, p.381).

O intuito de promover cidades mais adequadas, bem como a preocupação com questões climáticas e ambientais passaram a ser considerados em diversas pautas intergovernamentais e acadêmicas. Em 2012, a Conferência da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio+20, teve como propósito formular metas de desenvolvimento sustentável tratando, em um de seus eixos temáticos, sobre os meios de tornar as cidades mais sustentáveis, causando menor impacto ao meio ambiente (Veiga, 2008).

Por ocasião do septuagésimo aniversário da ONU, em setembro de 2015, os chefes de Estado reuniram-se a fim de deliberar sobre os novos objetivos para o desenvolvimento sustentável mundial (ONU, 2015). Desse encontro, surgiu uma resolução composta por 169 metas integradas em 17 objetivos (Figura 01). Os países assinantes estabeleceram o compromisso de se empenhar para a implementação de tal série de objetivos até o ano de 2030, motivo pelo qual esta resolução ficou conhecida como “Agenda 2030” (ONU, 2015).

Figura 01: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU, 2015

Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), bem como as 169 metas contidos na Agenda 2030, são integrados e indivisíveis, permeando as três dimensões da sustentabilidade, a saber: ambiental, econômica e social. Tais objetivos consistem em: acabar com a pobreza e com a fome; assegurar vida sustentável e promover bem-estar; assegurar educação inclusiva e equitativa; alcançar igualdade de gênero; assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água; assegurar acesso confiável e justo à energia; promover crescimento econômico sustentado; promover industrialização inclusiva e sustentável; reduzir a desigualdade; tornar as cidades sustentáveis; assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis; tomar medidas para combater as mudanças do clima; conservar e usar sustentavelmente os oceanos; proteger a vida terrestre; bem como fortalecer os meios para garantir paz e justiça (ONU, 2015).

Martínez *et al.* (2020) ressaltam que as metas propostas, trabalhadas a partir de políticas públicas, buscam fortalecer as relações entre os espaços urbanos e rurais, reduzindo os impactos negativos no que tange à qualidade do ar e à mudança climática, a fim de consolidar a cidade sustentável. Sendo assim, este capítulo versa sobre questões concernentes ao estudo das ilhas de calor dentro da ótica da sustentabilidade urbana, buscando analisar de maneira conceitual os ODS que norteiam as diretrizes para gestão ambiental e urbana segundo a ótica do conforto térmico nas cidades. Em uma análise da Agenda 2030, cabe destacar o Objetivo - 11, que versa sobre cidades e comunidades sustentáveis. Entre as metas estabelecidas nessa sessão observa-se, ademais, a preocupação com a qualidade do ar, com os espaços verdes e com o equilíbrio entre espaços urbanos e periurbanos. No que tange especificamente ao clima nos assentamentos humanos, pode-se destacar a meta 11.b, que reza:

Até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, **mitigação e adaptação à mudança do clima**, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015- 2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis (ONU, 2015, p.33). Grifo nosso.

Inferre-se, dessa meta, que o clima apresenta papel fundamental na dinâmica urbana e não pode ser tratado separadamente das atividades humanas. Em meio aos aspectos do clima urbano, as ilhas de calor, independentemente de sua natureza, estão, de longe, entre os fenômenos mais estudados, como se

depreende da vasta quantidade de material que discorre sobre o tema. A morfologia urbana, somada a outras particularidades, atua na remodelação da dinâmica natural, surgindo manifestações climáticas que incidem nas zonas urbanas. Dentre os vários conceitos para “ilhas de calor”, pode-se dizer que são formadas quando há o resfriamento mais lento da cidade em relação a áreas com baixa densidade, consequência da diferença do tempo de absorção da energia solar no ambiente urbano (Fialho, 2012). Segundo Martínez *et al.* (2020), as ilhas de calor influenciam o território sob os aspectos de biodiversidade, saúde, economia e condições climáticas. Medidas mitigadoras do clima urbano impõem-se, portanto, como um imperativo para a própria sobrevivência das populações humanas.

Entre essas medidas mitigadoras, Martínez *et al.* (2020) destacam a importância da manutenção das áreas verdes dentro do perímetro urbano, visto seu potencial de amenização de temperaturas por meio do resfriamento evaporativo. Aliado a isso, a vegetação absorve elementos presentes na atmosfera e permite maior infiltração da água pluvial no solo, diminuindo os riscos de assoreamento e desastres. A agenda 2030, em sua meta 11.7, traduz a importância desses espaços ao mencionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes. A preocupação com a qualidade do ar também é pautada pela meta 11.6, ao estabelecer a redução do impacto ambiental negativo das cidades, prestando especial atenção à qualidade do ar.

2.3 ILHAS DE CALOR

Ilha de calor é um termo comumente utilizado para descrever o desequilíbrio térmico entre as áreas urbanas e rurais, ocasionado, sobretudo, pelas mudanças de uso e ocupação do solo. Segundo Gartland (2010), o fenômeno das ilhas de calor é considerado um “oásis inverso”, visto que as temperaturas são mais quentes que o entorno. Isso acontece em virtude de muitos materiais de construção absorverem e reterem mais calor, quando comparados aos materiais naturais. Tal aquecimento é decorrente principalmente da característica impermeável desses materiais de construção, ao passo que também são estanques, tornando indisponível a umidade capaz de dissipar o calor do sol. Outra peculiaridade que favorece a formação desse fenômeno é a combinação de cores escuras com a disposição dos edifícios que absorvem e armazenam mais energia solar.

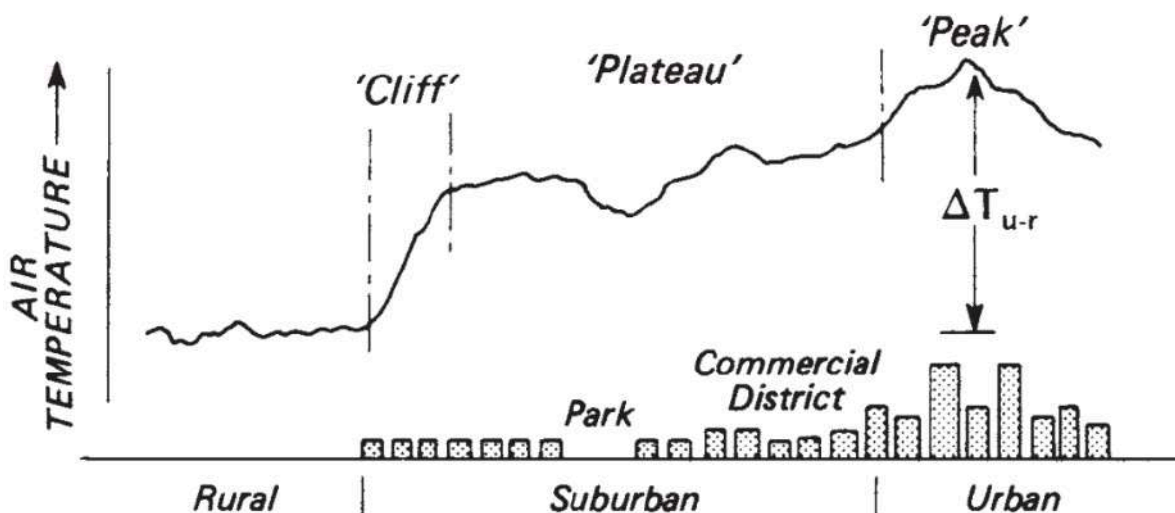
“A temperatura de superfícies escuras e secas pode chegar a 88°C durante o dia, ao passo que superfícies com vegetação e solo úmido sob as mesmas condições chegam a atingir apenas 18°C” (Gartland, 2010, p. 10).

Na literatura há uma variedade de definições referentes ao fenômeno descrito como ilha de calor. Dentre elas, Fialho (2012) afirma que tal conceito carrega inúmeras incertezas, por não existir um critério claro para sua definição, visto que a diferenciação da temperatura não é suficiente para afirmar a existência de uma ilha de calor. Assim, para o autor, a terminologia mais adequada para o fenômeno seria “núcleo de calor”, relacionando-se às atividades humanas desenvolvidas sobre a superfície e como elas repercutem na troposfera. Para Castelhana (2020), é pertinente a analogia que se faz a porções de terra circundadas por água. Assim, entende-se por ilha de calor uma região com temperaturas altas cercadas de áreas mais frias, consequência da diferença do balanço térmico nas cidades.

Segundo Oke (1987), as principais causas das ilhas de calor estão relacionadas à geometria urbana que dinamiza o aumento da absorção da radiação solar, à poluição do ar presente na cidade, à emissão de calor devido a fatores antropogênicos e à diminuição do resfriamento evaporativo, produto da redução da cobertura vegetal presente no solo urbano. Assim, o ar na área urbana será, geralmente, mais quente que o da periferia, tendo proporções variáveis de acordo com as características meteorológicas, locais e urbanas. Na figura 02 pode-se

perceber a variação da temperatura característica do ar em uma comparação do centro com a cidade.

Figura 02: Esquema hipotético da ilha de calor.



Fonte: Oke (1987).

Visto que as características das ilhas de calor urbana podem variar dependendo das condições climáticas e geográficas de cada região, estas são tratadas, nas cidades tropicais, como uma problemática que gera impactos efetivos de diversos tipos, tais como: o favorecimento de nebulosidade e aumento da precipitação; desconforto térmico causado pelas temperaturas mais elevadas; surgimento de enfermidades respiratórias ou fornecendo o ambiente ideal para proliferação de vetores de doenças; e prejuízos econômicos gerados pela maior demanda de energia, principalmente em decorrência da maior utilização de equipamentos de refrigeração de ar (Correa *et al.*, 2022).

Depreende-se desse contexto que compreender as características e os mecanismos das ilhas de calor em ambiente urbano se torna essencial para o desenvolvimento de estratégias de planejamento sustentável e mitigar os impactos negativos associados a esse fenômeno. A formação das ilhas de calor tem grande relação com as áreas urbanizadas, visto as alterações significativas no clima ocasionadas pela mudança do balanço de energia, que ocorre sobretudo pela utilização de materiais com baixo albedo (“fração de radiação solar refletida por uma superfície ou objeto, expressada em porcentagem” (IPAM, [s.d])). Essas áreas, com

maior adensamento de construções, apresentam maior inércia térmica, acarretando maior conservação de calor durante o dia, o qual será liberado durante a noite. Em comparação, as áreas rurais possuem menor inércia térmica. Assim, torna-se clara as diferenças entre os dois ambientes (Andrade, 2008). Atrelados às características dos materiais, o calor antropogênico, as menores velocidades do vento e a poluição urbana também favorecem a formação de ilhas de calor, pois, a interação desses fatores favorece a retenção do calor e o retardamento de sua liberação, o que resulta no aumento da temperatura (Stariolo, 2023).

Essa diferença de temperatura entre os ambientes também é chamada de força ou intensidade da ilha de calor e é utilizada para medir o seu efeito. Tal intensidade varia ao longo do dia, sendo mais perceptível durante a noite, quando as superfícies liberam calor e diminuem o arrefecimento (Gartland, 2010). Conforme Andrade (2008), o fenômeno das ilhas de calor é mais perceptível no período noturno, já que durante o dia todas as superfícies são expostas de maneira semelhante à radiação solar. Assim, durante a noite, os materiais das áreas urbanas que retiveram o calor absorvido ao longo do dia, começam a liberá-lo, ocasionando temperaturas mais elevadas, quando comparadas com as áreas rurais, nas quais o resfriamento é mais rápido.

Devido ao intenso armazenamento de calor, as ilhas de calor apresentam diversas consequências para a população, visto que contribuem para o desconforto térmico, para problemas de saúde, para o aumento da poluição e para o aumento da demanda de energia, com a utilização de equipamentos de resfriamento ativo (Gartland, 2010). Oliveira e Salles (2020) também corroboram que as ilhas de calor acarretam uma série de impactos negativos nas áreas urbanas, incluindo o aumento do consumo de energia para resfriamento, o aumento do risco de eventos climáticos extremos, a degradação da qualidade do ar e a redução do conforto térmico dos habitantes. Além disso, o clima urbano é modificado, com a formação de microclimas que podem afetar a saúde, o bem estar e a qualidade de vida das pessoas.

Conforme Gartland (2010), as ilhas de calor apresentam cinco características comuns:

1. Quando comparadas às áreas rurais, as ilhas de calor são mais quentes e podem apresentar padrões de comportamento distintos.

Estas são geralmente mais quentes após o pôr do sol e mais frescas após o amanhecer.

2. As temperaturas são consequência do aquecimento das superfícies urbanas, as quais absorvem mais calor que a vegetação.
3. As diferenças nas temperaturas do ar e na superfície são realçadas quando o dia está calmo e claro.
4. As ilhas tendem a ser mais intensas conforme o crescimento das cidades e a supressão de vegetação;
5. Ilhas de calor apresentam uma camada de ar mais quente até 2.000 m de altura, criando uma coluna de ar mais quente sobre a cidade.

A primeira vez em que o calor urbano foi detectado se deu em 1818 em Londres, quando Luke Howard conseguiu detectar um excesso de calor na cidade. Em momentos posteriores, descobertas similares foram feitas em outras cidades, como em Paris, no século XIX, e nos Estados Unidos, no século XX (Gartland, 2010).

Pesquisas têm mostrado que não são apenas as cidades de grande vulto que manifestam tal fenômeno. Cidades de pequeno e médio porte também geram ilhas, cujas magnitudes podem ser semelhantes às das grandes cidades. Estudos como o de Silva e Ferreira (2023), Amorim (2015) são exemplos de pesquisas que colocam em evidência as cidades menores.

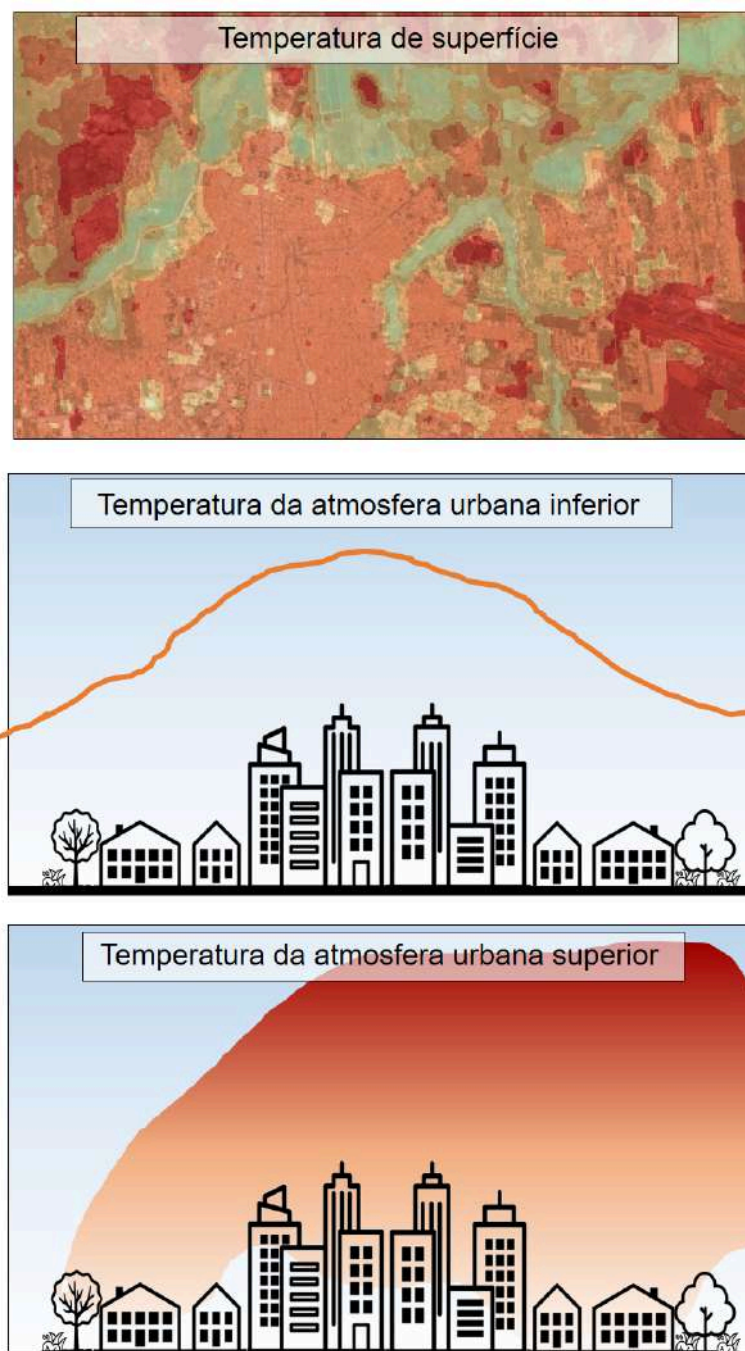
Estudos sobre ilhas de calor em cidades brasileiras tem ganhado merecido destaque, devido às diversas causas e efeitos que o fenômeno pode acarretar, tendo como exemplo o intenso desconforto térmico, principalmente quando se trata de um país com características climáticas quente e úmida na maior parte do ano (Andrade, 2008).

2.3.1 Tipos de ilhas de calor

A propósito de sua natureza e espaço de influência, os fenômenos denominados “ilhas de calor” podem receber classificações distintas. Os estudos paradigmáticos no que se refere a essa distinção de categorias foram realizados por

Timothy Richard Oke, nas suas obras “*boundary layers climate*”, de 1978, e “*complete urban surfaces*”, de 1997, esta última em parceria com James Voogt. Em resumo, considera-se que há três tipos básicos de ilhas de calor, os quais são: ilha de calor superficial; ilha de calor da atmosfera urbana inferior e ilha de calor da atmosfera urbana superior. A figura 03 ilustra esses conceitos.

Figura 03: Tipos de ilhas de calor



Fonte: Oke (1978), adaptado pela autora, 2024.

As ilhas de calor do tipo atmosférica indicam as modificações de certos parâmetros da camada basal da troposfera (Fialho, 2012). Fialho (2012) também aponta que essa categoria tende a se tornar intensa durante o período noturno, citando estudos que indicam sua ocorrência entre 3 a 5 horas depois do pôr-do-sol.

Para se fazer a distinção entre os tipos de ilhas de calor atmosférica, é necessário entender a estratificação vertical da atmosfera urbana. Andrade (2008), adotou a divisão vertical já estabelecida por Oke (1978). Nesse modelo, existem basicamente duas camadas na atmosfera imediata das áreas urbanas, que denominam o seu respectivo tipo de ilha de calor. A chamada *Urban canopy layer* (UCL), ou atmosfera urbana inferior, compreende o volume de ar existente entre a massa edificada e o seu topo. E contrapartida, a *Urban Boundary Layer* (UBL), ou atmosfera urbana superior, integra a influência térmica de toda a cidade, podendo estender-se para sotavento da área urbana (Andrade, 2008), exercendo sua influência em mesoescala, a aproximadamente 2 km de extensão. Sua aferição, a grosso modo, é realizada a partir da medição das temperaturas do ar nas respectivas camadas.

As ilhas de calor superficiais, como se pode inferir da nomenclatura, estão ligadas às temperaturas de superfície da malha urbana, mais especificamente, das superfícies de telhados e das copas de outros objetos (Fialho, 2012). São essas temperaturas que são passíveis de aferição a partir do sensoriamento remoto, por meio do qual pode-se investigar questões relacionadas ao comportamento das temperaturas de superfície e sua magnitude (Estêvão, 2016).

2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

De uma maneira sintética, pode-se dizer que o sensoriamento remoto comporta um conjunto de ferramentas e técnicas que podem ser utilizadas para a obtenção de informações acerca da superfície terrestre, sem que haja interação direta. Segundo Moraes (2002), o sensoriamento remoto envolve a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética que é emitida ou refletida pelos corpos da superfície terrestre e que são captadas remotamente através de sensores. Comumente, o sensoriamento remoto é realizado por meio de satélites.

Os satélites que orbitam o planeta são dotados de lentes capazes de cobrir vários comprimentos de onda, a uma altitude de, por exemplo, 822 quilômetros da superfície terrestre (Liu, 2006). A capacidade dos satélites de perceber corpos

pequenos em uma altitude tão colossal está intimamente relacionada à temperatura dos objetos analisados. Moraes (2002) afirma que todo corpo com temperatura acima de 0 Kelvin, ou seja, maior do que o zero grau absoluto, se converte em fonte de energia eletromagnética. Portanto, tudo acima de tal temperatura é passível de ser detectado remotamente.

O sensoriamento remoto tem como premissa básica que cada objeto alvo do sensoriamento reflete e emite energia eletromagnética de maneira única (Gomes; Cubas, 2021). É essa singularidade que permite fazer distinção entre os objetos estudados. A energia eletromagnética é difundida em oscilações sob a forma de ondas, e a distância entre os intervalos dessas ondas é o que se denomina comprimento de onda.

Os comprimentos de onda são mensurados por meio de submúltiplos do metro, como o micrômetro (μm), cuja unidade corresponde a 10^{-6} m e o nanômetro (nm) que equivale a 10^{-9} m. O número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado intervalo de tempo é o que define a chamada “frequência da radiação” (Moraes, 2002). A unidade de medida que define a frequência é o Hertz (Hz), que corresponde ao número de ciclos por segundo que perfazem as oscilações.

De acordo com os comprimentos de onda, a energia eletromagnética pode ser agrupada em diferentes faixas, às quais são dadas a denominação “faixa espectral”. Essas faixas podem englobar diferentes tipos de radiação, como raios X, ultravioleta, luz visível e infravermelho, sendo que a faixa espectral mais utilizada em sensoriamento remoto estende-se de $0,3 \mu\text{m}$ a $15 \mu\text{m}$ (Moraes, 2002). Moraes (2002) também aponta com destaque dois tipos de espectro: o espectro solar, que abrange os tipos de energia emitidos pelo sol e o espectro termal, que trata da energia emitida pelos corpos terrestres, visto que sensoriamento remoto pode detectar ambas.

No que se refere aos sensores em si, pode-se dizer que são classificados em dois tipos: sensores ativos e sensores passivos. Os sensores ativos têm a propriedade de emitir radiação para a área da superfície terrestre (Gomes; Cubas, 2021). Essa radiação, ao tocar nos corpos, é refletida de volta ao sensor, que gera imagens com base na resposta a essa reflectância. Já os sensores passivos não possuem essa capacidade, captando a radiação solar emitida ou refletida pelo alvo. Na primeira categoria estão os radares imageadores, altimétricos e escaterômetros.

Na segunda constam os espectrômetros, espectrorradiômetros e os radiômetros (Gomes; Cubas, 2021).

Os componentes de um sensor são constituídos de alguns elementos básicos (INPE, s/d): o coletor recebe a energia através de lentes ou afins; o detector capta a energia associada a determinada faixa espectral; o processador transforma o sinal registrado em produto, que nada mais é do que a informação necessária ao usuário, geralmente imagética.

Conforme pode-se ver na figura 04, após a captação da energia refletida ou emitida pelos corpos, o satélite transmite os dados para estações de recepção, que por sua vez as disponibilizam para uso em vários campos do conhecimento, como topografia e geoestatística (Gomes; Cubas, 2021). Apenas sensores que captam energia eletromagnética são considerados como parte do que se denomina “sensoriamento remoto”. Entretanto, este não é o único meio de obtenção de dados. Os sensores orbitais são, sim, poderosos instrumentos, porém é possível obter imagens através de fotografias aéreas obtidas em aviões ou aeronaves pilotadas remotamente (Gomes; Cubas, 2021). Estes são utilizados principalmente em áreas mais localizadas.

Figura 04: Princípios físicos do SR



Fonte: Gomes e Cubas, 2021.

A qualidade do produto depende bastante do objeto a ser mensurado. Todo ponto imageado pelos sensores é correspondente a uma área mínima denominada "pixel" geograficamente identificado (INPE, [s/d]). O tamanho do pixel é o que define a chamada resolução espacial do sensor. A respeito da resolução espacial, afirma Moraes (2002):

A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. A resolução espacial depende principalmente do detector, da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto. Para um dado nível de posicionamento do sensor, quanto menor for a resolução geométrica deste maior será o grau de distinção entre objetos próximos (Moraes, 2002, p. 19).

Depreende-se, portanto, que o tamanho do pixel é o que determina o menor tamanho passível de ser captado por determinado sensor (Gomes; Cubas, 2021). Nenhum alvo de tamanho inferior ao pixel poderá ser distinguido no produto final. Logo, quanto menor for o pixel, maior é a quantidade de objetos que a imagem pode conceber e maior será a resolução espacial.

A utilização do sensoriamento remoto feito por satélites se mostra extremamente vantajosa por uma série de fatores. Cabe citar que esse método permite a aquisição de dados em cortes temporais e espaciais previsíveis, visto que o percurso orbital deles se dá de maneira periódica. Moraes (2002) também aponta para a efetividade do sensoriamento orbital em garantir um melhor monitoramento dos recursos naturais em parcelas consideráveis da superfície do planeta.

Ademais, existe uma miríade de aplicações práticas para dados de sensoriamento remoto. Liu (2006) cita alguns deles, que compreendem monitoramento dos recursos naturais, precipitação, clima, usos do solo, pastagens, coberturas vegetais, focos de queimadas, erosão dos solos, entre outros. Tais dados podem ser cruciais para análises, tomadas de decisões e gerenciamentos de crise, visto que podem possuir caráter preditivo, evidenciando tendências através da apresentação de dados em recortes temporais.

O uso de técnicas pertinentes ao sensoriamento remoto e geoprocessamento auxiliam na interpretação e monitoramento dos fenômenos climáticos nas áreas urbanas, principalmente no estudo das ilhas de calor. Através delas, é possível compreender os elementos da superfície urbana que contribuem no aumento ou na redução da carga térmica. Aliado a isso, é possível estudar como esses núcleos de calor podem comportar-se a longo prazo ao comparar imagens de diferentes

períodos. Desse modo, é possível identificar padrões ou variações no comportamento do fenômeno (Miranda, 2018).

A partir das técnicas de processamento dos dados tornam-se factíveis através da identificação das variáveis espaciais que produzem efeitos positivos ou negativos no balanço energético da cidade e a partir destas informações geram-se representações realistas dos processos espaço-temporais dos núcleos de sobreaquecimento, tendo como produto uma simulação numérica de processos dependentes do tempo e fornecendo informações detalhadas que embasem a construção de recomendações que possam ser incorporadas no planejamento urbano.

Em suma, o sensoriamento remoto se converte em uma ferramenta de profunda utilidade para inúmeras tarefas humanas, englobando várias áreas do conhecimento, sendo capaz de fornecer dados imagéticos nos mais diversos pontos do globo terrestre. A demanda cada vez mais urgente por um monitoramento mais preciso e frequente acerca das mudanças climáticas encontra no sensoriamento remoto um poderoso aliado, visto que grande parte de suas consequências podem ser mensuradas em recortes bastante precisos. A precisão e frequência dos recortes estão atreladas aos tipos de satélites que as captam, como se verá a seguir.

2.4.1 Satélites

Os satélites são planejados e operados por meio de missões, as quais podem ser conduzidas por agências governamentais ou empresas privadas. Cada missão apresenta uma constelação de satélites que são posicionados de maneira estratégica para garantir a cobertura completa e contínua da Terra. O desenvolvimento de satélites artificiais teve início na década de 1950, com o lançamento do satélite soviético Sputnik-1, que embora representasse um avanço tecnológico, não possuía nenhum instrumento a bordo capaz de produzir imagens da Terra (Zanotta *et al.*, 2019). Na década de 1970 foi lançado o primeiro satélite de recursos terrestres, conhecido como Landsat-1, dando início ao sensoriamento remoto moderno (Florenzano, 2008; Zanotta *et al.*, 2019). Visto o potencial de observação periódica de grandes áreas da superfície terrestre, alguns países passaram a contar com programas espaciais e lançamentos de satélites, estimando-se mais de 4000 satélites orbitando a Terra. Tais satélites de

monitoramento dinamizam os estudos de diferentes áreas com ampliação de informações acerca do território, sendo essenciais para auxiliar em tomadas de decisão (Embrapa Territorial, 2018).

O GPS, missão norte-americana, também foi criado na década de 1970 e é utilizado para navegação e aquisição de medidas precisas de localização geográfica. Foi desenvolvido e é mantido em órbita pelo Departamento de Defesa do Governo dos Estados Unidos, sendo inicialmente de uso militar e aberto para uso civil na década de 80. O sistema é dividido em três segmentos: 1- Segmento Espacial, o qual é constituído por pelo menos 24 satélites que realizam duas órbitas circulares diárias ao redor da Terra, sendo dispostos em seis planos orbitais diferentes; 2 - Segmento de Controle, formado pelos centros de controle em terra com a função de monitorar a órbita e sincronia dos satélites; 3 - Segmento Usuário, que compreende a antena que capta os sinais enviados e o receptor que decodifica os sinais em diferentes canais (Embrapa Territorial, 2018).

A constelação de satélites russa GLONASS (GLObal NAVigational Satellite System) começou a ser desenvolvida em 1976, sendo concluída em 1995. Tal constelação é composta por 24 satélites posicionados de forma equidistante e seu principal objetivo é determinar a localização de objetos a partir da medição e comparação com coordenadas conhecidas. Em 2011, sua cobertura global tornou-se completa, passando a ser um sistema alternativo ao GPS (Global Positioning System) americano (Embrapa Territorial, 2018).

O Brasil também possui um programa espacial, que conta atualmente com uma única série de satélites, o China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS), desenvolvido em parceria com a China, tendo o primeiro satélite colocado em órbita em 1999. A série é dedicada ao monitoramento ambiental e projetos de mapeamento do uso da terra, tendo suas imagens distribuídas gratuitamente (Zanotta *et al.*, 2019).

2.4.1.1 Landsat

A série LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite) iniciou na década de 60 e é uma das mais importantes missões do sensoriamento remoto no mundo, sendo gerenciada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela USGS (U. S. Geological Survey). Desde o lançamento do primeiro satélite, em 1972,

vários outros foram lançados com diferentes tecnologias, sendo fundamentais para o monitoramento da Terra, no que tange à observação dos recursos naturais (Embrapa, *s/d*).

Ao todo, já foram lançados 9 satélites. Os três primeiros levaram a bordo dois instrumentos: as câmeras RBV (Return Beam Vidicon) e MSS (Multispectral Scanner System). Os satélites 4 e 5, além do MSS, passaram a operar também com o sensor TM (Thematic Mapper). Já o landsat 6 não conseguiu entrar em órbita devido à falhas no lançamento. Então, em 1999, o sensor ETM que estaria a bordo do satélite 6 foi aprimorado e lançado no satélite 7. Tal instrumento ampliou as possibilidades de estudo, oferecendo mais eficiência e melhor acurácia. Em 2013 foi lançado o satélite 8, operando com os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), e mais recentemente, em 2021 foi lançado o Landsat 9, continuando o programa de monitoramento terrestre (Embrapa, *s/d*).

Uma característica fundamental da série de satélites Landsat é sua constância, sendo lançados regularmente para garantir a coleta de dados ao longo das décadas e seus dados são disponibilizados gratuitamente pelo USGS. Assim, com a continuidade e qualidade dos dados, a ferramenta é fundamental e possibilita realizar análises comparativas ao longo do tempo, possibilitando estudos sobre ocupação do solo, cobertura vegetal, expansão urbana, além de outros processos de monitoramento ambiental (Embrapa, *s/d*).

Considerando o universo temporal desta pesquisa, utilizou-se os dados referentes aos satélites Landsat 5 e 8. Assim, é fundamental a compreensão desses, por permitirem a análise das ilhas de calor através da obtenção de informações valiosas sobre o fenômeno. Ambos os satélites possuem bandas espectrais adequadas para estudar as variações de temperatura da superfície terrestre. Com o sensor térmico presente nesses satélites permite medir a radiação térmica emitida pelas superfícies. Através da banda infravermelha e do sensor térmico é possível obter informações sobre o albedo e identificar as áreas de absorção.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa é de natureza aplicada, uma vez que tem como objetivo investigar a ocorrência das ilhas de calor de superfície em uma área específica e aplicar esse conhecimento para a compreensão e melhoria do clima urbano no municípios que compõem a área conhecida por Crajubar, composto pelos municípios brasileiros de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. Pois, para os autores Fleury e Werlang [s. d], a pesquisa aplicada tem como objetivo gerar conhecimento para aplicação prática e imediata, com o intuito de resolver problemas de interesses específicos.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é de cunho descritivo e exploratório. Segundo Gil (2008) o método descritivo busca a definição de características de determinado fenômeno, sendo capaz de analisar o comportamento das variáveis, bem como permitir novas ponderações sobre o assunto, enquanto o exploratório proporciona familiaridade com o problema, podendo envolver pesquisas bibliográficas e estudo de caso. Nesse sentido, o trabalho pretende identificar e caracterizar as ilhas de calor nos municípios supracitados nos períodos de 2013, 2018 e 2023, utilizando imagens de satélite e dados climáticos disponíveis em bases de dados governamentais e institucionais, bem como identificar os fatores que podem influenciá-las, como uso e ocupação do solo e presença de vegetação.

Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa utilizará como principal abordagem o estudo de caso, que conforme Gil (2008) trata-se de uma abordagem a qual permite aprofundar a compreensão de um ou poucos objetos, de maneira que permita o amplo e detalhado conhecimento. Nesse caso, o presente estudo permite a análise comparativa das ilhas de calor nos municípios e períodos mencionados.

3.1 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Amorim (2015) o ambiente tropical naturalmente apresenta situações de estresse térmico, e além do interesse científico da climatologia urbana alusiva à compreensão da dinâmica desta anomalia (ilhas de calor de temperatura do ar ou da superfície), a variável social entra em questão, na medida em que acarreta inconvenientes de caráter coletivo e individual, minimizando consideravelmente as condições de bem estar vivenciadas nas áreas urbanas.

Nesse sentido, o semiárido nordestino é caracterizado por apresentar variações climáticas únicas, marcada por períodos sazonais de seca, os quais podem variar de 6 a 8 meses, ou até mais de um ano, bem como irregularidades pluviométricas, variando entre 300 a 800 mm anualmente. Aliado a isso as temperaturas são consideradas estáveis, com variação de 24 a 26°C, embora em locais de maior altitude essa média seja reduzida para 22°C (Araújo Filho *et al.*, 2019).

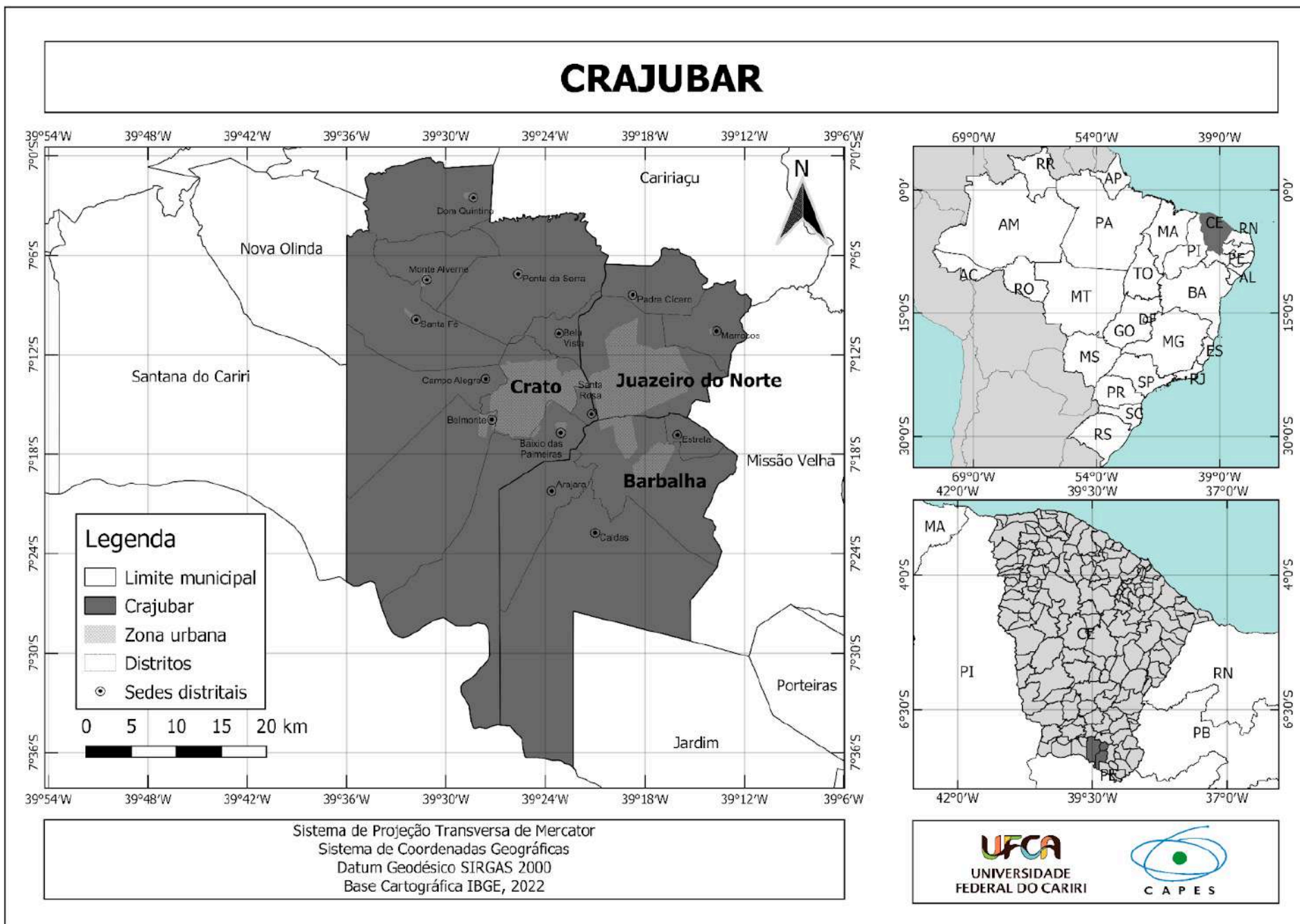
Diante desse cenário, selecionou-se como recorte espacial as cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha (Crajobar), que localizam-se no sul do estado do Ceará, na Região Metropolitana do Cariri (Lei Complementar nº 78/2009). A região é composta por nove municípios: Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Jardim, Missão Velha, Caririaçu, Farias Brito, Nova Olinda e Santana do Cariri. Esse núcleo urbano dista aproximadamente 600 km da capital Fortaleza, sendo considerado a segunda região urbana mais expressiva do estado (Ceará, s.d.).

A escolha dessa área de estudo está diretamente relacionada à dinâmica urbana presente nos referidos municípios, representada pelo intenso fluxo de pessoas, mercadorias e serviços. Tais elementos, juntamente com o processo de urbanização, proporcionam a geração de um clima urbano e de ilhas de calor, além de ter representado uma taxa de crescimento populacional anual de 1,19%. Atualmente, apresenta área de aproximadamente 2.000 km² e população de 492.203 pessoas, com densidade demográfica de 245,48 hab/km² (IBGE, 2023).

Apesar de o Crajobar ter seu território inserido no contexto climático do semiárido, apresenta algumas particularidades. Este se encontra próximo à FLONA (Floresta Nacional do Araripe), uma importante Unidade de Conservação, a qual apresenta vasta biodiversidade, além de contar com recursos hídricos devido à presença de rochas sedimentares (Araújo *et al.*, 2021).

No Crajobar, o clima predominante é o tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando, com temperaturas médias que variam entre 24°C e 26°C. Com relação aos índices pluviométricos, Juazeiro do Norte e Crato apresentam concentração entre os meses de janeiro a maio, com médias anuais de 925,1 mm e 1090,9 mm respectivamente. Barbalha apresenta média de pluviosidade um pouco maior, 1153 mm, concentrada entre os meses de janeiro a abril (IPECE, 2017).

Mapa 1: Localização do Crajubar



Fonte: IBGE (2022). Elaboração: autora (2024).

3.2 PROCEDIMENTOS E COLETA DE DADOS

3.2.1 Período de estudo

A investigação foi dividida em dois períodos definidos como o mês com a menor e com a maior temperatura segundo a normal climatológica do Brasil, medidas na estação meteorológica de Barbalha, no período de 1991 a 2020, fornecido pelo INMET.

Gráfico 1: Temperaturas médias mensais conforme normal climatológica



Fonte: INMET, 2022, elaborado pela autora, 2024

Com base nas informações fornecidas pela normal climatológica, foi escolhido o mês de julho (inverno) para representar o primeiro semestre, cujo valor da temperatura foi de 24,6°C, sendo o menor valor para o ano. Já para representar o segundo semestre, escolheu-se a estação quente (fim do Outono), em que os meses de outubro e novembro registraram valores iguais de 27,8°, sendo os valores máximos anuais. São meses de maior incidência solar e menores taxas de precipitação.

3.2.2 Obtenção de imagens

A coleta dos dados foi realizada por meio de imagens de satélite Landsat 8, na órbita ponto 217/065, obtidas gratuitamente no *site* do serviço geológico dos Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), as quais apresentam uma resolução espacial adequada para analisar o fenômeno na escala pretendida.

A fim de se obterem dados mais fidedignos e sem uma significativa interferência de nuvens (principalmente na zona urbana), foram utilizadas imagens de meses diferentes para o segundo semestre. Assim, para o ano de 2013 foi escolhida uma imagem de setembro, e para os anos de 2018 e 2023, imagens de outubro. As datas em que as imagens foram capturadas não distaram muito entre si, visto que a imagem de 2013 data de 19 de setembro, a de 2018 é do dia 3 de outubro e a de 2023 é do dia 1 de outubro, conforme pode ser observado no quadro 1.

Quadro 1: Imagens de satélite utilizadas

ANO	SATÉLITE	DATA	HORA (UTC 0)
2013	Landsat 8	01 / 07	12:49
		19 / 09	12:49
2018	Landsat 8	15 / 07	12:46
		03 / 10	12:47
2023	Landsat 8	29 / 07	12:47
		01 / 10	12:47

Fonte: USGS. Elaboração: autora, 2024.

Para obtenção dos dados vetoriais relativos às informações sociais e ambientais, serão empregados conjuntos e informações provenientes de órgãos como a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), IPECE (Instituto de Pesquisa e Estatística Econômica do Ceará) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Para os dados de natureza alfanumérica, serão extraídos registros de entidades como CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A análise e processamento dos dados foi realizada por meio de técnicas de processamento de imagens e análise espacial, permitindo a identificação e

caracterização das ilhas de calor. Foi utilizado para a análise e interpretação dos dados o *software* QGIS, na versão 3.10.

3.2.3 Cálculo da LST

Anteriormente à obtenção da temperatura, os arquivos baixados precisam ser convertidos de números digitais (Qcal) em bytes para valores de radiância da atmosfera (L_λ) em $W/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$.

Para bandas térmicas do Landsat 8 e 9 (Banda 10 e Banda 11), e demais bandas:

$$L_\lambda = ML * Qcal + AL$$

Onde: Qcal é o valor de pixel calibrado quantizado em DN; ML é o fator de escala multiplicativa de radiância para a banda correspondente; AL, é o fator de escala aditivo de radiância para a banda correspondente. Aqui Qcal é o valor de pixel individual; valores ML e AL para as bandas individuais podem ser encontrados no arquivo de metadados (MTL) fornecido com os dados brutos.

A representação numérica digital dos sinais recebidos pelos sensores térmicos a bordo é convertida para a reflectância superior da atmosfera (R) (sem unidade) usando as seguintes equações para o cálculo da reflectância do topo da atmosfera.

Para a banda vermelha do Landsat 8 (Banda 4) e banda NIR (Banda 5):

$$R_\lambda = MR * QCal + AR$$

Onde: Qcal é o valor de pixel calibrado quantizado em DN; MR é o fator de escala multiplicativa de reflectância para a banda correspondente; AR é o fator de escala aditivo de reflectância para a banda correspondente. Aqui Qcal é o valor de pixel individual. Os valores de MR, AR para as bandas individuais podem ser encontrados no arquivo de metadados fornecido com os dados brutos.

Para a estimativa da temperatura de brilho no satélite foi utilizado o método proposto por Chander *et al.* (2009), o qual utiliza a seguinte expressão:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Onde: T refere-se à temperatura efetiva de brilho no satélite em Kelvin, K1 (Watts/(m²·srad·µm)) e K2 (Kelvin) são as constantes de calibração e L_λ é a radiância espectral. Os valores das constantes (K1 e K2) estão presentes no Quadro 2, uma vez que mudam de sensor para sensor.

Quadro 2. Constantes de calibração de bandas térmicas para satélites landsat.

SATELITE	K1 (Watts/(m ² ·srad·µm))	K2 (Kelvin)
Landsat 5 (Band6)	607.76	1260,56
Landsat 7 (Band6)	666.09	1282,71
Landsat 8 (Band10)	774,89	1321,08
Landsat 8 (Band11)	480,89	1201,14

Fonte: Chander *et al.* (2009).

Para conversão da temperatura em Kelvin para Celsius basta subtrair o valor obtido em Kelvin de 273,15.

Para obter um LST bastante confiável a partir da temperatura de brilho no satélite calculada com equação a seguir (Almeida, et al., 2021).

$$LST = (T / (1 + (\lambda * TC / \rho) * \ln(\epsilon)))$$

Onde: LST é a temperatura da superfície, com correção por emissividade (°C); T é a temperatura do brilho no sensor (°C); λ é o comprimento de onda da radiância emitida; ε é o emissividade; ρ é o que se deduz da equação.

$$\rho = h * c / \sigma = 1,438 \times 10^{-2} \text{ mk}$$

Onde: σ é a constante de Boltzmann (1,38 × 10⁻²³ J/K), h é a constante de Planck (6,626 × 10⁻³⁴ Js), e c é a velocidade da luz (2998 × 10⁸ m/s).

Para calcular o LST, apenas desconhecido é a emissividade da superfície do solo. A emissividade pode ser calculada de várias maneiras, uma alternativa fácil é obter a imagem de emissividade a partir da imagem NDVI (Sobrino *et al.*, 2004).

$$\varepsilon = 0,004 * P_v \pm 0,986$$

Onde P_v é a proporção da vegetação que é calculada como:

$$P_v = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2$$

Onde: $NDVI_{min}$ e $NDVI_{max}$ são os valores mínimos e máximos obtidos no cálculo do NDVI, respectivamente. Para isso calcula-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI foi proposto pela primeira vez por Rouse *et al.* (1974).

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$$

Onde: R_{NIR} é a reflectância da banda de satélite de infravermelho próximo e R_{RED} é a reflectância da banda de satélite vermelha. Para confecção do mapa utiliza-se as bandas referente a faixa do vermelho (banda 3 para o Landsat 5, e banda 4 para o Landsat 8) e a faixa do infravermelho próximo (banda 4 para o Landsat 5, e banda 5 para o Landsat 8).

O NDVI também servirá para a análise da vegetação. Em que Red representa a faixa do vermelho, onde a clorofila absorve a energia solar ocasionando baixa reflectância, e NIR é a faixa do infravermelho próximo, onde existe alta reflectância da energia solar. Assim, será gerado um raster com valores de pixel variando de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior a presença de vegetação, e quanto mais próximo de -1, maior a presença de solo exposto. Logo, quanto maior o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada.

Os dados serão organizados e processados levando-se em consideração a variação da temperatura entre o primeiro semestre (mês mais ameno) e o segundo semestre (mês mais quente), tendo em vista que a presença e ausência de umidade no solo e a vegetação podem influenciar na mudança de temperatura.

3.2.4 Classificação da LST

O intervalo de temperatura foi categorizado em 8 classes, conforme o **quadro 3**, com o intuito de haver apenas uma classificação tanto para o primeiro semestre, quanto para o segundo. Os valores de classe foram definidos após observação do histograma das imagens, no qual demonstram como os valores se comportam. Assim, as temperaturas começam a tornar-se representativas acima de 22°C no primeiro período, havendo pouca variação abaixo desse valor. Da mesma forma, temperaturas acima de 40°C no segundo período se mostraram bem pontuais. A distribuição em 8 classes permite observar com mais clareza a variação da temperatura ao longo dos anos analisados, pois dividir a variação de temperatura em intervalos maiores que 3°C deixaria a análise menos precisa.

Quadro 3: Categorização da LST

Classe	Intervalo Temperatura
1	<22°C
2	22-25°C
3	25-28°C
4	28-31°C
5	31-34°C
6	34-37°C
7	37-40°C
8	>40°C

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

3.2.5 Classificação do NDVI

O NDVI, por sua vez foi categorizado em 5 séries, conforme o **Quadro 4**, que correspondem à presença, ausência e mesmo densidade de massa vegetativa:

Quadro 4: Categorização do NDVI

Classe	Intervalo NDVI	Descrição
1	-1 - 0	Água
2	0 - 0,2	Sem vegetação
3	0,2 - 0,4	Vegetação escassa
4	0,4 - 0,6	Vegetação rala
5	0,6 - 1	Vegetação densa

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

3.2.6 Obtenção do uso e ocupação do solo

Para a análise do uso e ocupação do solo foram utilizados os dados do MapBiomas para os anos de 2013, 2018 e 2022 (sendo esse o último dado lançado). Para este estudo, o uso foi agrupado em 4 séries, conforme as atividades humanas exercidas em determinada parcela de território, apontando também a presença de água.

3.2.7 Reclassificação do Uso

As classes de uso e ocupação do MapBiomas foram reclassificadas em um menor número de classes, ao primeiro nível de classificação do MapBiomas utilizando a ferramenta do QGIS, reclassificar, conforme o **Quadro 5**.

Quadro 5: Reclassificação do uso e ocupação do solo

Classe	Uso
1	vegetação
2	agropecuária
3	área urbanizada
4	água

Fonte: MapBiomas. Elaboração: autora, 2024.

4 PANORAMA GERAL DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE

Nos tópicos em sequência serão apontados os resultados obtidos pelo processamento das imagens para os anos de 2013, 2018 e 2023, em cada município da região estudada. A fim de que os dados sejam compreendidos de maneira mais clara e objetiva, fez-se necessária uma análise segmentada em tópicos individuais para cada unidade municipal, apresentando um panorama geral dos seus territórios e ampliações com enfoque nas respectivas zonas urbanas, inclusive com divisão de bairros.

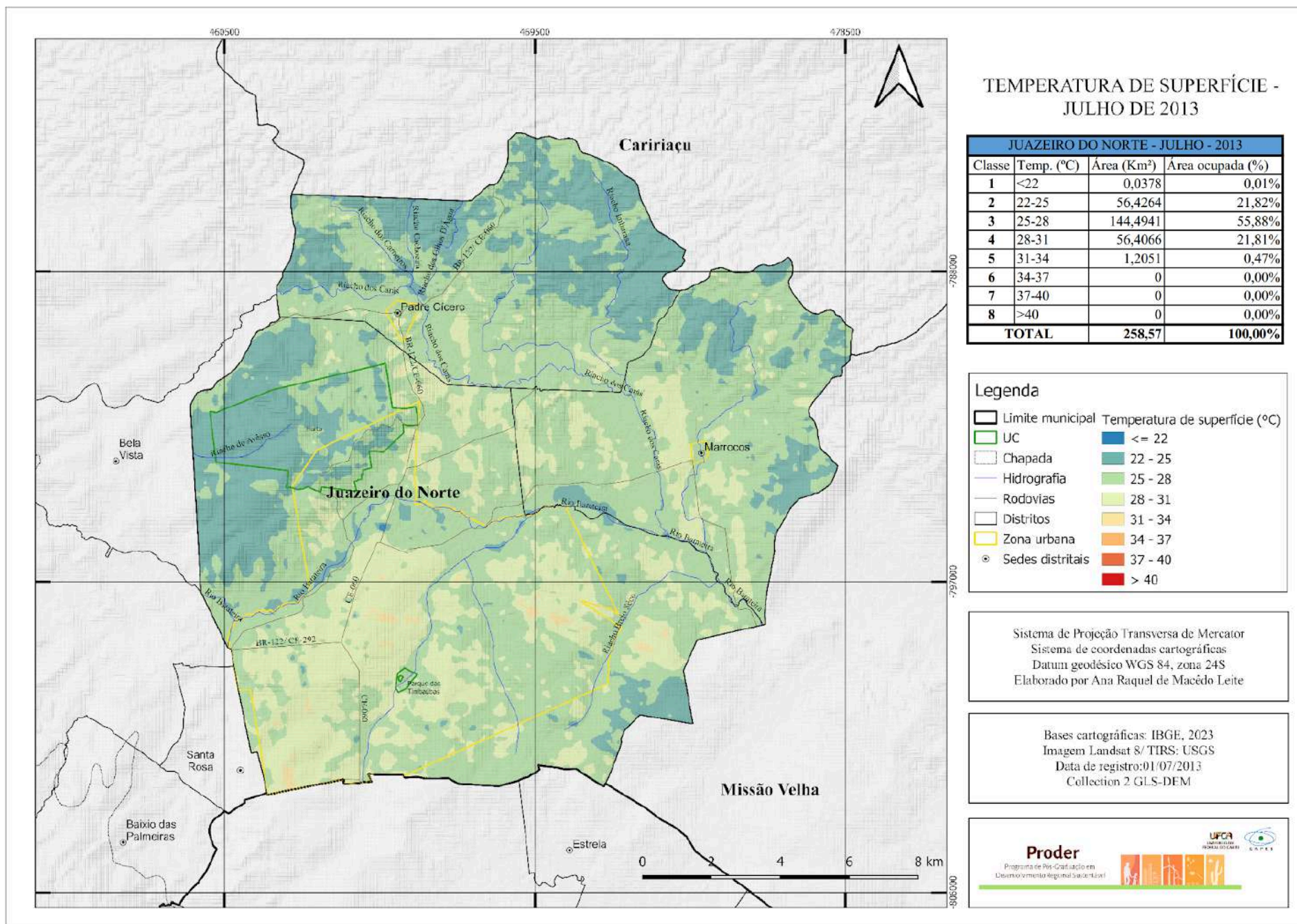
No que concerne às temperaturas de superfície da área em estudo, convém analisar com maior atenção a distribuição proporcional de cada classe da temperatura em relação à totalidade do território municipal, tendo em vista que utilizar as temperaturas máximas e mínimas como único parâmetro de análise não constitui um método representativo. A razão dessa ressalva reside no fato de que temperaturas cuja amplitude difere muito do normal, por vezes, ocorrem em pontos isolados do território, por conta de fenômenos estritamente pontuais e restritos.

Sendo o procedimento exposto acima devidamente pacificado, são apresentados a seguir os mapas produzidos e as considerações acerca dos dados expressos. Inicialmente, serão analisados os mapas da temperatura de superfície para Juazeiro do Norte, com Crato em seguida e, por fim, Barbalha.

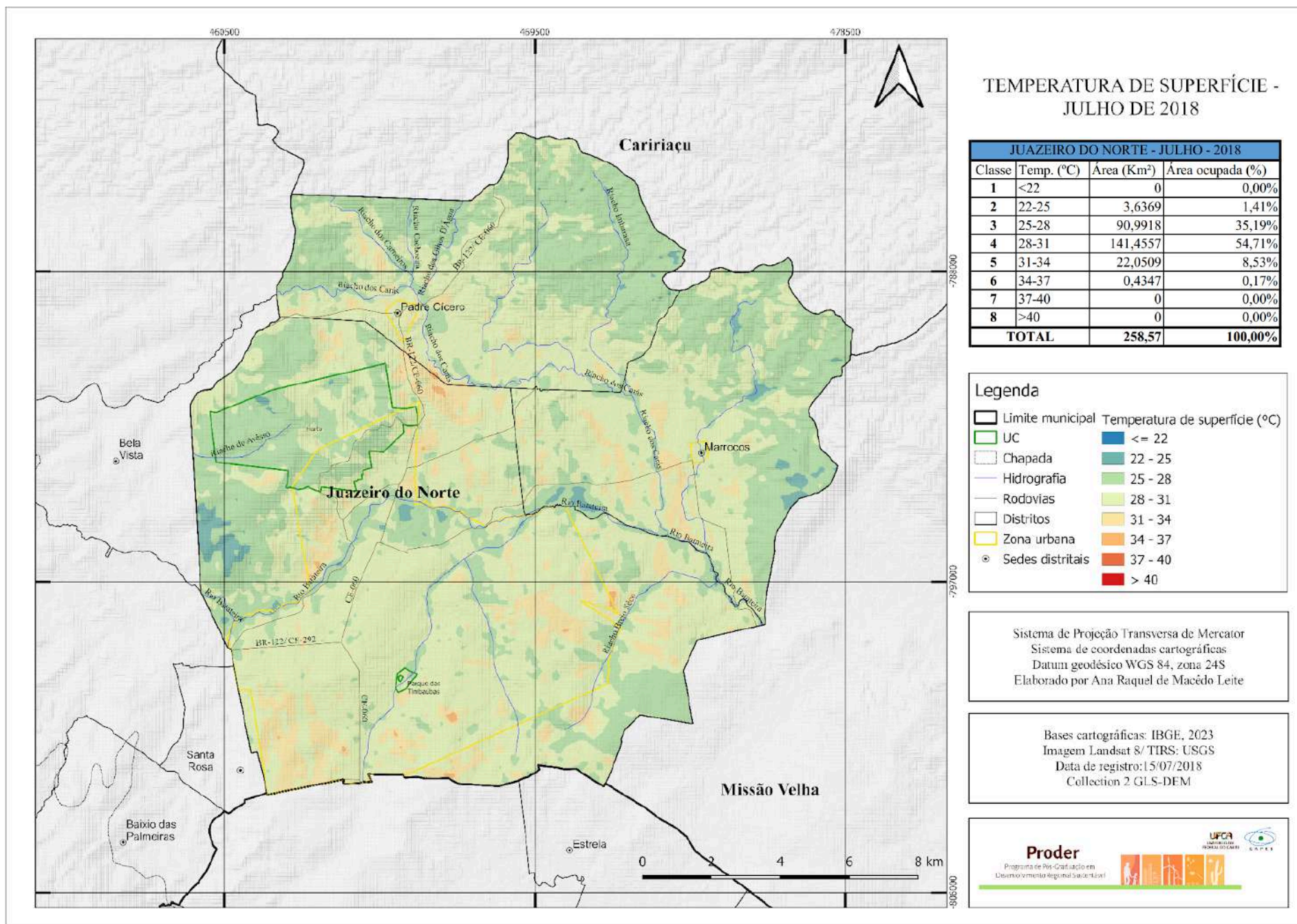
4.1 JUAZEIRO DO NORTE

Os resultados desta seção estão relacionados à análise da temperatura de superfície no município de Juazeiro do Norte. Cada período do estudo foi analisado de forma independente a partir de mapas, quadros e gráficos. Os mapas 2, 3 e 4 apresentam a espacialização da temperatura para o primeiro semestre e os mapas 5, 6 e 7 apresentam as temperaturas para o segundo semestre.

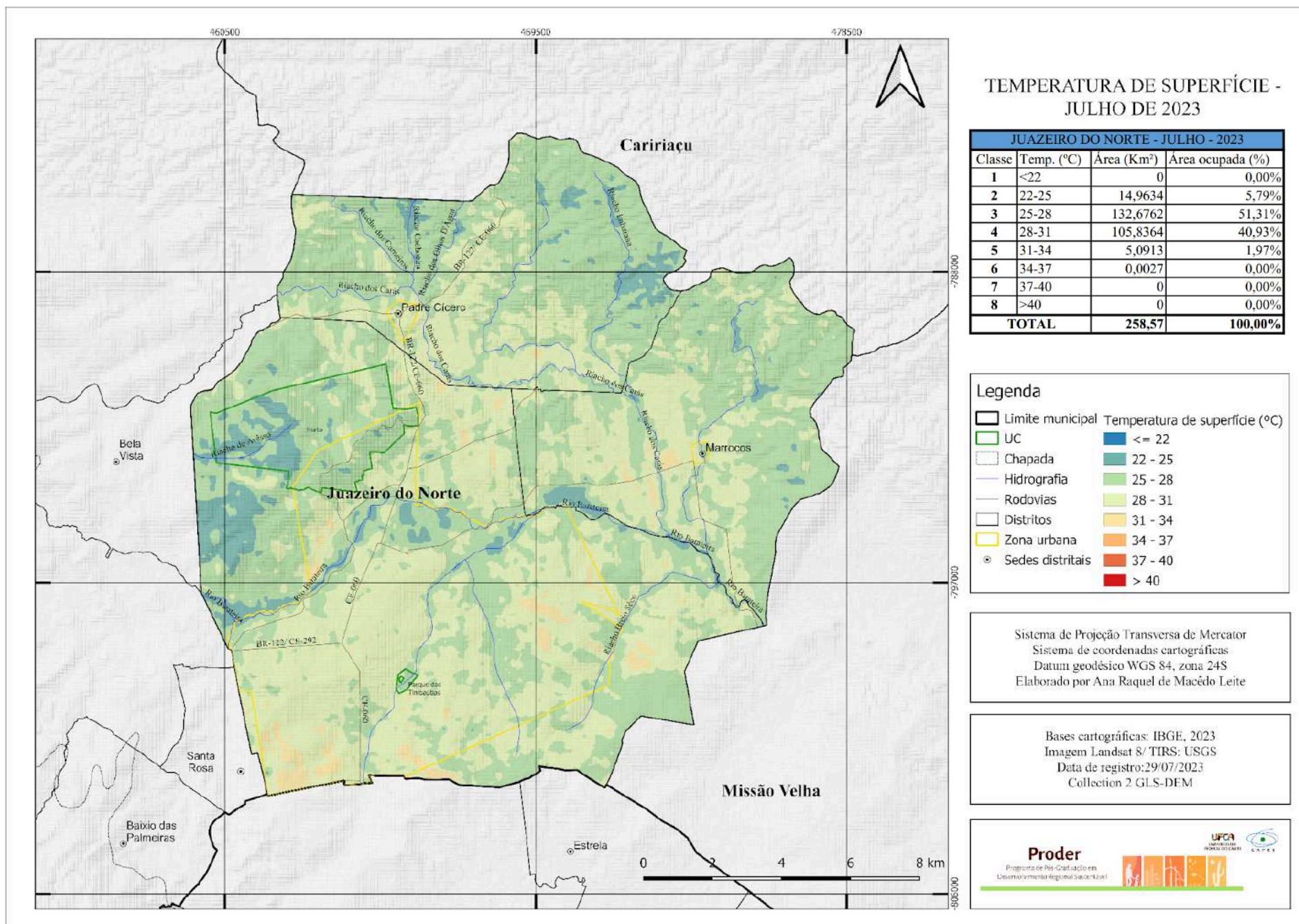
Mapa 2: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em julho de 2013



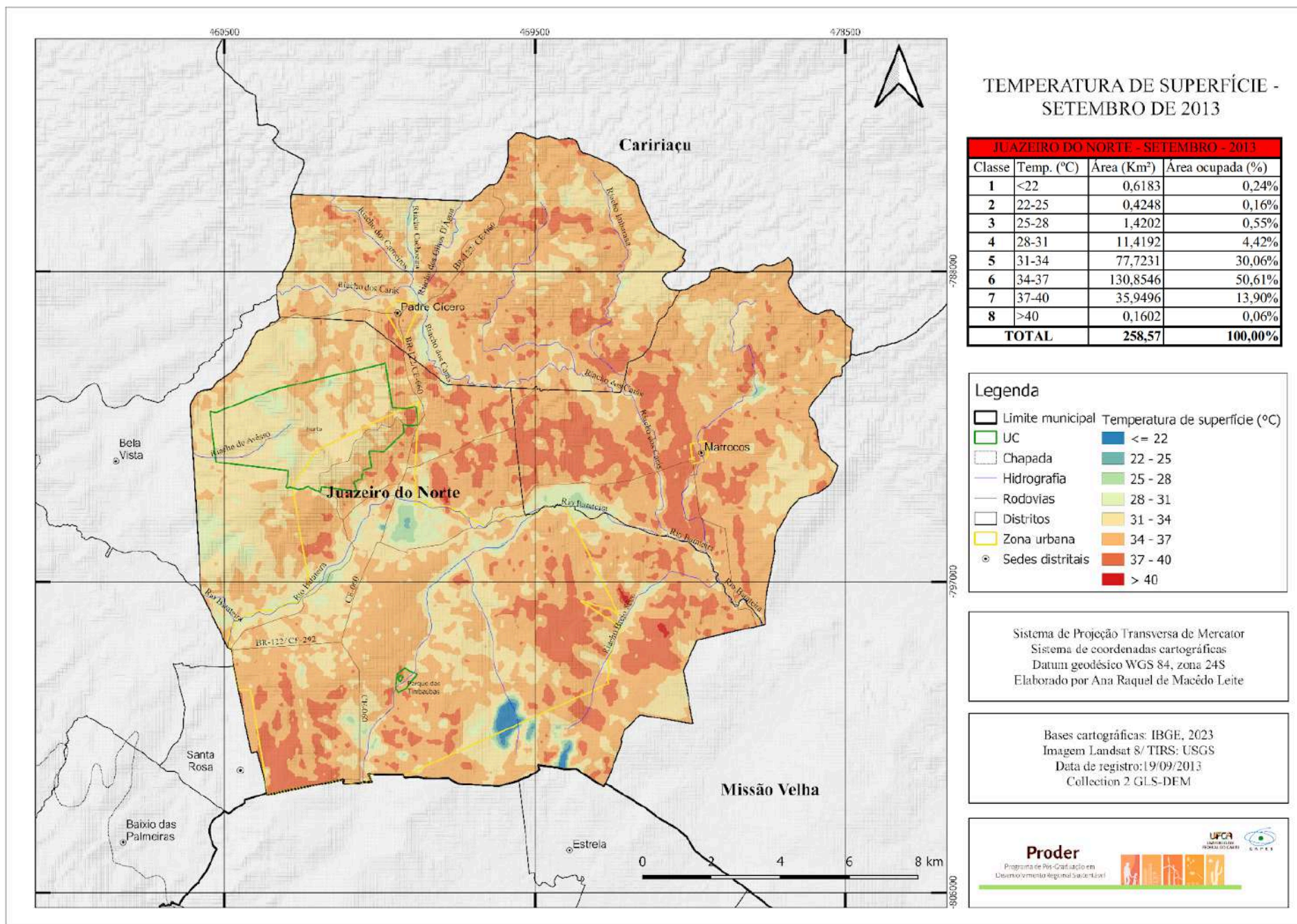
Mapa 3: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em julho de 2018



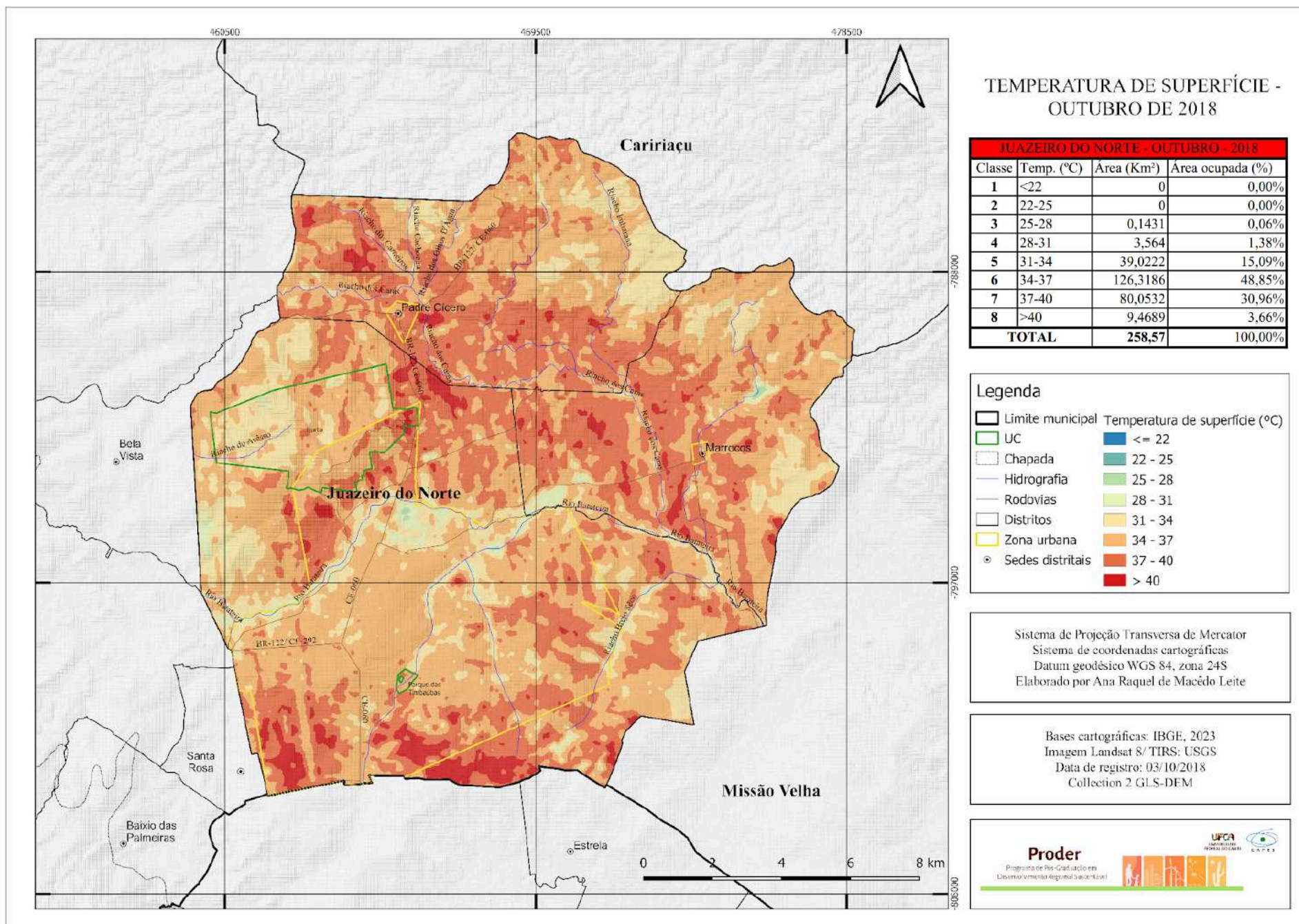
Mapa 4: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em julho de 2023



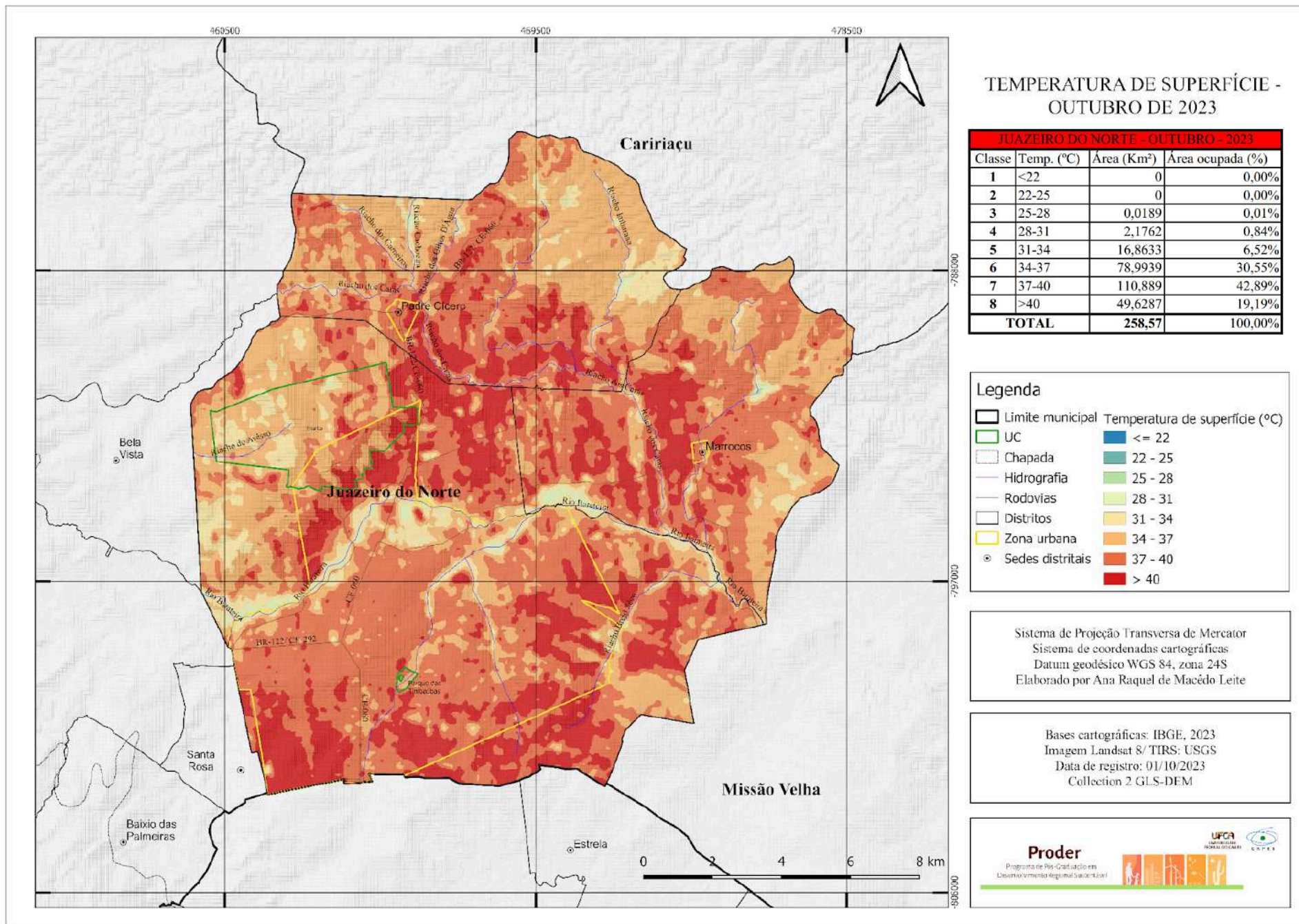
Mapa 5: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em setembro de 2013



Mapa 6: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em outubro de 2018



Mapa 7: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte em outubro de 2023



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Na identificação das superfícies de calor, ao longo do território, pode-se perceber no mapa 2 que os menores valores se encontram nas localidades onde as altitudes são mais elevadas, bem como nos locais onde há a interferência de corpos hídricos, como o caso do rio Salgadinho e seu entorno. Este elemento age como promotor de amenidade térmica, sobretudo pela presença da água e da vegetação típica associada aos cursos d'água, a mata ciliar. Outro fator que contribui para a minimização das temperaturas é a delimitação das APAs do Horto e do Parque Ecológico das Timbaúbas. Já em locais onde a presença antrópica é mais acentuada, nota-se o aumento das temperaturas, como pode ser observado tanto dentro do limite da zona urbana, como nas zonas rurais, onde estão presentes áreas agrícolas e construções. As áreas mais quentes dentro do município podem ser evidenciadas principalmente nas imediações da rodovia CE-060, que liga o município a Barbalha, e a BR-122, que conecta Juazeiro com o Crato.

No mapa 2 pode-se perceber a predominância de temperaturas mais amenas observadas pelas tonalidades azuis e verdes que ocupam grandes extensões. Em termos numéricos, observa-se que para a categoria de temperaturas abaixo de 22°C, o município não apresentou valores significativos, correspondendo apenas a 0,0378 km² (0,01% da área total). A maior representatividade encontra-se na categoria 3 (entre 25°C e 28°C), correspondendo a 144,49 km² (55,88% do território). Nesse recorte, Juazeiro apresentou temperatura mínima de 16,46°C e máxima de 33,81°C, o que representa uma amplitude térmica de 17,36°C.

Quando se trata do mês de setembro de 2013, fica claro que a temperatura aumentou em todo o município, sendo notável no mapa 5 a acentuada redução das áreas de temperaturas amenas, de coloração azul-esverdeada, e o aparecimento de cores alaranjadas. Ao explorar os elementos do mapa, constata-se que as temperaturas mais baixas aparecem com maior frequência onde há corpos hídricos. Nesse período, o município atingiu o valor máximo de 42,54°C, significando um aumento de quase 10°C em relação ao período mais ameno. Nesse momento, as temperaturas mais presentes foram as enquadradas na classe 6 (entre 34°C e 37°C), que abrangeram 50,61% do território juazeirense.

Nas observações quanto ao ano de 2018, o mapa 3 mostra que, embora as temperaturas sejam mais altas em relação ao mesmo período de 2013, o padrão de distribuição da temperatura é bastante semelhante. Nesse período, a temperatura é mais amena nas bordas do limite municipal, próximo a Caririaçu, justamente onde

predomina um relevo mais acidentado, com maiores altitudes, associadas ao entorno da serra de São Pedro. Por sua vez, as temperaturas mais elevadas podem ser percebidas com maior intensidade na porção sudoeste do município, onde se distribui a zona urbana. Alguns trechos fora da zona urbana também apresentam temperaturas mais altas, como pode ser observado nos limites da BR 122 em sentido ao município de Caririaçu (ao norte), próximo ao distrito Padre Cícero. No município como um todo, para a data em questão, a temperatura mínima foi de 22,69°C e a máxima de 35,65°C.

Em julho de 2018, Juazeiro do Norte apresentou, em mais da metade do seu território (54,71%), temperaturas variando entre 28°C e 31°C (classe 4). Em seguida, em ordem de abrangência, as temperaturas entre 25°C e 28°C (classe 3) corresponderam a 35,19% do território. Houve um aumento geral da temperatura, constatado quando se verificam as mudanças de categoria em diversas áreas do município, visto a maior abrangência das classes de temperaturas mais elevadas, ao passo que as temperaturas mais amenas foram menos presentes. Nesse sentido, a classe 1 (abaixo de 22°C) deixou de aparecer em 2018, e a classe 2 (22°C a 25°C), que em 2013 ocupava 21,82%, passou a ocupar apenas 1,41% do território em 2018. A classe 5 (31°C a 34°C), que representava menos de 0,5% em 2013, passou a ocupar 8,53% da área do município, e a classe 6 (34°C a 37°C), cuja ocorrência não constava em 2013, representou 0,17% em 2018.

No que tange a análise do segundo semestre de 2018, o mapa 6 mostra a ocorrência de dois núcleos de calor principais que são encontrados na zona sul, no limite com o município de Barbalha, e outro na zona central. O comportamento térmico mostra variação sazonal bastante semelhante ao ano de 2013, onde é possível perceber os pontos de amenidades climáticas nas proximidades dos corpos hídricos. Nesse momento, a temperatura mínima foi de 26,16°C e a máxima de 46,30°C. Com base nesses valores, observa-se que a categoria 6 (entre 34°C e 37°C) predominou em 48,85% do território. Temperaturas mais elevadas (acima de 37°C), como as indicadas nas classes 7 e 8, ganharam mais destaque em relação ao mesmo período de 2013, ao passo que as temperaturas mais baixas se deram em menor quantidade.

A respeito dessa redução de temperaturas amenas, observou-se que as classes 1 e 2 deixaram de existir em outubro de 2018, e ainda que as classes 3, 4, 5 e 6 sofreram redução de área. A classe 3 reduziu de 0,55% para 0,06% do território;

a classe 4 passou de 4,42% para 1,38%; a classe 5 diminuiu de 30,06% para 15,09%; a classe 6 sofreu uma ligeira redução de 50,61% para 48,85% do município. Já a categoria 7 foi a que mais cresceu, pois antes abrangia 13,90% da área de Juazeiro e passou a cobrir 30,96%. Por fim, a classe 8 aumentou de 0,06% para 3,66%.

Avançando a análise para o ano de 2023, tem-se que no mês de julho, representado no mapa 4, pontos de amenidades climáticas são mais expressivas do que em 2018. É notório que as áreas das APAs do Horto e do Parque Ecológico das Timbaúbas mostraram-se mais brandas. Nesse período a temperatura mínima foi de 22,50°C e a máxima de 34,07°C. Por outro lado, as temperaturas mais expressivas foram as enquadradas na classe 3 (25°C a 28°C), cuja abrangência foi de 51,31% do município, seguida da classe 4 (de 28 a 31°C), que ocupou 40,93% do território. As demais classes ocorreram em menos de 6% do território.

O mapa 7 corresponde ao mês de outubro de 2023. Nota-se que temperaturas elevadas tornaram-se mais expressivas, sendo perceptível pela presença de grandes manchas avermelhadas e ausência de tons azulados. A temperatura mais baixa foi de 27,36°C e pode ser encontrada nas margens do rio Salgadinho. Já a temperatura mais elevada foi de 48,23°C. As temperaturas mais significativas correspondem a faixa entre 37°C e 40°C (classe 7), ocupando 42,89% da área total, seguida das temperaturas entre 34°C e 37°C, em 30,55% e temperaturas acima de 40°C em 19,19% do território.

Por tudo que foi apresentado é possível estabelecer uma relação entre os três anos, na qual é notável a evolução gradual da temperatura ao longo do tempo, cujo resultado foi constatado por Freitas *et al.* (2022), de modo semelhante. Os valores da temperatura são apresentados no quadro 6 a seguir, no qual MED corresponde à média das temperaturas encontradas, DES é o desvio padrão, MIN é a temperatura mínima e MAX é a temperatura máxima.

Quadro 6: Temperatura de superfície em Juazeiro do Norte

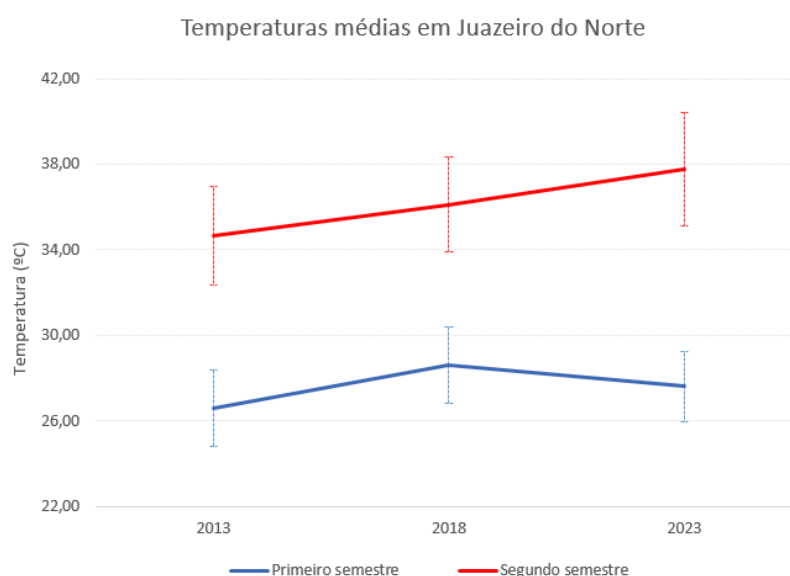
JUAZEIRO DO NORTE								
Ano	PRIMEIRO SEMESTRE				SEGUNDO SEMESTRE			
	MED	DES	MIN	MAX	MED	DES	MIN	MAX
2013	26,60	1,76	16,46	33,81	34,64	2,31	14,76	42,54
2018	28,61	1,80	22,69	35,65	36,11	2,22	26,16	46,30
2023	27,60	1,66	22,50	34,07	37,75	2,66	27,36	48,23

Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Com base no quadro 6, as amplitudes térmicas para o período mais ameno foram de 17,36°C em 2013; 12,95°C em 2018 e 11,57°C em 2023. No período mais quente, as amplitudes foram de 27°C em 2013; 20,14°C em 2018 e 20,87°C em 2023. Juazeiro do Norte apresentou temperatura média de 26,60°C, com desvio padrão de 1,76°C em julho de 2013. No mesmo período de 2018, a temperatura média foi de 28,61°C, com desvio padrão de 1,80°C, e em 2023, a temperatura foi de 27,60°C, com desvio de 1,66°C. No período mais quente, o valor de temperatura registrado para o ano de 2013 foi de 34,64°C, com desvio padrão de 2,31°C. Em 2018, a temperatura foi de 36,11°C, com desvio padrão de 2,22°C. Já em 2023, a temperatura foi de 37,75°C, com desvio padrão de 2,66°C. Nota-se que para o período mais quente, os valores de dispersão foram mais altos.

No gráfico 2 pode-se comparar os valores da temperatura média de Juazeiro do Norte, constatando-se a elevação da temperatura do período mais quente ao longo do tempo, acarretando uma amplitude térmica maior.

Gráfico 2: Evolução das temperaturas médias de Juazeiro do Norte

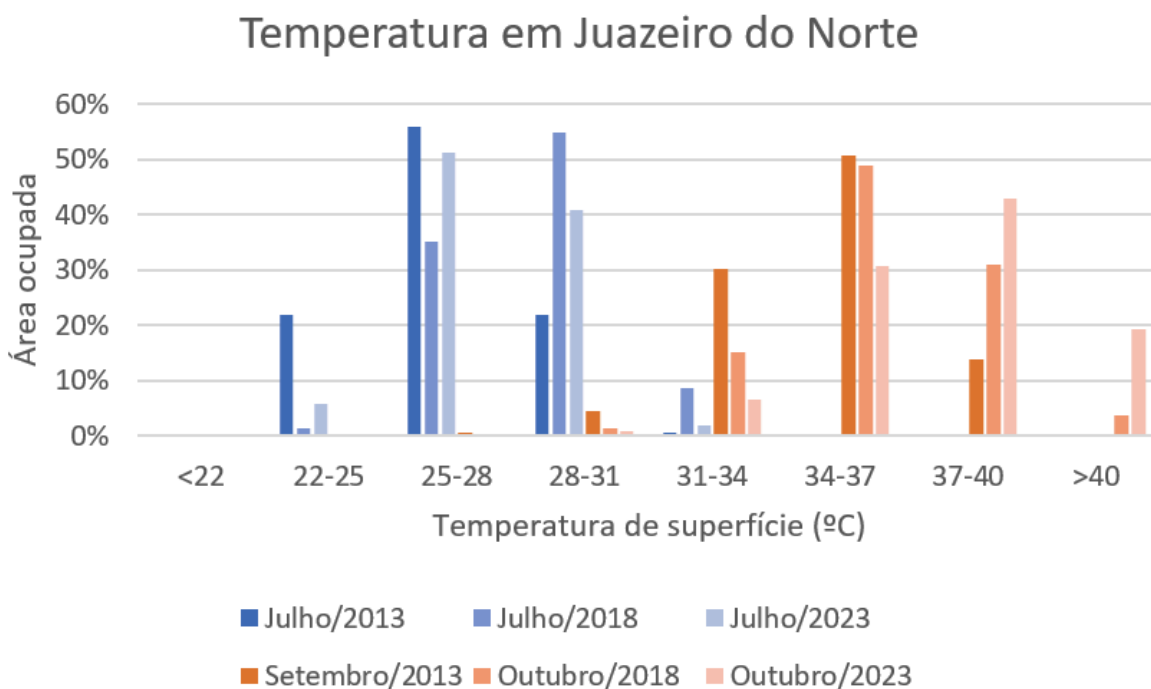


Fonte: elaborado pela autora, 2024.

A partir do gráfico tem-se que as amplitudes de temperatura foram de 8,05°C para 2013, 7,49°C em 2018 e 10,15°C em 2023. Para realçar as diferenças da temperatura ao longo dos anos, foi feita uma comparação, no **Gráfico 3**, entre as classes de temperatura estudadas, de forma que nota-se que para o período mais

ameno, não houve grandes alterações na temperatura. Entretanto, ao analisar o período mais quente, percebe-se que houve um aumento significativo das temperaturas.

Gráfico 3: Temperaturas médias de Juazeiro do Norte



Fonte: elaborado pela autora, 2024

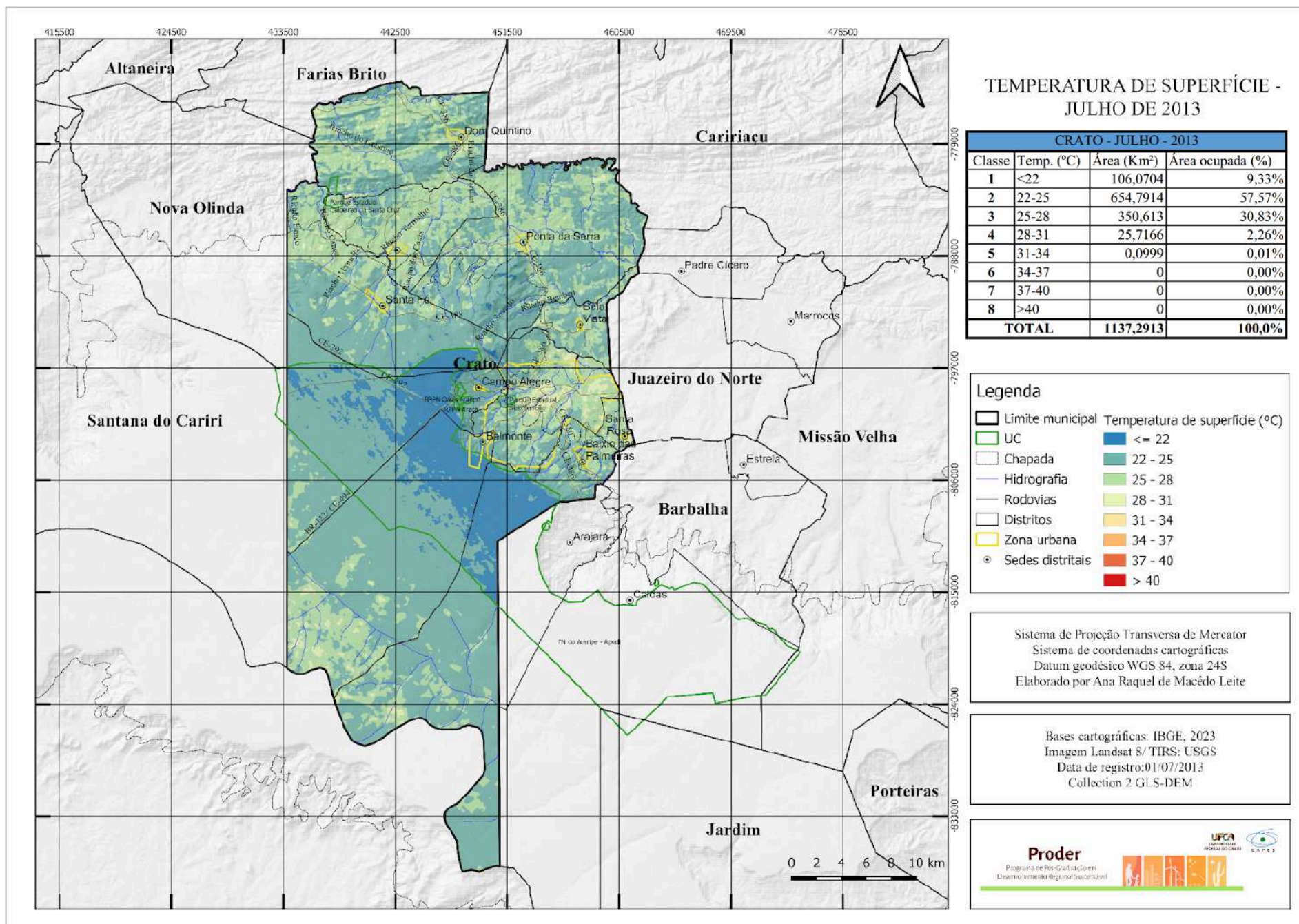
A partir dos resultados obtidos, nota-se que houve um padrão da distribuição dos núcleos de calor, assim como constatado por Estevão (2016) e Estevão *et al.* (2020). Os núcleos de calor não ocorreram apenas nas áreas urbanas como sugere a literatura sobre as ilhas de calor, notando-se temperaturas mais altas nas áreas rurais ou nas áreas urbanas de baixa densidade. No entanto, apesar de os núcleos de calor se intensificaram ao longo dos anos, alguns pontos se repetem, como é o caso das proximidades do bairro Frei Damião, Aeroporto e no distrito Marrocos. O comportamento desses núcleos de calor são equiparados ao entendimento de ilhas de calor, conforme afirma Koyanagi (2019).

4.2 CRATO

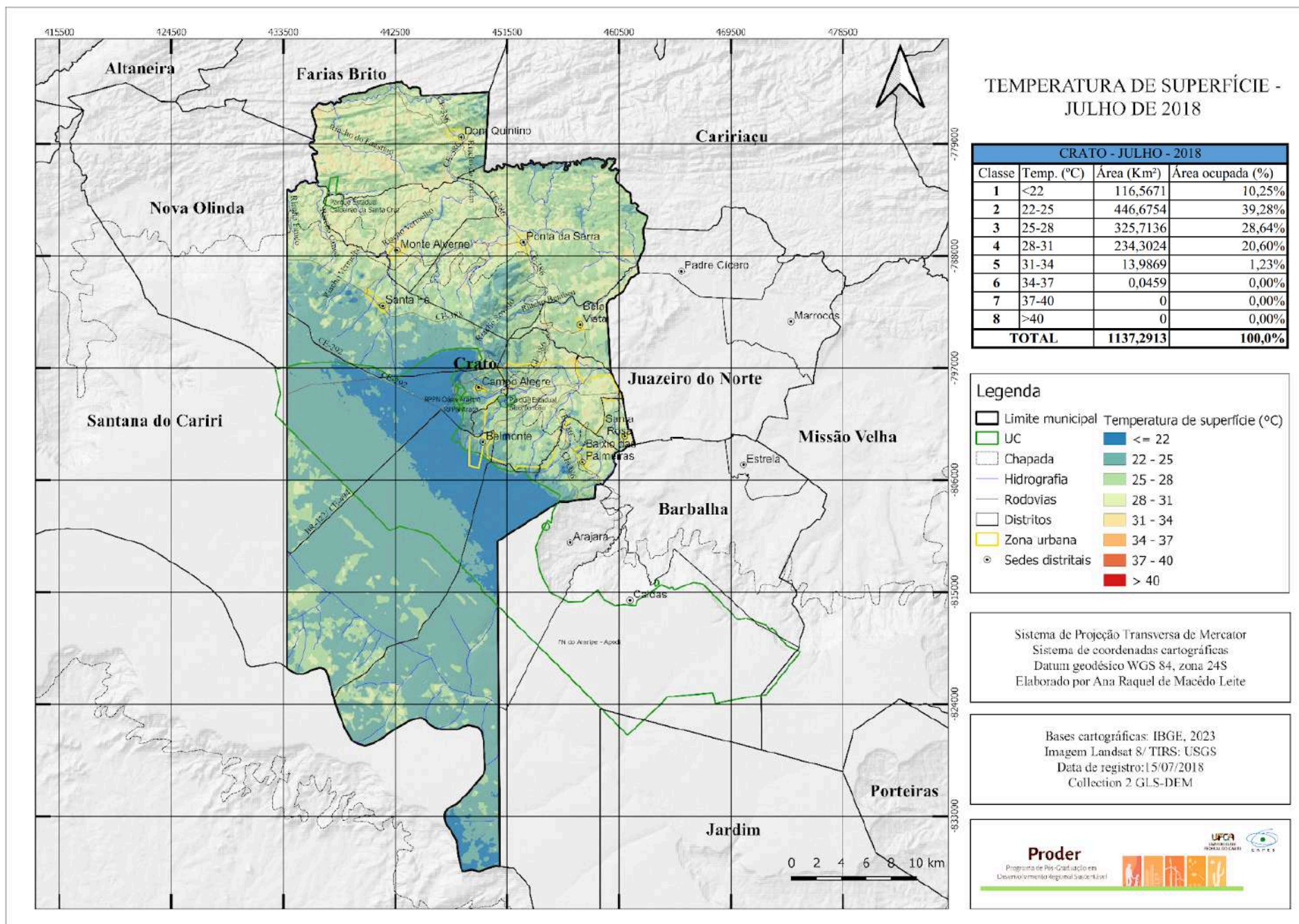
Os resultados apresentados nesta seção estão relacionados à análise da temperatura de superfície no município do Crato. Cada período do estudo foi analisado de forma independente a partir de mapas, quadros e gráficos. Os mapas

8, 9 e 10 apresentam a espacialização da temperatura para o primeiro semestre e os mapas 11, 12 e 13 apresentam as temperaturas para o segundo semestre.

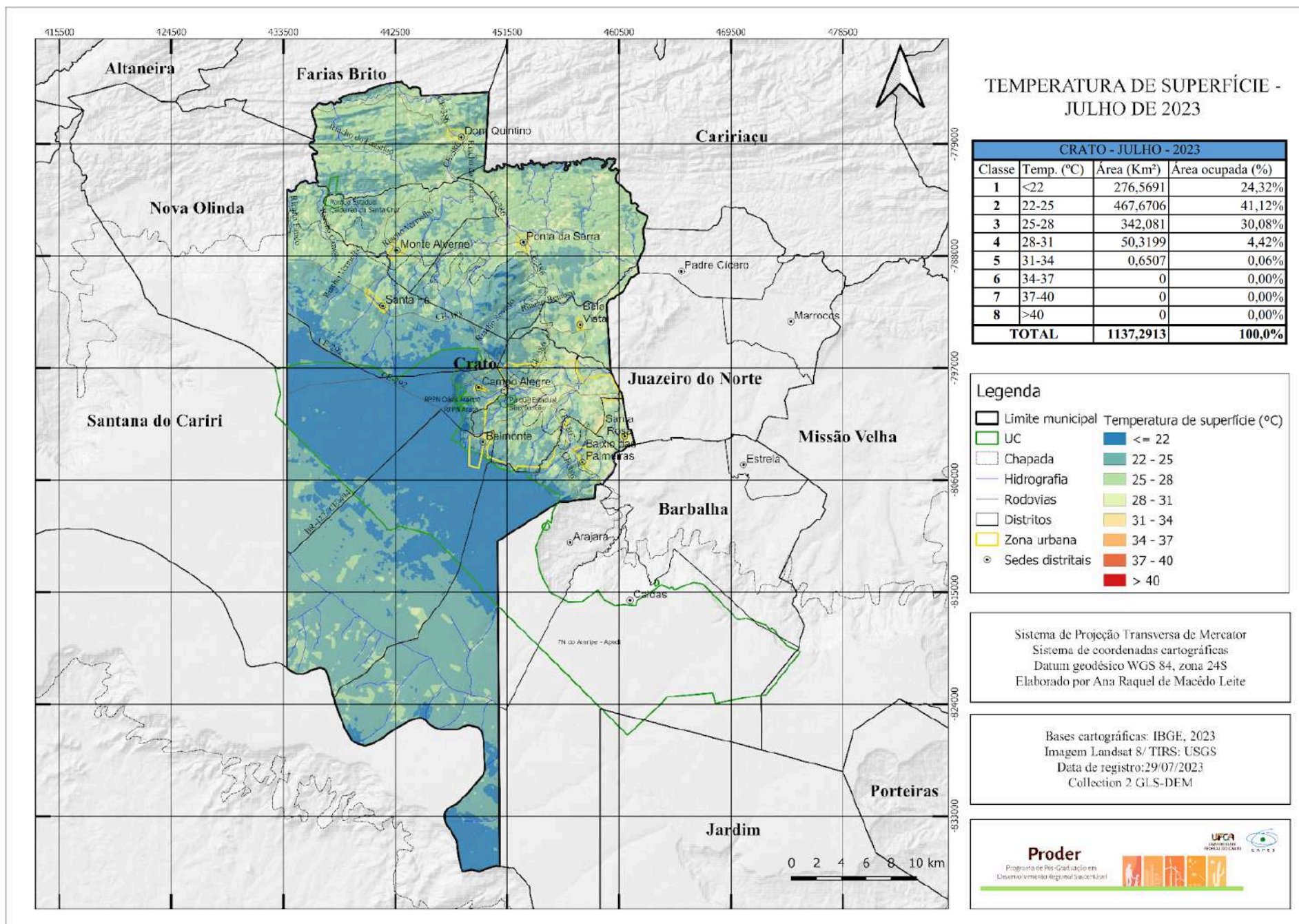
Mapa 8: Temperatura de superfície no Crato em julho de 2013



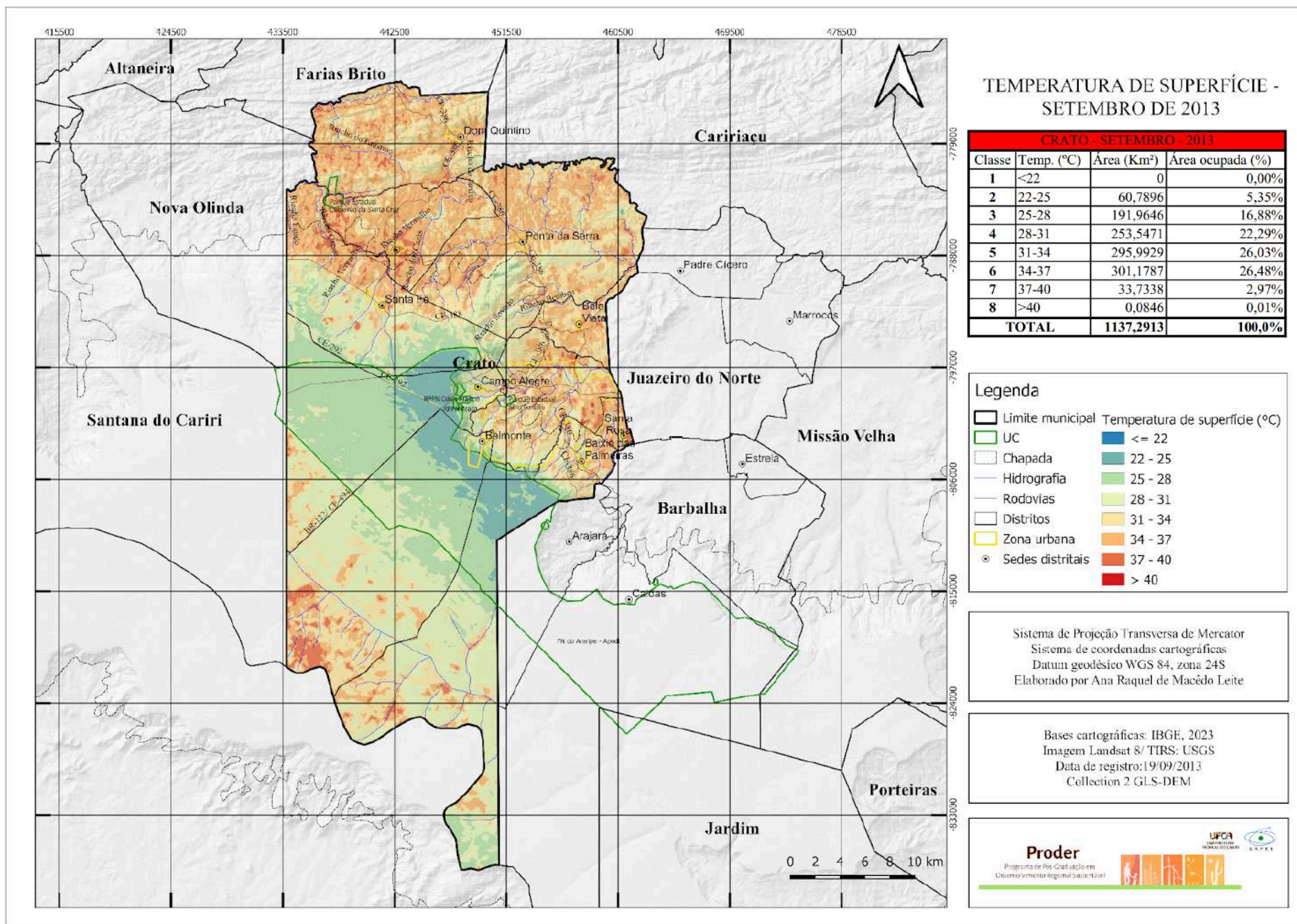
Mapa 9: Temperatura de superfície no Crato em julho de 2018



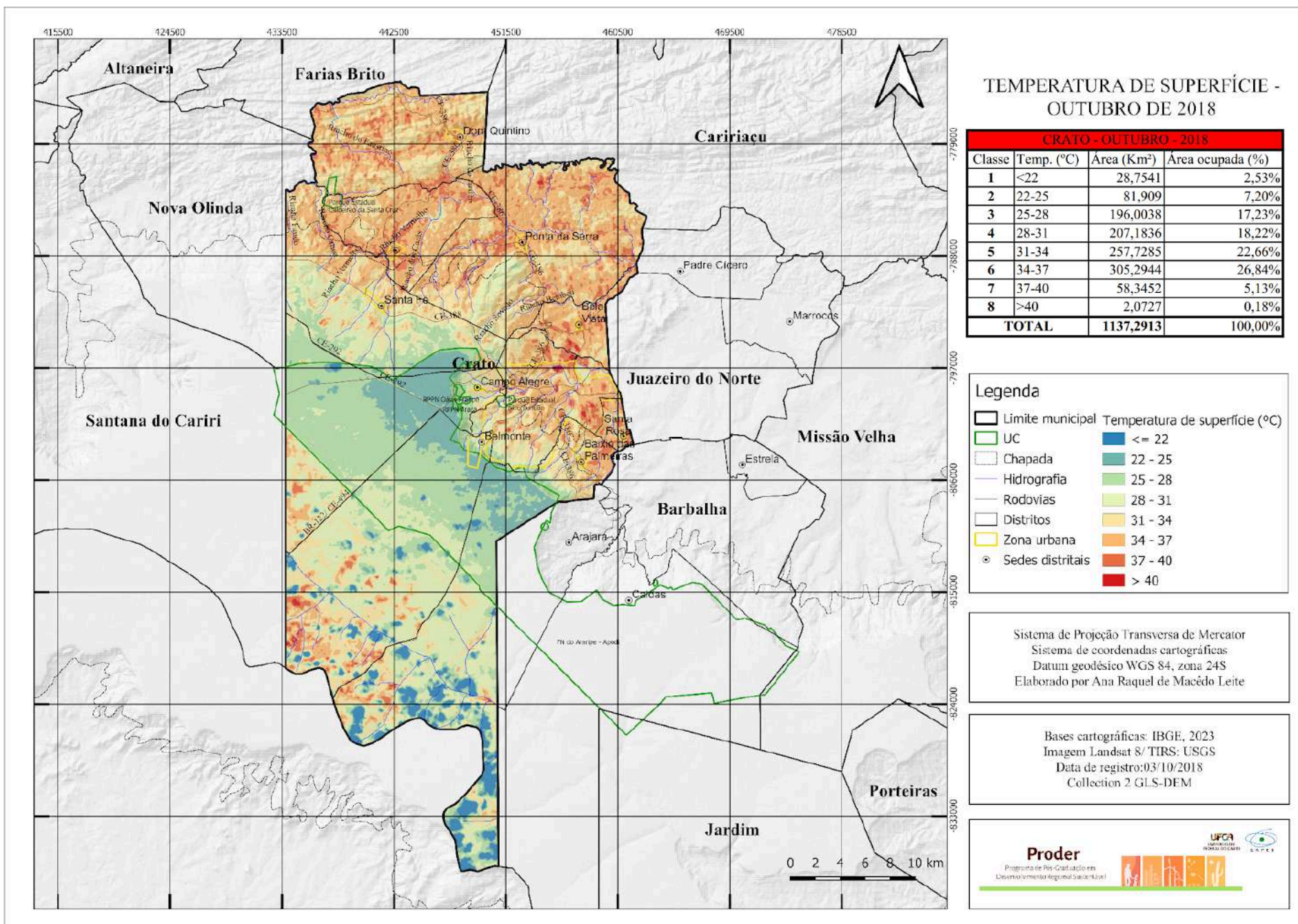
Mapa 10: Temperatura de superfície no Crato em julho de 2023



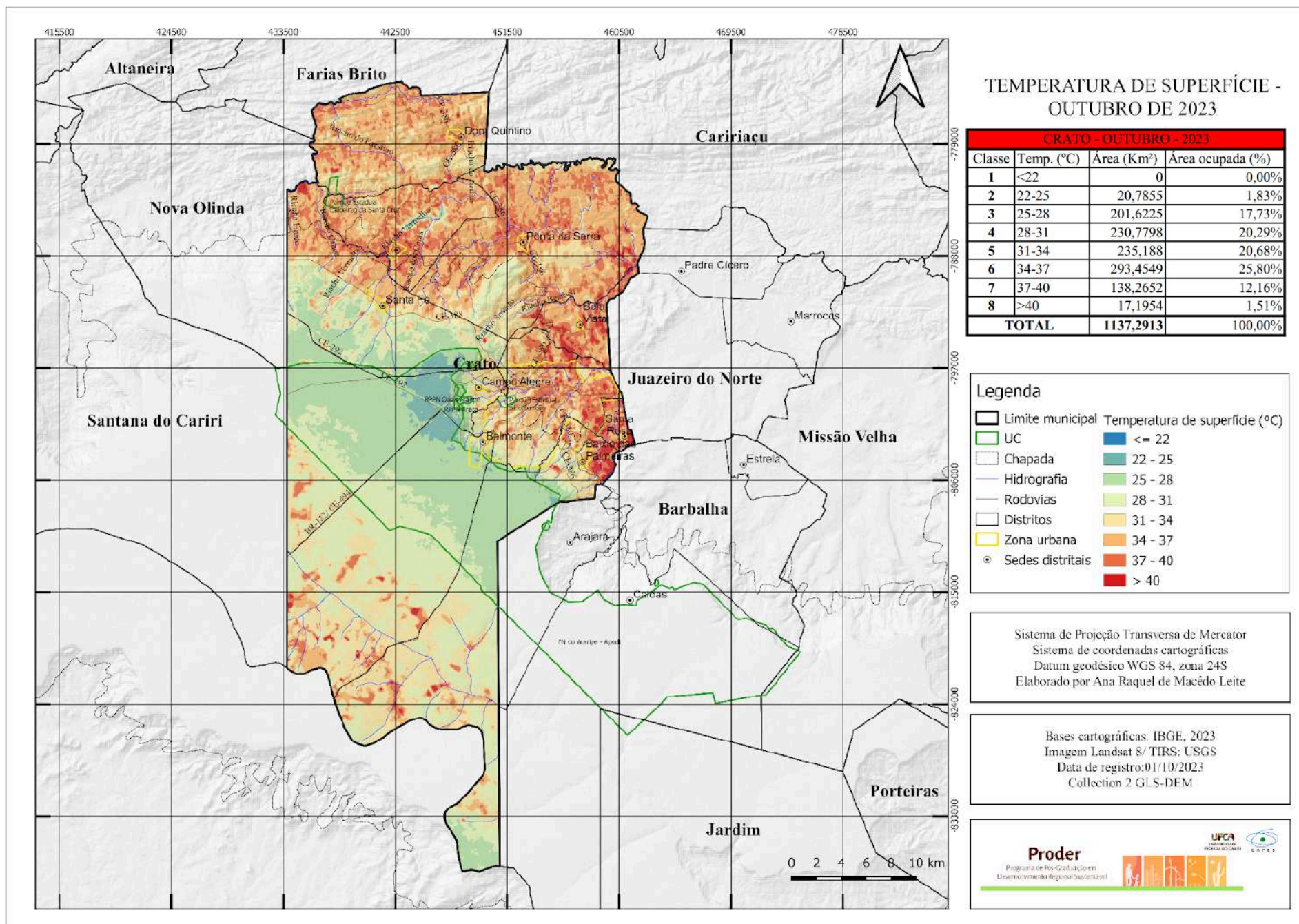
Mapa 11: Temperatura de superfície no Crato em setembro de 2013



Mapa 12: Temperatura de superfície no Crato em outubro de 2018



Mapa 13: Temperatura de superfície no Crato em outubro de 2023



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Com um número de habitantes correspondente a menos da metade da população de Juazeiro do Norte, Crato se destaca pela massiva presença de vegetação em seu território, abrangendo grande parte da UC Floresta Nacional do Araripe (FLONA). Aliado a isso, o município apresenta grande variação altimétrica, em virtude da Chapada do Araripe. Ao analisar o mapa 8 (julho de 2013) observa-se que justamente dentro do limite da Flona ocorrem os menores valores de temperatura, associados a elevada altitude da área e à preservação da vegetação, majoritariamente, de grande porte. No entorno dessa área observa-se a formação de três zonas de calor, que podem ser vistas nas porções norte, sul e leste do município.

Nota-se que na porção norte do município são encontradas temperaturas mais elevadas, principalmente nas imediações e nos distritos de Ponta da Serra, Monte Alverne e Dom Quintino. No sul desenvolvem-se áreas de ocupação no entorno dos corpos hídricos, com a presença de grandes chácaras e fazendas, onde há grandes áreas de solo exposto. Nessas áreas de ocupação é evidenciado o contraste da temperatura dentro dos limites chapada. Já na porção leste desenvolve-se a zona urbana, cujas temperaturas são mais intensas nas áreas de menores altitudes. Em se tratando dos valores da temperatura, tem-se que para julho de 2013 o intervalo mais expressivo foi a faixa entre 22°C e 25°C, estando presente em 654,79 km², que corresponde a 57,57% de todo o território do município. Em seguida, encontra-se a faixa que varia entre 25°C e 28°C, presente em 30,89% da área do município. Nesse recorte temporal, Crato apresentou temperatura mínima de 20,56°C e máxima de 31,93°C, o que representa uma amplitude térmica de 11,37°C.

No segundo semestre de 2013, conforme o mapa 11, todo o município apresentou temperaturas mais elevadas quando se compara ao mês de julho. Os três núcleos de calor mencionados anteriormente podem ser observados com mais intensidade. É possível perceber que apesar da presença de corpos d'água na porção sul, a temperatura encontra-se mais elevada, visto que tal recurso é utilizado como vetor da ocupação antrópica. As temperaturas que predominaram nesse período variaram entre 28°C e 37°C, correspondendo a 3 intervalos, os quais se distribuíram juntos em aproximadamente 75% do território. Nesse período a temperatura mínima foi de 22,17°C e máxima de 40,80°C, o que representa uma amplitude térmica de 18,63°C.

Em julho de 2018, de acordo com o mapa 9, as altas temperaturas se distribuíram mais, e os núcleos de calor a norte e leste, que em 2013 eram distintos, agora se mesclam em uma única mancha mais quente. Nessa zona, os trechos de amenidade climática coincidem com a presença de corpos hídricos. As temperaturas mais baixas do município continuam se concentrando dentro da área de proteção ambiental. Em termos de área, em 39,29% do território as temperaturas ficaram entre 22°C e 25°C. Temperaturas das séries entre 25°C e 28°C (ocupando 28,64% do território) e entre 28°C e 31°C (perfazendo 20,60% do município) também apresentaram expressividade. Em comparação ao mesmo período de 2013, observa-se que as temperaturas entre 28°C e 31°C foram as que ganharam mais espaço, visto que antes ocupava apenas 2,26% e passou a ocupar 20,60% do território. O aumento da temperatura também se atesta pelo fato dos valores mais baixos terem se tornado menos expressivos, ao passo que surgiram valores acima de 34°C (classe 6), embora com valor ínfimo (0,045 km²). No período mais ameno de 2018, a temperatura mínima foi de 16,63°C e a máxima de 34,79°C. Representando uma amplitude de 18,16°C.

Com o mapa 12, que representa outubro de 2018, observam-se temperaturas mais baixas na chapada, onde são captadas algumas nuvens (em uma intensa tonalidade de azul). Já as temperaturas mais elevadas distribuem-se no entorno do sistema rodoviário, com destaque para a CE-386, que liga Crato a Farias Brito. O núcleo de calor que se estende de norte a leste torna-se visivelmente mais quente, com a presença de tons alaranjados no mapa, e surgem temperaturas superiores a 34°C (contemplando as classes 6, 7 e 8). Em comparação ao período de julho do mesmo ano, constata-se o aumento da temperatura visto que a classe 5 (entre 31°C e 34°C) que em julho ocupava 1,23% do território, passou a ocupar 22,66%. E temperaturas superiores, que antes não estavam presentes em julho, passaram a ocupar mais de 30% do município em outubro. Nesse período a temperatura mínima foi de 13,01°C e a máxima de 44,23°C. Assim, a amplitude térmica foi de 31,22°C.

No mapa 10, do período de julho de 2023, é notório que na Chapada a temperatura foi mais baixa em comparação a 2013 e 2018, devido ao intenso desmatamento nesse período. Nessa zona pode-se observar que a porção da Flona presente no Crato, encontra-se quase que em toda sua totalidade com temperaturas da primeira classe, ou seja, abaixo de 22°C. O período de julho de 2023 manteve-se semelhante ao mesmo período de 2013, onde a classe mais expressiva da

temperatura foi a que variou entre 25°C e 28°C, ocupando cerca de 30% do território. Já em comparação com o mesmo período de 2018, nota-se que 2023 foi mais ameno, visto que a classe 4 (28°C a 31°C), que em 2018 ocupava 20,60% passou a ocupar 4,42%. Nesse período a temperatura mínima foi de 20,05°C e a máxima de 33,15°C, gerando uma amplitude de 13,11°C.

Já para o período de outubro de 2023, a partir do mapa 13, pode-se notar um aumento considerável da temperatura, sendo evidenciado onde se desenvolve a área urbana. Os trechos de amenidades encontram-se nos locais onde a altitude é mais elevada e em locais com presença de corpos hídricos, como pode-se observar no entorno do rio Batateira e dos riachos Vermelho e Carás. Nesse período passam a ser registradas temperaturas superiores a 40°C e deixam de ser marcadas temperaturas inferiores a 22°C. Assim a temperatura máxima foi de 51,24°C e a mínima de 24,15°C, com amplitude térmica de 27,08°C. Pinheiro e Silva (2019) corroboram com o resultado ao encontrarem uma variação entre 22,1°C e 35,4°C para a cidade do Crato.

Por tudo que foi apresentado, é possível estabelecer uma relação entre os três anos, na qual é notável a evolução da temperatura ao longo dos anos, principalmente no segundo semestre. Os valores da temperatura são apresentados no quadro 7 a seguir, onde MED é a média, DES é o desvio padrão, MIN é a temperatura mínima e MAX é a temperatura máxima.

Quadro 7: Temperatura de superfície no Crato

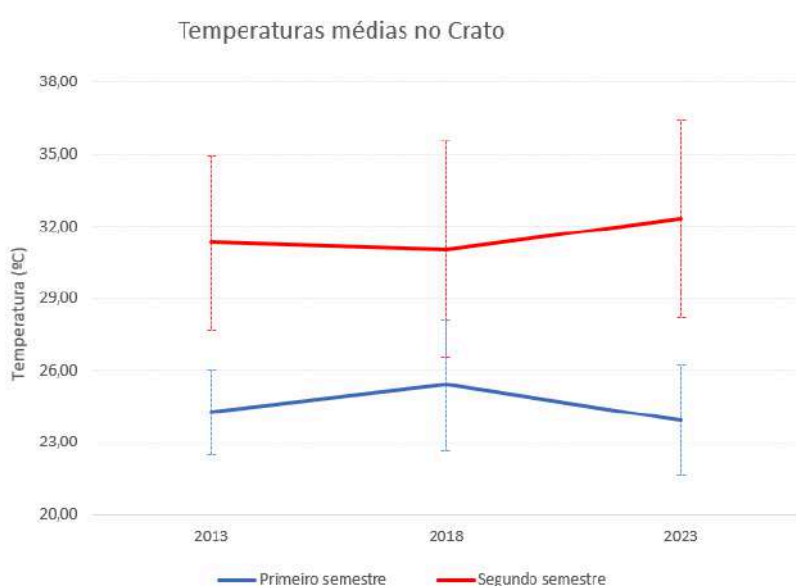
CRATO								
Ano	PRIMEIRO SEMESTRE				SEGUNDO SEMESTRE			
	MED	DES	MIN	MAX	MED	DES	MIN	MAX
2013	24,25	1,76	20,56	31,93	31,32	3,63	22,17	40,80
2018	25,39	2,75	16,63	34,79	31,06	4,52	13,01	44,23
2023	23,95	2,30	20,05	33,15	32,32	4,09	24,15	51,24

Fonte: elaborado pela autora, 2024

Com base no quadro 7, observa-se que as temperaturas mínimas não apresentaram grandes variações. Já em relação às temperaturas máximas, nota-se maiores alterações. Crato apresentou, no período mais ameno de 2013, temperatura média de 24,25°C, com desvio padrão de 1,76°C. No mesmo período de 2018, a temperatura média foi de 25,39°C e o desvio de 2,75°C. Em julho de 2023, a

temperatura foi de 23,95°C, com desvio de 2,30°C. Já no segundo semestre, em 2013 a temperatura média foi de 31,32°C, com desvio padrão de 3,63°C. Em outubro de 2018, a temperatura foi de 31,06°C, com desvio padrão de 4,52°C. No mesmo período de 2023 a temperatura foi de 32,32°C, com desvio padrão de 4,09°C. Nota-se que para o período mais quente, os valores de dispersão dos dados foram mais altos. No gráfico 4 tem-se a comparação dos valores da temperatura média de Crato, onde fica clara a elevação da temperatura, sendo evidenciado uma amplitude térmica maior no primeiro e no último ano da análise.

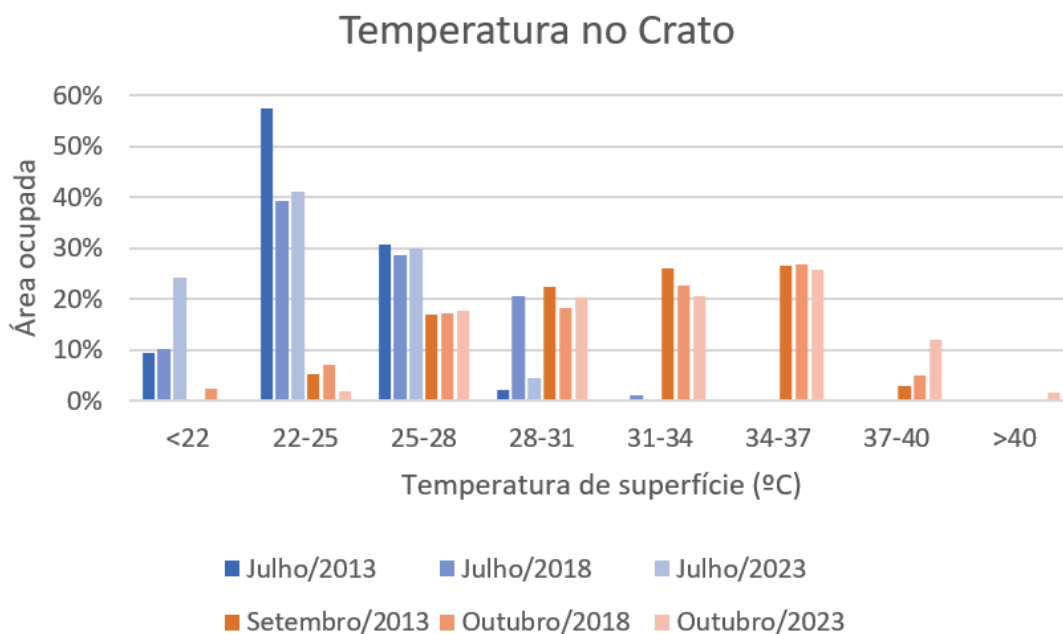
Gráfico 4: Evolução das temperaturas médias do Crato



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Na análise do gráfico observa-se que a diferença entre as temperaturas dos dois semestres foi de 7,07°C em 2013, 5,67°C em 2018 e 8,37°C em 2023. Para destacar as diferenças da temperatura ao longo dos anos, foi feita uma comparação entre as classes de temperatura estudadas, apresentada no gráfico 5. Ao comparar os dois gráficos é possível evidenciar o contraste que existe entre os dois períodos, principalmente quando se observa as temperaturas entre 22°C e 25°C que são mais marcantes no primeiro semestre e as temperaturas acima de 31°C que aparecem em maior porcentagem no segundo.

Gráfico 5: Temperaturas médias do Crato



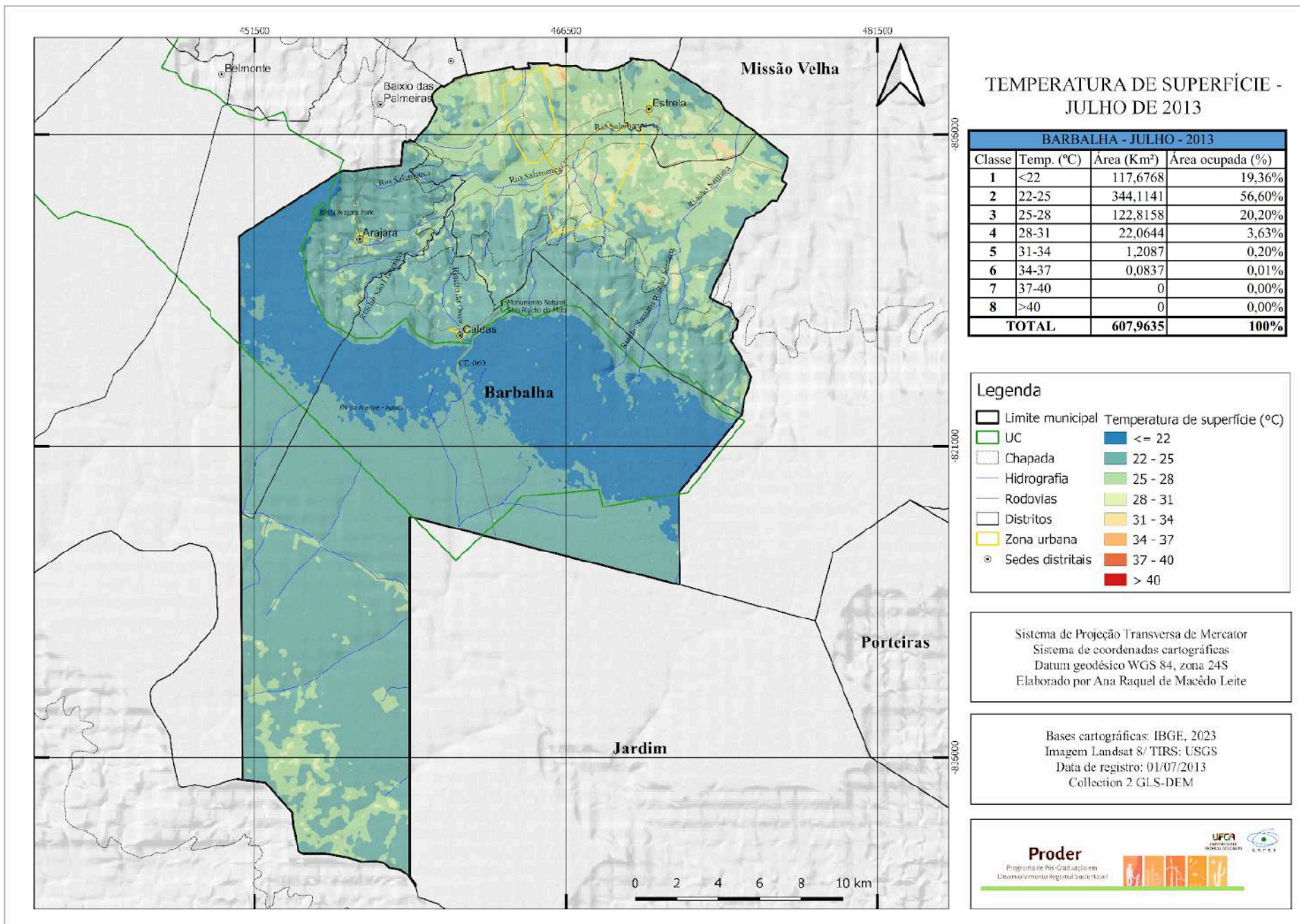
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Os resultados obtidos podem ser comparados com os estudos feitos por Gomes *et al.* (2019), em que foi possível observar que as temperaturas mais altas variaram entre 33,4°C e 39,3°C, que coincide com as classes mais frequentes do presente estudo. Além disso, os autores constataram um aumento de até 8°C na temperatura no decorrer dos anos da análise. Outro estudo, realizado por Pinheiro e Silva (2019), acerca da temperatura de superfície do Crato, para o mês de agosto, encontrou padrão semelhante de distribuição do calor, no qual apresentou uma variação entre 22,1°C e 35,4°C. Ambos os estudos foram realizados exclusivamente para a zona urbana. No entanto, é suficiente para demonstrar que os valores de temperatura seguem aumentando gradualmente ao longo dos anos.

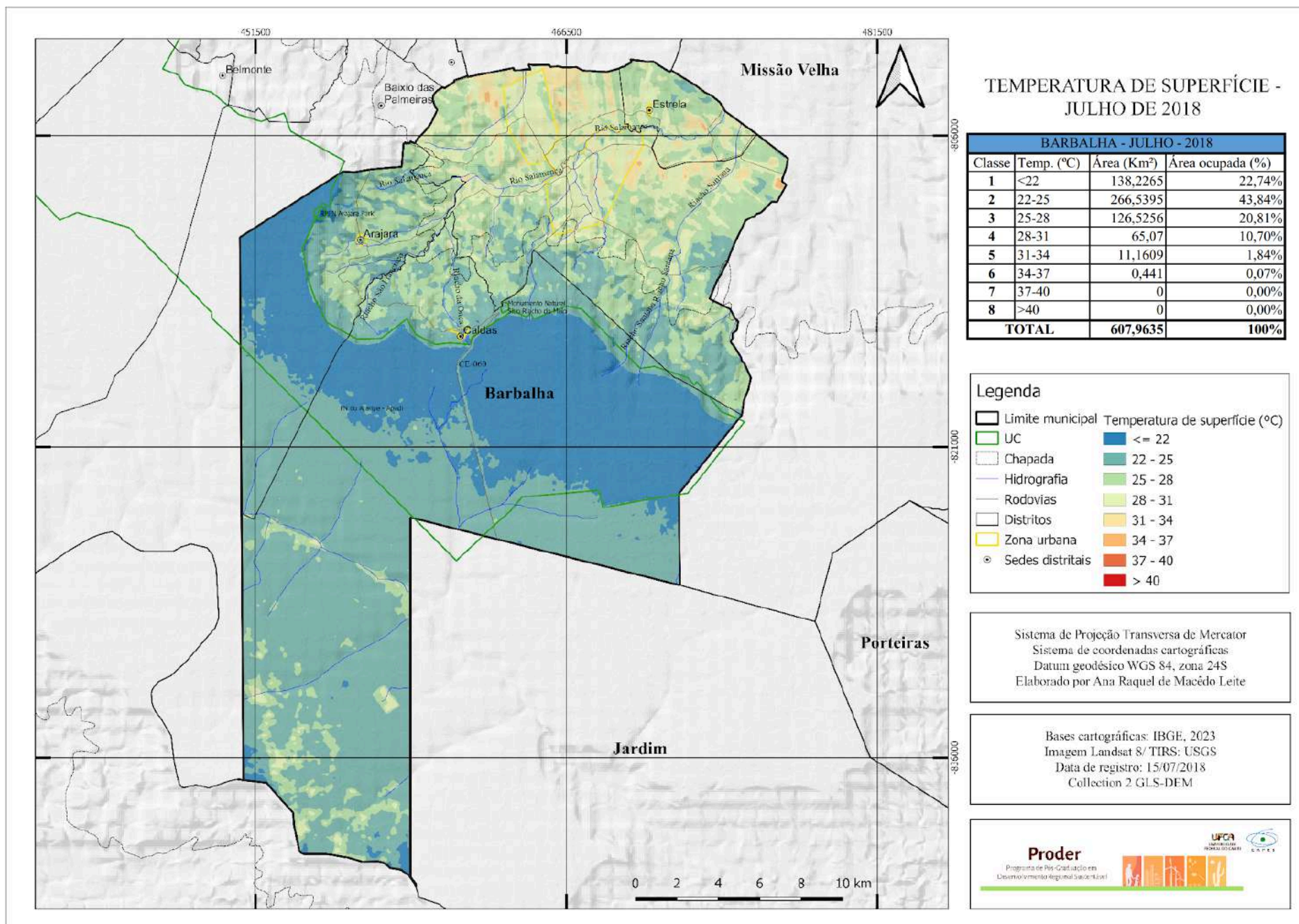
4.3 BARBALHA

Os resultados apresentados nesta seção estão relacionados à análise da temperatura de superfície no município de Barbalha. Cada período do estudo foi analisado de forma independente a partir de mapas, quadros e gráficos. Os mapas 14, 15 e 16 apresentam a espacialização da temperatura para primeiro semestre e os mapas 17, 18 e 19 apresentam as temperaturas para o segundo semestre.

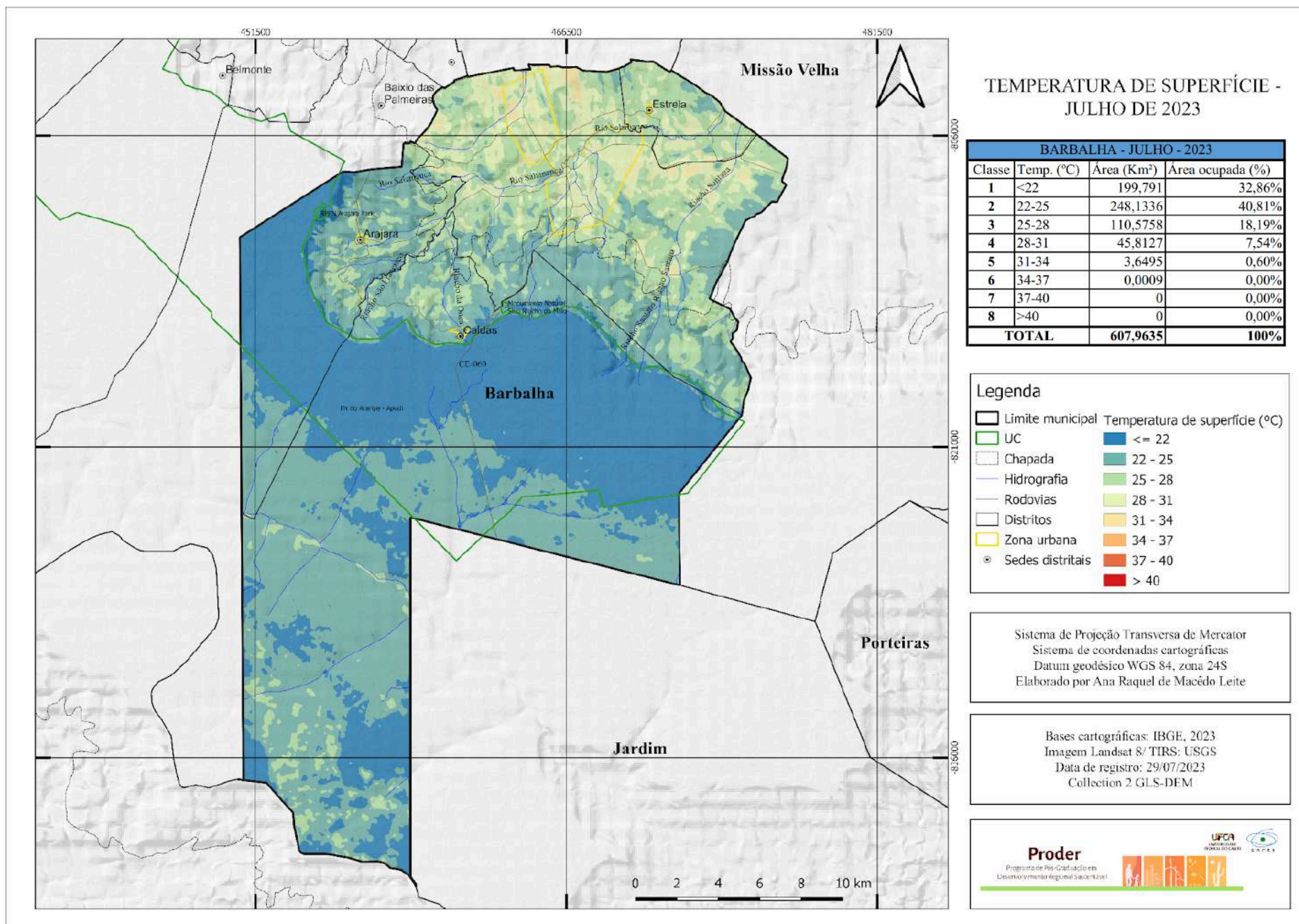
Mapa 14: Temperatura de superfície em Barbalha em julho de 2013



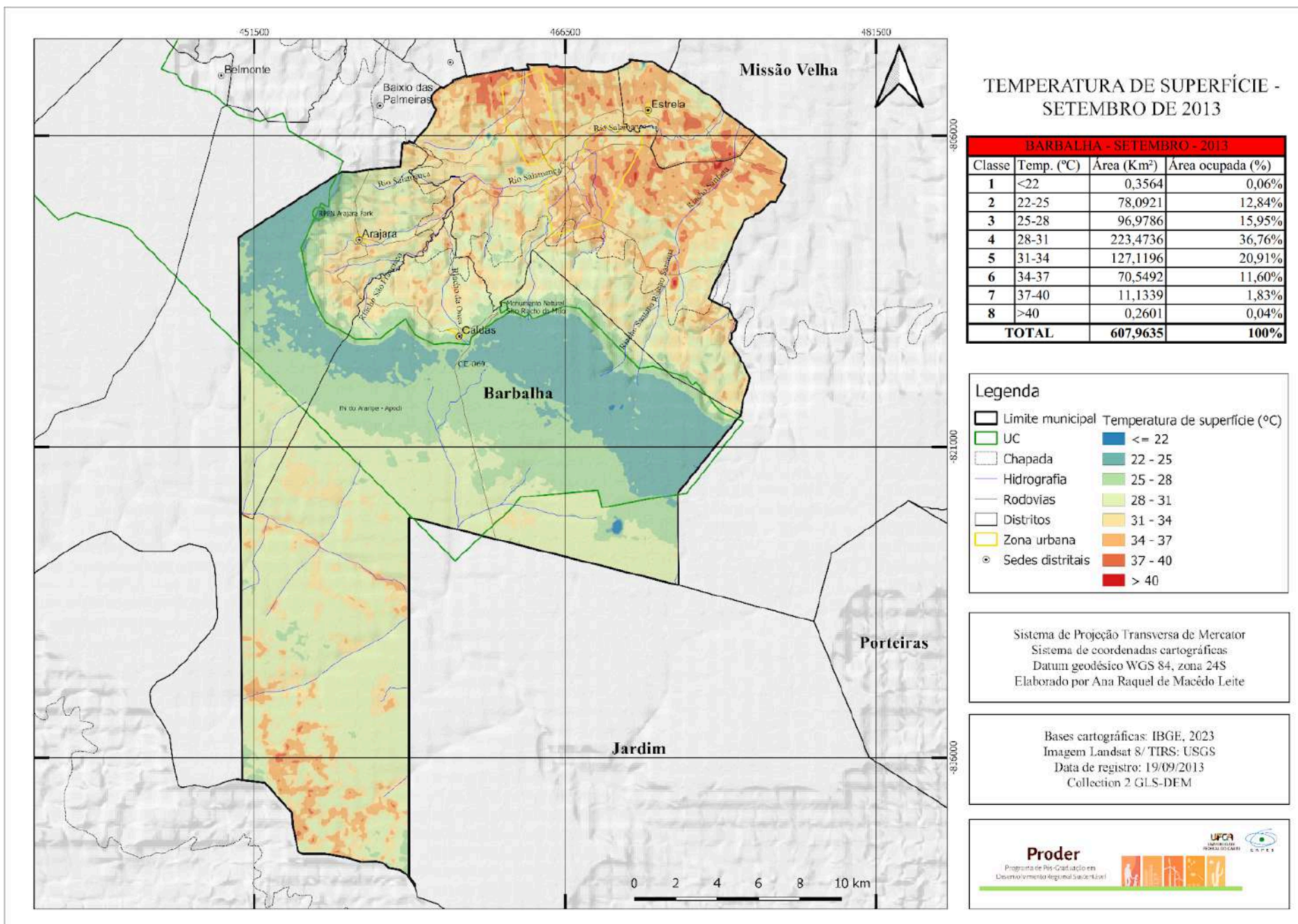
Mapa 15: Temperatura de superfície em Barbalha em julho de 2018



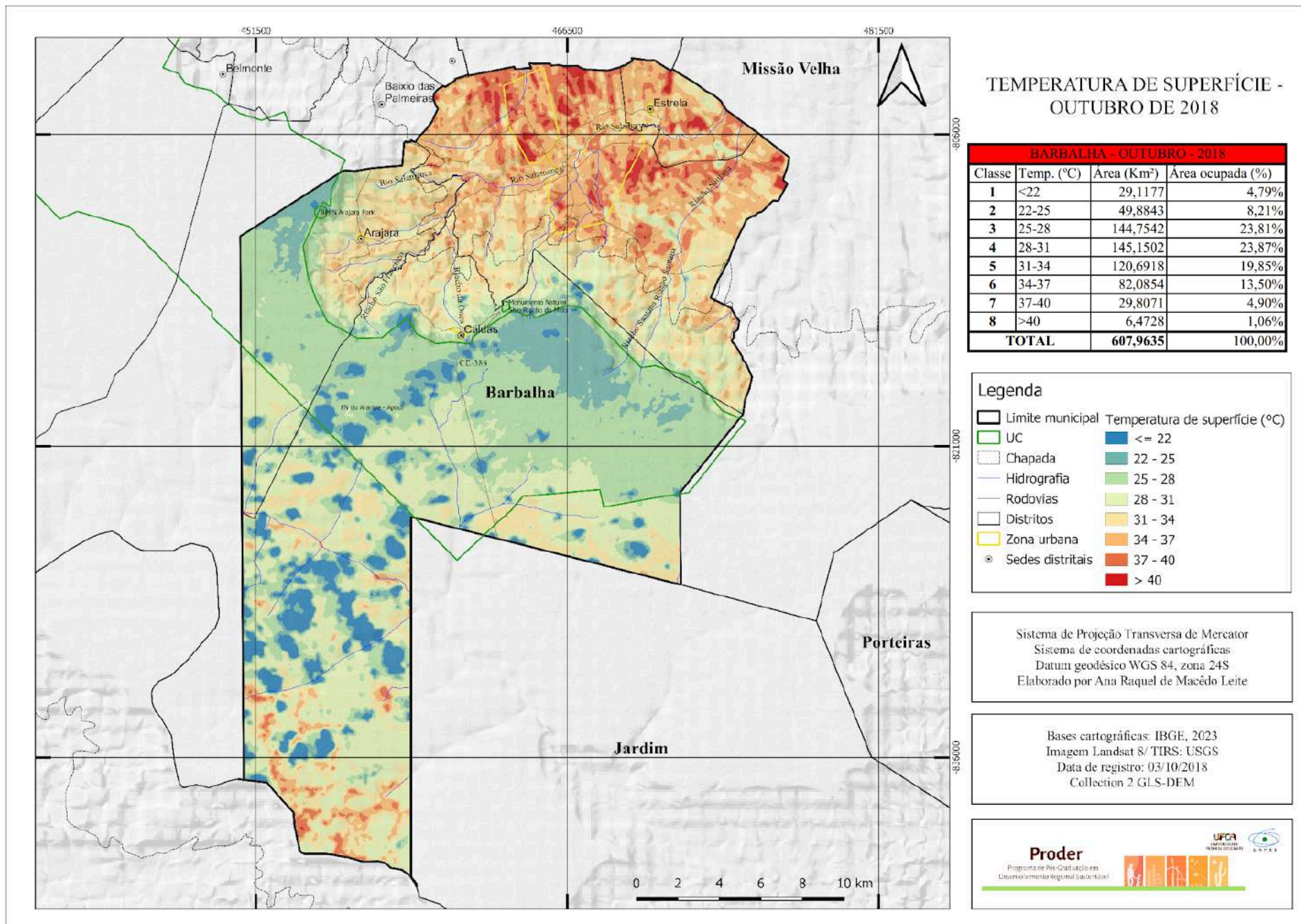
Mapa 16: Temperatura de superfície em Barbalha em julho de 2023



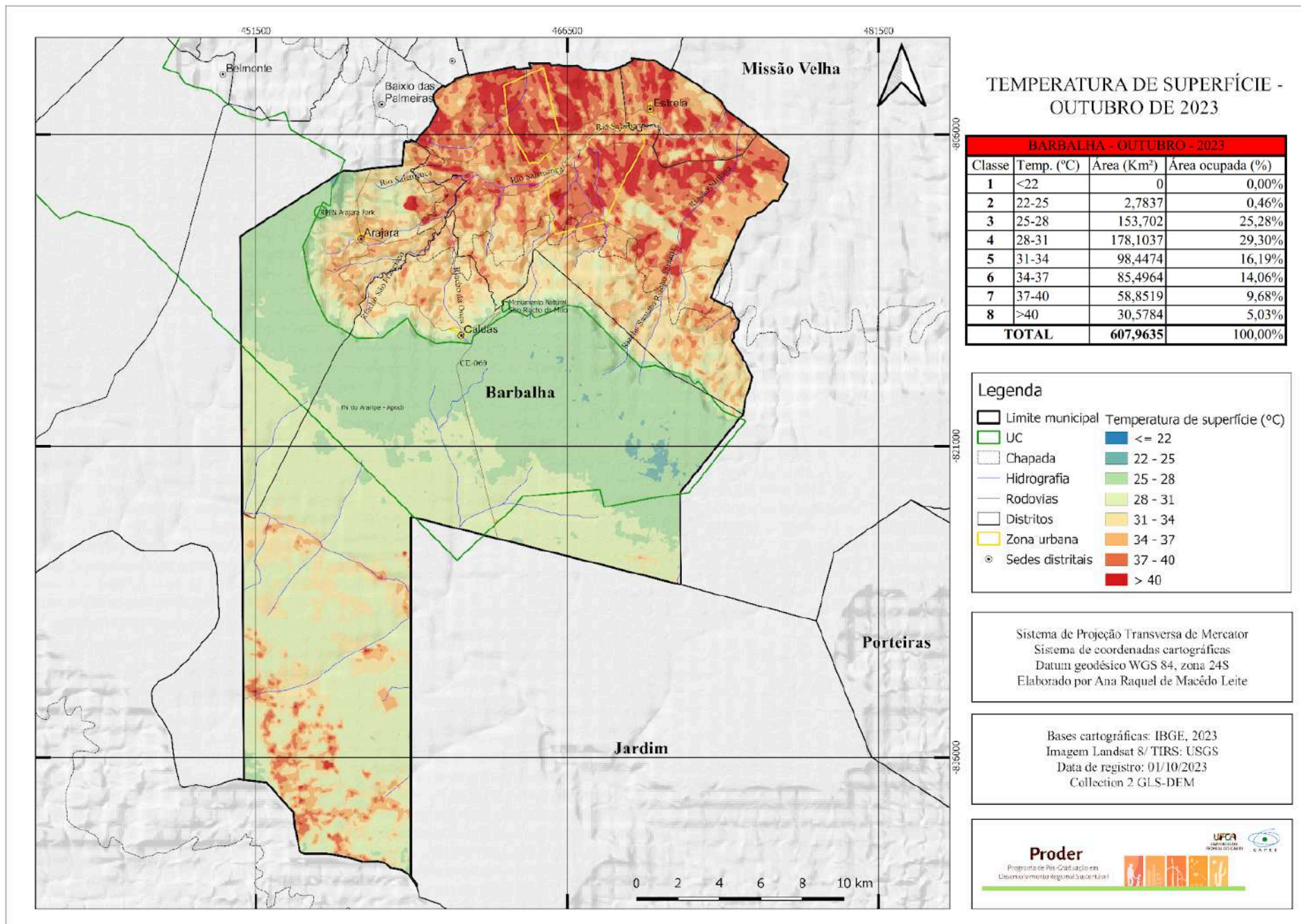
Mapa 17: Temperatura de superfície em Barbalha em setembro de 2013



Mapa 18: Temperatura de superfície em Barbalha em outubro de 2018



Mapa 19: Temperatura de superfície em Barbalha em outubro de 2023



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Assim como o Crato, Barbalha apresenta grandes quantidades de vegetação devido a presença da Chapada do Araripe, em especial na FLONA, área de proteção ambiental. Assim, essas áreas encontram-se em temperatura mais baixa principalmente pela união dos fatores de flora e topografia. No entanto, a partir do mapa 14, pode-se perceber a influência antrópica na região manifestada pela rodovia CE-060 com sentido a Jardim, cujo entorno encontra-se mais quente. Analisando o município em sua completude, evidenciam-se dois núcleos de calor, sendo um ao norte, onde predomina o desenvolvimento urbano, e o segundo ao sul, onde se destacam os surgimento de várias chácaras e diminuição da vegetação, resultado também aferido por Farias *et al.* (2021). Áreas de amenidade climática podem ser observadas no entorno do rio Salamanca. Em julho de 2013 a amplitude térmica foi de 14,78°C, com temperatura mínima de 20,16°C e máxima de 34,94°C. Dentre esses valores, o intervalo mais expressivo foi entre 22°C e 25°C, representando 344,11 Km² (uma ocupação de 56,60% do território). As categorias 1 (inferior a 22°C) e 3 (entre 25°C e 28°C) distribuíram-se de forma semelhante, com cerca de 20% do território cada.

Ao analisar o mapa 17, que apresenta informações sobre o segundo semestre de 2013, nota-se a intensificação das temperaturas, com destaque para os riachos Jardim e Santana, cujo entorno encontra-se mais quente em comparação a junho. Observa-se também que a topografia influencia diretamente na variação da temperatura, notando-se que as áreas mais baixas do município foram aquelas que apresentaram maiores valores de temperatura, como nota-se na mancha mais alaranjada no norte do município. Grande parte dessa área coincide com a delimitação da zona urbana, a qual se aproxima cada vez mais dos limites de Juazeiro do Norte, em um intenso processo de conurbação. Tais fatores contribuem para que as temperaturas sejam mais altas. Nesse período a temperatura mínima foi de 16,09°C e a máxima foi de 41,66°C, resultando uma amplitude térmica de 25,57°C. A série de temperatura que apresentou maior expressividade foi a quarta (entre 28°C e 31°C), estando presente em 36,76% do território. Nesse período, as temperaturas superiores a 40°C foram registradas em pontos isolados.

Em se tratando do mês de julho de 2018, com o mapa 15, é possível extrair que a FLONA apresentou-se mais fria, visto que as temperaturas inferiores a 22°C predominam com maior abrangência, em relação ao mesmo período de 2013. Nota-se também que houve um aumento da temperatura nas áreas de expansão

urbana, ou seja, fora do limite dos bairros, onde evidencia-se a presença de diversos loteamentos. Tais espaços ganham maiores proporções próximo a Juazeiro do Norte, bem como nas margens da CE-293, próximo a Missão Velha. Já os pontos mais amenos fora da Chapada do Araripe, situam-se onde o relevo é mais elevado e nas proximidades de rios e riachos. Em julho de 2018, as temperaturas que mais se destacaram nos limites barbalhenses foram na faixa entre 22°C e 25°C (classe 2), estando presente em 43,84% do território, seguido de temperaturas abaixo de 22°C (22,74%) e entre 25°C e 28°C (20,81%). O comportamento da temperatura ocorreu de modo semelhante ao mesmo período de 2013, com exceção da classe 4, que foi mais presente em 2018 (10,70%). A temperatura mínima nesse período foi de 18,94°C e a máxima de 36,96°C, com amplitude de 18,03°C.

No segundo semestre de 2018, a partir do mapa 18, é possível observar que as temperaturas são maiores em todo o município, sendo notório que dentro do limite da Flona, as temperaturas que mais predominam são da segunda classe (entre 22°C e 25°C). Alguns pontos de nuvens são encontrados na porção sul do município, responsáveis pelas temperaturas mais baixas. O núcleo de calor encontra-se ainda mais evidente, onde é possível perceber temperaturas acima de 40°C principalmente no limite com o município de Juazeiro do Norte. Também são encontradas temperaturas elevadas na zona rural, com proximidade a CE-293. Em outubro de 2018, as temperaturas entre 25°C e 31°C ocuparam aproximadamente metade do território, distribuídas em duas classes (3 e 4). Nesse período a temperatura mínima foi de 13,11°C e a máxima de 45,63°C. Devido a presença de algumas nuvens, a amplitude térmica desse período foi de 32,52°C.

Em julho de 2023, de modo geral, as temperaturas foram mais amenas, como pode ser visto no mapa 16. Com esse mapa é possível observar que o território barbalhense que faz parte da chapada foi mais frio que o restante do território, onde o relevo é menos acidentado e existe maior antropização. Seguindo o padrão dos anos anteriores, a classe de temperatura mais expressiva foi a segunda (22°C a 25°C), ocupando 40,81% da área. A segunda classe que apresenta destaque é a primeira (abaixo de 22°C), ocupando 32,86% do território. Nesse mês a temperatura mínima foi de 19,60°C e a máxima de 34,03°C, perfazendo uma amplitude de 14,43°C.

Em outubro de 2023, mapa 19, fica nítido o aumento da temperatura da porção norte no município, com temperaturas superiores a 40°C em áreas que

abrangem toda a zona urbana e seu entorno. Assim, as classes de temperatura 3 a 8 foram mais presentes, sendo as temperaturas entre 25°C e 31°C as mais significativas ocupando mais da metade do território. Nesse período a temperatura mínima foi de 24,40°C e a máxima de 80,35°C, gerando uma amplitude de 55,95°C.

Em suma, correlacionando os três anos, onde nota-se uma gradativa evolução da temperatura. Os valores da temperatura são apresentados no quadro 8 a seguir.

Quadro 8: Temperatura de superfície em Barbalha

BARBALHA								
Ano	PRIMEIRO SEMESTRE				SEGUNDO SEMESTRE			
	MED	DES	MIN	MAX	MED	DES	MIN	MAX
2013	23,87	1,94	20,16	34,94	29,80	3,53	16,09	41,66
2018	24,32	2,74	18,94	36,96	29,72	4,79	13,11	45,63
2023	23,56	2,58	19,60	34,03	31,49	4,63	24,40	80,35

Fonte: elaborado pela autora, 2024

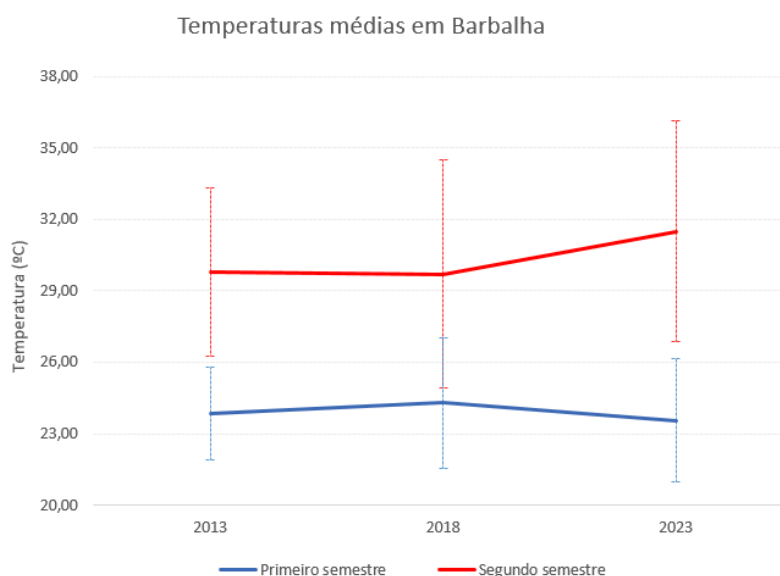
Para o primeiro semestre, em 2013, Barbalha apresentou temperatura média de 23,87°C, com um desvio padrão de 1,94°C. Em 2018, a temperatura foi de 24,32°C, com desvio de 2,74°C. Em 2023, a temperatura foi de 23,56°C, com desvio padrão de 2,58°C. Para o segundo semestre, em 2013, Barbalha apresentou temperatura média de 29,80°C, com desvio padrão de 3,53°C. No ano de 2018, a temperatura foi de 29,72°C, com desvio de 4,79°C. Já em 2023 a temperatura foi de 31,49°C, com desvio de 4,63°C.

Observando os valores de desvio padrão, nota-se que houve maior dispersão dos dados para o município de Barbalha, que se justifica pela presença de algumas nuvens na imagem de satélite analisada, nas proximidades da Chapada do Araripe. Essa situação ocasionou uma temperatura mínima de 13,11°C em outubro de 2018, ao passo que em outubro de 2023, foi registrada temperatura máxima de 80,35°C, que possivelmente é devido à presença de fogo em algum ponto bem limitado da zona rural. Tais valores extraordinários fizeram com que o desvio padrão fosse maior.

No gráfico 6 pode-se comparar os valores da temperatura média de Barbalha, constatando-se a elevação da temperatura no segundo semestre. Analisando os valores médios de temperaturas, observa-se que 2013 e 2018 comportaram-se de

modo semelhante tanto no período mais ameno, quanto no mais quente, sendo observado um aumento de cerca de 6°C entre os dois períodos. Já em relação a 2023, observa-se que os valores se distanciaram mais, gerando uma diferença de quase 8°C.

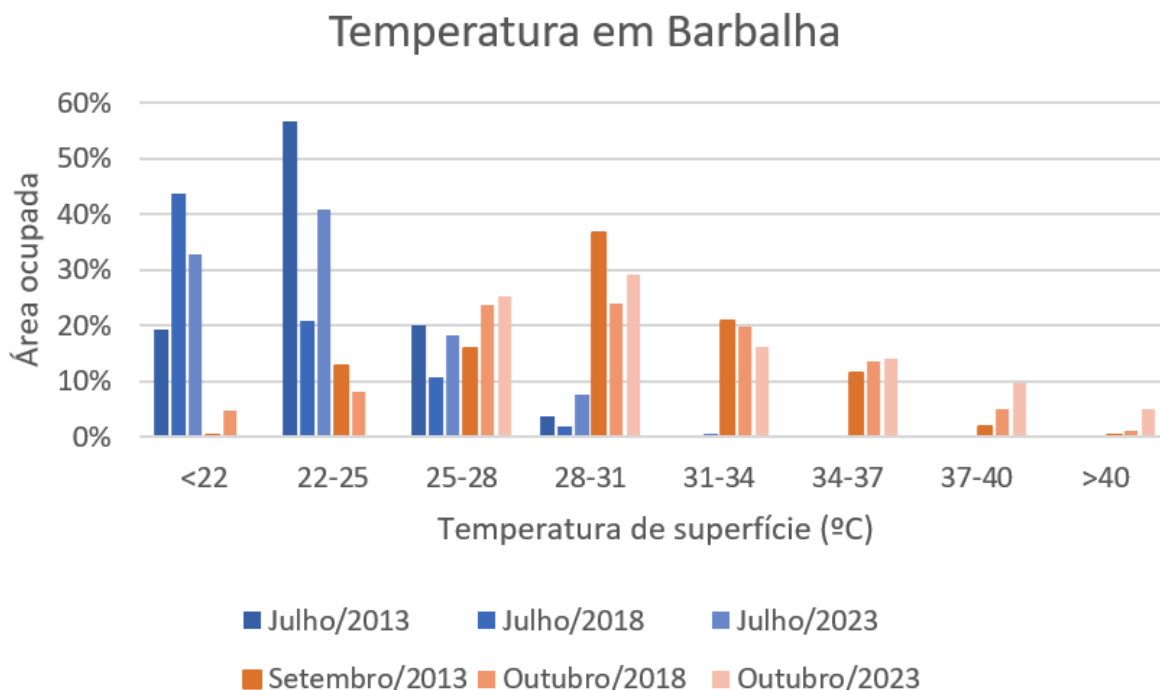
Gráfico 6: Evolução das temperaturas médias de Barbalha



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Em análise dos contrastes térmicos, a partir da comparação dos valores médios da temperatura, entre os dois semestres, tem-se que, em 2013, Barbalha apresentou um aumento de 5,93°C. Em 2018 o aumento da temperatura foi de 5,40°C e, em 2023, de 7,93°C. Para realçar as diferenças da temperatura ao longo dos anos, foi feita uma comparação entre as classes de temperatura estudadas, de forma que nota-se que para o primeiro semestre as temperaturas mais expressivas encontram-se nos dois primeiros intervalos, ao passo que no segundo semestre são mais presentes as temperaturas dos intervalos 3, 4 e 5, conforme é possível verificar no gráfico 7.

Gráfico 7: Temperaturas médias de Barbalha



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

A partir dos resultados obtidos, nota-se que houve um padrão de distribuição do calor, assim como dos dois recortes espaciais apresentados anteriormente. Embora não existam trabalhos relacionados a ilhas de calor para a cidade de Barbalha, os autores Dantas *et al.* (2017) apresentam estudo da temperatura da superfície na bacia do Riacho Jardim, que corroboram com os resultados alcançados, ao mostrar o aumento da temperatura ao longo dos vários anos de estudo, onde percebe-se trechos com temperaturas superiores a 40°C. Outro trabalho que aborda as temperaturas de superfície de Barbalha, apesar de utilizar métodos diferentes, encontra resultados que corroboram com o presente estudo, pois mostra valores variando entre 21°C e 30°C para os 13 anos na análise.

Assim se concluem as análises sobre as temperaturas para os três municípios do Crajubar, na completude dos seus territórios. Nos textos subsequentes, a pesquisa avança em pormenores relativos às áreas urbanas, em suas sedes.

5 ANÁLISE DOS NÚCLEOS DE CALOR URBANO

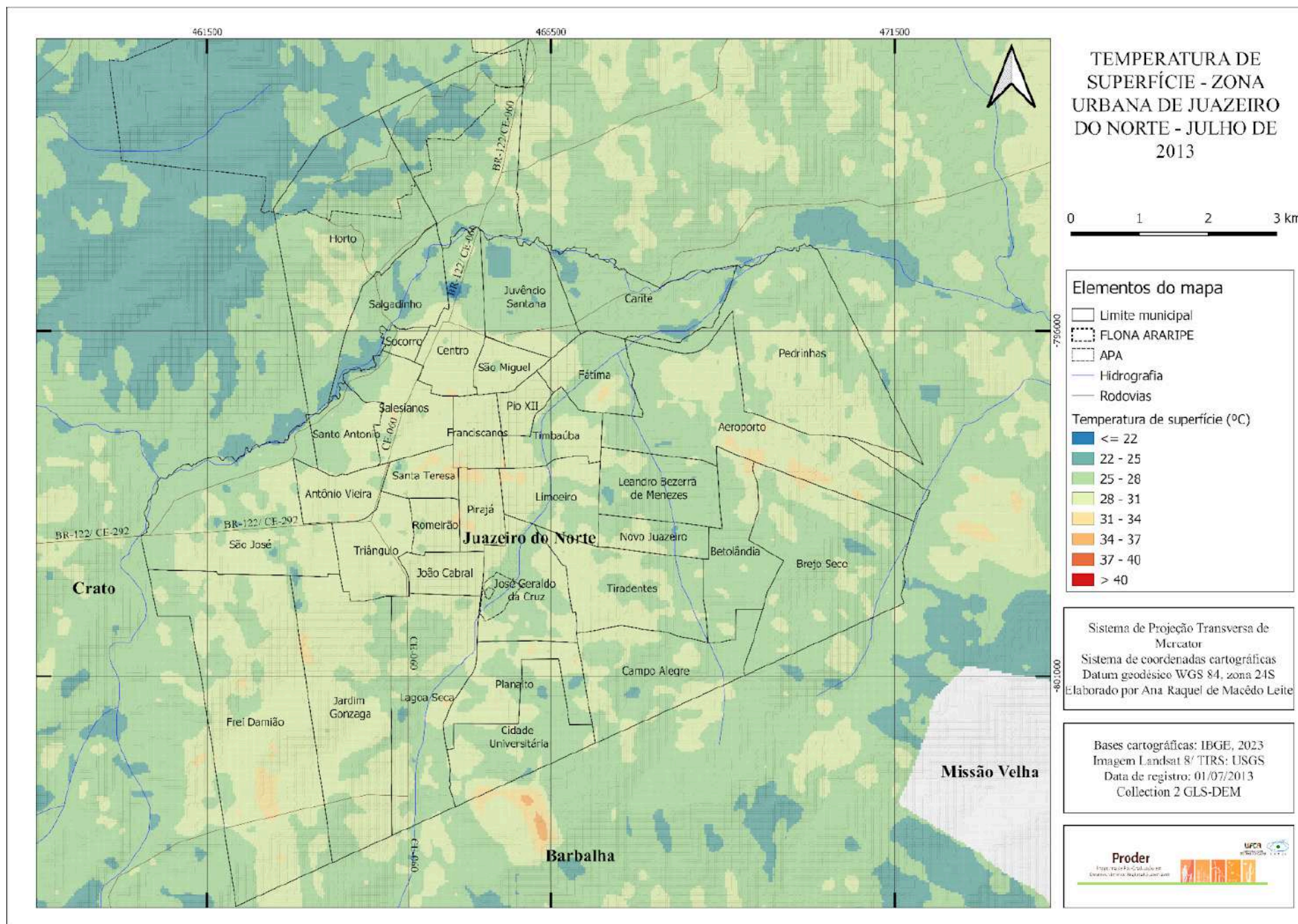
Nesta seção serão abordadas as análises respectivas à zona urbana dos três municípios, onde será possível identificar os padrões de calor. No que se refere especificamente à malha urbana, vê-se que o aumento de temperatura também se deu no recorte dos bairros.

Serão apresentados os produtos cartográficos referentes a cada cidade e as respectivas análises. No apêndice A são encontradas as tabelas em que constam os valores da temperatura para cada bairro.

5.1. JUAZEIRO DO NORTE

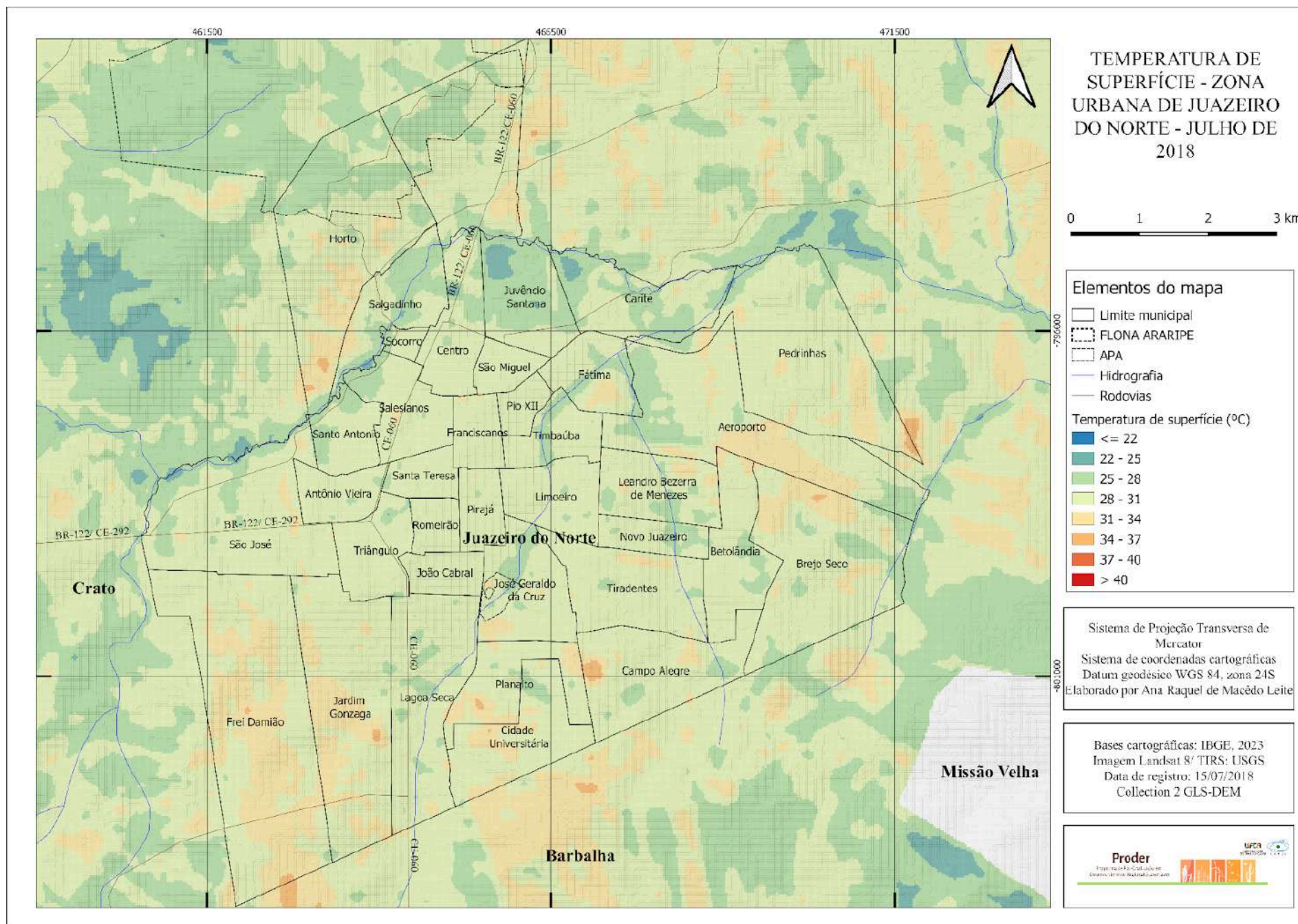
Os mapas 20, 21 e 22 apresentam a espacialização da temperatura para o primeiro semestre e os mapas 23, 24 e 25 apresentam as temperaturas para o segundo semestre.

Mapa 20: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em julho de 2013



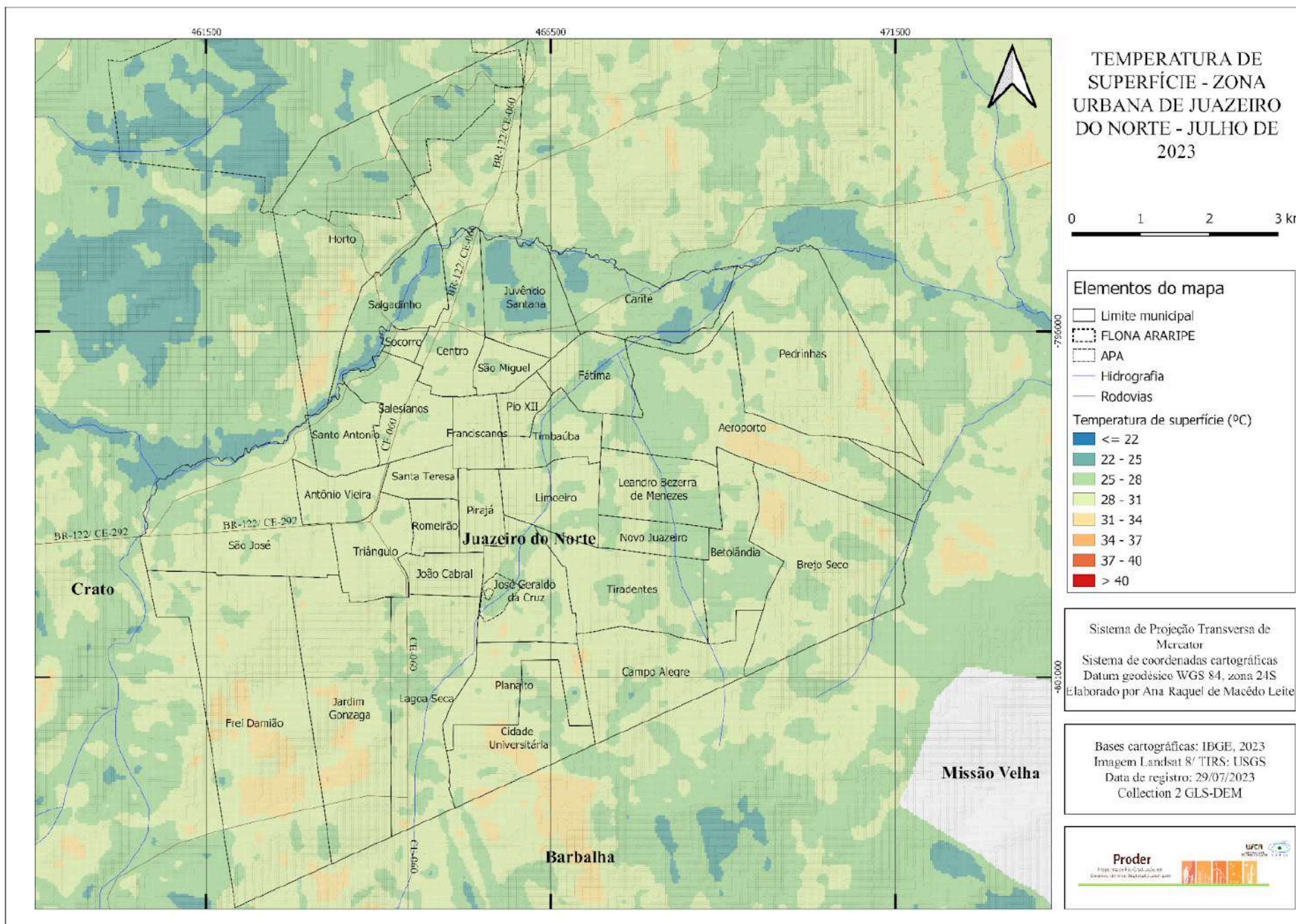
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 21: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em julho de 2018



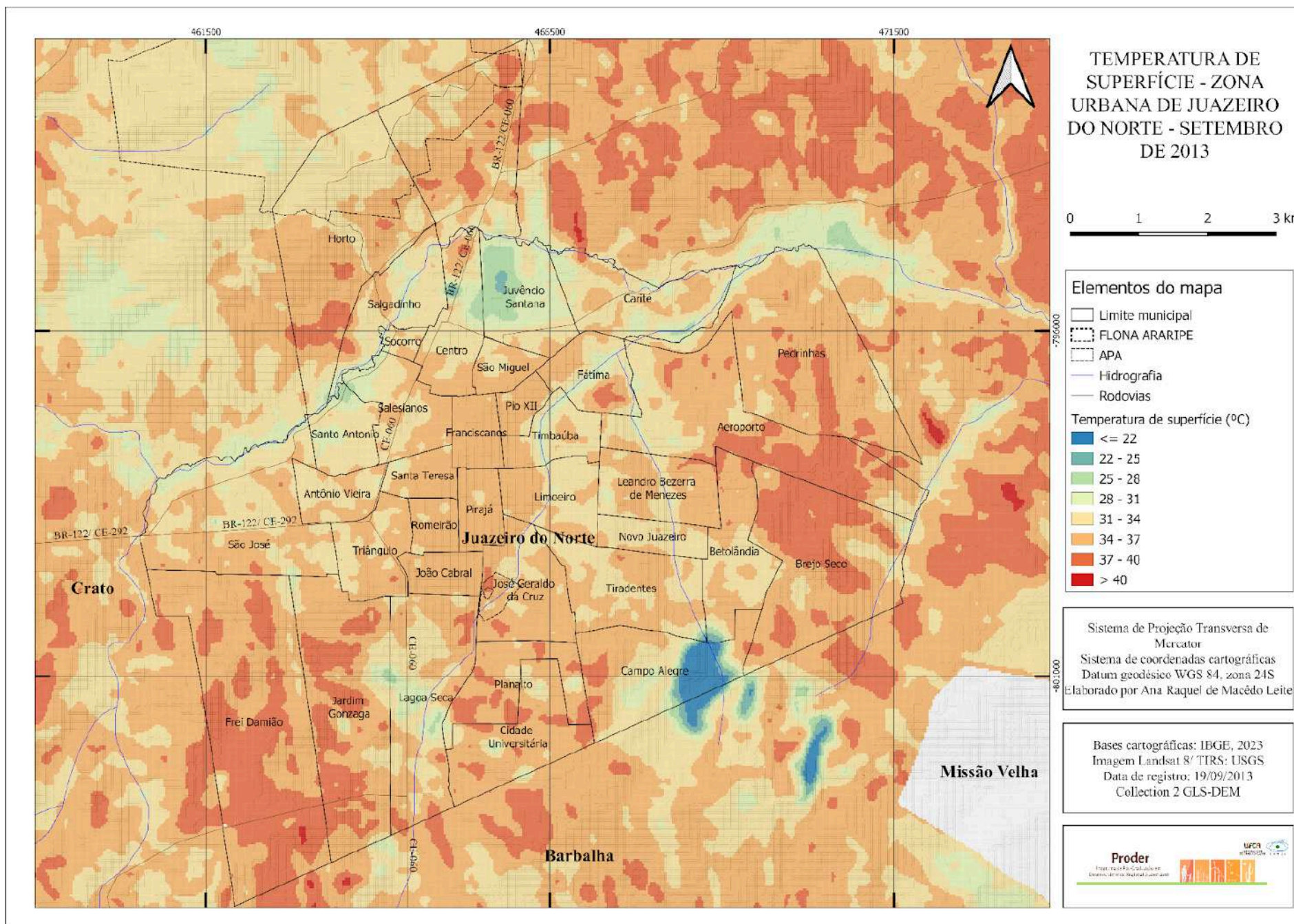
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 22: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em julho de 2023



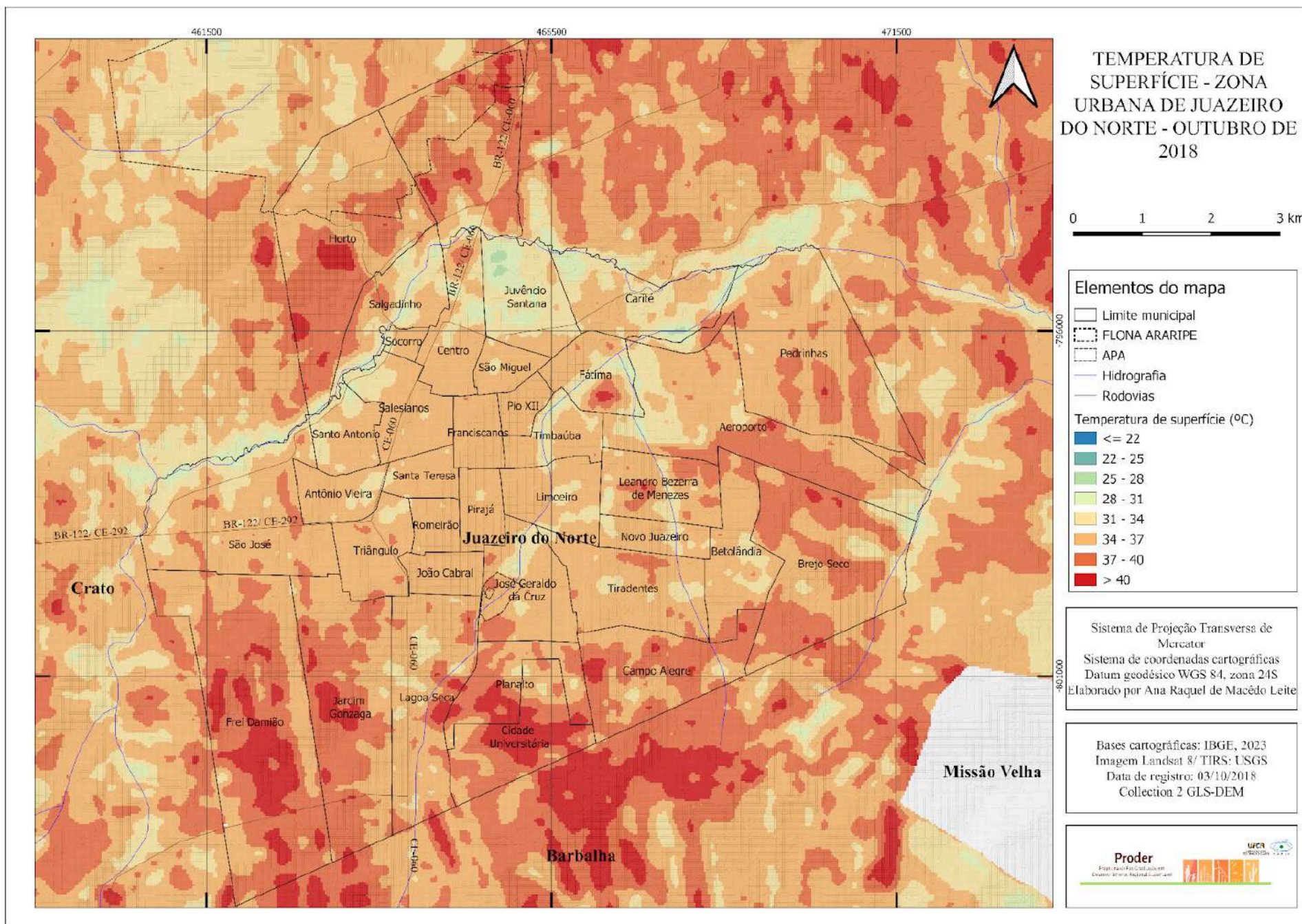
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 23: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em setembro de 2013



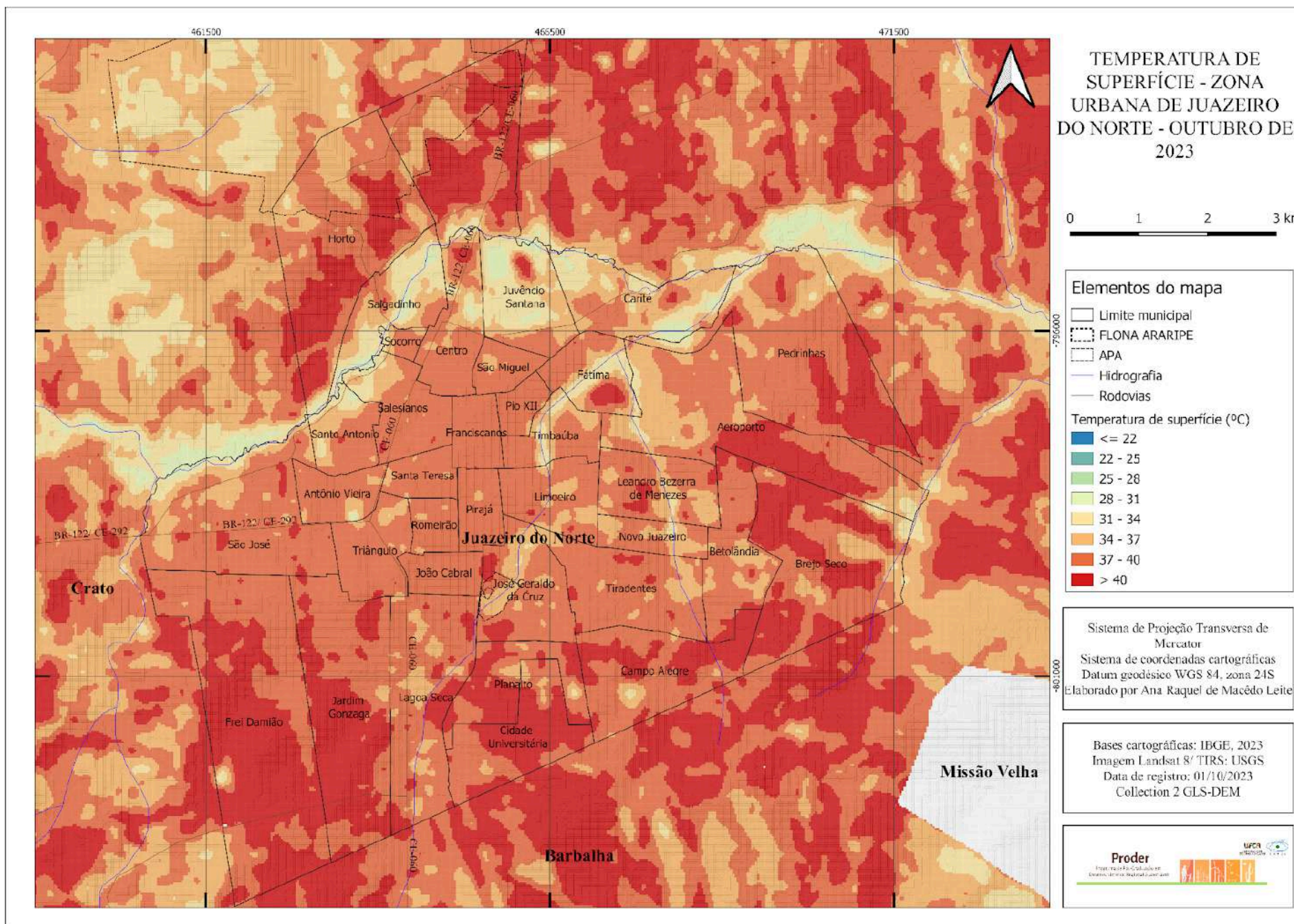
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 24: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em outubro de 2018



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 25: Temperatura de superfície na zona urbana de Juazeiro do Norte em outubro de 2023



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Em julho de 2013, a partir do mapa 20, nota-se que a área urbana concentra núcleos de calor havendo predominância das séries 4 e 5, que comportam temperaturas entre 28°C e 34°C. Destaca-se nesse quesito o conjunto dos bairros Pirajá, Franciscanos, João Cabral, Santa Teresa, São Miguel, Pio XII, Romeirão e Centro, localizados no centro da malha urbana, assim como alguns pontos da periferia, como o bairro Frei Damião. Esses bairros apresentam ocupação mais densa e concentrada, havendo poucos vazios urbanos. Dentre os citados, Pirajá, Franciscanos e João Cabral apresentam os maiores valores de temperaturas médias para o período, superiores a 30°C, com a menor dispersão, conforme a tabela presente no apêndice A. Assim, o bairro Pirajá apresentou temperatura média de 30,55°C com desvio padrão de 0,52°C; o bairro Franciscanos, temperatura média de 30,52°C com desvio padrão de 0,32°C; e o bairro João Cabral, temperatura média de 30,02°C com desvio padrão de 0,54°C.

Alguns bairros de Juazeiro merecem destaque por possuírem pontos de amenidade climática. É notório como o bairro José Geraldo da Cruz, situado na área central da malha urbana, pode ser inserido quase em sua totalidade na série 3 (entre 25°C e 28°C). Isso se dá pela presença do Parque das Timbaúbas, um parque urbano que constitui uma Unidade de Conservação e se desenvolve nas imediações da lagoa natural dos Macacos. É perceptível também que os bairros periféricos do sudeste da malha urbana, pouco densos e com lotes de maiores tamanhos, também possuem um microclima mais ameno. Nesse grupo estão os bairros Betolândia, Campo Alegre, Brejo Seco, Cidade Universitária, Planalto e Lagoa Seca, classificados na série 3 (25°C a 28°C). A mesma situação acontece com os bairros a norte e nordeste da malha urbana, como Carité, Juvêncio Santana, Salgadinho e Três Marias, ainda pouco ocupados e sob influência do Rio Salgadinho e circundados por vegetação densa no período em questão.

No segundo semestre de 2013, apresentado no mapa 23, a temperatura aumentou cerca de 6°C, havendo predominância da categoria 6 (entre 34°C e 37°C). Além disso, temperaturas da classe 7, entre 37°C e 40°C, pode ser observada com mais intensidade nos bairros periféricos, como Frei Damião, Brejo Seco, Planalto, Jardim Gonzaga, Cidade Universitária, Aeroporto e Pedrinhas, devido ao processo de urbanização mais recente, sendo presente várias áreas de loteamento que deixam o solo exposto, sem cobertura vegetal. Esses 7 bairros apresentaram temperaturas médias acima de 35°C. Já nos bairros centrais, encontram-se valores

abaixo de 30° em locais onde a presença de corpos hídricos exercem influência, atestando a importância do rio Salgadinho e do riacho dos Macacos como atenuadores microclimáticos. Analisando os valores médios da temperatura, o bairro Juvêncio Santana foi o único que apresentou temperatura abaixo de 30°C. No mapa 23 é possível perceber uma única mancha azul, no entanto ela ocorreu devido a presença de uma nuvem.

Ao analisar o mapa 21, que retrata o mês de julho de 2018, já é possível perceber algumas alterações em relação ao ano de 2013. O bairro Frei Damião - que em 2013 em sua maior parte nas classes 3 e 4, cujas temperaturas variam de 25°C a 31°C - passou a apresentar temperaturas predominantemente da classe 5 (entre 31°C e 34°C). As imediações do rio Salgadinho também apresentaram aumento da temperatura, que pode ser observada nos bairros Salgadinho e Horto. No Horto, esses pontos que antes eram compreendidos na série 3 (25°C a 28°C) passaram a constar na série 5 (31°C a 34°C). Já o núcleo central permaneceu na mesma classe. Os bairros periféricos, nos quais se desenvolve à expansão urbana da cidade, foram aqueles que mais apresentaram variações no intervalo de 5 anos, como Horto, Três Marias, Carité, Pedrinhas, Aeroporto, Brejo Seco, Campo Alegre, Cidade Universitária, Lagoa Seca, Jardim Gonzaga e Frei Damião. Os bairros que apresentaram maiores valores de temperatura foram Frei Damião, Jardim Gonzaga, Campo Alegre e Pedrinhas, com temperaturas máximas superiores a 35°C.

Em relação ao mês de outubro de 2018, o mapa 24 mostra que as temperaturas aumentaram bastante, e valores superiores a 40°C (classe 8), podem ser vistos em diversos bairros, como Cidade Universitária, Frei Damião, Campo Alegre, Planalto, Três Marias, Lagoa Seca, Horto, Jardim Gonzaga, Fátima, Brejo Seco, Aeroporto, Pedrinhas e Leandro Bezerra de Menezes. No entanto, os bairros que apresentaram essa temperatura com maior constância foram Frei Damião e Cidade Universitária, tendo este registrado a maior temperatura da zona urbana (46,30°C). Os pontos de amenidade climática ainda se concentram nas imediações de corpos hídricos.

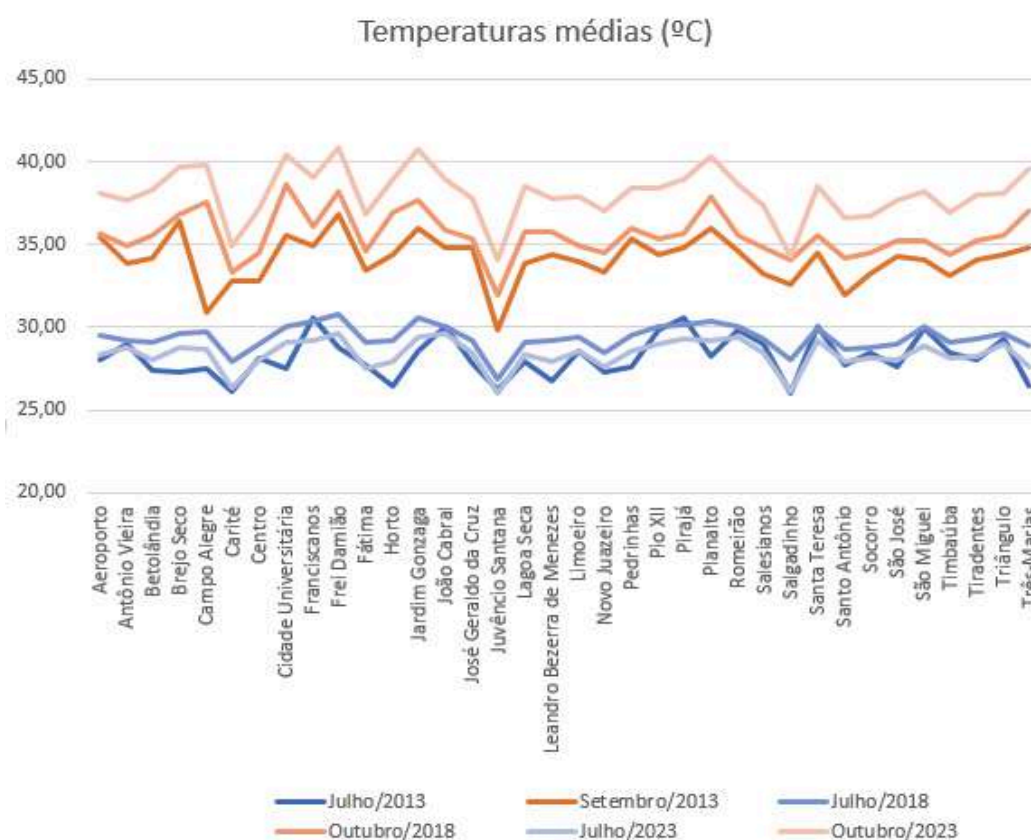
No último ano da análise, o mês de julho revelou-se mais ameno que 2018. No mapa 22 pode-se perceber que os cursos d'água exerceram influência em maiores áreas, fazendo com que os bairros apresentassem temperaturas mais amenas, em relação ao mesmo período de 2018. Nesse período a temperatura máxima foi de 34°C, registrada no bairro Jardim Gonzaga. Assim como nos períodos

anteriores os núcleos de calor são evidenciados nos bairros periféricos, sendo perceptível manchas em tons laranja nos bairros Frei Damião, Jardim Gonzaga, Cidade Universitária, Brejo Seco, Aeroporto e Horto.

Quando se trata do período de outubro de 2023, observa-se que no mapa 25 o cenário muda e as temperaturas máximas em toda a zona urbana variam de 38,93°C e 48,23°C, e as temperaturas médias superiores a 34°C. Além dos bairros periféricos, que já se mostraram mais quentes com a evolução do tempo, é possível perceber que alguns bairro centrais também apresentaram temperaturas superiores a 40°C, como o bairro Fátima, Alguns bairros apresentaram temperaturas mais elevadas em pontos isolados como Franciscanos, Limoeiro, Tiradentes, Salesianos, Santo Antônio, Triângulo e José Geraldo da Cruz.

O gráfico 8 mostra de maneira sintética como foi o comportamento da temperatura dos bairros de Juazeiro do Norte em cada período analisado.

Gráfico 8: Temperaturas médias na zona urbana de Juazeiro do Norte



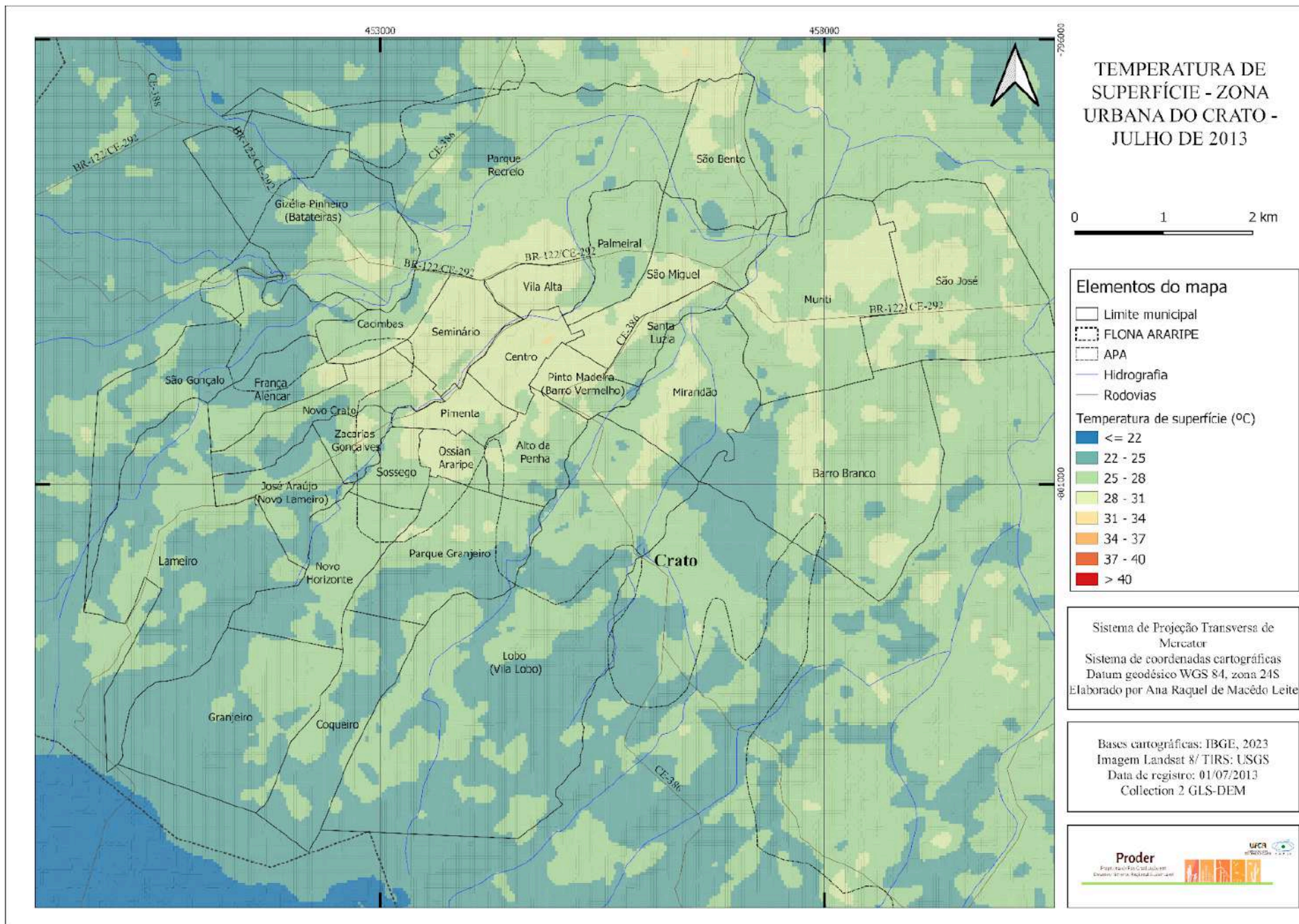
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Os resultados apresentados podem ser comparados com alguns trabalhos realizados para a mesma cidade. Estevão (2016) constatou comportamento semelhante ao do presente estudo, ao analisar que no período mais ameno, as temperaturas mais altas encontram-se no aglomerado urbano, ao passo que na estação seca, desmembraram-se em áreas adjacentes principalmente em direção aos municípios de Crato e Barbalha.

5.2 CRATO

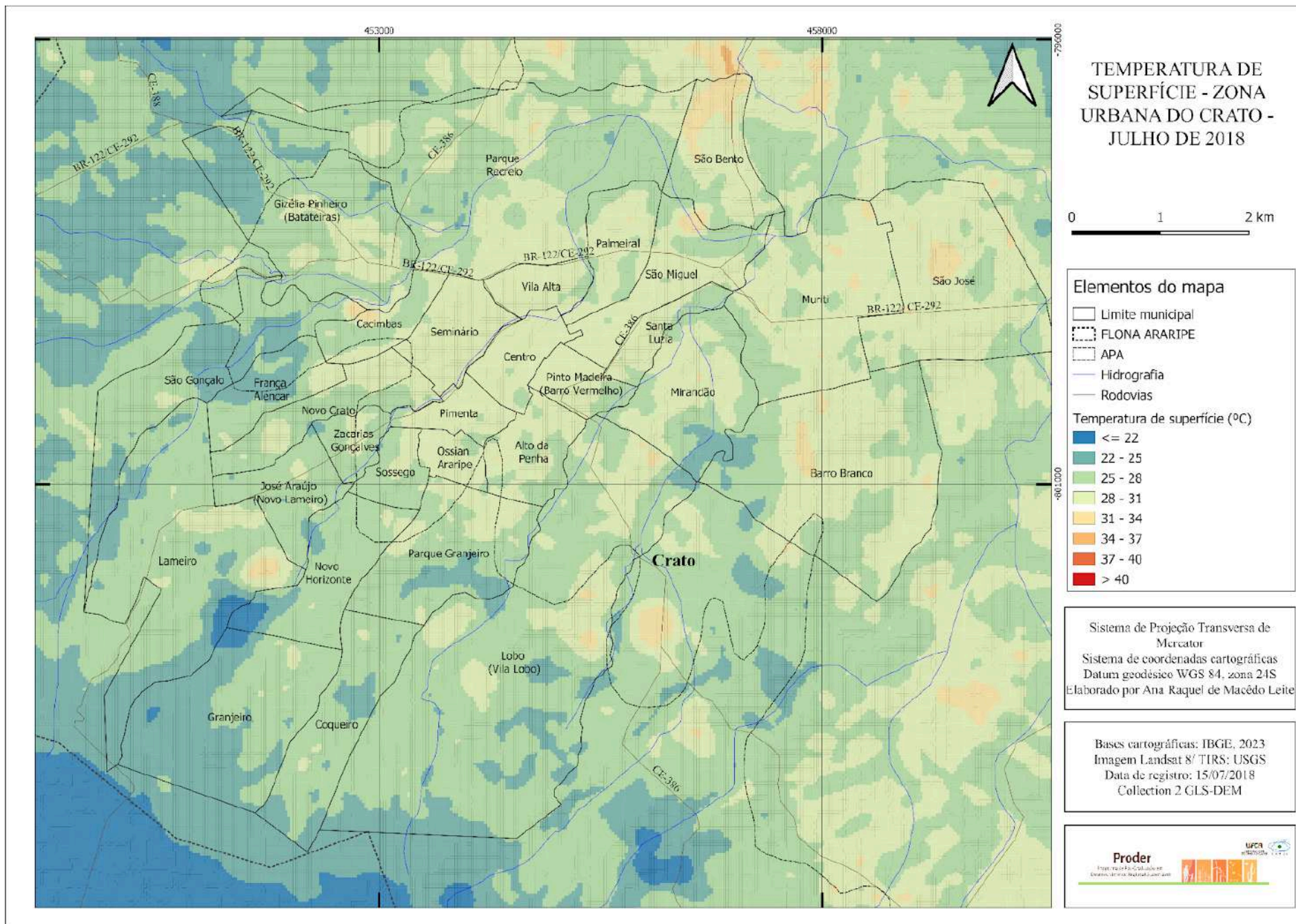
Os mapas 26, 27 e 28 apresentam a espacialização da temperatura para o primeiro semestre e os mapas 29, 30 e 31 apresentam as temperaturas para segundo semestre.

Mapa 26: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em julho de 2013



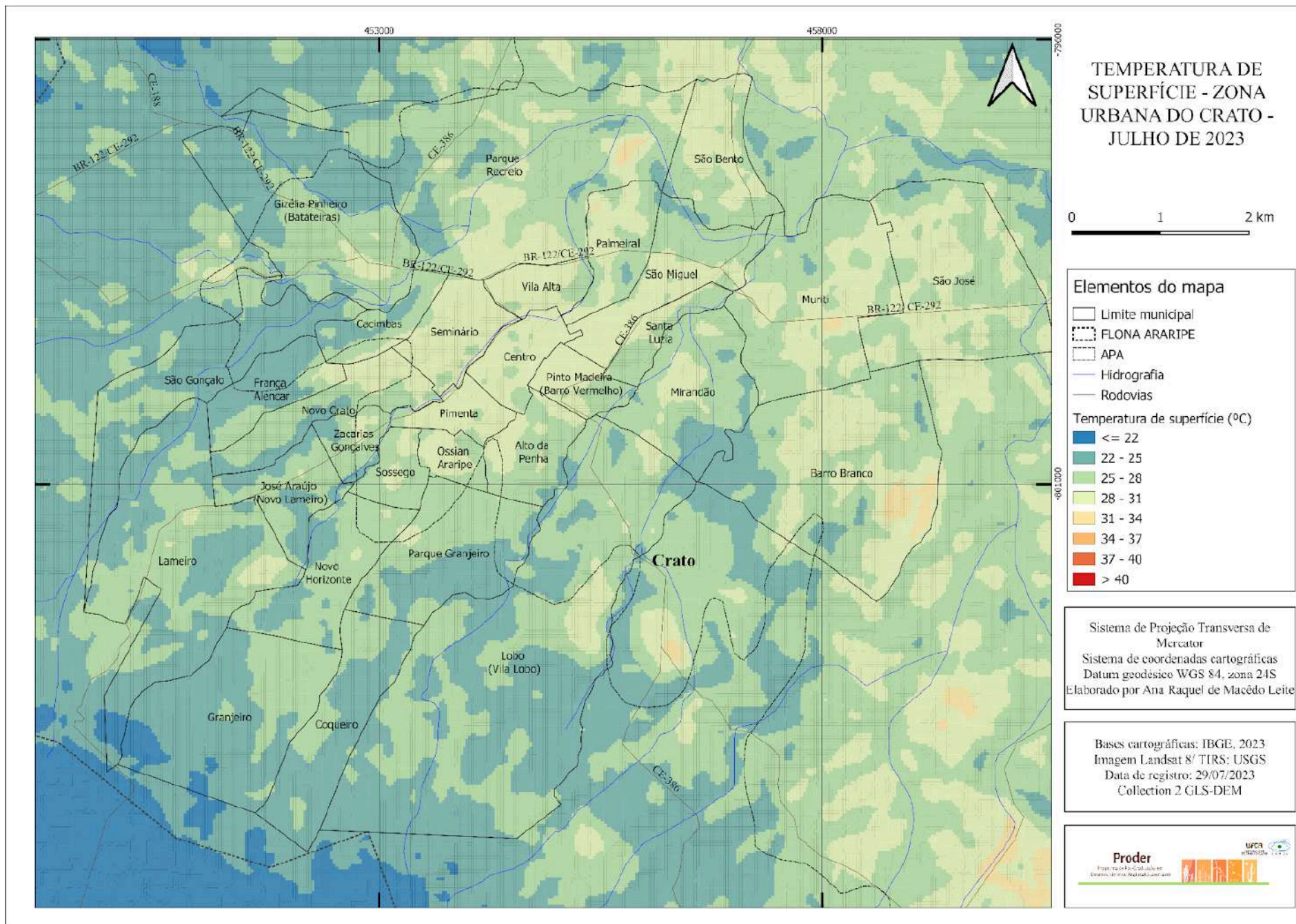
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 27: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em julho de 2018



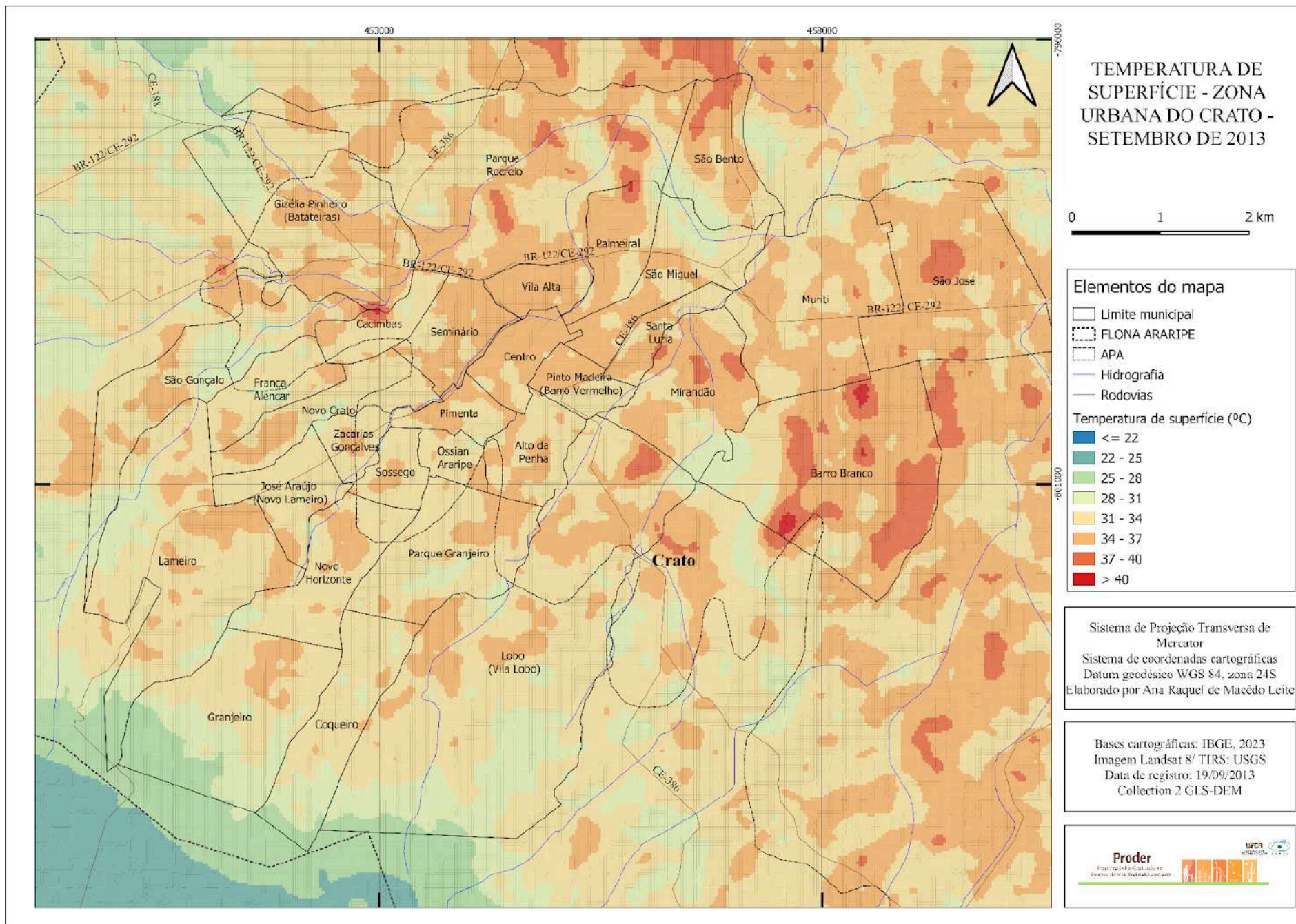
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 28: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em julho de 2023



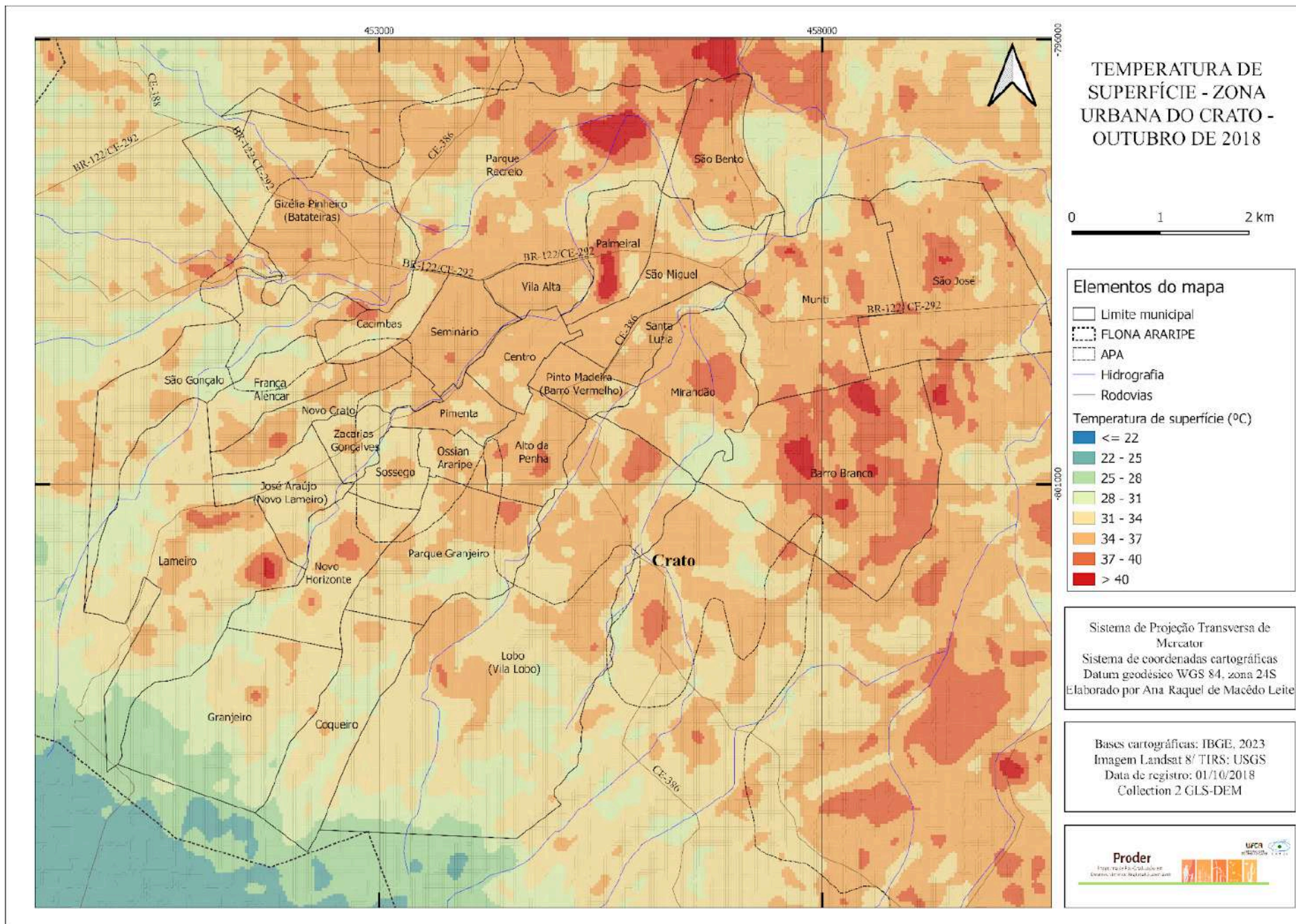
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 29: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em setembro de 2013



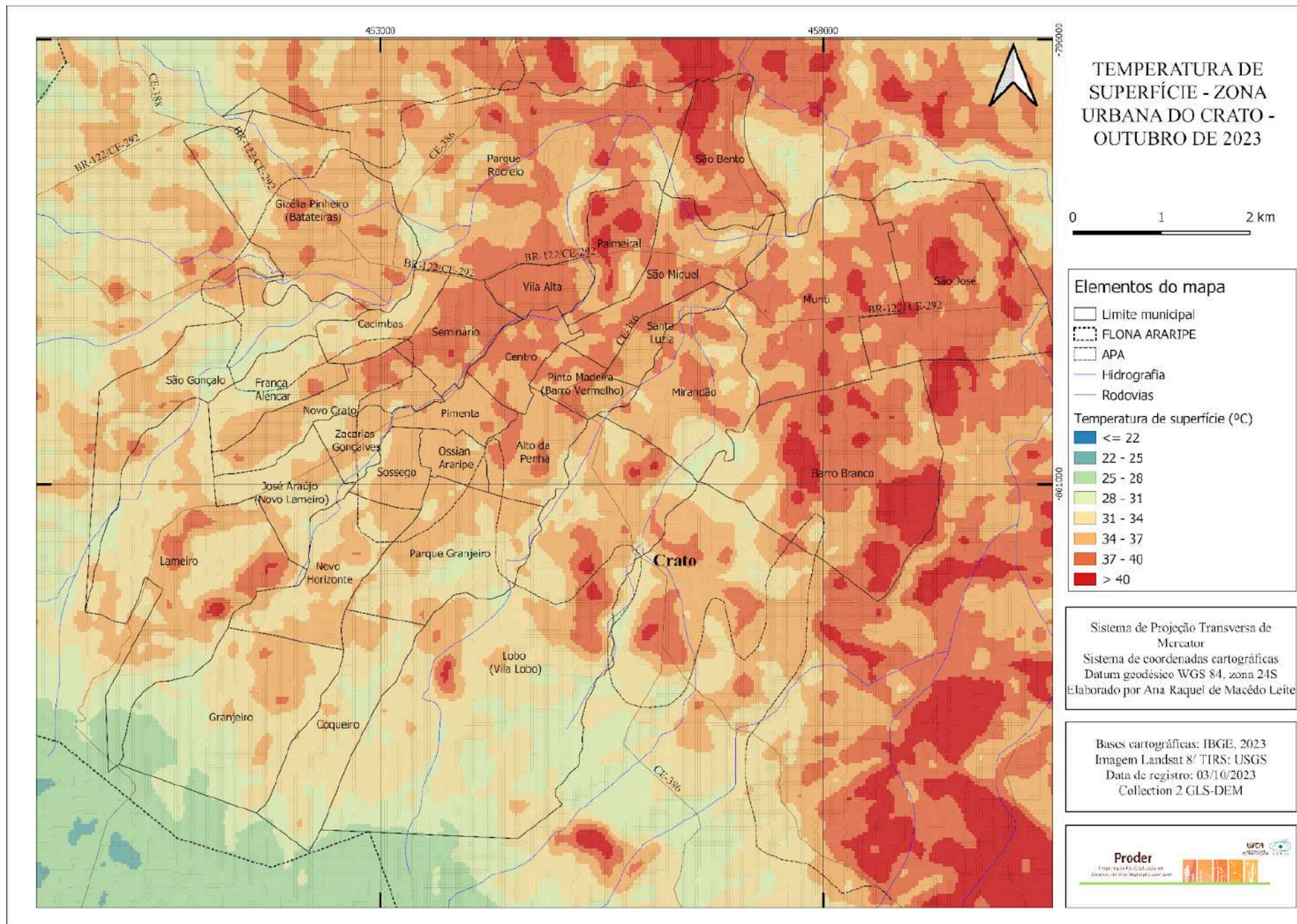
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 30: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em outubro de 2018



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 31: Temperatura de superfície na zona urbana do Crato em outubro de 2023



Fonte: elaborado pela autora, 2024

No que se refere a zona urbana do Crato, muitos de seus bairros periféricos são circundados pela vegetação do sopé da Chapada. A influência da vegetação e da topografia se dá em bairros como Lameiro, Granjeiro, Coqueiro, Vila Lobo, São Gonçalo e Batateiras. Estes bairros apresentam temperatura predominantemente da categoria 2 (22°C a 25°C) para o mês de julho de 2013, conforme pode ser visto no mapa 26. As maiores temperaturas são observadas nos bairros centrais da cidade, a saber: Centro, São Miguel, Vila Alta, Seminário e Pinto Madeira. Em todos esses predominam a categoria 4, com máxima de 31°C. Mesmo estando entre os bairros mais quentes, o Seminário apresenta uma área de amenidade da temperatura. A presença da encosta do seminário, fez com que a temperatura do bairro girasse em torno de 26°C.

Em setembro do mesmo ano, o mapa 29 mostra que as temperaturas máximas em todos os bairros ultrapassam 35°C. Os bairros mais quentes foram Barro Branco, Cacimbas, Palmeiral e Batateiras, nos quais foram registrados valores superiores a 40°C. Assim como aconteceu em Juazeiro, a maioria dos bairros tiveram um aumento de cerca 6°C em sua temperatura, em apenas dois meses. Os bairros periféricos do sopé da Chapada, embora também quentes, continuam com menores temperaturas, com predominância das séries 4 e 5 (28°C a 34°C). O rio Grangeiro, importante curso d'água da cidade, não exerceu influência significativa na amenização da temperatura. É notório que grande parte do rio está canalizado e quando exposto, não contém mata ciliar.

Em julho de 2018, conforme o mapa 27, o núcleo urbano central manteve-se em maior parte na mesma série de temperaturas em comparação a julho de 2013, como é o caso do Centro, Vila Alta, Pinto Madeira, Novo Crato, Pimenta e São Miguel, que mantiveram-se na categoria 4, com temperaturas variando entre 28°C e 31°C. Os bairros Seminário, Alto da Penha e Palmeiral apresentaram elevação da temperatura nos pontos que antes eram de amenidade climática e passaram a apresentar temperaturas entre 28°C e 31° em quase toda sua extensão. Bairros periféricos, como Lameiro, Batateiras, Barro Branco e São José ficaram mais quentes em quase toda a área. Alguns núcleos de calor podem ser vistos nos bairros São Bento, São José, Barro Branco, Vila Lobo e Lameiro, onde as temperaturas pertencem a categoria 5 (variando entre 31°C e 34°C).

Em relação ao segundo semestre de 2018, mapa 30, todos os bairros apresentaram temperaturas médias acima de 30°C. Houve um aumento significativo

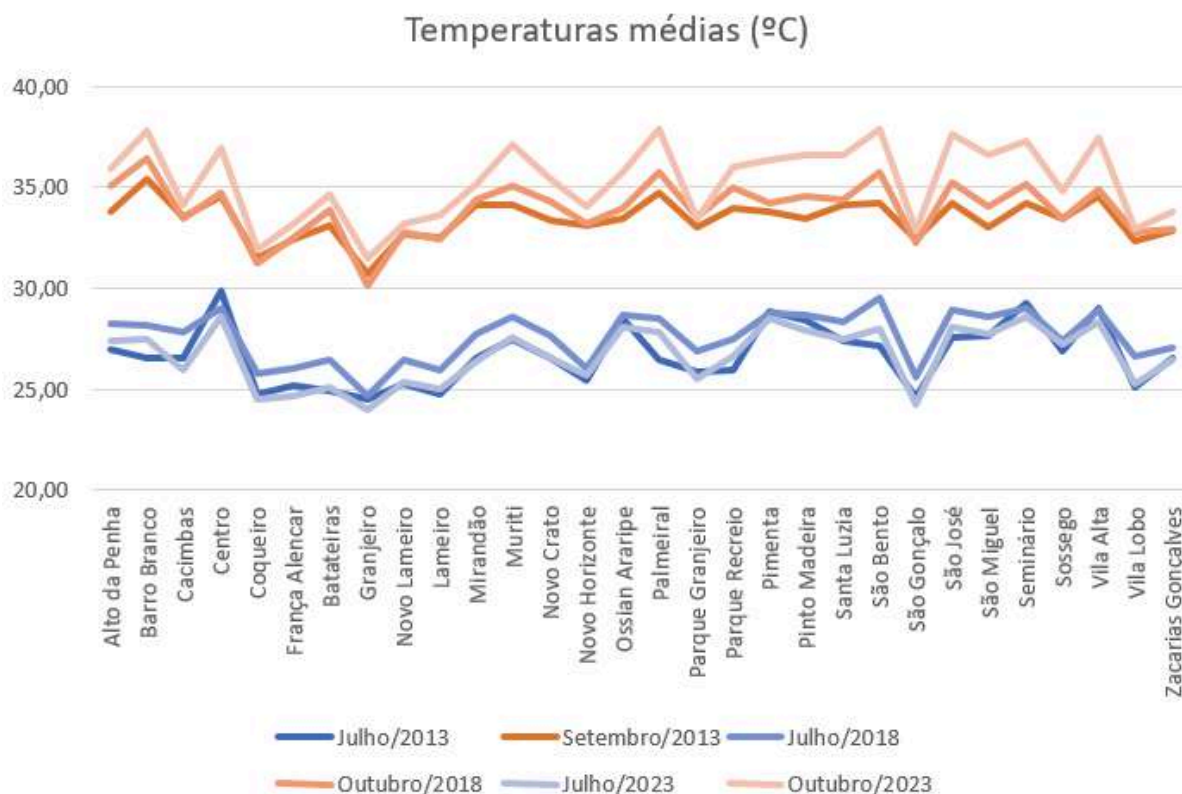
da temperatura no Palmeiral, o qual atingiu o valor máximo de temperatura do município para o período, 44,23°C, que representa um aumento de 10°C em relação ao mesmo período de 2013. Outro bairro com significativo aumento da temperatura foi o Parque Recreio, com o surgimento da classe 8 (acima de 40°C), onde antes era classe 4 (28°C a 31°C), visto o aumento do desmatamento e o crescimento dos loteamentos. Além dos bairros citados, as temperaturas acima de 40°C também puderam ser constatadas no Barro Branco, São Bento, Lameiro, Muriti e São José. Já os pontos de amenidade climática são encontrados principalmente onde existe a presença de elementos como vegetação ou corpos hídricos. Nesse sentido, evidencia-se pontos nos bairros Mirandão e Parque Recreio. Outro fator que influencia a redução da temperatura é a altitude, fazendo com que os bairros mais próximos à chapada apresentem temperaturas menores, como Granjeiro e Coqueiro, nos quais foram observados os menores valores de temperaturas médias.

Em julho de 2023, mapa 28, os núcleos de calor se manifestaram de modo muito semelhante, embora as temperaturas médias em todos os bairros tenham sido ligeiramente inferiores às de 2018. Os bairros que se apresentaram mais quentes foram Seminário, Centro, Pimenta e Vila Alta, com temperaturas médias acima de 28°C. Já os mais frios, cujas temperaturas médias foram inferiores a 25°C são Granjeiro, São Gonçalo, Coqueiro e França Alencar.

No mapa 31, que representa o mês de outubro de 2023, nota-se que houve aumento das categorias 7 e 8 que representam temperaturas superiores a 37°C. Os bairros Seminário, Vila Alta, Palmeiral, Pinto Madeira, São Miguel, Parque Recreio, Muriti, São José e Barro Branco foram os que mais quentes, apesar de todos os bairros apresentarem temperaturas médias acima de 30°C. Os bairros São José e Barro Branco apresentaram temperaturas superiores a 45°C, representando os maiores valores para a cidade. Esses bairros encontram-se próximo ao limite municipal com Juazeiro do Norte, formando uma área de conurbação.

Embora os bairros periféricos tenham apresentado maior aumento da temperatura ao longo do tempo, as áreas centrais ainda são notavelmente mais quentes que o entorno. Os valores da temperatura dos bairros podem ser encontrados em tabela no apêndice A e no gráfico 9.

Gráfico 9: Temperaturas médias na zona urbana do Crato.



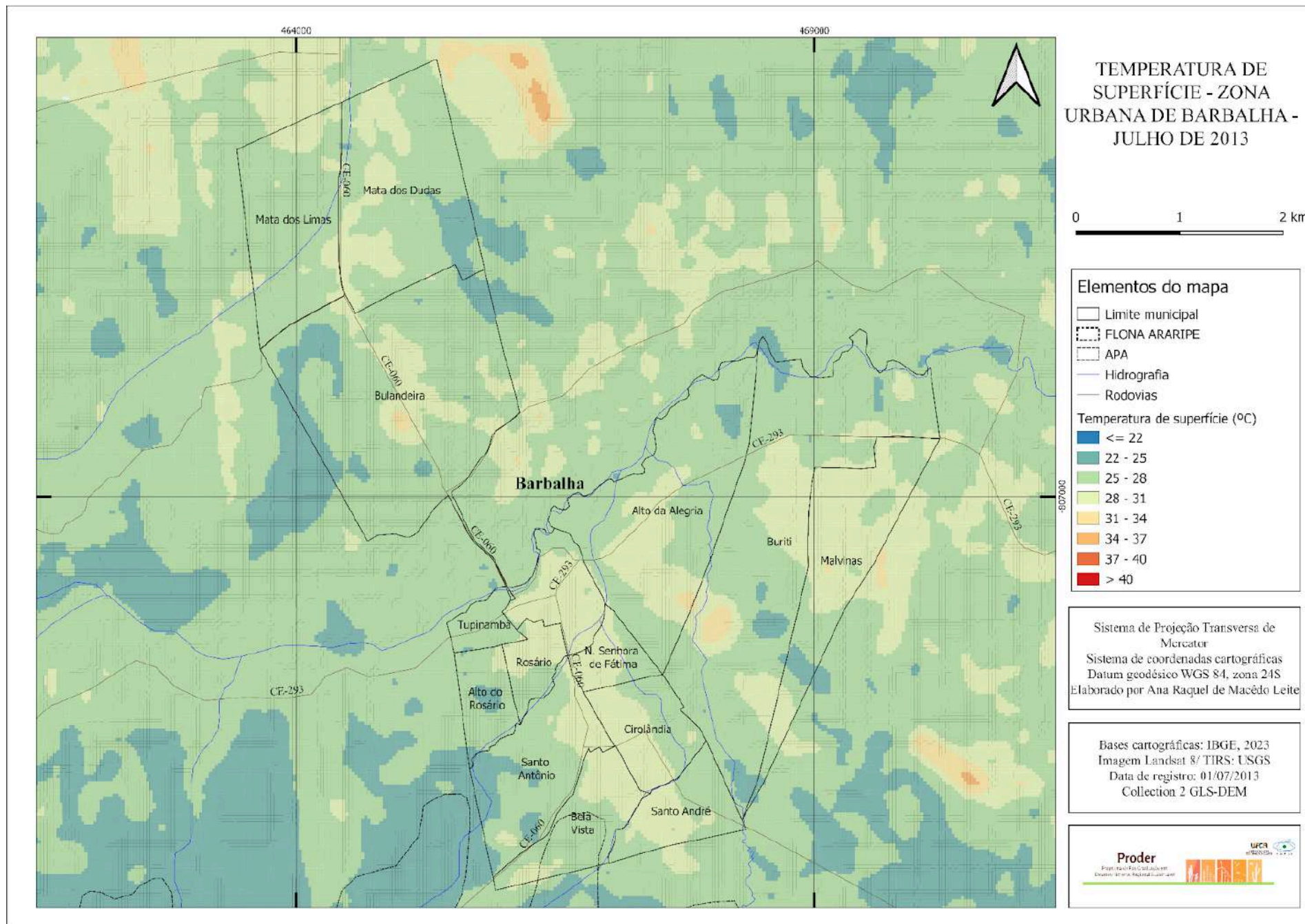
Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Os resultados encontrados nesta seção podem ser comparados com estudos realizados em outros anos para a mesma cidade. Na análise dos resultados do trabalho de Gomes *et al.* (2019) foi constatado que os bairros mais quentes apresentaram temperaturas variando entre 33,4°C e 39,3°C. Dentre os bairros elencados pelos autores é possível perceber a semelhança entre os resultados. Os autores ainda constataram variação de até 8°C entre as temperaturas, sendo um valor bem próximo ao encontrado no presente trabalho. Pinheiro e Silva (2019) também encontraram menores valores de temperatura para os bairros Granjeiro, Coqueiro e Lameiro. Alencar e Silva (2017) encontraram valores mais elevados de temperatura nos bairros que apresentaram maiores quantidades de solo exposto, pouca cobertura vegetal e maior concentração de edificações.

5.3. BARBALHA

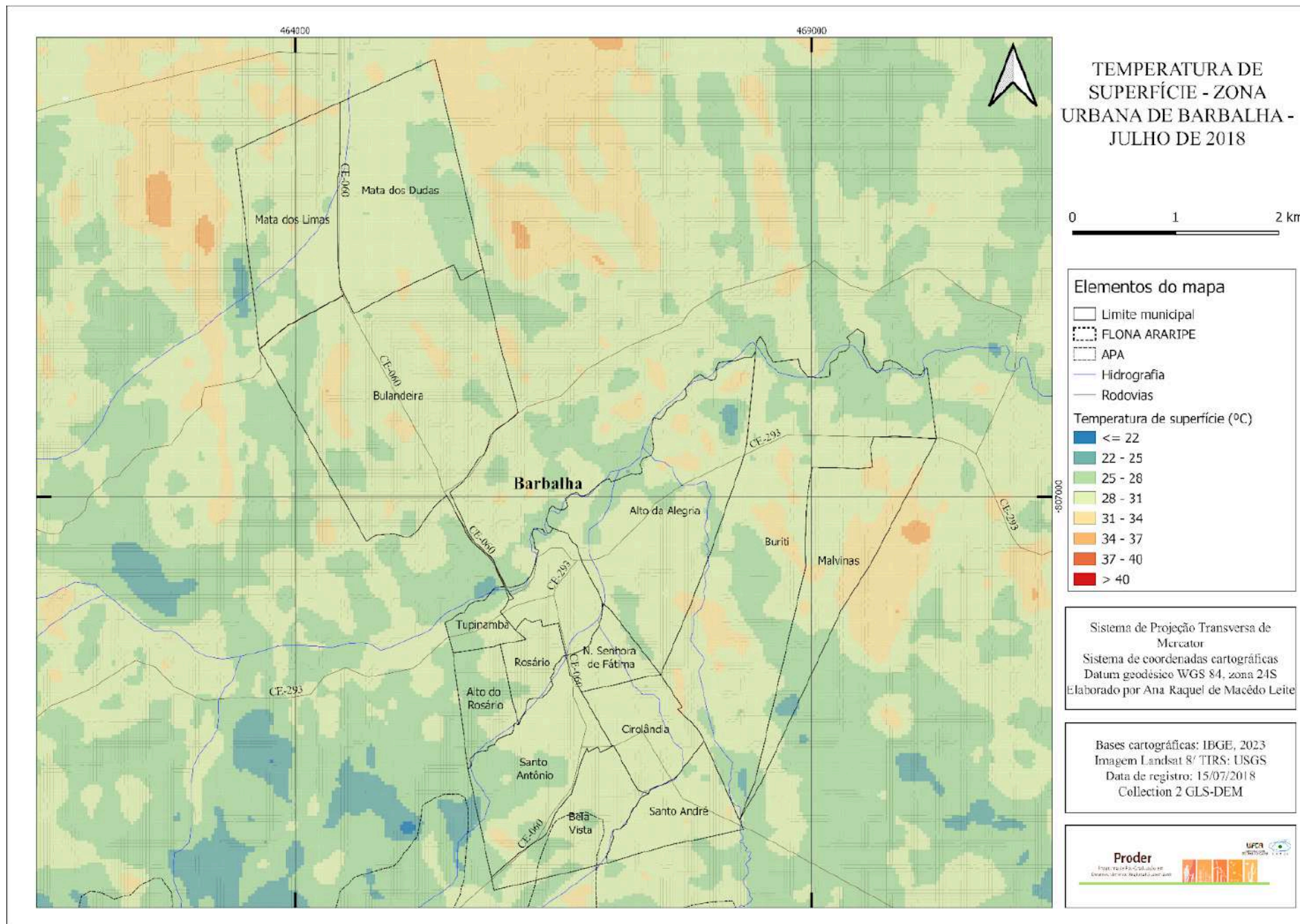
Os mapas 32, 33 e 34 apresentam a espacialização da temperatura para o primeiro semestre e os mapas 35, 36 e 37 apresentam as temperaturas para o segundo semestre.

Mapa 32: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em julho de 2013



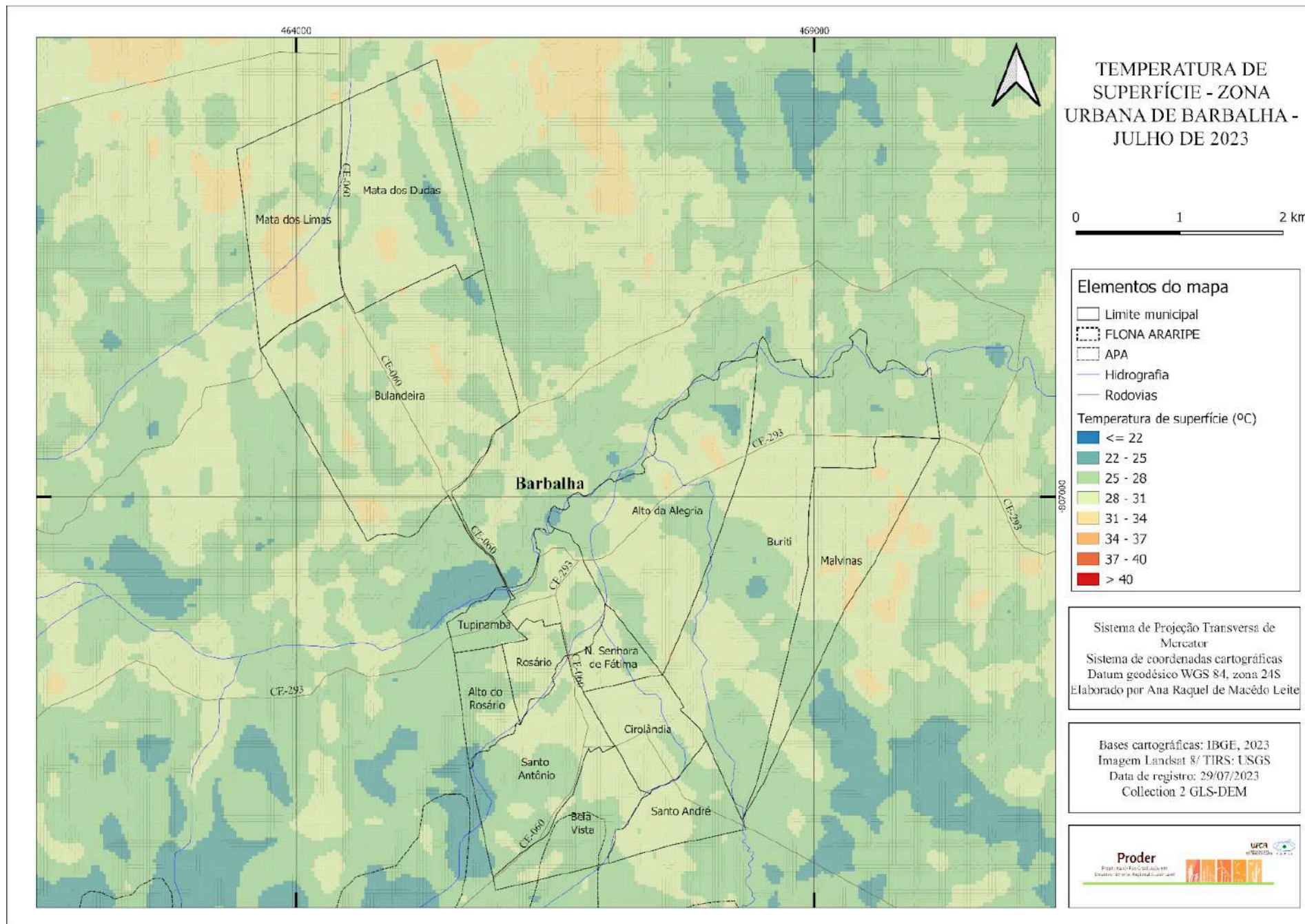
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 33: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em julho de 2018



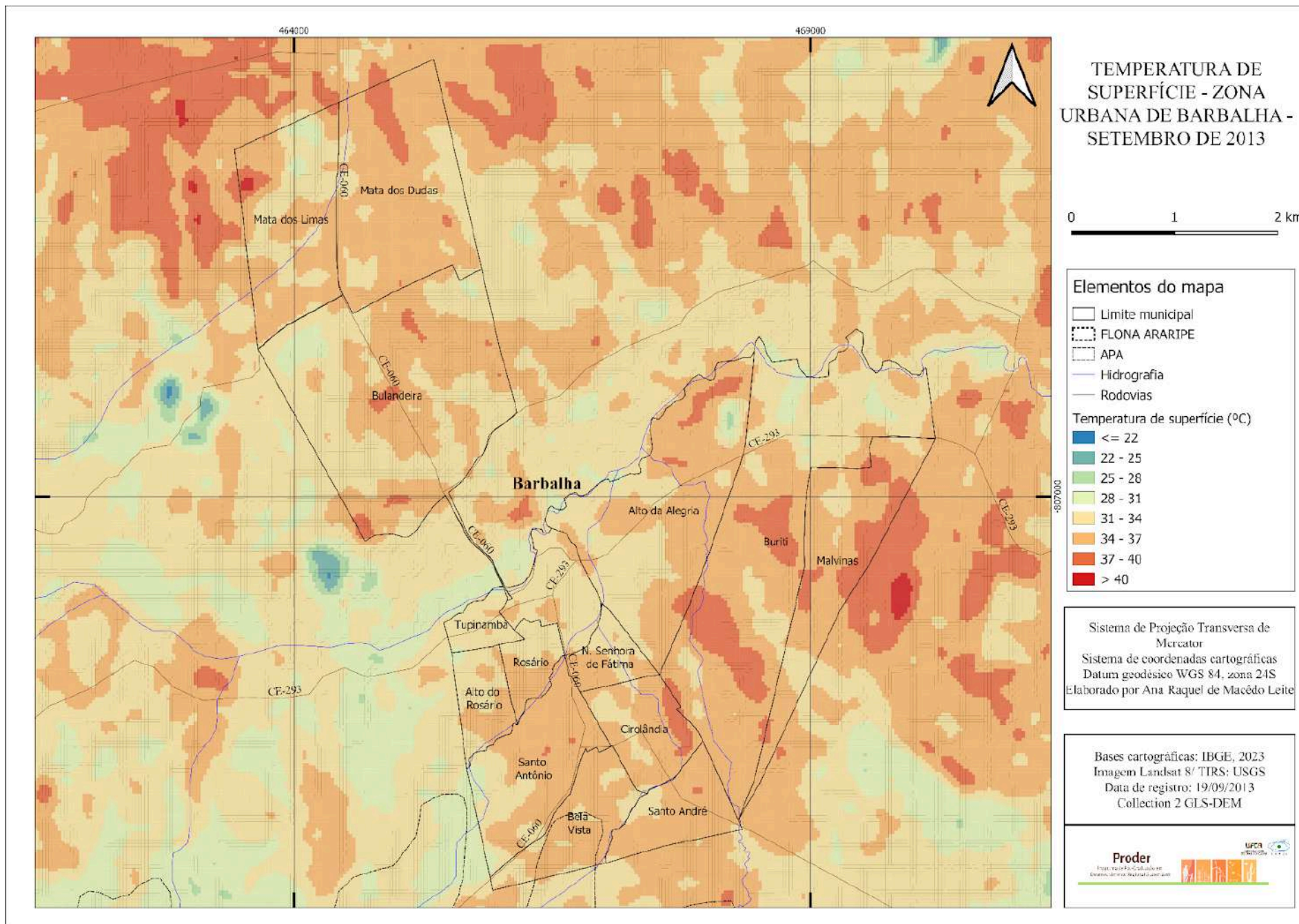
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 34: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em julho de 2023



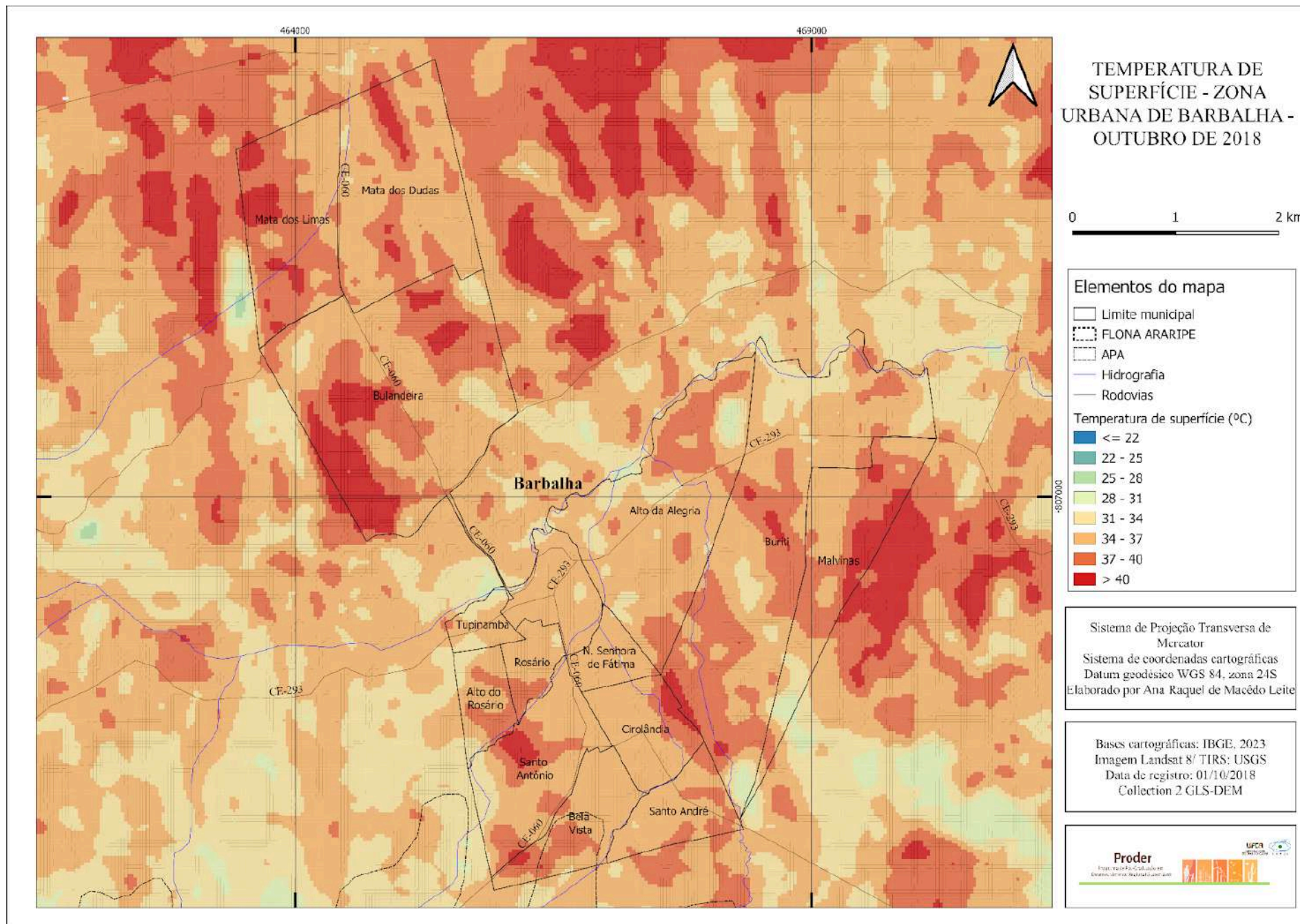
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 35: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em setembro de 2013



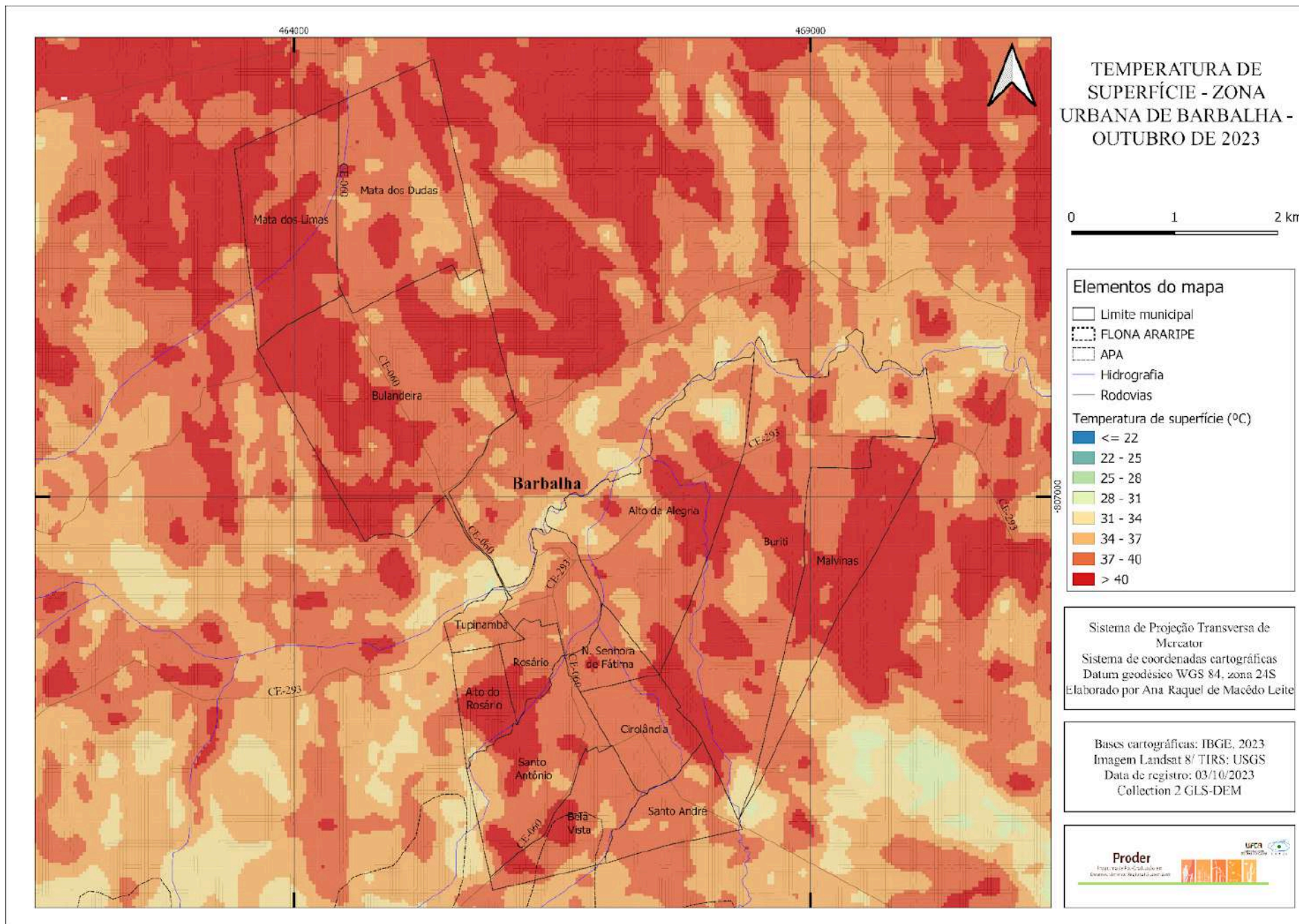
Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 36: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em outubro de 2018



Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 37: Temperatura de superfície na zona urbana de Barbalha em outubro de 2023



Fonte: elaborado pela autora, 2024

O mapa 32 representa a zona urbana de Barbalha no mês de julho de 2013. Os bairros centrais apresentam temperaturas mais elevadas, na categoria 4 (temperaturas entre 28 e 31°C), tendo em vista a densidade da ocupação. Este é o caso dos bairros Centro, Nossa Senhora de Fátima, Rosário e Cirolândia. Bairros periféricos, como Alto da Alegria e Buriti, apresentam temperaturas mais altas em parcela considerável do território, visto o crescimento do número de construções na área. Barbalha possui a peculiaridade de que alguns bairros são desconectados do núcleo urbano central, constituindo unidades quase que autônomas, ligadas pelas rodovias CE-293 e CE-060. Isso se reflete quando se analisa as temperaturas dessas regiões, pois se constata que bairros como Mata do Dudas e Bulandeiras, que nitidamente apresentam uma temperatura maior que seu entorno imediato, como uma extensão das ilhas de calor urbanas verificadas em Juazeiro do Norte, com o qual constituem uma conurbação. Outro bairro que se encaixa nessa situação é o Malvinas, separado do Centro pelo pouco denso bairro Buriti e no qual predomina a categoria (28°C a 31°C).

No período de setembro de 2013, conforme o mapa 35, as temperaturas mais elevadas encontram-se com predominância nos bairros Cirolândia, Malvinas e Buriti. Nesses bairros são encontradas temperaturas da classe 7 (entre 37°C e 40°C). Temperatura acima de 40°C pode ser encontrada no bairro Mata dos Limas. Os bairros Bela Vista e Santo Antônio, por serem menos densos, e apresentarem grandes áreas de expansão urbana, ainda não ocupadas, mostraram-se mais quentes que o centro.

Para o mês julho de 2018, o mapa 33 mostra que houve aumento da temperatura em todos os bairros, sendo mais evidente nos bairros periféricos. Nesse período as temperaturas médias variaram 26,99°C e 29,74°C. Pontos de amenidade climática que aconteciam nos bairros Santo Antônio, Rosário, Mata dos Dudas e Bulandeira, deixaram de existir, passando da classe 2 (entre 22°C e 25°C) para a 3 (entre 25° a 28°C). O curso de água que corre pelos bairros Santo André, Cirolândia e Nossa Senhora de Fátima, passa a exercer menor influência na temperatura, e esses bairros veem suas temperaturas mudarem da classe 3 (entre 25° a 28°C) para a 4 (entre 28°C e 31°C). Nesse período nota-se também que o rio Salamanca pouco contribuiu com a redução da temperatura, visto a quase ausente mata ciliar. Assim, os bairros limitados por ele mostraram-se mais quentes quando comparados ao mesmo período de 2013, como é o caso dos bairros Tupinambá, Centro, Alto da

Alegria e Buriti. Núcleos de calor com temperaturas da classe 5 (entre 31°C e 34°C) podem ser observados na periferia, com destaque para os bairros Bulandeira, Alto da Alegria, Buriti e Malvinas, sendo este o mais quente, com temperatura média de 29,74°C.

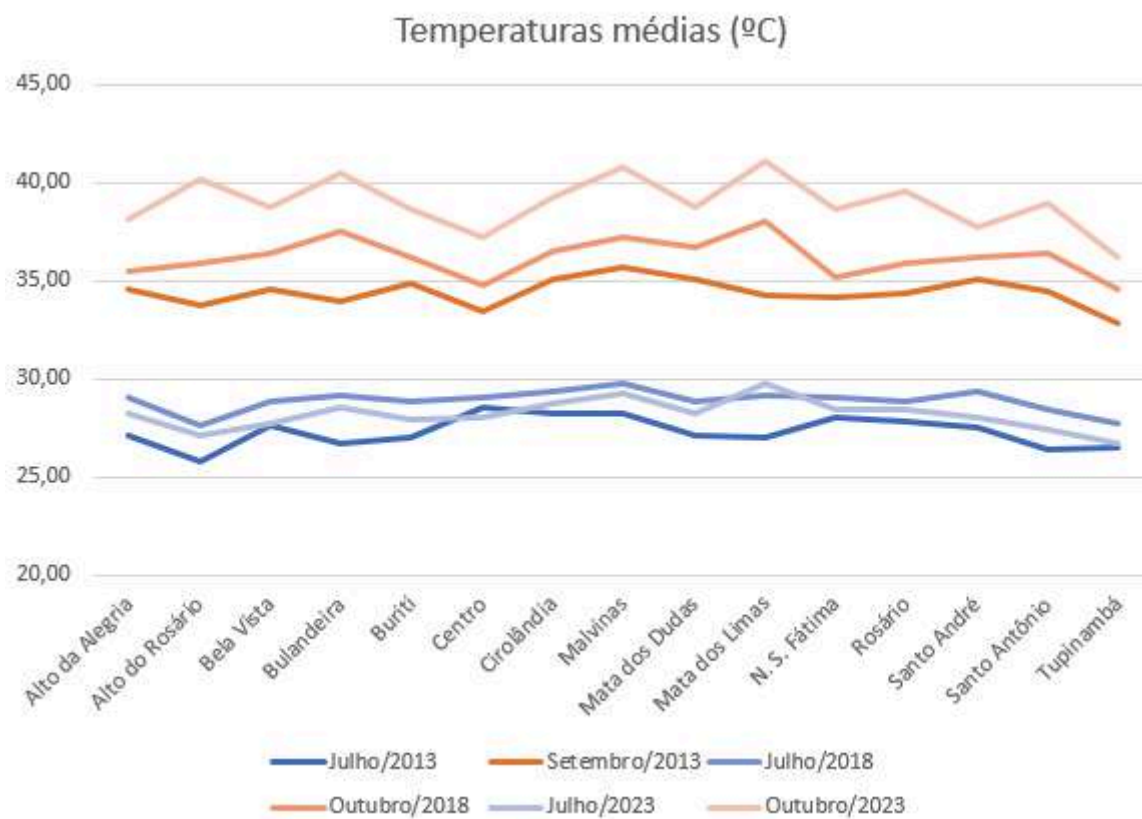
Em outubro de 2018, todos os bairros ficaram visivelmente mais quentes, ao se observar no mapa 36 a mudança dos tons azuis para laranja, e as temperaturas médias que antes não chegavam a 30°C, em outubro passaram a variar entre 33,49°C a 37,99°C, mostrando um aumento de cerca de 7°C entre os dois semestres. Os núcleos de calor encontrados anteriormente nos bairros Bulandeira e Malvinas se intensificaram e foram registradas temperaturas da classe 8 (acima de 40°C). Além desses, outros pontos de intensificação das temperaturas podem ser observados no bairro Santo Antônio, Bela Vista, Cirolândia, Buriti, Mata dos Dudas e Mata dos Limas.

O mapa 34, de julho de 2023, detecta uma similitude com o mesmo período de 2018. Os núcleos de calor são verificados nos bairros Bulandeira, Mata dos Limas, Mata dos Dudas, Alto da Alegria e Malvinas. Os bairros com temperaturas mais suaves apresentam altitudes mais elevadas, bem como recebem influência de elementos naturais, como é o caso dos bairros Tupinambá, Alto do Rosário, Santo Antônio e Bela Vista. Justamente por esse efeito, esses bairros apresentaram as menores temperaturas para a zona urbana com temperaturas médias inferiores a 28°C.

Já para o segundo semestre de 2023, o mapa 37 mostra que houve um aumento considerável da temperatura, com a predominância das classes 7 e 8 (temperaturas superiores a 37°C). Os núcleos de calor tornaram-se ainda mais intensos e cobrindo maiores extensões. Os bairros Mata dos Limas e Bulandeira, devido a proximidade com o município de Juazeiro do Norte mostraram-se mais urbanizados nos últimos anos, apresentando diversos loteamentos em fase de construção. De forma análoga, os bairros Malvinas, Buriti e Cirolândia observaram um aumento de temperatura em consequência da urbanização. Já os bairros periféricos, como Alto do Rosário, Santo Antônio e Bela Vista, apresentaram temperaturas elevadas em porções do território onde não há construções, mas nas quais os processos de antropização são marcantes. Ao serem analisadas as diferenças de temperatura entre os dois períodos de 2023 nota-se que houve um aumento médio de quase 11°C na temperatura da zona urbana. Os valores da

temperatura dos bairros podem ser encontrados em tabela no apêndice A e no gráfico 10.

Gráfico 10: Temperaturas médias na zona urbana de Barbalha



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

A partir do gráfico 10 é possível verificar a diferença das temperaturas entre os períodos de análise. Assim, para o período mais ameno nota-se que as temperaturas não atingiram 30°C em nenhum bairro, ao passo que no período mais quente alguns bairros ultrapassaram 40°C. Embora não tenham sido encontrados outros trabalhos com a mesma temática realizados para a cidade de Barbalha, é possível comparar com estudos semelhantes. O estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2012), encontrou temperaturas que variaram entre 32°C e 39°C para as cidades do Crajubar.

6 RELAÇÃO DO NDVI E DO USO DO SOLO COM A TEMPERATURA

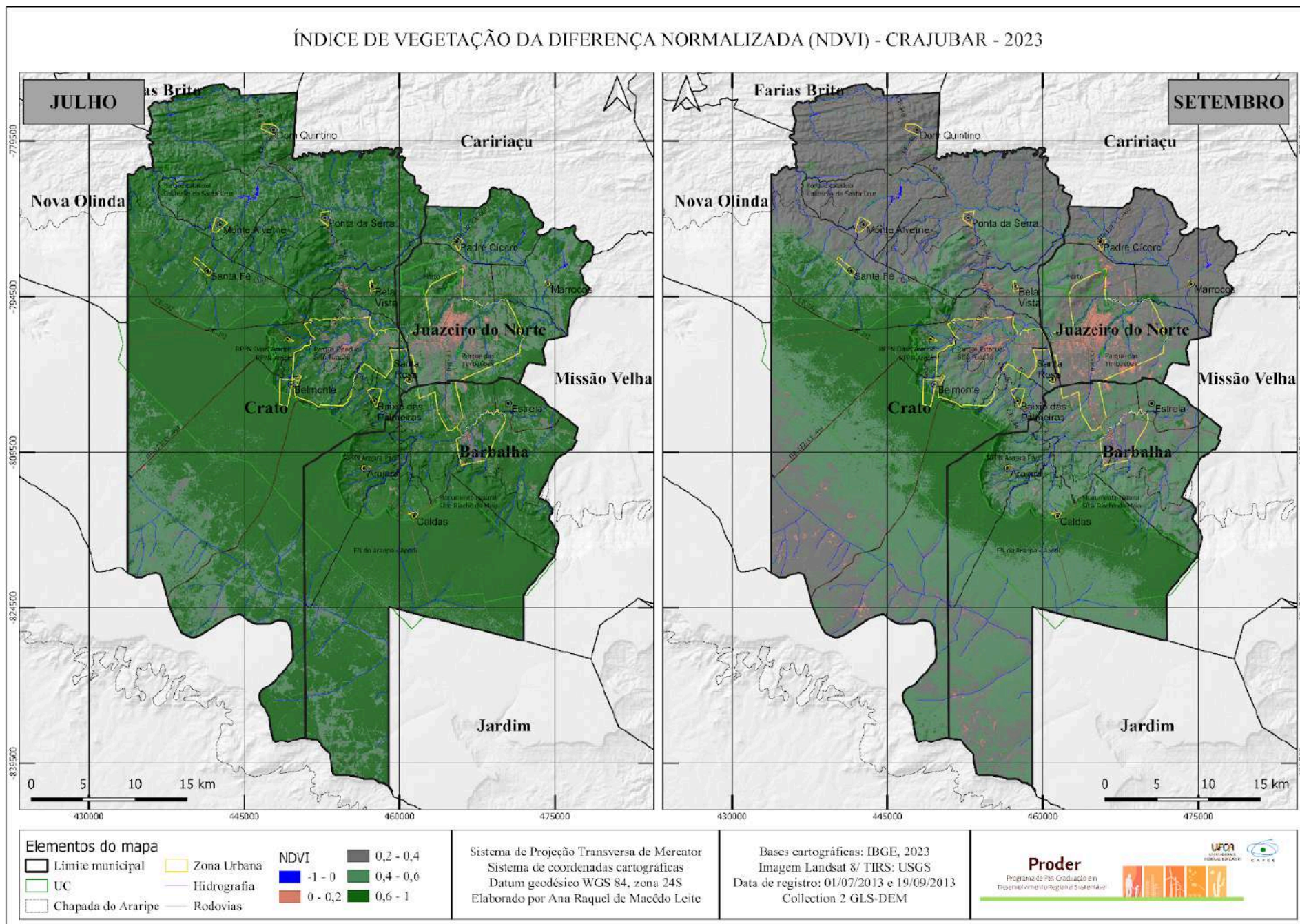
6.1 NDVI

Diante dos mapas 38, 39 e 40, pode-se observar que nos meses de julho os espaços com menor quantidade de vegetação estão correlacionados às áreas urbanas. Ao se analisar o comportamento da vegetação no segundo semestre, nota-se que a maior concentração da vegetação se dá na chapada do Araripe, representando os maiores valores do índice de vegetação. Assim, os municípios de Crato e Barbalha apresentam, na sua porção nordeste, baixas quantidades de vegetação, ao passo que Juazeiro do Norte, por não ter influência direta da chapada, apresenta baixos valores de NDVI.

O aumento da temperatura nesse período pode ser justificado pelo fato de, nos meses subsequentes a julho, ser comum haver uma drástica diminuição nos índices pluviométricos, o que faz com que a vegetação perca seu vigor. Este fenômeno é facilmente percebido nos mapas 38, 39 e 40, que apresentam os índices de NDVI para quando se constata, nos três municípios, grandes áreas que em julho possuíam vegetação densa transformarem-se em zonas de vegetação rala ou mesmo sem vegetação. Essa ausência de cobertura vegetativa, por consequência, deixa a superfície dos solos mais suscetíveis à radiação solar, submetendo as áreas rurais a um significativo aumento de temperatura, sendo identificadas temperaturas acima de 40°C em alguns pontos.

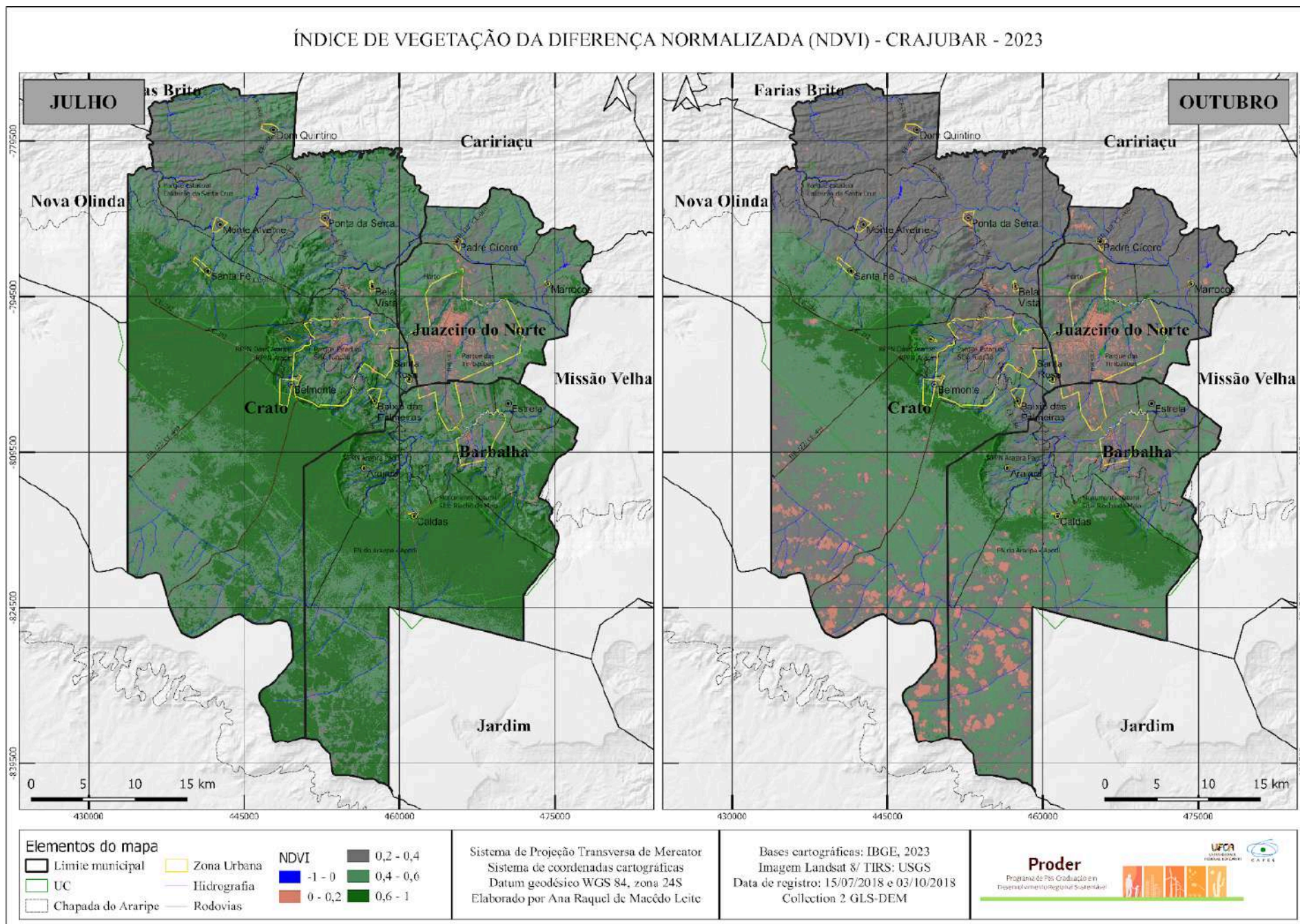
Nos tópicos a seguir os dados do NDVI serão analisados individualmente para cada município.

Mapa 38: NDVI do Crajubar em 2013

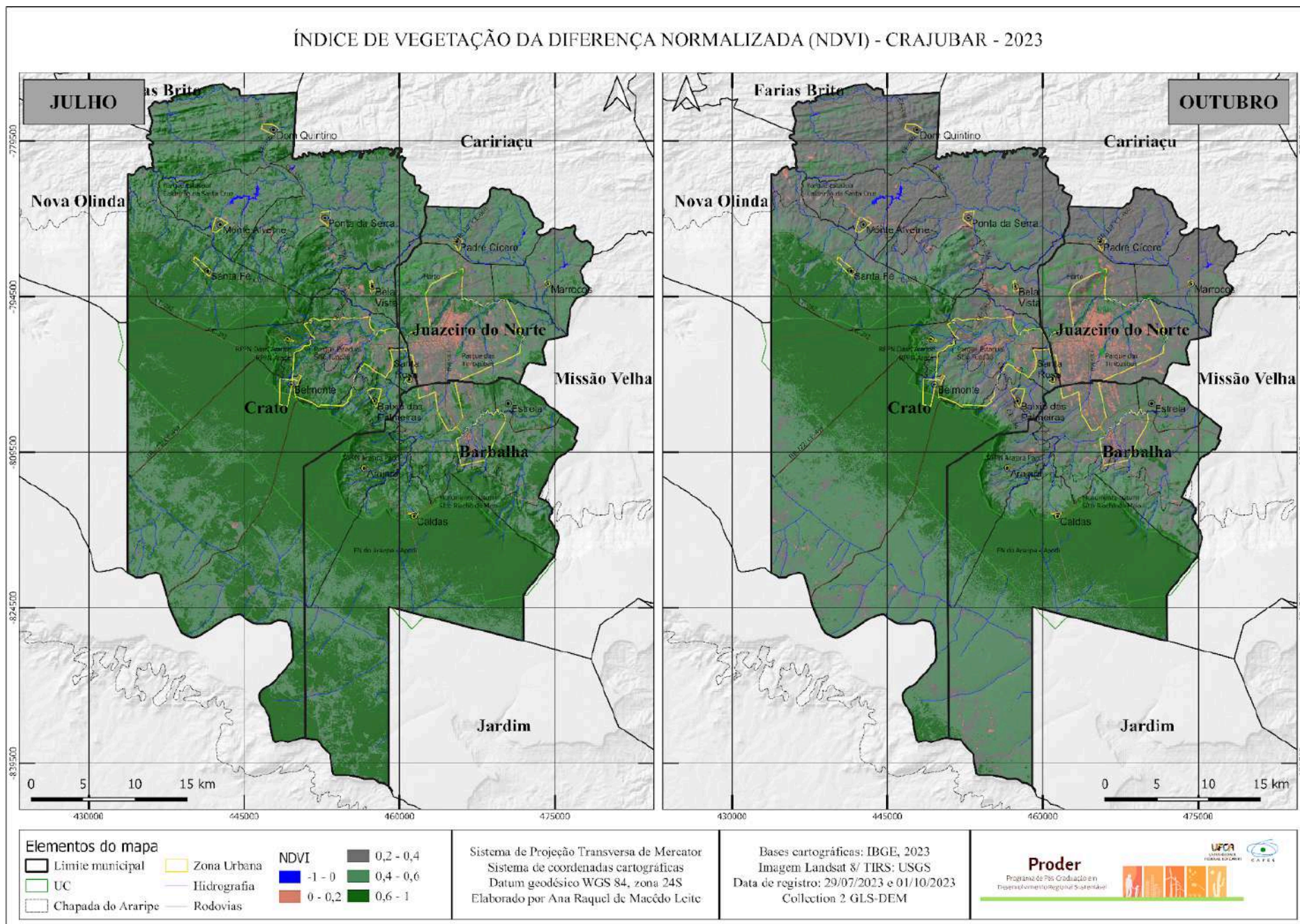


Fonte: elaborado pela autora, 2024

Mapa 39: NDVI do Crajubar em 2018



Mapa 40: NDVI do Crajubar em 2023



6.1.1 Juazeiro do Norte

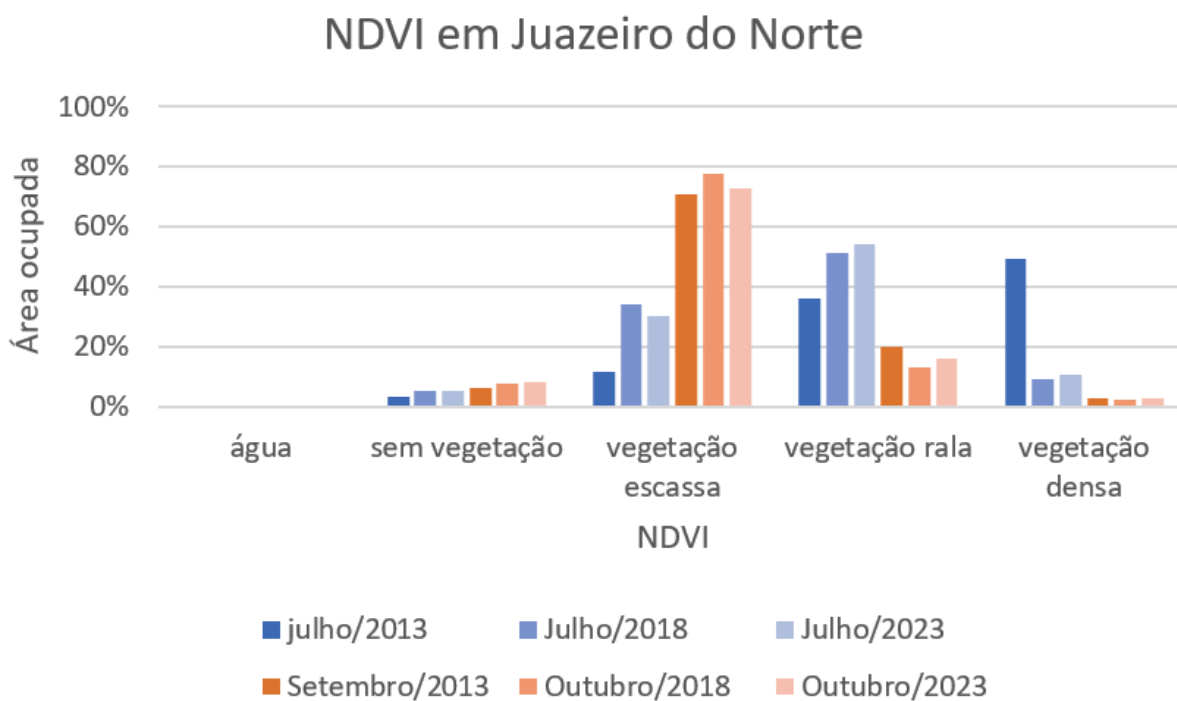
No que se refere aos valores de NDVI para o mês de julho de 2013, 48,92% do município era coberto por vegetação densa, 36,04% por vegetação rala e 11,72% vegetação escassa. Os valores mais baixos do NDVI, que representam a classe sem vegetação e de água, ficaram abaixo de 3%. Já no mês de setembro, a vegetação densa diminuiu drasticamente, passando a ocupar apenas 2,72% do território, ao passo que a vegetação escassa ganhou espaço, passando a ocupar mais de 70% do território.

Na análise dos valores de julho de 2018, percebe-se que houve diminuição da abrangência das classes de água e vegetação densa. Como ambos são fatores que contribuem para a amenização climática, é possível relacionar tal diminuição ao aumento na temperatura que foi constatado. A primeira classe que antes perfazia 0,30% do território passou a cobrir 0,18%. Já a vegetação densa, que cobria 48,92% da área, diminuiu para apenas 9,27%. Tornaram-se mais expressivas as classes de vegetação escassa e vegetação rala. A vegetação escassa aumentou de 11,72% para 34,16% do município e a vegetação rala passou de 36,04% para 51,29%. Já no mês mais quente de 2018, o NDVI comportou-se de modo semelhante ao mesmo período de 2013, sendo observado que 77,37% do território apresentou vegetação escassa, e 12,79% de vegetação rala.

Em relação aos valores de 2023 a vegetação rala, que ocupava 54,16% do território em julho, passou a ocupar apenas 15,91% em outubro do mesmo ano. Assim como nos anos anteriores, a vegetação escassa passa a predominar o território ocupando mais de 70% da área.

No gráfico 11 é possível perceber a comparação dos valores de NDVI nos três anos de análise, onde fica nítida a diferença entre o primeiro semestre, com temperaturas mais amenas, e o segundo, com temperaturas mais elevadas.

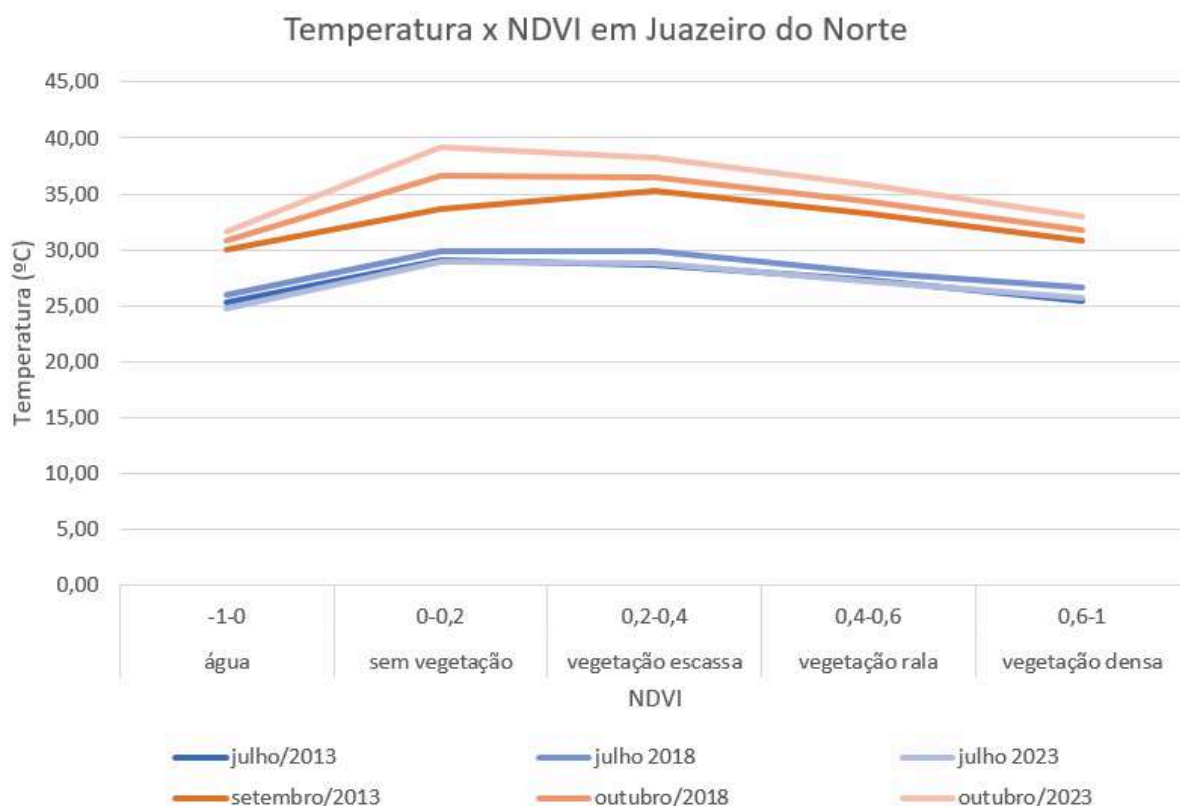
Gráfico 11: Distribuição do NDVI no território de Juazeiro do Norte



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Tais porcentagem corroboram para o aumento da temperatura visto que, ao verificar os valores médios, as temperaturas são inferiores onde existe a presença de água ou de vegetação densa, ao passo que são mais elevadas nas áreas com escassez de vegetação ou onde ela não existe. Esse cenário ocorre de modo bastante semelhante durante todo o período de análise, e pode ser observado no gráfico 12.

Gráfico 12: Relação entre temperatura e NDVI em Juazeiro do Norte



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Quando se trata do primeiro período, nos três anos de análise, as áreas que foram identificadas como água e como vegetação densa, registraram temperaturas de cerca de 25°C. Enquanto que nas áreas sem vegetação, que podem ser estabelecidas no limite urbano ou em áreas agricultáveis, foram registradas as temperaturas mais altas, em torno de 29°C. Nas áreas de transição da vegetação, ou seja, onde a vegetação é rala ou escassa, a temperatura manteve-se inversamente proporcional à presença de áreas verdes. Assim, quando comparada a temperatura dentro das classes ocorre uma diferença de temperatura de cerca de 4°C.

Sobre o segundo período, as áreas de água e de vegetação densa ficaram com temperaturas próximas a 31°C nos três anos estudados. No entanto, as demais classes representaram um aumento marcante ao longo do tempo. Assim como no mês de julho, as áreas sem vegetação foram as mais quentes, merecendo destaque ao fato que ocorreu um aumento de cerca 3°C a cada ano, saindo de 33,7°C em 2013, para 36,6°C em 2018 e 39,3°C em 2023.

Analisando a zona urbana, observa-se que em julho de 2013, os bairros periféricos foram os que mais apresentaram vegetação densa. Além disso, as vegetações no entorno dos rios e riachos são bem presentes fazendo com que a temperatura nesses bairros fossem mais baixas. Entretanto, em setembro do mesmo ano, houve uma significativa diminuição dessa vegetação densa. Isso contribuiu para que as temperaturas tenham variado mais nos bairros periféricos.

Conforme o mapa 39, os dados do NDVI para o mês de julho de 2018 mostram que a vegetação densa encontra-se sobretudo no entorno dos corpos hídricos, embora com uma redução significativa em relação ao mesmo período de 2013. Os bairros centrais permanecem com maior incidência de áreas não vegetadas, mas com redução singela da vegetação escassa. Esses fatores colaboram para que a temperatura desses bairros tenha se mantido constante nesse período. Em outubro de 2018, nota-se a redução da vegetação densa principalmente nos bairros Frei Damião, Leandro Bezerra, Campo Alegre, Brejo Seco e Salgadinho. A temperatura em Fátima aumentou e a área de influência da vegetação do entorno do riacho dos Macacos diminuiu. Esse último dado comunga com o exposto no mapa de NDVI, visto que nessa região houve redução da vegetação densa. O mesmo ocorreu nas imediações do rio Salgadinho, pois houve considerável redução da vegetação.

O NDVI de julho de 2023 comportou-se de forma similar ao de 2018, entretanto nota-se que a mata ciliar do rio Salgadinho encontra-se mais extensa fazendo com que a temperatura dos bairros do entorno seja um pouco inferior à do período anterior. No mês de outubro já é possível notar uma mudança mais significativa, quando se observa que dentro do perímetro urbano as áreas de vegetação densa e rala limitam-se aos trechos onde existe um curso hídrico, margeando os bairros São José, Salgadinho, Juvêncio Santana, Carité e Pedrinhas, além de trechos que cortam os bairros Fátima, Limoeiro, José Geraldo da Cruz, Aeroporto, Leandro Bezerra de Menezes e Novo Juazeiro. Ao comparar com o mapa 39, verifica-se que são os mesmo trechos onde as temperaturas foram mais amenas.

O trabalho desenvolvido por Rodrigues *et al.* (2020) teve como resultado para uma análise no mês de junho de 2020 que o município de Juazeiro do Norte possuía mais de 50% do território sem cobertura vegetal, principalmente na zona urbana.

Estevão (2016) corrobora a constatação ao encontrar que a zona urbana é mais aquecida ao passo que as áreas com vegetação são mais amenas.

6.1.2 Crato

A influência da flora no município do Crato pode ser observada quando se comparam os mapas da malha urbana e os dados de NDVI, visto que muitos bairros cratenses, como Lameiro, Granjeiro, Coqueiro, Vila Lobo, São Gonçalo e Batateiras, se avizinham à massa arbórea densa que cobre a chapada do Araripe.

Em relação aos valores de NDVI, em julho de 2013, a vegetação densa ocupava 76% do município, seguida da vegetação rala, com 21%. As demais classes apresentaram valores mínimos, inferiores a 3%. Em setembro do mesmo ano, o cenário se reconfigura e a classe mais abrangente passa a ser da vegetação escassa, ocupando 43,77% do território. A vegetação rala passa a se distribuir em 34% da área e a vegetação densa, em 20,62%.

Em julho de 2018, os valores mais expressivos de NDVI foram os correspondentes a vegetação rala e densa, ambos ocupando cerca de 40% do território. No período de outubro do mesmo ano, a vegetação densa dá lugar a vegetação escassa. Esta passa a ocupar mais da metade do território, enquanto aquela apenas 11,05%.

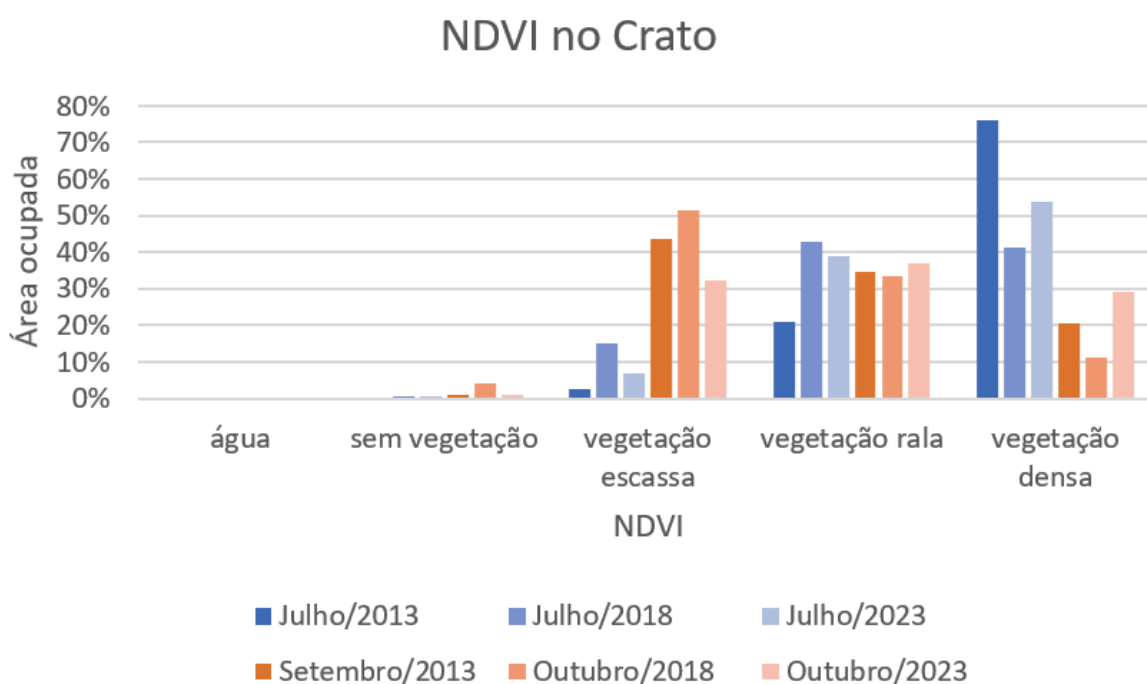
Na comparação dos meses de julho de 2013 e 2018 observa-se que houve uma inversão na densidade vegetacional, com uma grande redução da vegetação densa e o aumento das vegetações ralas ou escassas. Enquanto que no primeiro ano a vegetação densa ocupava 76,02% do território, no segundo ocupou 41,41%. Em relação a vegetação rala, no ano de 2018 houve um aumento da área em duas vezes em relação ao ano de 2013, saindo de 21% para 42%. A vegetação escassa também se desenvolveu em mais áreas, passando a ocupar 15,11%, em comparação aos 2,62% que aconteceram em 2013. Ao comparar os meses de setembro de 2013 e outubro de 2018, observa-se um cenário muito próximo no qual a vegetação escassa é a classe de NDVI mais presente, seguida da vegetação rala. Vale observar que a vegetação densa diminuiu de abrangência de 21% em 2013, para 11% em 2018.

Na observação dos mapas de NDVI de julho de 2023, nota-se que as áreas mais expressivas são de vegetação densa (53,57%) e vegetação rala (38,98%). Em outubro, a vegetação rala tem quase a mesma representatividade (37,07%), no

entanto, a vegetação escassa (32,33%) ganha mais destaque do que a vegetação densa (29,29%). Também é válido observar que tanto em julho, quanto em outubro, a vegetação densa aumentou em relação ao mesmo período de 2018.

No gráfico 13 é possível perceber a comparação dos valores de NDVI nos três anos de análise, onde fica nítida a diferença entre os dois semestres.

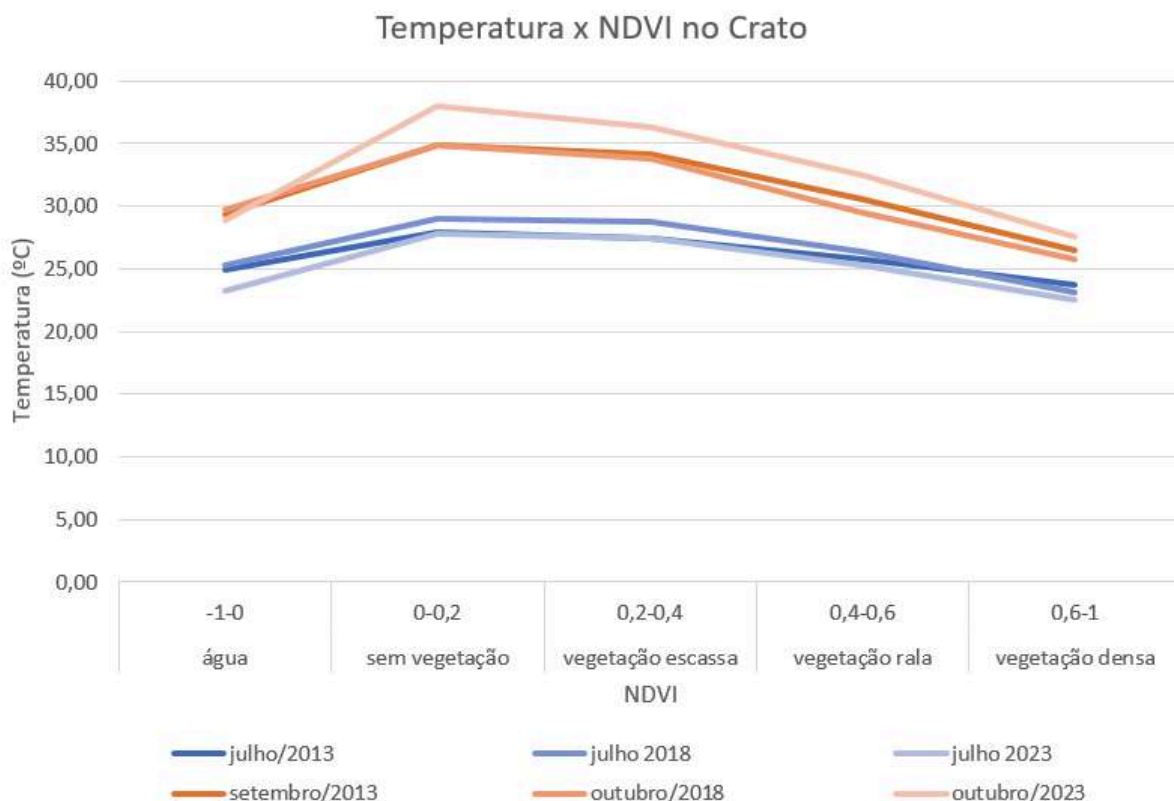
Gráfico 13: Distribuição do NDVI no território do Crato



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

As áreas ocupadas pelos intervalos de NDVI atestam o aumento da temperatura, sendo verificado que as temperaturas são mais amenas na presença de vegetação ou de água, e são mais intensas na ausência da vegetação. O comportamento da temperatura frente aos valores de NDVI são semelhantes aos encontrados para o município de Juazeiro do Norte e podem ser analisados no gráfico 14.

Gráfico 14: Relação entre temperatura e NDVI no Crato



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Para a análise do primeiro período, observa-se que a classe que registrou menores temperaturas foi onde a vegetação é densa, com valores médios de 23°C, já que associado a isso, existe o fator da topografia, com altitudes mais elevadas na Chapada do Araripe. As temperaturas também são menores onde os valores de NDVI são negativos, representados pela classe de água, onde a temperatura ficou próxima de 25°C. As classes sem vegetação e com vegetação escassa marcaram as temperaturas mais elevadas, com valores muito próximos, cerca de 28°C. No segundo semestre, o comportamento é bem parecido. As temperaturas mantiveram-se mais elevadas nas áreas de vegetação rala e escassa e mais amenas nas áreas de vegetação densa e água. A diferença entre os períodos encontra-se nos valores da temperatura que foram superiores no segundo semestre, principalmente quando se observa o mês de outubro de 2023.

Analisando a zona urbana do Crato, em julho de 2013, constata-se que os bairros periféricos onde as temperaturas foram mais baixas são aqueles que apresentaram grandes áreas de vegetação densa, como Lameiro, Grangeiro, Coqueiro, São Gonçalo, Batateira e Vila Lobo. Já os bairros centrais, como Centro,

Seminário, Vila Alta e Pimenta, onde predominam áreas sem vegetação ou vegetação escassa, foram os bairros que registraram as maiores temperaturas para o período. Em setembro, conforme os dados apresentados anteriormente, as áreas com vegetação densa diminuem. Essas mudanças podem ser observadas nos bairros periféricos, o que acarretou o aumento da temperatura nessas regiões.

Em julho de 2018 também é notória a perda da vegetação densa, mas também é perceptível que os bairros centrais da malha urbana apresentaram mais áreas sem vegetação. Bairros como São José, Muriti, Barro Branco e Mirandão, mostraram-se mais urbanizados e com ausência de vegetação, favorecendo o aumento da temperatura. Em outubro, a perda da vegetação é ainda mais significativa e os bairros Palmeiral e Barro Branco, ao perderem suas vegetações, registraram as maiores temperaturas para o período. Os bairros próximos à chapada, apesar de também perderem suas características vegetativas, mantiveram-se com temperaturas amenas pelo fator topográfico. Já no ano de 2023, observou-se uma recuperação da vegetação densa no sul da FLONA, em relação ao ano de 2018.

6.1.3 Barbalha

O mapa de NDVI de julho de 2013 mostra que Barbalha, encontrava-se densamente arborizada, com ocupação em 85% do seu território de vegetação densa, visto a influência da Chapada do Araripe e da FLONA. A vegetação rala e escassa também são vistas, apesar de se concentrarem em pequenos espaços, assim a vegetação rala se distribui em 12,47% do território e a escassa em 2,19%. As áreas sem vegetação são visualizadas nas proximidades do sistema rodoviário, principalmente nos bairros Centro e Bulandeira. Em relação a dimensão do município, a percentagem de ocupação das áreas sem vegetação é quase irrelevante. Em setembro de 2013, a vegetação densa se reduz a cerca de $\frac{1}{4}$ do território, dando espaço a vegetação escassa, que ocupou quase 20% da área total, e a vegetação rala, que ocupou 55,40% da área. A presença de água e áreas sem vegetação em ambos os períodos foram irrisórias (menos de 1%).

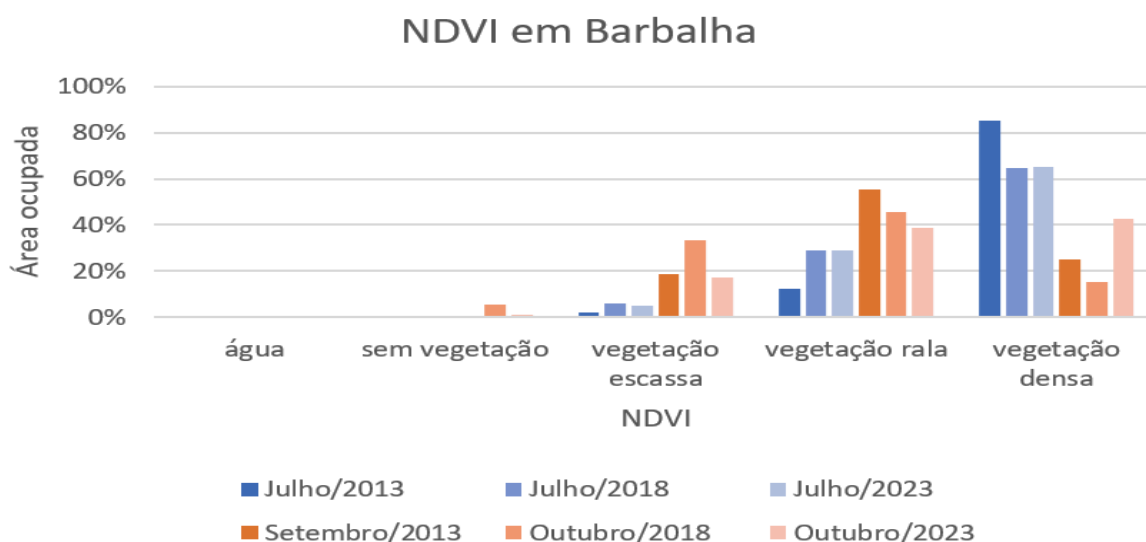
Sobre os dados de NDVI de julho de 2018, a vegetação densa ocupou 64,64% do território e a vegetação rala, 28,79%. Feita a comparação com o mesmo

período de 2013, nota-se que houve uma relevante supressão da vegetação densa, a qual deu espaço para vegetação rala e escassa. Em outubro, a vegetação rala ganha ainda mais espaço, ocupando 33,57% do território, ao passo que a vegetação densa ocupa apenas 15%. Os maiores bairros, que ainda não se encontram completamente ocupados, foram os que sofreram maior redução da vegetação densa, como é o caso de Mata dos Limas, Mata dos Dudas, Bulandeira, Alto do Rosário, Santo Antônio, Alto da Alegria, Malvinas e Buriti. Observa-se também que as imediações do rio Salamanca, que influencia os bairros Centro e Alto da Alegria, também sofreram redução vegetativa. Esse fator contribuiu para o aumento da temperatura nesses bairros.

Os dados do NDVI de julho de 2023 mostraram-se análogos ao ano de 2018, onde a vegetação densa ocupou mais de 60% do território e a vegetação rala próximo dos 30%. Entretanto, em outubro, o panorama foi diferente. A vegetação densa ocupou 42,53% do território, demonstrando novamente a influência da FLONA, o que também favoreceu a diminuição da temperatura nesses pontos. O estudo realizado por Farias *et al.* (2021) corrobora com a distribuição de NDVI encontrada, onde nota-se os menores valores do índice nas áreas antropizadas ao norte e ao sul do município. Já os maiores valores encontram-se principalmente nos limites da Chapada do Araripe.

No gráfico 15 é possível comparar as taxas de ocupação de cada classe do NDVI em ambos os semestres analisados.

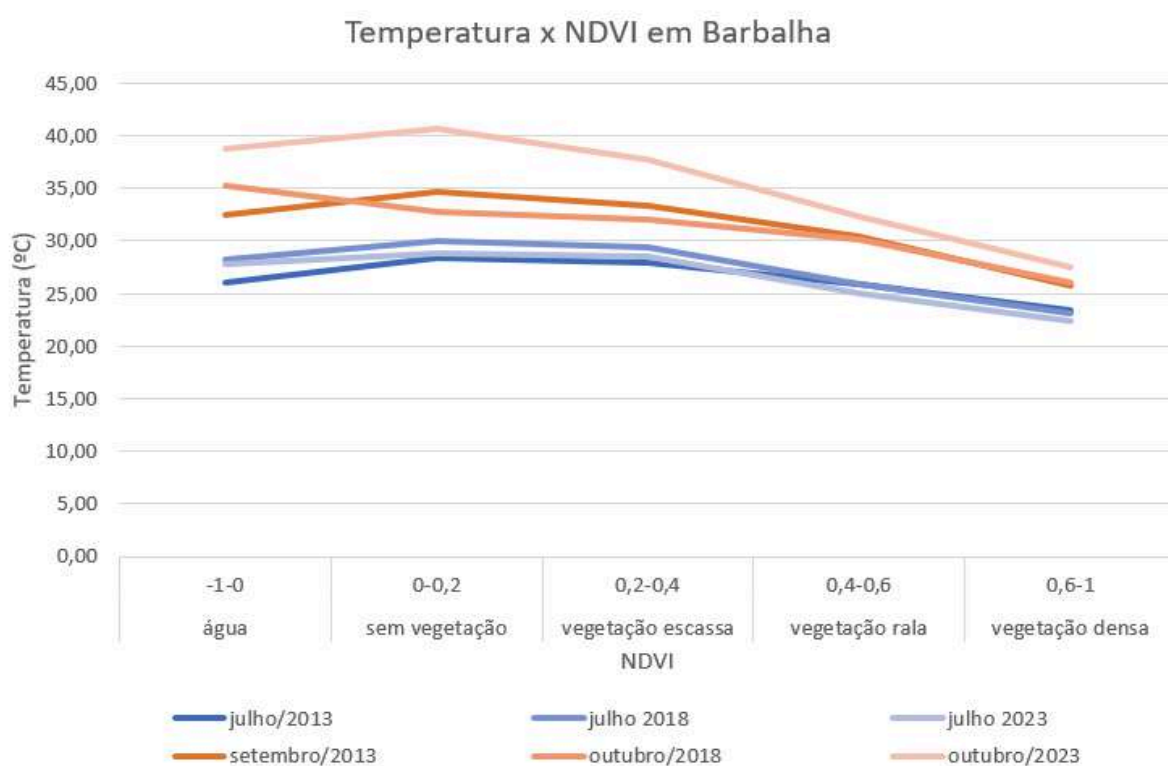
Gráfico 15: Distribuição do NDVI no território de Barbalha



Fonte: elaborado pela autora, 2024

A partir do gráfico 15 tem-se uma melhor compreensão da variação da vegetação entre o primeiro e o segundo semestre, principalmente da categoria da vegetação densa, onde pode-se observar uma redução significativa. Esses dados podem ser comparados com as temperaturas, que conforme mostradas anteriormente, são mais intensas no segundo semestre, comprovando a influência direta da vegetação na amenização climática. No gráfico 16 é mostrada a temperatura média para cada uma das categorias do NDVI.

Gráfico 16: Relação entre temperatura e NDVI em Barbalha



Fonte: elaborado pela autora, 2024

O gráfico 16 traduz a influência da vegetação e da água na temperatura ao mostrar que para os valores intermediários do NDVI as temperaturas são mais elevadas, como é o caso das regiões sem vegetação ou com vegetação escassa que registraram temperaturas de cerca de 29°C, no período mais ameno. Já nas áreas de vegetação densa as temperaturas foram de cerca de 23°C, resultando uma diferença de 6°C. No segundo semestre, as temperaturas se configuraram de

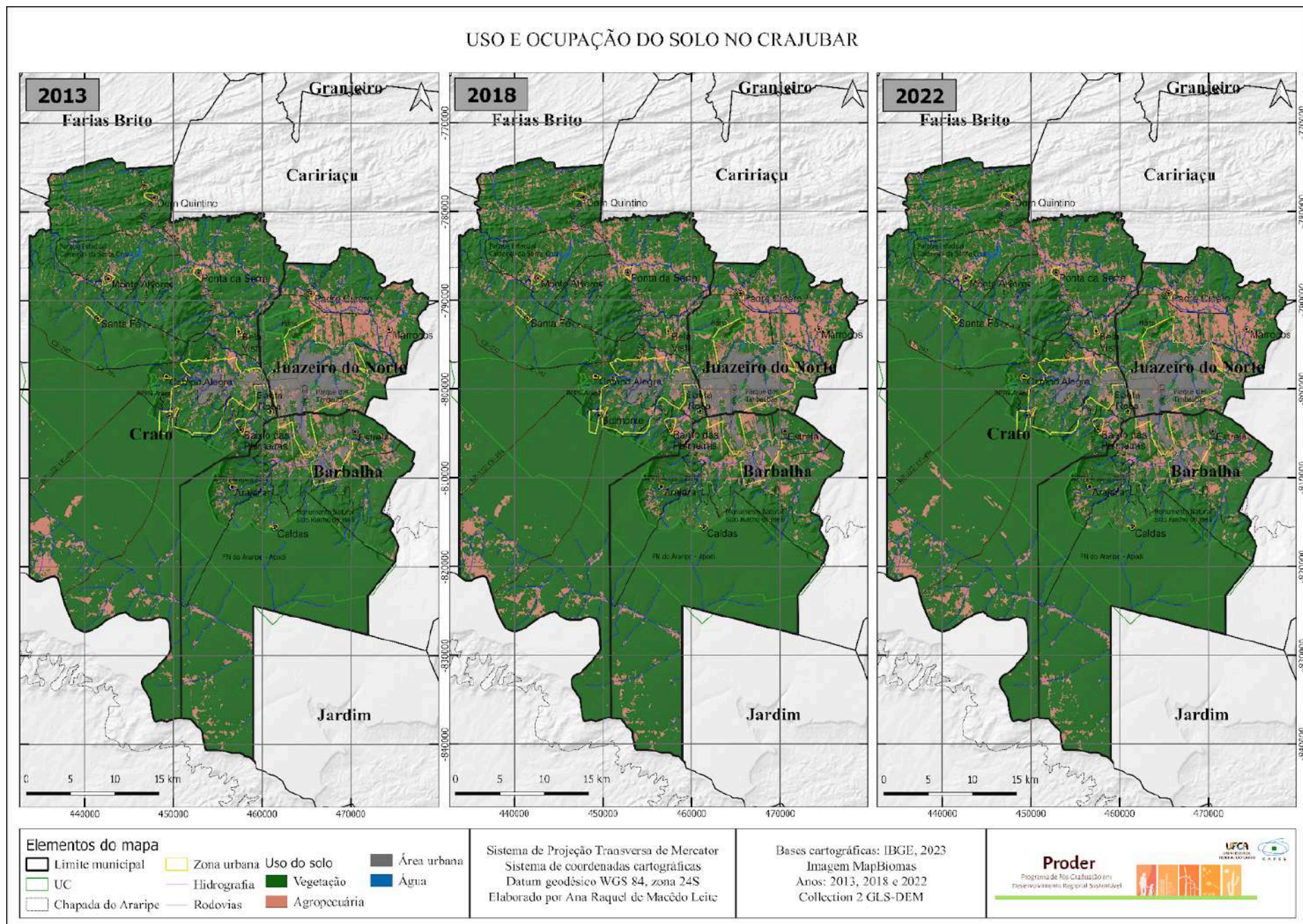
maneira muito parecida, embora com valores superiores, com destaque para outubro de 2023, quando a temperatura superou 40°C nas áreas sem vegetação.

Na zona urbana, o que mais se observa é a supressão de vegetação ao longo dos anos, dando lugar a vegetação mais rala. Nota-se também que um aumento das áreas sem vegetação principalmente nos bairros Alto da Alegria, Buriti, Malvinas, Bulandeira, Mata dos Dudas e Mata dos Limas, sendo os bairros que se encontram em processo de expansão urbana. Tais variações são equivalentes ao aumento da temperatura nessas regiões.

6.2 USO DO SOLO

O mapa 41 mostra a evolução do uso e ocupação do solo para o Crajubar, levando em consideração os anos de 2013, 2018 e 2023. A classificação da legenda segue a tabela de usos oferecida pelo projeto MapBiomias, tendo sido sintetizada apenas em quatro categorias.

Mapa 41: Uso e ocupação do solo no Crajubar

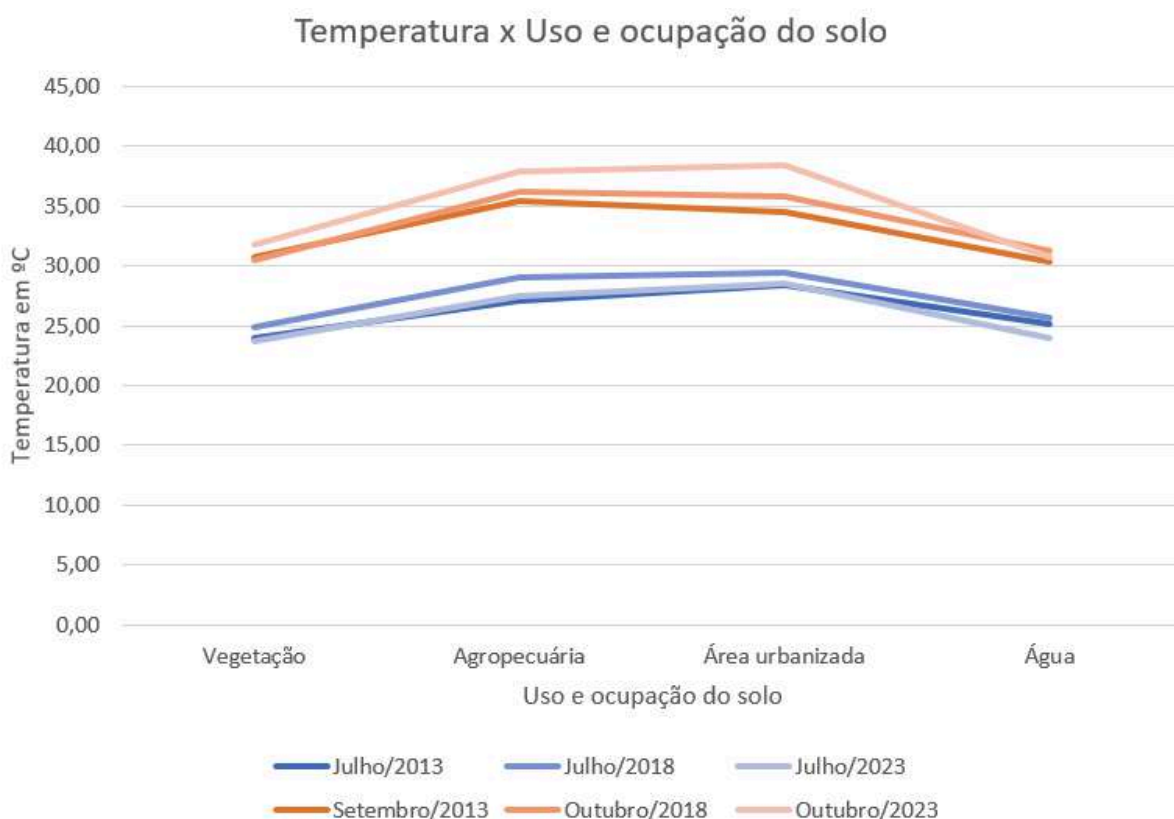


Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Analisando o mapa 41 observa-se que a classe da vegetação é o principal uso, seguido da agropecuária e da área urbanizada. Já a classe de água pouco apareceu. Percebe-se ainda que a concentração da urbanização encontra-se na porção central do Crajubar, sendo mais intensa no município de Juazeiro do Norte. O mapa também mostra que o uso e ocupação do solo na área analisada pouco sofreu alteração ao longo dos anos.

Ao cruzarem-se os dados da temperatura com o uso e ocupação do solo, é fácil observar que as classes de agropecuária e de área urbanizada apresentaram os maiores valores para todos os anos. Tal análise também pode ser constatada pelos cruzamento da temperatura com NDVI, os quais demonstram que as classes mais quentes são as classes “sem vegetação” e “vegetação escassa”, visto que estas séries se sobrepõem aos usos anteriormente mencionados.

Gráfico 17: Relação entre temperatura e uso e ocupação do solo



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O século XXI impõe o estudo das ilhas de calor em ambientes urbanos como uma ação imprescindível, em virtude do contexto de mudanças climáticas que permeia todo o planeta. Para o êxito de tal empreitada, o avanço tecnológico e a variedade de métodos disponíveis aliam a praticidade de novas ferramentas com a demanda crescente por estudos que façam frente aos desafios do clima.

O presente estudo reafirma o sensoriamento remoto como uma tecnologia eficaz para o estudo das cidades e a promoção do planejamento urbano sustentável, tornando possível soluções para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Os produtos gráficos deste trabalho ilustram e contribuem para que a dinâmica do microclima nos municípios de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha seja compreendida com mais clareza.

Conforme os resultados obtidos nos mapas, fica evidente a formação de núcleos de calor nas áreas urbanizadas dos três municípios, sendo mais nítido no primeiro semestre, quando o contraste entre a densidade de edificações na zona urbana e a pujança da flora verdejante na zona rural ficam mais evidentes. No segundo semestre, frente às alterações nos índices de vegetação, há um aumento significativo da área de calor, que passa a incluir as zonas periféricas. Logo, é notória a relação entre a presença de vegetação, uso do solo e temperatura, visto que as superfícies vegetadas apresentam diferentes capacidades de absorver e transmitir calor, quando comparadas às superfícies urbanas, sendo fundamentais para atenuação da temperatura.

Por fim, tendo em vista a intrínseca relação entre a ausência de cobertura vegetal, uso do solo e o aumento da temperatura de superfície, é mister que os atores da gestão urbana devem se empenhar em criar políticas públicas de ocupação do solo de maneira sustentável e que promova a recuperação de áreas degradadas. Tais medidas, com base no presente estudo, podem resultar na mitigação ou considerável desaceleração dos processos de desequilíbrio de temperatura constatados. Recomenda-se, para trabalhos futuros, análises de comparação entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar, assim como um estudo pormenorizado da relação desses índices com o albedo.

REFERÊNCIAS

52°C: China registra dia mais quente da história do país. **Globo.com** [online], 17 jul. 2023. Clima. Disponível em: <<https://umsoplaneta.globo.com/clima/noticia/2023/07/17/52oc-china-registra-dia-mais-quente-da-historia-do-pais.ghtml> >. Acesso em 03 ago. 2023.

AGENDA 21 E A SUSTENTABILIDADE DAS CIDADES - Caderno de debates da agenda 21. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/748/2/Agenda%2021%20e%20a%20sustentabilidade%20das%20cidades.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2023.

AGENDA 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p. (Série ação parlamentar ; n. 56). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/528199/mod_resource/content/0/Agenda%2021.pdf. Acesso em: 27 ago. 2023.

ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H.; LOPES, A.; OLIVEIRA, S. A ilha de calor de Lisboa. **Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano**. Geophilia – o sentir e os sentidos da Geografia, Lisboa, C.G., 2007, pp. 593-162.

ALENCAR, F. K. S.; SILVA, J. M. O. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da temperatura de superfície da zona urbana do município do Crato/CE**. Climatologia em diferentes níveis escolares: mudanças e variabilidades. v.1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2407> Acesso em: 27 mar. 2024.

AMANTE, Angelo; FARGE, Emma. Agência da ONU aponta maior risco de mortes causadas pela onda de calor extremo na Europa, Ásia e EUA. **CNN** [online], 18 jul. 2023. Disponível em:

ANDRADE, Paula Portela de. **Análise temporal da ilha de calor noturna, no município de Viçosa em situação sazonal de outono-2008**. VIÇOSA: DAH/UFV, 2008. 59p.

ARAUJO FILHO, J. C. de; CORREIA, R. C.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA NETO, M. B. de ARAUJO, J. L. P.; SILVA, M. M. de L. **Ambientes e solos do Semiárido: potencialidades, limitações e aspectos socioeconômicos**. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (Ed). Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. cap. 1, p. 18-84. ARAÚJO, R. S.; OLIVEIRA, C. W.; SOARES, B. F.; OLIVEIRA, J. C. A. **Espaço urbano e impacto ambiental: reflexões a partir da análise do processo de expansão das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – ce**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 1, p. 104-126, jan.-abr, 2021.

BACCA, J. F; NETTO, A. L. C; MENEZES, P. M. L. Modelagem da Dinâmica da Paisagem com Processos de Markov. In: MEIRELLES, M. P; MARGARETH, S. P; CAMARA, G; ALMEIDA, C. de. (editores técnicos). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília, DF: Embrapa informações tecnológicas, 2007. 539p.

BESANCENOT, J-P. **Climat et santé**. Paris: PUF, 2001.

BORGES, T. M.; OLIVEIRA, J. B.; CORDEIRO, A. Y. P. A. V. G. TORRES, W. L. V. **Análise comparativa da temperatura obtida por imagens orbitais e medida em Barbalha, CE- Brasil**. XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Lavras, MG, 2015. Disponível em: <https://sbragro.org/files/biblioteca/5462.pdf>. Acesso em: 14 de mar de 2024.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982

BRITO, F. **O deslocamento da população brasileira para as metrópoles**. Estudos Avançados, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/ybD6Zn3KWKf3kffYcmSPRMh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 ago. 2023.

CARVALHO, L. M. de; BARBOSA, R. V. R. Climatologia Urbana: análise de conforto térmico em habitações, Maceió, Brasil. **III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles**. 2019.

CASTELHANO, F.J. **O clima e as cidades**. [livro eletrônico]. Curitiba: Intersaberes, 2020.

CEARÁ. **Lei Complementar nº 78, de 26 de junho de 2009**. Diário oficial do Ceará, Fortaleza, 03 jul. 2009. Disponível em: https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/05/Lei_Complementar_78__RMC.pdf. Acesso em: 28 jan. 2023.

CHANDER, G., MARKHAM, B. L., HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**. 2009. Disponível em: www.eisvier.com/locate/rs. Acesso em: 05 mai. 2022.

COM China sob nova onda de calor, Pequim tem junho mais quente em 60 anos. **Climainfo** [online], 23 jun. 2023. Disponível em: <https://climainfo.org.br/2023/06/22/com-china-sob-nova-onda-de-calor-pequim-tem-junho-mais-quente-em-60-anos/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

CONSOLI, R., OLIVEIRA, R. L. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**. FIOCRUZ, 1994. 228p.

CORREA, W. de S. C., AYLAS, G. Y. R. ., SANTIAGO, A. M. ., SILVA, M. E. S., VALE, C. C. do ., SILVA, C. B. da, & PATUCCI, N. N. . (2022). **A Ilha de Calor Urbana em ambiente tropical: a Região Metropolitana da Grande Vitória no Brasil**. Revista Do Departamento De Geografia, 42, e186970 . <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.186970>

COUCLELIS, H. "From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation." **Environment and Planning B: Planning and Design** 24, 1997. 165-174p.

DANTAS, M. J.; ARRAES, F. D. D.; SÁ, V. V. ; PINHEIRO, L. S.; CHAGAS, G. S.; BARBOSA, I.G. **Aplicação do sensoriamento remoto na determinação da temperatura da superfície em diferentes tipos de cobertura vegetal na bacia do riacho Jardim/CE**. IV INOVAGRI. 2017. Disponível em: <<https://icolibri.com.br/public/anais/TC2280258.pdf>>. Acesso em: 14 de mar de 2024.

EDELWEISS, N; J. P. M. OLIVEIRA. **Modelagem de Aspectos Temporais de Sistemas de Informação**. Recife, UFPE-DI. 1994.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 7 ago. 2023

ESTEVÃO, G. S.; ALBUQUERQUE, G. S.; SILVA, M. O.; Análise dos contrastes térmicos em episódios de inverno e verão em Juazeiro do Norte, Ceará. **GeoUECE**(online), v. 09, n. 17,p. 169-193, 2020. disponível em <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/4080/3658>

ESTEVÃO, Gabriela de Souza. **Mapeamento térmico urbano da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará**. 2022. 155 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

ESTEVÃO, Gabriela. **Sensoriamento remoto como contribuição ao estudo das ilhas de calor de superfície em Juazeiro do Norte, Ceará**. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2016.

FALCONERY, L. Nova onda de calor começa hoje no Ceará e 18 cidades podem chegar a 40°C. **Diário do Nordeste**. Fortaleza, 17 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/nova-onda-de-calor-comeca-hoje-no-ceara-e-18-cidades-podem-chegar-a-40c-veja-locais-1.3454813>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

FIALHO, E.S. **Ilhas de calor: reflexões acerca de um conceito**. ACTA Geográfica, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 2012. pp.61-76

FLEURY, Maria Tereza Leme; WERLANG, Sérgio. **Pesquisa aplicada – reflexões sobre conceitos e abordagens metodológicas**. Disponível em: < https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/18700/A_pesquisa_aplicada_conceito_e_abordagens_metodol%C3%B3gicas.pdf >. Acesso em 27 jun. 2023.

FLORENZANO, T. G. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos. SP. SindCT. 2008. 52p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens**. São Paulo: Instituto

FOUNTAIN, H. **Mudança climática alimenta onda de calor na Índia e no Paquistão**. The New York Times. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2022/05/mudanca-climatica-alimenta-onda-de-calor-na-india-e-no-paquistao-dizem-cientistas.shtml>>. Acesso em: 20 de jun. de 2022.

FREITAS, C.A.S.; MOREIRA, L. C. J.; CALOU, V. B. C.; FIGUEIREDO, J. V.; SOUSA, R. R.; SAMPAIO, G. G. C.; SARAIVA, K. R.; CARVALHO, C. M.; SILVA, M. R. Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor na Cidade de Juazeiro do Norte - CE. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, 2022. ISSN 2525-3409. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34265/29026>. Acesso em:

GARCÍA, M.C.M. **Estudio del clima urbano de Barcelona: la “isla de calor”**. Tese de Doutorado, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1993.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: **Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GILES, B.D; BALAFOUTIS, C; MAHEROS, P. 1990. Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *Int. J. Biometeorol*, v. 34, p. 98-104.

GODOY, M. M. G. **Modelagem da dinâmica de ocupação do solo no bairro Savassi, Belo Horizonte, Brasil**. Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 99 p.

GOMES, J. F. ; LUNA, V. F.; SILVA, C. C. J.; SILVA, J. M. O. **Evolução das diferenças térmicas de temperatura da superfície da zona urbana do município do Crato/CE (1984-2011)**. *Revista Casa da Geografia de Sobral*, Sobral, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 993-1005, 2019. Disponível em: <<https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/569/451>>. Acesso em: 14 de mar de 2024.

GOMES, João Victor Pacheco; CUBAS, Monyra Gutierrez. **Fundamentos do sensoriamento remoto**. [livro eletrônico]. Curitiba: InterSaberes, 2021. Biblioteca Virtual.

HAYDEN, M. et, al. Microclimate and human factors in the divergent ecology of *Aedes aegypti* along the Arizona, US / Sonora, MX Border. **Eco Health**, pp.1–14, 2010.

<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/agencia-da-onu-aponta-maior-risco-de-mortes-causadas-pela-onda-de-calor-extremo-na-europa-asia-e-eua/#:~:text=A%20temperatura%20mais%20alta%20j%C3%A1,na%20Sic%C3%ADlia%20h%C3%A1%20dois%20anos>. Acesso em: 04 ago. 2023.

IBGE, 2023. Agência IBGE notícias: **De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>

#:~:text=Em%202022%2C%20as%20concentra%C3%A7%C3%B5es%20urbanas,viam%20em%20cidades%20desse%20porte. Acesso em 02 set. 2023.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **O semiárido brasileiro**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. [s. d.].

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Sensoriamento Remoto**.

Disponível em:

<https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html>. Acesso em 14 jul de 2023.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Albedo**. [s. d.]. Disponível em: <<https://ipam.org.br/glossario/albedo/>>. Acesso em 25 out. de 2023.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Mudança do Clima 2023**.

Relatório Síntese. 2023. Disponível em:

<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipc/c/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf>. Acesso em 08 fev. 2023.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ.

Perfil municipal 2017. Disponível em:

<<https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal/>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. História - Rio-92.

Desafios do desenvolvimento. Ano 7. Edição 56. Brasília: Ipea, 2009. Disponível em: <

https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2303:catid=28&Itemid>. Acesso em: 28 mai. 2023.

KOYANAGI, YUNA. **Identificação de ilhas de calor e aspectos urbanos na cidade de Francisco Beltrão, Paraná, Brasil**.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress Térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2011. Disponível em:

<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf>. Acesso em 26 jul. de 2023.

LAMBIN, E. F. Modeling Deforestation Processes - A Review, Trees series B:

Research Report. European Commission, Luxembourg, 1994.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, Mar. 1977.

LANDSBERG, M. E. **The urban climate**. New York: Academia Press, 1981. 276 p.

LIMA, T. **Jaguaribe atinge 40°C e registra a temperatura mais alta do país**. O

Povo. Disponível em: <<https://www.opovo.com.br>>. Acesso em: 30 de jun. de 2024.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

LIU, William Tse Horg. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed UNIDERP, 2006. 908 p. Biblioteca Virtual.

LOMBARDO, M. A. **Clima urbano nas metrópoles e seus impactos ambientais**. Congresso Luso-brasileiro para o planejamento urbano. [PLURIS 2021 DIGITAL]. Disponível em: <<https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper1198.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

LOMBARDO, M. A. **Mudanças climáticas recentes e ação antrópica**. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo. p. 29-34, 1994.

MAES, Jéssica; YUKARI, Diana. Após sucessivos recordes de calor, julho é o mês mais quente já registrado na história. **Folha de São Paulo** [online], São Paulo, 31 jul. 2023. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2023/07/apos-sucessivos-recordes-de-calor-julho-e-o-mes-mais-quente-ja-registrado-na-historia.shtml#:~:text=Com%20sucessivas%20ondas%20de%20calor,de%20milhares%20de%20anos%20atr%C3%A1s>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

MARTINÉZ, E. R.; NÉMIGA, X. A.; ALANÍS, J. C. **As metrópoles mexicanas rumo à sustentabilidade climática: uma revisão desde o ponto de vista do clima urbano**. Revista franco-brasileira de geografia. Confins. 2020. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/27496>>. Acesso em: 04 de abr. de 2022.

MATOS, F. B.; FREITAS, T. M.; LUNA, V. F.; SILVA, J. M. O.; MOURA, M.O. **Ilhas de calor na zona urbana do Crato/Ceará/Brasil**. Revista Geociência Nordeste, Caicó. V.7, n.2, 2021. P.41-48.

MINAKI, Cíntia. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP** / Cíntia Minaki. - Presidente Prudente, [s.n], 2014, 266 p. **model**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. (SBSR),2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p.721-228.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2013.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos. INPE. 2002. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf>. Acesso em: 05 de jul. 2023.

MOURA, M. O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências. Depto de Geografia. Fortaleza, 2008.

NÅSLUND-HADLEY, E.; RAMOS, M. C.; PAREDES, J.; BOLIVAR, A.; WILCHES-CHAUX, G. **Ciudades sostenibles y crecimiento urbano inteligente**. BID. Banco Interamericano de Desarrollo. 2016

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. Ed.

NUCCI, J.C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/FAPESP, 2001, 236p.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. Routledge, London. 1987

OLIVEIRA, E. L.; SALLES, M. T. **Relação entre subsolo urbano e mudanças climáticas em diferentes bairros do Rio de Janeiro**. Revista ambiente e sociedade, São Paulo. Vol. 23, 2020.

ONDA de calor na Europa e nos EUA congestionam hospitais. **Jornal Nacional** [online], 19 jul de 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2023/07/19/onda-de-calor-na-europa-e-nos-eua-congestionam-hospitais.ghtml>>. Acesso em: 28 jul de 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. **ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050**. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>>. Acesso em 28 jan. de 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf>. Acesso em 30 mai. de 2022.

PEDROSA, B. M; CAMARA, G. Modelagem da Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas. MEIRELLES, M. P; MARGARETH, S. P; CAMARA, G; ALMEIDA, C. de. (editores técnicos). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília, DF: Embrapa informações tecnológicas, 2007. 539p.

PINHEIRO, M. A.; SILVA, J. M. O. **Análise da temperatura de superfície e a relação com o NDVI da zona urbana do município do Crato/Ceará 2017**. Revista Casa da Geografia de Sobral, Sobral, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 334-347, 2019. Disponível em: <<https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/566/403>>. Acesso em: 14 de mar de 2024.

RAMPAZZO, C. R., SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima e qualidade ambiental urbana em alfredo marcondes/sp: análise em episódio de inverno**. In: Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.2, n.5, p. 194– 206, 2012.

REGAN, Helen. Mudança climática gera calor mortal na Índia e coloca desenvolvimento em risco. **CNN** [online], 23 abr. 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/mudanca-climatica-gera-calor-mortal-na-india-e-coloca-desenvolvimento-em-risco/>>. Acesso em: 27 mai. 2023.

REGAZZI, A. J. INF 766 - **Análise multivariada**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. M.; LIMA, E. A.; VIANNA, E. O.; WERNECK, D. R.; SALES, G. L. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2019 – 1ª edição / Editora ETB.

ROSA, M. O. **O processo de urbanização e a qualidade de vida: observações sobre o espaço urbano de Brasília**. Brasília: Centro Universitário de Brasília - UniCEUB/ICPD, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/7835/1/51302834.pdf>>. Acesso em: 14 fev. de 2023.

SACHS, Jeffrey. D. **A era do desenvolvimento sustentável**. [livro eletrônico]. 1ª ed. 2017. ISBN 978-989-694-133-8.

SANTOS, J. S. **Campo térmico urbano e sua relação com o uso e cobertura do solo em João Pessoa**. (Tese de Doutorado). Campina Grande: Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais-UFCG, 2011.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: HUCITEC, 1993.

SILVA, V. P. R.; SÁ, J. A.; TELES, V. O.; OLIVEIRA, C. W. **Obtenção da temperatura da superfície do Cariri com uso do Metric**. Caderno de Cultura e Ciência, Ano VII, v.11, n2. Dez, 2012. DOI: 10.14295/cad.cult.cienc.v11i2.508.

SNYDER, W. C., WAN, Z., ZHANG, Y., & FENG, Y. Z. Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space. **International Journal of Remote Sensing**, 19(14), 2753-2774, 1998.

SOARES FILHO, B. S.; FILHO, L. C.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.. **Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinâmica**

SOBRINO, J. A., JIMENEZ-MUNOZ, J. C., PAOLINI, L. Land surfasse temperature retrieval from Landsat TM 5. **Remote Sensing of Environment**. 2009. Disponível em: <[www. e l s e v i e r . c o m / l o c a t e / r s e](http://www.e l s e v i e r . c o m / l o c a t e / r s e)>. Acesso em: 06 dez. 2023.

STARIOLO, Malena. Aumento de temperatura em municípios com poucos milhares de habitantes é equivalente ao observado em grandes metrópoles do Brasil e do mundo. **Jornal UNESP**. São Paulo. Disponível em: <<https://jornal.unesp.br/2023/02/24/aumento-de-temperatura-em-municipios-com-poucos-milhares-de-habitantes-e-equivalente-ao-observado-em-grandes-metropoles-do-brasil-e-do-mundo/>>. Acesso em: 02 de ago. 2023.

VEIGA, José Eli. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008 3ª ed.

ZANELLA, M. E.; MENDONCA, F. A. Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões. In: III Simpósio Latino Americano de Geografia

Física, 2004, México. **III Simpósio Latino Americano de Geografia Física**, 2004. v. 01. p. 1-15

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

APÊNDICE A

Quadro 1: Distribuição das classes de temperatura nos municípios.

BARBALHA - JULHO - 2013			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	117,6768	19,36%
2	22-25	344,1141	56,60%
3	25-28	122,8158	20,20%
4	28-31	22,0644	3,63%
5	31-34	1,2087	0,20%
6	34-37	0,0837	0,01%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		607,9635	100%

BARBALHA - SETEMBRO - 2013			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0,3564	0,06%
2	22-25	78,0921	12,84%
3	25-28	96,9786	15,95%
4	28-31	223,4736	36,76%
5	31-34	127,1196	20,91%
6	34-37	70,5492	11,60%
7	37-40	11,1339	1,83%
8	>40	0,2601	0,04%
TOTAL		607,9635	100%

BARBALHA - JULHO - 2018			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	138,2265	22,74%
2	22-25	266,5395	43,84%
3	25-28	126,5256	20,81%
4	28-31	65,07	10,70%
5	31-34	11,1609	1,84%
6	34-37	0,441	0,07%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		607,9635	100%

BARBALHA - OUTUBRO - 2018			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	29,1177	4,79%
2	22-25	49,8843	8,21%
3	25-28	144,7542	23,81%
4	28-31	145,1502	23,87%
5	31-34	120,6918	19,85%
6	34-37	82,0854	13,50%
7	37-40	29,8071	4,90%
8	>40	6,4728	1,06%
TOTAL		607,9635	100,00%

BARBALHA - JULHO - 2023			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	199,791	32,86%
2	22-25	248,1336	40,81%
3	25-28	110,5758	18,19%
4	28-31	45,8127	7,54%
5	31-34	3,6495	0,60%
6	34-37	0,0009	0,00%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		607,9635	100%

BARBALHA - OUTUBRO - 2023			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	2,7837	0,46%
3	25-28	153,702	25,28%
4	28-31	178,1037	29,30%
5	31-34	98,4474	16,19%
6	34-37	85,4964	14,06%
7	37-40	58,8519	9,68%
8	>40	30,5784	5,03%
TOTAL		607,9635	100,00%

CRATO - JULHO - 2013			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	106,0704	9,33%
2	22-25	654,7914	57,57%
3	25-28	350,613	30,83%
4	28-31	25,7166	2,26%
5	31-34	0,0999	0,01%
6	34-37	0	0,00%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		1137,2913	100,0%

CRATO - SETEMBRO - 2013			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	60,7896	5,35%
3	25-28	191,9646	16,88%
4	28-31	253,5471	22,29%
5	31-34	295,9929	26,03%
6	34-37	301,1787	26,48%
7	37-40	33,7338	2,97%
8	>40	0,0846	0,01%
TOTAL		1137,2913	100,0%

CRATO - JULHO - 2018			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	116,5671	10,25%
2	22-25	446,6754	39,28%
3	25-28	325,7136	28,64%
4	28-31	234,3024	20,60%
5	31-34	13,9869	1,23%
6	34-37	0,0459	0,00%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		1137,2913	100,0%

CRATO - OUTUBRO - 2018			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	28,7541	2,53%
2	22-25	81,909	7,20%
3	25-28	196,0038	17,23%
4	28-31	207,1836	18,22%
5	31-34	257,7285	22,66%
6	34-37	305,2944	26,84%
7	37-40	58,3452	5,13%
8	>40	2,0727	0,18%
TOTAL		1137,2913	100,00%

CRATO - JULHO - 2023			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	276,5691	24,32%
2	22-25	467,6706	41,12%
3	25-28	342,081	30,08%
4	28-31	50,3199	4,42%
5	31-34	0,6507	0,06%
6	34-37	0	0,00%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		1137,2913	100,0%

CRATO - OUTUBRO - 2023			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	20,7855	1,83%
3	25-28	201,6225	17,73%
4	28-31	230,7798	20,29%
5	31-34	235,188	20,68%
6	34-37	293,4549	25,80%
7	37-40	138,2652	12,16%
8	>40	17,1954	1,51%
TOTAL		1137,2913	100,00%

JUAZEIRO DO NORTE - JULHO - 2013			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0,0378	0,01%
2	22-25	56,4264	21,82%
3	25-28	144,4941	55,88%
4	28-31	56,4066	21,81%
5	31-34	1,2051	0,47%
6	34-37	0	0,00%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		258,57	100,00%

JUAZEIRO DO NORTE - SETEMBRO - 2013			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0,6183	0,24%
2	22-25	0,4248	0,16%
3	25-28	1,4202	0,55%
4	28-31	11,4192	4,42%
5	31-34	77,7231	30,06%
6	34-37	130,8546	50,61%
7	37-40	35,9496	13,90%
8	>40	0,1602	0,06%
TOTAL		258,57	100,00%

JUAZEIRO DO NORTE - JULHO - 2018			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	3,6369	1,41%
3	25-28	90,9918	35,19%
4	28-31	141,4557	54,71%
5	31-34	22,0509	8,53%
6	34-37	0,4347	0,17%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		258,57	100,00%

JUAZEIRO DO NORTE - OUTUBRO - 2018			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	0	0,00%
3	25-28	0,1431	0,06%
4	28-31	3,564	1,38%
5	31-34	39,0222	15,09%
6	34-37	126,3186	48,85%
7	37-40	80,0532	30,96%
8	>40	9,4689	3,66%
TOTAL		258,57	100,00%

JUAZEIRO DO NORTE - JULHO - 2023			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	14,9634	5,79%
3	25-28	132,6762	51,31%
4	28-31	105,8364	40,93%
5	31-34	5,0913	1,97%
6	34-37	0,0027	0,00%
7	37-40	0	0,00%
8	>40	0	0,00%
TOTAL		258,57	100,00%

JUAZEIRO DO NORTE - OUTUBRO - 2023			
Classe	Temp. (°C)	Área (Km²)	Área ocupada (%)
1	<22	0	0,00%
2	22-25	0	0,00%
3	25-28	0,0189	0,01%
4	28-31	2,1762	0,84%
5	31-34	16,8633	6,52%
6	34-37	78,9939	30,55%
7	37-40	110,889	42,89%
8	>40	49,6287	19,19%
TOTAL		258,57	100,00%

Quadro 2: Temperaturas médias por bairros de Juazeiro do Norte

TEMPERATURA MÉDIA (°C) POR BAIRROS DE JUAZEIRO DO NORTE												
Nome do Bairro	2013				2018				2023			
	Julho		Setembro		Julho		Outubro		Julho		Outubro	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Aeroporto	28,07	1,71	35,45	2,17	29,54	1,75	35,71	2,16	28,35	1,62	38,06	2,41
Antônio Vieira	29,00	0,80	33,81	0,78	29,23	0,65	34,88	0,89	28,80	0,82	37,70	1,33
Betolândia	27,38	1,05	34,13	2,25	29,06	1,02	35,56	1,46	28,03	0,70	38,26	1,41
Brejo Seco	27,30	1,17	36,43	1,81	29,57	1,61	36,83	1,93	28,74	1,34	39,70	2,40
Campo Alegre	27,46	0,95	30,93	6,35	29,73	1,39	37,52	1,64	28,65	0,93	39,83	1,90
Carité	26,09	0,84	32,76	1,94	27,92	1,54	33,32	2,09	26,30	1,32	34,88	2,50
Centro	28,16	2,31	32,75	2,51	28,98	1,41	34,53	1,78	28,03	1,16	37,11	1,95
Cidade Universitária	27,44	1,25	35,52	1,67	30,08	1,25	38,65	2,71	29,03	1,49	40,45	2,30
Franciscanos	30,52	0,32	34,92	0,39	30,40	0,32	36,08	0,32	29,18	0,32	39,08	0,45
Frei Damião	28,77	1,24	36,83	1,52	30,83	1,21	38,19	1,84	29,61	1,28	40,90	2,37
Fátima	27,70	1,60	33,39	2,31	29,13	1,50	34,58	2,36	27,52	1,43	36,82	2,98
Horto	26,46	1,49	34,38	1,87	29,20	1,88	36,92	2,05	27,92	1,70	38,94	2,56
Jardim Gonzaga	28,55	1,02	35,99	1,95	30,55	1,17	37,65	1,66	29,45	1,30	40,80	2,34
João Cabral	30,02	0,54	34,78	0,39	30,09	0,38	35,87	0,38	29,63	0,42	38,99	0,51
José Geraldo da Cruz	27,78	1,06	34,85	1,25	29,23	1,25	35,32	1,57	28,40	1,07	37,81	1,69
Juvêncio Santana	26,24	1,32	29,83	2,63	26,90	1,52	31,91	1,88	26,01	1,45	34,07	2,64
Lagoa Seca	27,89	1,03	33,84	2,21	29,04	0,86	35,80	1,73	28,35	0,86	38,55	1,90
Leandro Bezerra de M	26,78	1,07	34,40	1,36	29,18	1,32	35,74	1,76	27,87	0,95	37,81	1,64
Limoeiro	28,57	1,27	33,98	1,00	29,41	0,79	34,90	0,89	28,55	0,71	37,86	1,04
Novo Juazeiro	27,33	1,10	33,33	0,78	28,48	0,82	34,44	0,97	27,60	0,76	37,00	1,18
Pedrinhas	27,62	1,07	35,38	1,65	29,52	1,46	35,95	1,75	28,52	1,28	38,41	2,15
Pio XII	29,86	0,56	34,39	0,41	30,04	0,45	35,35	0,47	28,97	0,34	38,44	0,58
Pirajá	30,55	0,52	34,83	0,41	30,15	0,58	35,71	0,63	29,34	0,50	38,98	0,68
Planalto	28,27	1,26	36,03	1,69	30,31	1,39	37,92	2,09	29,19	1,06	40,35	2,22
Romeirão	29,78	0,97	34,62	0,53	30,00	0,63	35,54	0,71	29,37	0,62	38,59	0,92
Salesianos	28,97	1,69	33,23	1,70	29,35	1,31	34,85	1,38	28,43	1,08	37,39	2,11
Salgadinho	26,01	1,22	32,61	2,01	27,99	1,67	34,11	2,32	26,15	1,43	34,25	2,63
Santa Teresa	29,99	1,29	34,54	1,14	29,91	0,78	35,53	0,77	29,22	0,47	38,50	0,80
Santo Antônio	27,70	1,45	31,92	1,80	28,64	1,24	34,17	1,46	27,89	1,42	36,60	2,37
Socorro	28,40	1,51	33,19	1,21	28,77	1,16	34,44	1,38	28,11	1,21	36,69	1,95
São José	27,61	1,18	34,24	1,64	28,98	1,29	35,23	1,66	28,06	1,16	37,66	2,06
São Miguel	29,93	0,78	34,04	0,76	30,08	0,55	35,25	0,76	28,84	0,66	38,21	0,89
Timbaúba	28,41	1,31	33,14	1,71	29,03	1,31	34,35	1,64	28,18	1,10	36,98	2,05
Tiradentes	28,04	0,74	34,02	1,28	29,31	0,82	35,23	1,13	28,21	0,57	38,01	1,05
Triângulo	29,32	0,72	34,42	0,84	29,65	0,80	35,55	1,07	29,00	0,66	38,14	0,94
Três-Marias	26,40	1,36	34,86	1,77	28,86	1,43	37,08	1,97	27,59	1,40	39,61	2,60

Quadro 3: Temperaturas médias por bairros do Crato

TEMPERATURA MÉDIA (°C) POR BAIRROS DO CRATO												
Nome do Bairro	2013				2018				2023			
	Julho		Setembro		Julho		Outubro		Julho		Outubro	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Alto da Penha	26,96	1,30	33,83	0,84	28,27	0,92	35,04	1,13	27,39	1,35	35,93	1,50
Barro Branco	26,54	1,42	35,46	2,42	28,17	1,73	36,41	2,35	27,46	2,00	37,78	2,82
Cacimbas	26,55	1,36	33,51	1,69	27,83	1,31	33,42	1,50	25,97	1,31	34,18	1,38
Centro	29,90	0,87	34,58	0,65	29,03	0,59	34,75	0,67	28,56	0,58	36,93	0,75
Coqueiro	24,79	0,81	31,51	1,88	25,79	1,11	31,29	1,72	24,50	0,92	31,92	1,49
França Alencar	25,20	1,73	32,44	1,35	26,04	1,50	32,53	1,61	24,67	1,61	33,24	2,00
Batateiras	24,92	1,50	33,12	1,97	26,49	1,52	33,92	1,62	25,09	1,46	34,69	1,78
Granjeiro	24,51	1,19	30,75	2,42	24,69	1,74	30,10	2,46	24,00	1,58	31,48	2,69
Novo Lameiro	25,23	0,89	32,68	1,01	26,44	0,91	32,75	1,06	25,34	1,05	33,24	1,09
Lameiro	24,76	0,80	32,49	1,98	25,94	1,87	32,47	2,47	25,05	1,42	33,62	2,51
Mirandão	26,51	1,51	34,18	2,04	27,76	1,70	34,38	2,26	26,36	1,53	35,17	2,08
Muriti	27,51	1,07	34,18	1,27	28,61	1,17	35,06	1,68	27,61	1,29	37,12	1,84
Novo Crato	26,55	1,73	33,37	1,10	27,65	1,07	34,30	1,11	26,57	1,52	35,44	1,43
Novo Horizonte	25,46	1,19	33,13	1,19	26,04	2,02	33,22	1,75	25,67	1,07	34,07	1,13
Ossian Araripe	28,53	1,11	33,47	0,87	28,70	0,68	33,94	0,70	28,08	0,80	35,74	0,83
Palmeiral	26,47	0,96	34,78	1,71	28,47	1,16	35,76	2,66	27,84	1,33	37,89	2,30
Parque Granjeiro	25,89	1,42	33,04	1,43	26,86	1,38	33,58	1,74	25,55	1,43	33,43	1,51
Parque Recreio	25,99	1,35	33,98	1,72	27,49	1,37	35,01	2,27	26,63	1,70	35,99	2,05
Pimenta	28,87	1,05	33,79	0,86	28,74	0,60	34,24	0,70	28,54	0,68	36,35	0,79
Pinto Madeira	28,46	1,78	33,43	1,05	28,68	0,97	34,59	0,73	27,92	1,16	36,63	0,88
Santa Luzia	27,38	1,08	34,16	1,13	28,36	1,05	34,41	1,12	27,49	0,81	36,59	0,71
São Bento	27,16	1,34	34,20	2,39	29,52	1,75	35,76	2,31	27,97	1,20	37,86	2,12
São Gonçalo	24,59	0,93	32,44	1,88	25,62	1,39	32,31	1,84	24,22	1,07	32,87	1,92
São José	27,61	1,18	34,24	1,64	28,98	1,29	35,23	1,66	28,06	1,16	37,66	2,06
São Miguel	27,63	1,72	33,00	1,68	28,59	1,31	34,07	1,29	27,72	1,25	36,66	1,67
Seminário	29,25	0,67	34,26	0,51	29,05	0,41	35,20	0,53	28,58	0,45	37,33	0,67
Sossego	26,91	0,88	33,47	0,78	27,44	0,73	33,46	0,93	27,26	0,94	34,80	1,12
Vila Alta	28,99	1,09	34,54	0,39	28,90	0,72	34,88	0,64	28,36	0,85	37,45	0,82
Vila Lobo	25,14	1,06	32,37	2,03	26,62	1,58	32,76	2,22	25,29	1,41	32,95	2,53
Zacarias Gonçalves	26,60	1,41	32,86	1,16	27,03	1,15	32,96	1,11	26,43	1,30	33,78	1,30

Quadro 4: Temperaturas médias por bairros de Barbalha

TEMPERATURA MÉDIA (°C) POR BAIRROS DE BARBALHA												
Nome do Bairro	2013				2018				2023			
	Julho		Setembro		Julho		Outubro		Julho		Outubro	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Alto da Alegria	27,14	1,48	34,52	1,75	29,01	1,37	35,51	1,82	28,22	1,43	38,12	2,54
Alto do Rosário	25,79	0,97	33,73	1,45	27,60	1,13	35,91	1,96	27,12	1,23	40,20	3,62
Bela Vista	27,57	1,39	34,53	0,71	28,88	0,87	36,45	1,45	27,72	0,95	38,76	1,74
Bulandeira	26,65	1,34	34,00	1,66	29,19	1,35	37,54	2,63	28,53	1,31	40,46	3,14
Buriti	26,95	1,57	34,83	2,01	28,86	1,55	36,23	2,12	27,89	1,46	38,65	2,65
Centro	28,53	0,94	33,47	0,65	29,04	0,59	34,81	0,61	28,02	0,75	37,21	1,00
Cirolândia	28,26	1,11	35,04	1,30	29,40	0,57	36,48	1,88	28,79	0,53	39,24	1,50
Malvinas	28,21	1,44	35,72	1,49	29,74	1,90	37,18	2,54	29,22	1,56	40,78	2,98
Mata dos Dudas	27,16	1,24	35,12	1,32	28,82	1,06	36,70	1,56	28,22	1,45	38,79	1,92
Mata dos Limas	26,96	0,86	34,25	1,73	29,19	1,06	37,99	1,96	29,77	1,54	41,08	2,24
N. S. Fátima	28,05	1,04	34,16	0,60	29,01	0,62	35,17	0,65	28,39	0,74	38,68	0,97
Rosário	27,84	1,33	34,34	0,91	28,81	0,59	35,85	1,25	28,44	0,54	39,62	2,12
Santo André	27,50	1,04	35,09	0,75	29,38	0,76	36,20	1,23	28,00	0,79	37,75	1,30
Santo Antônio	26,37	1,59	34,50	1,66	28,41	1,52	36,37	2,09	27,40	1,42	39,01	2,46
Tupinambá	26,52	0,75	32,85	0,92	27,70	0,91	34,57	1,53	26,67	1,05	36,23	1,94