

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

DANILO RIBEIRO MAURO

**A relação entre a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP e  
a intensidade da temperatura aparente da superfície nos anos de 1989, 1999,  
2009 e 2019**

PRESIDENTE PRUDENTE

2020

DANILO RIBEIRO MAURO

**A relação entre a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP e a intensidade da temperatura aparente da superfície nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim.

PRESIDENTE PRUDENTE

2020

M457r	<p>Mauro, Danilo Ribeiro</p> <p>A relação entre a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP e a intensidade da temperatura aparente da superfície nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019 / Danilo Ribeiro Mauro. -- Presidente Prudente, 2020</p> <p>84 f.</p> <p>Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente</p> <p>Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim</p> <p>1. Sensoriamento remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Climatologia urbana. 4. Ilha de calor urbana. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** A relação entre a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP e a intensidade da temperatura aparente da superfície nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019

**AUTOR: DANILO RIBEIRO MAURO**

**ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GEOGRAFIA, área: Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM  
Departamento de Geografia / FCT/UNESP - Câmpus de Presidente Prudente

*Margarete Amorim*

Profa. Dra. RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO

**VIDEOCONFERÊNCIA**

Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / FCT/UNESP - Câmpus de Presidente Prudente

Profa. Dra. LARISSA PIFFER DORIGON

**VIDEOCONFERÊNCIA**

Prefeitura Municipal de Campo Limpo Paulista/SP

Presidente Prudente, 16 de outubro de 2020

*A meus pais, pela educação  
que me deram e que foi o  
impulso para chegar até aqui.  
Jamais medirei esforços para  
lhes retribuir o amor, cuidado  
e carinho que sempre  
ofereceram.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, Senhor de tudo, que nos instiga a mover a roda da vida e nos proporciona as mais belas vitórias.

À Estela, anjo em minha vida, por suportar comigo, com firmeza, todos os momentos de tensão e dificuldade que envolveram este estudo, principalmente no cuidado com nossa casa e nossos filhos.

Ao amigo Fernando França, ser de muita luz, que nos diversos momentos em que nossas vidas se cruzaram, sempre me encorajou a seguir em frente.

À Profa. Dra. Renata Araújo, por acreditar na minha capacidade e, com sua intrínseca doçura, trazer sempre palavras de ânimo e conforto.

À Profa. Dra. Margarete Amorim, por aceitar o desafio de me orientar, e por sua prontidão diuturna para ajudar a driblar os obstáculos que surgiram no decorrer deste trabalho, sempre com seu largo sorriso.

Aos membros da Banca de Qualificação e da Banca Examinadora da Defesa, por suas valiosas contribuições.

À Universidade Estadual Paulista - Campus de Presidente Prudente, lugar onde iniciei minha jornada acadêmica e, depois de passados 10 anos, retornei para cursar a pós-graduação – um agradecimento especial aos servidores e colaboradores.

Ao Dr. Gabriel Lino de Paula Pires, Promotor de Justiça do GAEMA de Presidente Prudente, representando todos os servidores que lá atuam, por sempre incentivar a busca pelo conhecimento e aperfeiçoamento pessoal e profissional.

A todos, muitíssimo obrigado.

*“Você não pode mudar o vento, mas pode ajustar as velas do  
barco para chegar onde quer”*

Confúcio

## RESUMO

Diante do potencial humano de causar grandes modificações no ambiente, é imprescindível que os avanços científico e tecnológico tragam respostas que permitam evitar crises e eventos climáticos desastrosos. Isso porque se percebe uma intensa relação entre os elementos climáticos e a vida em sociedade. Nesse sentido, foram desenvolvidos diversos estudos acerca do papel do clima na organização do espaço geográfico, sobretudo no que se refere ao clima urbano e suas implicações diretas – como a formação das ilhas de calor superficiais urbanas. Indiscutível, ainda, as contribuições advindas do sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento aos estudos dos fenômenos climáticos. Nessa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo analisar a relação entre a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, com a potencial alteração da intensidade da temperatura aparente da superfície. Num primeiro momento, foram assinaladas as áreas em que houve acréscimos de edificações, por meio de imagens disponibilizadas pelo aplicativo Google Earth Pro, no período histórico de interesse. Tais áreas foram vetorizadas por meio de ferramentas de processamento digital, no software QGIS. Em seguida foram identificadas as intensidades das temperaturas aparentes da superfície, por intermédio das imagens captadas pelos sensores termais dos satélites Landsat 5 (banda 5) e Landsat 8 (banda 10), nas estações seca e chuvosa. Foi possível verificar um aumento da magnitude das ilhas de calor superficial urbanas, no decorrer das três décadas analisadas, de maneira mais significativa após períodos chuvosos. Também foram elaborados mapas de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que demonstraram a diminuição das áreas vegetadas da cidade no lapso temporal em questão. Elaborou-se, ainda, gráficos da evolução da precipitação total e temperatura média anuais, nas últimas três décadas, em Presidente Prudente/SP. Ao final, foi possível concluir que houve aumento da intensidade da temperatura superficial em todas as áreas identificadas no período de trinta anos, sobressaindo, nos períodos chuvosos, as ilhas de calor superficiais urbanas de forte e muito forte magnitudes. Constatou-se, da mesma forma, que a magnitude das ilhas de calor superficiais também se conecta ao padrão construtivo e tamanho dos lotes, sendo que as regiões com maior densidade de edificações são aquelas que mais apresentam temperaturas superficiais elevadas, demandando um melhor planejamento urbano e habitacional, buscando maior bem-estar da população.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto. Geoprocessamento. Áreas Edificadas. Clima Urbano. Temperatura Aparente da Superfície. Ilhas de Calor Superficiais. Presidente Prudente.

## ABSTRACT

In view of the human potential to cause major changes in the environment, it is essential that scientific and technological advances bring responses that allow to avoid crises and disastrous climatic events. This is because there is an intense relationship between climatic elements and life in society. In this sense, several studies have been developed on the role of climate in the organization of geographic space, especially with regard to urban climate and its direct implications - such as the formation of urban surface heat islands. The contributions from remote sensing and geoprocessing techniques to the study of climatic phenomena are also indisputable. In this perspective, the present study aimed to analyze the relationship between the expansion of the built areas of Presidente Prudente/SP, in the years 1989, 1999, 2009 and 2019, with the potential change in the intensity of the apparent surface temperature. First of all, the areas in which there were additions of buildings were highlighted, using images provided by the Google Earth Pro app, during the historical period of interest. These areas were vectored using digital processing tools, using the QGIS software. Then the intensities of the apparent surface temperatures were identified, obtained through images captured by the thermal sensors of the Landsat 5 (band 5) and Landsat 8 (band 10) satellites, in the dry and rainy seasons. It was possible to verify an increase in the magnitude of the urban surface heat islands, over the three decades analyzed, more significantly after rainy periods. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) maps were also made, which demonstrated the decrease of the vegetated areas of the city in the time lapse in question. Graphs of the evolution of total precipitation and average annual temperature in Presidente Prudente/SP over the past three decades were also prepared. Finally, it was possible to conclude that there was an increase in the intensity of the surface temperature in all the built-up areas, identified in the period of thirty years, standing out, in the rainy periods, the urban surface heat islands of strong and very strong magnitudes. It was found, in the same way, that the magnitude of the surface heat islands is also connected to the construction pattern and size of the lots, being that the regions with the highest density of buildings are those that show higher surface temperatures, demanding better planning urban and housing, seeking greater well-being of the population.

**Keywords:** Remote Sensing. Geoprocessing. Built Areas. Urban Climate. Apparent Surface Temperature. Surface Urban Heat Islands. Presidente Prudente.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da localização do município de Presidente Prudente/SP .....	32
Figura 2 – Captura de tela do QGIS escala de cores .....	41
Figura 3 – Evolução das áreas construídas de P. Prudente/SP de 1989 a 2019 .....	44
Figura 4 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 1989 .....	46
Figura 5 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 1999 .....	47
Figura 6 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 2009 .....	48
Figura 7 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 2019 .....	49
Figura 8 – Evolução das áreas construídas em Presidente Prudente/SP de 1989 a 2019 .....	50
Figura 9 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (1989-1990) .....	52
Figura 10 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (1999).....	53
Figura 11 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (2009).....	54
Figura 12 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (2019).....	55
Figura 13 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1989 – Estação Seca .....	65
Figura 14 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1999 – Estação Seca .....	66
Figura 15 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2009 – Estação Seca .....	67
Figura 16 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2019 – Estação Seca .....	68
Figura 17 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1990 – Estação Chuvosa .....	70
Figura 18 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1999 – Estação Chuvosa .....	71
Figura 19 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2009 – Estação Chuvosa .....	72
Figura 20 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2019 – Estação Chuvosa .....	73
Figura 21 – Correlação entre as áreas de expansão urbana e as ilhas de calor superficiais, para o ano de 2019 – Estação Chuvosa .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Imagens adquiridas para a cena de Presidente Prudente/SP para os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019.....	36
Tabela 2 – Coordenadas dos pontos relativos ao recorte geográfico .....	36
Tabela 3 – Valores das constantes de calibração das bandas termais.....	39
Tabela 4 – Valores da temperatura aparente da superfície para a Mata do Furquim, em Presidente Prudente/SP .....	40
Tabela 5 – Áreas construídas em Presidente Prudente, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019 .....	49
Tabela 6 – Percentuais das classes de ilhas de calor na estação chuvosa .....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitações médias mensais para Presidente Prudente, entre 1998 e 2019 .....	35
Gráfico 2 – Incremento populacional de Presidente Prudente de 1991 a 2019 .....	45
Gráfico 3 – Comparativo entre o aumento populacional e a expansão das áreas contruídas.....	51
Gráfico 4 – Totais anuais de precipitação de 1998 a 2019 .....	57
Gráfico 5 – Totais anuais de precipitação de 1998 a 2009 .....	58
Gráfico 6 – Totais anuais de precipitação de 2010 a 2019 .....	58
Gráfico 7 – Totais anuais de precipitação (mm) de 1998 a 2019 para as estações seca e chuvosa .....	59
Gráfico 8 – Totais anuais de precipitação (mm) de 1998 a 2009 para as estações seca e chuvosa .....	59
Gráfico 9 – Totais anuais de precipitação (mm) de 2010 a 2019 para as estações seca e chuvosa .....	60
Gráfico10 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 2019 .....	60
Gráfico11 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 1999 .....	61
Gráfico12 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2000 a 2009 .....	61
Gráfico13 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2010 a 2019 .....	62
Gráfico 14 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 2019 para as estações seca e chuvosa .....	62
Gráfico 15 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 1999 para as estações seca e chuvosa .....	63
Gráfico 16 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2000 a 2009 para as estações seca e chuvosa .....	63
Gráfico 17 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2010 a 2019 para as estações seca e chuvosa .....	64

## LISTA DE SIGLAS

NDVI	Normalize Difference Vegetation Index
SIG	Sistema de Informações Geográficas
NASA	National Aeronautics and Space Administration
USGS	U.S. Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
TM	Thematic Mapper
TIRS	Thermal Infrared Sensor
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GloVis	Global Visualization Viewer
TAS	Temperatura Aparente da Superfície
NC	Níveis de Cinza
NIR	Near Infrared

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
2.1 Objetivos Gerais.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
3.1 O clima urbano .....	21
3.2 As ilhas de calor.....	22
3.2.1 <i>Definição</i> .....	22
3.2.2 <i>Tipos de ilhas de calor</i> .....	24
3.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento .....	25
3.4 Imagens de satélites .....	26
3.4.1 <i>Missão Landsat</i> .....	27
3.4.2 <i>Resoluções das imagens</i> .....	28
3.4.3 <i>Infravermelho termal</i> .....	29
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
4.1 Caracterização da área de estudo .....	31
4.2 Softwares utilizados .....	33
4.3 Download, importação e georreferenciamento de imagens do Google Earth.....	33
4.4 Vetorização das áreas construídas de Presidente Prudente/SP.....	34
4.5 Download e processamento de imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 .....	34
4.6 Cálculo da temperatura aparente da superfície (TAS).....	37
4.7 Cálculo da Intensidade da TAS.....	39
4.8 Cálculo de NDVI .....	41
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
5.1 A expansão das áreas construídas e o NDVI.....	43
5.2 Médias anuais de temperatura e precipitação para o período histórico ...	56
5.3 Características das ilhas de calor superficiais.....	64
5.4 Correlação entre a área urbana expandida e as ilhas de calor .....	75
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os primórdios da investigação sobre os fenômenos atmosféricos remontam à própria percepção humana do papel da natureza como determinante da vida e do ambiente, tendo-se transcorrido um longo tempo até que os atributos da atmosfera fossem devidamente escrutinados pelo homem e considerados como importantes na organização de seu espaço. Sant’Anna Neto (2011, p. 121), ao tratar da relação entre o clima e a organização do espaço, destaca que este relacionamento é dependente do grau de desenvolvimento tecnológico de cada sociedade em particular, bem como dos elementos que são fundamentais em cada um dos ecossistemas do planeta.

Sorre (1955, p.14-15, tradução nossa) contribui com o exposto, ao afirmar que cada lugar apresenta sua individualidade original, a qual é, por vezes, individualmente irreduzível, diferindo muito rapidamente, de um lugar para outro, o conjunto das variações atmosféricas registradas pelos nossos sentidos. Nesse sentido, a noção de clima está, principalmente, referenciada a um lugar e uma estação. A alteração de qualquer um dos condicionantes altera também este sentir, seja uma pequena diferença de altitude, a orientação distinta das vertentes de uma mesma colina, a duração da exposição à luz solar, a temperatura, a precipitação, dentre diversos outros aspectos.

Por estar centralizado numa percepção humana, através de uma expressão ecológica, Monteiro (1976a, p. 104) observa que “o clima se posiciona no espaço concreto, tridimensional da superfície terrestre, através daquilo que lhe constitui o arcabouço – as formas do terreno”, estando “por razões óbvias as unidades espaciais do clima muito ligadas às unidades geomorfológicas”. Tal vínculo se constitui, também, num artifício facilitador da adoção da abordagem sistêmica e da condução lógica das análises.

Assim, dado o potencial das atividades humanas de provocar modificações importantes e rápidas nos mais diferentes ambientes, imperioso que os progressos do conhecimento também se mostrem suficientemente ágeis, sendo vital a capacidade de prever, não só para tirar consequências efetivas das previsões, mas para evitar crises e permitir as adaptações técnica e economicamente possíveis dos

meios necessários à vida, estando incluso nestes o clima, meio dotado de características peculiares (FOUCAULT, 1996, p. 13).

Nessa perspectiva, em que pese a capacidade do homem de atenuar, neutralizar e até mesmo eliminar as manifestações espaciais do clima, este não pode controlar a maneira da entrada do fluxo de energia produzida pela dinâmica intrínseca da atmosfera. Por isso, constituem-se como atitudes compatíveis para lidar com uma gama tão complexa de dados, as observações destes e os respectivos tratamentos estatísticos e computacionais para uma maior aproximação da realidade composta pelos múltiplos fatores de organização do espaço e assim melhor entendê-la (MONTEIRO, 1976b, p. 33).

Oportuno apropriar-se da definição de Sorre (1955, p. 14, tradução nossa), por meio da qual se conceitua o clima como “a série de estados atmosféricos sobre um lugar em sua sucessão habitual”; e da contextualização apresentada por Mendonça (2009a, p. 93) de que o “clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano”, sendo as condições climáticas das cidades então entendidas como “clima urbano”, derivando tais condições “da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas”. O estudo desse conjunto de fatores oferece “importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das cidades”.

Assim, não há dúvida que os fatores climáticos influenciam diversos aspectos da vida em sociedade, seja de forma positiva ou negativa, uma vez que nem sempre os efeitos do clima são indesejáveis. Ao contrário, o clima também é um recurso da natureza que deve ser explorado. Contudo, o homem ainda é bastante vulnerável frente aos impactos climáticos (AYOADE, 2007, p. 288).

Admitindo o clima urbano como o clima de um dado espaço associado ao seu processo de urbanização, temos que:

A observação do clima local, deve ser acompanhada da análise das características geoambientais, características físicas do meio geográfico, assim como, das características do processo de urbanização dos espaços a serem estudados, pois dessa forma é possível identificar quais as alterações climáticas e suas magnitudes, além, de relacioná-las às ações antrópicas (UGEDA JUNIOR, 2011, p. 55).

Todavia, Lombardo (1985, p. 23), tratando do processo de urbanização, destaca a modificação substancial da paisagem, acarretada pela

expansão das cidades, que altera o equilíbrio existente entre a superfície e a atmosfera, listando a grande concentração de áreas construídas, parques industriais, o adensamento populacional e a pavimentação asfáltica, associados à concentração de poluentes, como alguns dos fatores responsáveis para criar as condições de alteração do comportamento da baixa troposfera (camada limite), em ambientes urbanos. A referida autora ainda complementa (p. 77):

A urbanização, considerada em termos de espaço físico construído, altera significativamente o clima urbano, considerando-se o aumento das superfícies de absorção térmica, impermeabilização dos solos, alterações na cobertura vegetal, concentração de edifícios que interferem nos efeitos dos ventos, contaminação da atmosfera através da emissão dos gases.

Nesse passo, é adequada a premissa de Lencioni (1999, p. 119) de que “o espaço é uma construção social” e “para se entender a realidade geográfica tem que se entender a sociedade”, e ainda, conforme Corrêa (2005, p. 7), por ser o espaço urbano (ou a organização espacial da cidade) um “complexo conjunto de usos da terra”, “fragmentado e articulado”, sendo que “cada uma de suas partes mantém relações espaciais com as demais, ainda que de intensidade muito variável”, são justificáveis investigações específicas sobre como a sociedade e suas formas de organização promovem impactos nos mais diversos aspectos dos ambientes, estando incluso dentre estes o clima.

Sobre o papel deste, inclusive, Sant’Anna Neto (2011, p. 123), assevera:

Na concepção geográfica, o papel do clima na organização do espaço deve ser visto, fundamentalmente, como gerador de tipos de tempo cujas características são absolutamente dinâmicas, complexas e muito sensíveis a qualquer alteração imposta, influenciando cada parte do planeta, em função da interação entre as diferentes esferas do globo e da ação do homem.

Ademais, tendo em vista que é nas cidades que os efeitos do ar comprometido produzem alterações nos elementos climáticos de maneira mais intensa, urge a compreensão de maneira integral, ou tanto quanto possível, do meio no qual as cidades estão inseridas, sendo este o primeiro passo para que os processos de planejamento urbano então considerem as características ambientais no momento da tomada de decisões (AMORIM, 2000, p. 23; UGEDA JUNIOR, 2011, p. 68).

Amorim (2016, p. 47) também afirma que a produção do clima urbano é corroborada por meio das alterações observadas em seus elementos, “principalmente quando o processo de urbanização carece de planejamento adequado ao ambiente no qual a cidade está inserida, constituindo-se então de suma importância os estudos sobre clima urbano”. Tais estudos contribuem para a reorganização e planejamento das cidades e municípios, uma vez fornecem subsídios para se compreender melhor as anomalias térmicas, quando comparadas as atmosferas urbana e rural.

Nesse passo, é indiscutível que as técnicas de sensoriamento remoto têm sido importante auxílio nos estudos de clima urbano, pois as imagens de satélites expõem a distribuição espacial e as grandezas de alguns dos aspectos a ele relacionados, sendo possível se conhecer, mais profundamente, o fluxo de energia do ambiente urbano (MENDONÇA, 2009b, p. 186-188).

No mesmo sentido, Cardoso (2012, p. 33-34) afirma que os sensores captam a distribuição espacial da radiação na superfície, possibilitando a análise detalhada dos fenômenos observados, em larga escala, ressaltando que “os satélites se revelam como uma tecnologia bastante importante para as análises da superfície terrestre, uma vez que permitem a obtenção de dados de áreas extensas com maior rapidez”.

Para Luchiari, Kawakubo e Morato (2005, p. 33), após a aquisição de imagens de satélites, é possível interpretar os dados dos objetos e das feições da superfície do terreno, de acordo com a energia captada em cada faixa do espectro eletromagnético, produzindo informações relativas à ocupação urbana, solos, vegetação e clima. Uma das muitas alternativas para a análise das informações extraídas por meio do imageamento por sensores é o processamento digital ou geoprocessamento: conjunto de técnicas computacionais que utilizam algoritmos matemáticos para a manipulação dos dados disponíveis, de acordo com o tipo de informações que se quer produzir.

Assim, Lima (2013, p. 106) resume que as ferramentas de sensoriamento remoto - e, da mesma forma, as de geoprocessamento - “são cada vez mais utilizadas para as análises ambientais, justamente por inserir procedimentos que podem gerar mapas e produtos finais com rico conteúdo, associado a vários elementos e temas”.

Além disso, as diversas técnicas de sensoriamento remoto podem auxiliar a análise das informações da superfície terrestre, uma vez que os objetos presentes no meio natural captam, armazenam e refletem energia eletromagnética. Os sensores dos satélites são capazes de monitorar as características térmicas dos objetos da paisagem, uma vez que todos eles absorvem radiação solar e emitem radiação infravermelha termal. Isso porque a energia solar pode ser decomposta em um espectro eletromagnético que abrange as radiações visíveis e invisíveis, de acordo com seu comprimento de onda, e cada elemento da superfície se comporta de uma maneira, relativamente a sua capacidade de absorver e refletir energia, podendo extrair importantes informações do canal termal dos satélites.

Dessa maneira, é possível relacionar o modo como se distribuem espacialmente a cobertura vegetal e os usos da terra com as informações da temperatura da superfície, sendo que “tanto a vegetação como o uso da terra nas paisagens urbanas interferem na formação do clima urbano, dependendo de suas características e densidade” (LIMA, 2013, p. 134-135).

De outro lado, não se pode menosprezar as limitações resultantes no trabalho desenvolvido a partir das imagens de satélites gratuitos, como, por exemplo, a dificuldade em se mapear espaços intraurbanos, nos estudos de classificação de usos do solo urbano, em razão da resolução espacial das imagens. Outros problemas que podem surgir são os ruídos, deformações de escalas, interferências atmosféricas e distorções geométricas, que, no entanto, podem ser removidas por meio de técnicas de processamento de imagens. Esse conjunto de técnicas de processamento de imagens foi desenvolvido com o objetivo corrigir e/ou compensar esses ‘erros’, a fim de facilitar a extração das informações presentes nas imagens e sua interpretação. Com efeito, a utilização dessas técnicas depende dos objetivos do estudo e do grau de complexidade da pesquisa (MENESES; ALMEIDA, 2012, p. 82-84).

À vista disso, com o intuito de realizar pesquisa científica que demonstrasse a importância do sensoriamento remoto, assim como das diversas técnicas de geoprocessamento, nos estudos climáticos, foi proposto o presente estudo, visando relacionar a expansão das áreas construídas na cidade de Presidente Prudente/SP, entre os anos de 1989 e 2019, com eventuais alterações da intensidade da temperatura aparente da superfície – ilhas de calor superficiais urbanas (OKE et al., 2017).

Monteiro (1986, p. 194, tradução nossa) já dizia ser bastante evidente o fenômeno das ilhas de calor urbanas em cidades de médio porte, ou seja, aquelas em que a população está compreendida entre 150.000 e 200.000 habitantes.

Além disso, a região a que pertence Presidente Prudente está inserida na zona de clima tropical, em área de transição climática sofrendo a influência de diversos sistemas atmosféricos presentes na América do Sul. Apresenta clima quente e úmido nas estações primavera e verão (período compreendido entre os meses de outubro e março), época em que se registram também as maiores porcentagens de umidade relativa do ar; e menos quente e seco, nas estações outono e inverno (período compreendido entre os meses de abril e setembro), em que se percebem as menores porcentagens de umidade relativa do ar. A região pode ainda sofrer alterações decorrentes dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* (CARDOSO, 2015, p. 37-39).

É possível perceber que o tema relacionado ao clima urbano é de vital importância para o adequado planejamento das cidades, sobretudo aquelas que se encontram em processo de franca expansão.

Todavia, é sabido que, embora envolva procedimentos complexos, o planejamento urbano raramente leva em conta os aspectos climáticos, vez que outras características ambientais e, principalmente, as socioeconômicas, recebem atenção prioritária, ficando os problemas relacionados ao clima urbano relegados a um momento futuro, em que “apareçam” mais claramente aos atores político-sociais.

Nesse contexto, a escolha por Presidente Prudente/SP se mostra acertada, uma vez que a cidade de porte médio que capitaneia o oeste paulista passou por intenso processo de expansão urbana nas últimas três décadas. Demais disso, apresenta duas estações bem definidas e distintas, intituladas Estação Seca e Estação Chuvosa, nas quais se verificarão as características das ilhas de calor superficiais urbanas, correlacionando-se com o aumento das áreas edificadas de sua área urbana.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho tem por objetivo geral analisar a relação entre a expansão das áreas construídas do município de Presidente Prudente/SP, identificada nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, com a potencial alteração da intensidade da temperatura aparente da superfície.

### 2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste estudo:

- Identificar a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, por meio de imagens disponibilizadas pelo Google;
- Avaliar a intensidade da temperatura aparente da superfície, em Presidente Prudente/SP e seu entorno rural próximo, por meio de técnicas de geoprocessamento de imagens dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*, para os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, nas estações seca e chuvosa; e
- Analisar o percentual de expansão das áreas construídas, bem como o aumento quantitativo e qualitativo das ilhas de calor superficiais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O clima urbano

O processo de urbanização das cidades trouxe consigo diversos questionamentos relativos à influência do Homem no ambiente em que se insere. Um deles diz respeito às possíveis alterações ocasionadas no clima.

Foucault (1996, p. 29-30) define o clima como um conjunto de fatores que influenciam a atmosfera de determinado lugar, baseados em medições e observações *in loco*. Acrescenta que um determinado tipo de clima se caracteriza por um aglomerado de regiões do espaço geográfico, que apresentam condições meteorológicas semelhantes, e que possam ser tratadas conjuntamente. Por fim, afirma que as principais grandezas que o caracterizam são: precipitação, temperatura, pressão atmosférica e umidade.

Monteiro (1976a, p. 54) revela que as preocupações com o clima urbano surgiram ainda no século XVII, em algumas regiões da Europa, quando o Homem passou a perceber que a atmosfera sobre as cidades era bastante diferente das áreas rurais. Destaca a importância da obra de Howard (1833) sobre o clima urbano da cidade de Londres, que analisou os diversos contrastes dos aspectos meteorológicos do clima na área urbana londrina e de seu entorno.

No mesmo sentido, Monteiro (2009, p. 15-18) afirma que o estudo do clima urbano busca investigar a relação entre homem e natureza como determinante para o clima das cidades, revelando-se efetivamente como parâmetro de qualidade ambiental. Deu-se preferência à abordagem por meio da Teoria Geral dos Sistemas, pois é pragmática, dinâmica, consistente e empírica, possibilitando ainda a construção de modelos.

Para Mendonça (2009b, p. 175-178), os trabalhos relativos ao clima urbano, no Brasil, começaram a se desenvolver na medida em que a população urbana superou a população rural, ou seja, no período de intensa urbanização das cidades, a partir da década de 1970. Foi a partir da compreensão da relação entre a atmosfera, a superfície e o Homem, que se passou a dar a devida importância ao clima urbano, integrando-o ao planejamento das cidades. Sabe-se, contudo, que a afirmada integração ainda é muito incipiente na prática.

É possível resumir o clima urbano como a modificação do clima local, em função da concentração populacional e da densidade de edificações, sendo o desenvolvimento urbano capaz de aumentar ou diminuir esses efeitos. As áreas edificadas das cidades produzem maior calor, afetando o regime de ventos, a umidade e até as precipitações (MONTEIRO, 1976a, p. 57).

Além disso, Henríquez e Romero (2019, p. 3-7) ressaltam a importância dos estudos climáticos para a realização de planejamento e gerenciamento urbanos de maneira adequada e eficaz, contemplando a concentração espacial de pessoas, desenvolvimento humano, necessidades habitacionais, segurança e saúde do ambiente, qualidade do equipamento urbano e a distribuição igualitária de bens e serviços. Para eles, uma das maiores preocupações enfrentadas pelas pesquisas e contribuições acadêmicas é a perda de qualidade dos climas urbanos das cidades latino-americanas, tomando como exemplo a disponibilidade de áreas verdes nas cidades, que está intimamente relacionada ao status socioeconômico de seus bairros. Ou seja, os bairros mais ricos possuem áreas verdes em maior qualidade e quantidade, o que traz um importante aspecto relacionado ao impacto socioambiental.

Prosseguem os autores, alertando acerca do processo de expansão urbana, como um dos fatores de alteração do clima local, sendo certo que o crescimento das cidades se dá por meio de diferentes aspectos sociais, econômicos e padrões culturais, que influenciam significativamente na qualidade dos climas e nos ambientes urbanos. Isso porque a instalação de zonas suburbanas, distantes dos centros das cidades, favorecem a formação de novos centros urbanos, degradando a paisagem natural, bem como o surgimento de novas ilhas de calor urbanas, concentração de poluição e transformação das características e qualidade do clima.

## **3.2 As ilhas de calor**

### **3.2.1 Definição**

Um dos aspectos ligados às questões surgidas dos estudos de clima urbano é a formação das ilhas de calor superficiais urbanas. Lombardo (1985, p. 77-

78) afirma que as formas de uso e ocupação da terra e a elevação das temperaturas no sistema intraurbano estão intimamente ligadas, destacando:

A superfície da cidade constituída de área edificada influi de maneira tridimensional na interação que existe entre a estrutura urbana e a atmosfera. As condições climáticas de uma área urbana extensa e de construção densa são totalmente distintas daquelas dos espaços abertos circundantes, podendo haver diferença de temperatura, de velocidade do vento, de umidade, de pureza do ar etc. (LOMBARDO, 1985, p. 77-78)

Gartland (2010, p. 09-11) chamou as ilhas de calor de “oásis inverso”, locais em que as temperaturas superficiais são mais elevadas do que nas áreas rurais do entorno, geralmente vegetadas, sendo este fenômeno observado mundialmente. Tal fenômeno ocorre em razão da absorção e retenção de calor por parte dos materiais construtivos das cidades, pela sua impermeabilidade e falta de umidade. As ilhas de calor são vistas como um problema na maioria das cidades, porque causam desconforto térmico e efeitos indesejáveis para a saúde da população. Ressalta ainda que “áreas com menos vegetação e mais desenvolvidas tendem a ser mais quentes, e ilhas de calor tendem a ser mais intensas conforme o crescimento das cidades”.

Alcoforado et al. (2009, p. 62, tradução nossa) afirmam, nessa perspectiva, que o efeito “ilha de calor urbana” não pode ser entendido e estudado apenas como um fenômeno da temperatura do ar, mas como um problema fisiológico, uma vez que em locais em que o verão é muito quente, a ilha de calor urbana aumenta muito o nível de desconforto para a população, assim como ocasiona problemas de saúde e incrementam o coeficiente de poluição atmosférica e o consumo de água e energia elétrica.

Importante salientar que as ilhas de calor refletem não apenas o balanço de energia e a diferença de temperatura entre a área urbana e a rural, mas também mostram as alterações ocorridas no ambiente intraurbano, propiciada pelos diferentes tipos construtivos, relevo, vegetação, adensamento de edificações etc. (AMORIM, 2017, p. 46).

Amorim (2019, p. 26-27) também afirma que o processo de formação das ilhas de calor reflete, ainda, a forma de apropriação e expansão territorial, ou seja, as “decisões tomadas pelos sujeitos sociais protagonistas do processo de produção do espaço”.

Além disso, muitos dos estudos acerca do fenômeno das ilhas de calor superficiais urbanas, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, preocuparam-se em analisar a diferença entre a temperatura do ar e do alvo se utilizando de imagens de anos diferentes; outros, fizeram a comparação entre imagens obtidas nos períodos diurno e noturno; ainda outros estudaram a relação entre as ilhas de calor percebidas em cidades diferentes, numa mesma cena. Contudo, são poucas as pesquisas que relacionam o fenômeno das ilhas de calor, levando-se em consideração a variabilidade de precipitação nos períodos que antecedem a aquisição da imagem pelo sensor (AMORIM, 2017, p. 63-64).

### **3.2.2 Tipos de ilhas de calor**

Fialho (2009, p. 48-71), em sua tese de doutoramento, assevera que os tipos de ilhas de calor são definidos a partir da técnica de monitoramento e observação dos fenômenos envolvendo a temperatura do ar e da superfície. Embora não seja unanimidade na literatura, o referido autor apresentou a divisão em 3 tipos de ilhas de calor, justamente em razão do método de observação, assim descritas:

a) ilhas de calor atmosférica – fenômeno de variação da temperatura do ar, medida por meio de transectos móveis ou pontos fixos, e que leva em conta parâmetros relacionados à topografia, uso e cobertura da terra. A ilha de calor atmosférica é mais evidente no período noturno;

b) ilhas de calor vertical – modelo que se subdivide em: i) camada intraurbana, em que se detecta alterações em microescala, estendendo-se da superfície até o nível do telhado das edificações; e ii) camada limite urbano, cujas variações podem ser verificadas em mesoescala, acima do nível dos telhados. As ilhas de calor verticais têm como características variações da superfície terrestre (rugosidade), nível de poluição e velocidade dos ventos; e

c) ilhas de calor superficial – evento climático relacionado à radiação eletromagnética, que pode ser observado por meio de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas às imagens de satélites. As ilhas de calor superficiais estão diretamente ligadas à estimativa da temperatura aparente da superfície.

Levando-se em conta que o presente trabalho teve por objetivo o estudo das alterações das intensidades da temperatura aparente da superfície, logo se pode deduzir que se está a tratar aqui das ilhas de calor superficiais urbanas.

Diversos são os trabalhos científicos que se debruçaram sobre o tema das ilhas de calor superficiais urbanas no Brasil – sobretudo nas cidades de pequeno e médio porte, em que este fenômeno é mais evidente –, dos quais merecem destaque os de Coltri (2006) e Polizel (2009), sobre a cidade de Piracicaba/SP; de Fialho (2009), sobre a cidade de Viçosa/MG; de Mashiki (2012), acerca do município de Botucatu/SP; de Parizoto (2013), sobre o município de Piratininga/SP; de Dorigon (2015 e 2019), acerca das cidade de Paranaíba/PR e Jundiá/SP, respectivamente; bem como os estudos conduzidos por Amorim (2017 e 2018), alusivos à cidade de Presidente Prudente/SP.

Os métodos e técnicas utilizados nesta breve dissertação são um compilado daqueles aplicados pelos autores supracitados, entre outros.

### **3.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento**

Sensoriamento remoto e geoprocessamento são duas das principais tecnologias inseridas no contexto de aquisição, transformação e compartilhamento de dados geográficos, as chamadas geotecnologias. O sensoriamento remoto, em linhas gerais, é o nome que se dá ao conjunto de técnicas capazes de colher informações da superfície terrestre, por meio do imageamento de seus objetos, sem que haja contato físico com o sensor (MENESES, 2012, p. 3).

Para a autora, dessa definição clássica pode se extrair um conceito científico para a expressão:

Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES, 2012, p. 3).

Um exemplo de energia ou radiação eletromagnética que pode ser medida pelos sensores remotos é a luz solar refletida por corpos dispostos na superfície terrestre. Assim, para que uma técnica seja classificada como de

sensoriamento remoto, deve inequivocamente ser realizada por meio da captação da radiação eletromagnética.

Necessário salientar, também, que os sensores remotos nem sempre estão acoplados à satélites que orbitam a Terra. As primeiras técnicas de sensoriamento remoto foram aquelas desenvolvidas por intermédio das fotografias aéreas.

No mesmo sentido Luchiari, Kawakubo e Morato (2005, p. 35), quando esclareceram que “os sensores são aparelhos que servem para registrar a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície do terreno e transformá-la em produtos que possam ser interpretados”, como a identificação de rochas, cobertura vegetal, fenômenos hidrológicos, atmosféricos e climáticos, dentre muitos outros.

De outra parte, o geoprocessamento é o agrupamento de procedimentos matemáticos e computacionais utilizados para a aquisição, tratamento e disponibilização de dados munidos de referências geográficas – dados georreferenciados. Ao conjunto de ferramentas de geoprocessamento deu-se o nome de Sistema de Informações Geográficas (SIG)<sup>1</sup>.

Assim, geoprocessamento e sensoriamento remoto são ferramentas muito importantes para se conhecer o espaço geográfico, sobretudo para se extrair informações ambientais que pautem tomadas de decisões.

### **3.4 Imagens de satélites**

Em que pese a enorme gama de sensores de imageamento acoplados à satélites espaciais orbitando a Terra, atualmente, a história diz que tais ferramentas são uma conquista recente do homem. Na década de 1960, conhecida como década da corrida espacial, período em que houve o franco desenvolvimento de foguetes capazes de lançar satélites ao espaço, as representações da superfície eram ainda obtidas por meio de câmeras manuais, dotadas de filme fotográfico. Com o avanço tecnológico e a necessidade cada vez maior de se varrer a superfície terrestre em busca de informações, em intervalos de tempo menores, surgiram os

---

<sup>1</sup> A expressão original, em inglês, é *Geographic Information System* (GIS)

sensores de imageamento, capaz de obter dados em formato digital, em várias faixas do espectro eletromagnético (MENESES, 2012, pag. 1-2).

De lá para cá, a combinação de satélites ainda mais desenvolvidos com sensores cada vez mais potentes, possibilitou enorme avanço nos estudos e pesquisas relacionadas a informações geográficas.

### **3.4.1 Missão Landsat**

Um marco no desenvolvimento de satélites espaciais foi a denominada missão *Landsat*. Lançado na década de 1970, o *Landsat 1* foi o primeiro satélite do mundo com sensores remotos a bordo. Tinha uma resolução espacial de 80 metros e revisitava cada ponto da Terra a cada 18 dias. Por mais de 40 anos, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) tem desenvolvido satélites com sensores imageadores da superfície terrestre. Atualmente, estão em órbita os satélites *Landsat 7* e *Landsat 8*, sendo este último capaz de obter imagens com resolução espacial de 15 metros<sup>2</sup>. Mais recente atualização da empresa de tecnologia aeroespacial, a missão *Landsat 9* está prevista para o ano de 2021 (NASA 2020, online, tradução nossa).

As imagens de satélite disponibilizadas pela *U.S. Geological Survey* (USGS<sup>3</sup>), em formato GEOTIFF, possuem alta resolução sem perda de qualidade, e são acompanhadas de arquivo texto de metadados. Por padrão, as imagens têm como referência o *Datum* WGS 84 e o sistema de coordenadas UTM zone 22N.

As imagens da banda termal do sensor TM (*Landsat 5* – banda 6) tem resolução de 120 metros, enquanto a banda termal do sensor TIRS (*Landsat 8* – banda 10) tem resolução de 100 metros. Entretanto, para melhorar a experiência dos usuários, bem como proporcionar a elaboração de produtos melhores e mais confiáveis, a USGS disponibiliza as imagens de ambos sensores tratadas e reamostradas com resolução de 30 metros. Ou seja, cada *pixel* da cena corresponde a uma área no solo de 900 m<sup>2</sup> (30 m x 30 m).

---

<sup>2</sup> Na banda pancromática

<sup>3</sup> Disponível em <https://www.usgs.gov/>. Acesso entre 20/02/17 e 01/12/2019.

### 3.4.2 Resoluções das imagens

Nos estudos e pesquisas que se utilizam de imagens obtidas por satélites, uma grande questão que se levanta diz respeito à resolução das imagens. Há que se ter em mente que, embora comumente se utilize dessa expressão para se referir à resolução espacial das imagens, Mashiki (2012, p. 19-23) e Meneses (2012, p. 24-31) explicitam que um sensor de imageamento possui outras características também denominadas resoluções:

a) resolução espacial: como se disse, talvez a mais relevante das resoluções, para os estudos que envolvem as ilhas de calor, dá a medida do menor tamanho de objeto que pode ser diferenciado na cena, que equivale a um *pixel* da imagem. Uma pequena resolução espacial significa uma menor riqueza de detalhes dos objetos terrestres, enquanto uma grande resolução espacial possibilita a visualização detalhada da cena.

Os satélites *Landsat* possuem resolução que variam de 80 a 15 metros e são utilizados em pesquisas em escala regional. Enquanto isso, existem satélites com resolução espacial de 1 metro ou menos como, por exemplo as missões norte-americana IKONOS e sul-coreana KOMPSAT, que permitem um estudo pormenorizado dos alvos, em escala local.

b) resolução espectral: conjunto de parâmetros relacionados à quantidade de bandas que o sensor possui, à largura do comprimento de onda das bandas e à posição que elas ocupam no espectro eletromagnético.

Em síntese, é a capacidade de diferenciar os elementos da cena, de acordo com seus índices de reflectância, em consonância com seus comprimentos de onda.

Geralmente, satélites que possuem sensores com alta resolução espacial acabam por ter número menor de bandas, em uma faixa reduzida do espectro. Já os sensores com baixa e média resolução espacial conseguem imagear muitas bandas, em diversos comprimentos de ondas distintos. Tudo isso para garantir o armazenamento e adequada transmissão dos dados adquiridos.

c) resolução radiométrica: é a capacidade de medição de níveis de radiância, ou seja, o número de níveis de radiação eletromagnética que o sensor pode diferenciar – usualmente traduzido em *bits*.

Quanto maior a resolução radiométrica do sensor, maior o nível de detalhamento da imagem. Os sensores com baixa resolução espacial também tem, em sua maioria, baixa resolução radiométrica (8 *bits*, o que equivale a 256 níveis de radiância), enquanto os sensores com alta resolução espacial possuem elevada resolução radiométrica (10 ou 11 *bits*, diferenciando 1024 ou 2048 níveis de radiação eletromagnética).

A intensidade da radiação eletromagnética no pixel de uma determinada imagem é chamada de “número digital” ou ND<sup>4</sup>. Alguns autores também se referem a esses números como “níveis de cinza” ou NC, como adotado neste trabalho.

d) resolução temporal: é o tempo de revisita do sensor para um mesmo ponto da superfície da Terra, quer dizer, a frequência de disponibilização das imagens para um mesmo local. Quanto maior a resolução temporal (maior frequência de imageamento), maior a possibilidade de aquisição de imagens “limpas”, sem nuvens.

### **3.4.3 Infravermelho termal**

Um dos tipos de imagens de satélites bastante utilizado é o decorrente dos sensores equipados com bandas termais, ou seja, aquelas que identificam e diferenciam os objetos e alvos de acordo com a radiação eletromagnética que emitem, na faixa do infravermelho termal. Todo elemento na superfície terrestre que esteja numa temperatura acima do zero absoluto (zero Kelvin), que equivale a 273°C negativo, aproximadamente, emite radiação eletromagnética na faixa do infravermelho termal, geralmente na faixa de 8 a 14 micrômetros ( $\mu\text{m}$ ). Uma das limitações das imagens obtidas por meio de sensores termais é a radiação solar. Nos dias com alta insolação, há uma tendência de maior emissão de radiação eletromagnética, se comparada a dias em que a insolação é menor (BAPTISTA, 2012, p. 47-53).

---

<sup>4</sup> Do inglês, *Digital Number* (DN)

No mesmo passo, Jensen (2009, p. 251) afirma que todas as feições da paisagem natural (solos, rochas, água, vegetação, elementos construtivos etc.) emitem radiação eletromagnética infravermelha termal.

Além disso, as imagens dos satélites equipados com sensores que operam na faixa do infravermelho termal tem sido importante ferramenta nos estudos relacionados aos fenômenos climáticos, sobretudo aqueles alusivos ao clima intraurbano e às ilhas de calor das cidades de pequeno e médio porte (FIALHO, 2009, p. 72).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

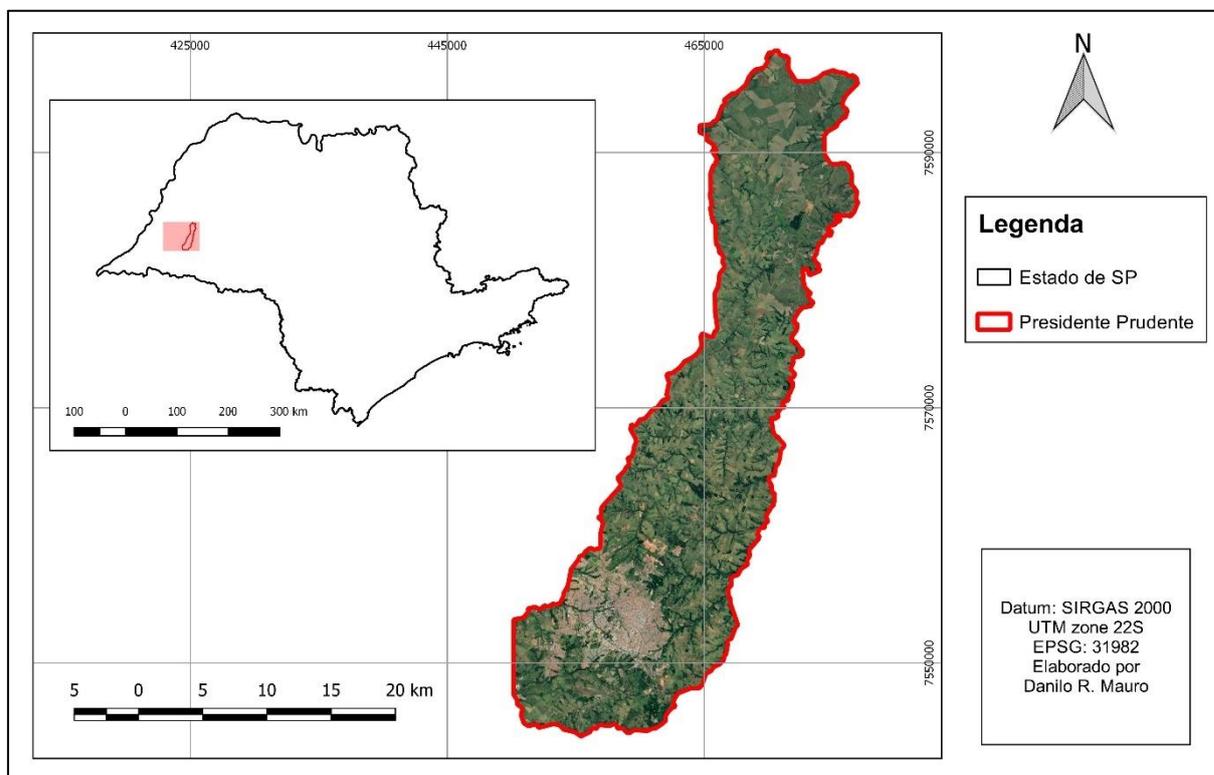
O município de Presidente Prudente/SP está localizado na porção oeste do Estado de São Paulo, distante cerca de 550 quilômetros da capital paulista. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020, online), possui uma população de 207.610 pessoas (censo de 2010), distribuídas num território de mais de 560 km<sup>2</sup>. A microrregião de Presidente Prudente/SP engloba 31 municípios e faz divisa com os estados de Mato Grosso do Sul (a oeste) e Paraná (ao sul), bem como as regiões de Araçatuba (ao norte) e Marília (a leste).

Seu processo de emancipação político-administrativa remonta ao início do Século XX e, atualmente, a cidade é conhecida como a “capital do oeste paulista” ou a “capital da Alta Sorocabana”:

A cidade de Presidente Prudente foi emancipada de Conceição de Monte Alegre (hoje Paraguaçu Paulista) na década de 1910. A versão de sua etimologia é que o nome seja uma referência ao ex-presidente brasileiro Prudente de Moraes (Itu, 4 de outubro de 1841 – Piracicaba, 13 de dezembro de 1902), que foi um advogado e político brasileiro, primeiro governador do estado de São Paulo (1889-1890). Hoje é formada pela cidade de Presidente Prudente além dos distritos de Ameliópolis, Eneida, Floresta do Sul, Montalvão e a Sede, subdivididos ainda em cerca de 220 bairros (PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE PRUDENTE, 2020, online).

A figura 1 apresenta mapa da localização do município de Presidente Prudente no Estado de São Paulo. Nota-se que a cidade de Presidente Prudente está localizada na porção sul/sudoeste da área municipal, sendo que os distritos se encontram na parte centro/norte/nordeste.

Figura 1 – Mapa da localização do município de Presidente Prudente/SP



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Arakaki e Perrone (2017, p. 20), o município de Presidente Prudente/SP se desenvolveu, inicialmente, a partir do binômio café-ferrovia, criando um núcleo urbano no entorno da estação ferroviária da cidade, e marcando a transição do estilo de vida rural para uma estrutura urbanizada. Ainda de acordo com os autores,

Estudando a história de Presidente Prudente, percebemos a rapidez com que a cidade se estruturou e ingressou na fase de modernização, em sintonia com outras cidades bem mais antigas. (...) Uma questão importante é que a ferrovia valoriza as terras por onde passa e é nesse contexto que se origina o núcleo urbano de Prudente (ARAKAKI; PERRONE, 2017, p. 20-21).

Contudo, Francisco e Fiorin (2017, p. 35-37) avaliam que o processo de expansão urbana em Presidente Prudente se deu, de forma mais intensificada, com o declínio e obsolescência do setor ferroviário, nos anos de 1970, observando-se a adequação da cidade à nova realidade e a transformação e alargamento do núcleo urbano original.

Aprofundando no recorte geográfico definido para este estudo, qual seja a cidade de Presidente Prudente/SP e seu entorno rural próximo, necessário salientar a forma de ocupação da malha urbana.

Souza (2016, p. 21-30) diz que o início da ocupação urbana em Presidente Prudente/SP se deu em razão de seu relevo, sendo certo que em primeiro lugar foram urbanizados os topos, de formação suave e alargados; em seguida, as áreas de nascentes e fundos de vales, principalmente à oeste.

No mesmo sentido, Fagundes (2018, p. 103-104) explica que as características geomorfológicas foram imprescindíveis para a fixação dos núcleos urbanos de Presidente Prudente/SP. Os dois primeiros núcleos urbanos (Vila Marcondes e Vila Goulart) foram estabelecidos no espigão, por ser menos acidentado, separados pela linha férrea e estação ferroviária. Na sequência, a urbanização seguiu para as áreas das bacias dos cursos d'água, principalmente à oeste da ferrovia, pois as áreas da zona leste da cidade eram muito mais acidentadas.

## 4.2 Softwares utilizados

Para a consecução desse trabalho, foram empregados os seguintes programas computacionais:

- *Google Earth Pro*<sup>5</sup>, *software* de modelagem do globo terrestre, construído com base em mosaicos de imagens de satélites, disponibilizado gratuitamente pela empresa *Google*;

- QGIS<sup>6</sup>, versão 2.18, *software* livre de SIG, com código-fonte aberto, que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

## 4.3 Download, importação e georreferenciamento de imagens do Google Earth

Como um dos objetivos da pesquisa foi analisar a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente/SP nas últimas três décadas, foram extraídas

---

<sup>5</sup> Disponível para download em: <https://www.google.com.br/earth/>

<sup>6</sup> Disponível para download em: [https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/](https://www.qgis.org/pt_BR/site/)

imagens do *Google Earth Pro*, em quatro momentos distintos, quais sejam os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, por meio da ferramenta linha do tempo.

As imagens capturadas pelo *Google Earth* não trazem consigo as referências geográficas da cena. Para conseguir vetorizar as áreas edificadas em cada uma das imagens, foi necessário, antes, georreferenciá-las.

O georreferenciamento das imagens do *Google Earth* foi feito tendo por base as imagens de satélites e pontos de fácil localização, como cruzamentos de avenidas e rodovias, lagos, fragmentos de mata, campo de futebol, entre outros.

Com as imagens já georreferenciadas, foi possível vetorizar as áreas construídas representativas de cada ano da série histórica.

#### **4.4 Vetorização das áreas construídas de Presidente Prudente/SP**

A vetorização das áreas construídas da cidade de Presidente Prudente/SP foi realizada no QGIS, para as imagens do Google Earth para os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, com o objetivo de se formar polígonos representativos de áreas edificadas.

Como as imagens tinham resoluções distintas, adotou-se uma escala tal, que por um critério estritamente visual, permitisse a adequada diferenciação entre as áreas que representavam edificações (arruamentos, casas, praças etc.) daquelas feições ditas não-edificadas (área rural, solo nu, rios, lagos, entre outras).

#### **4.5 Download e processamento de imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8**

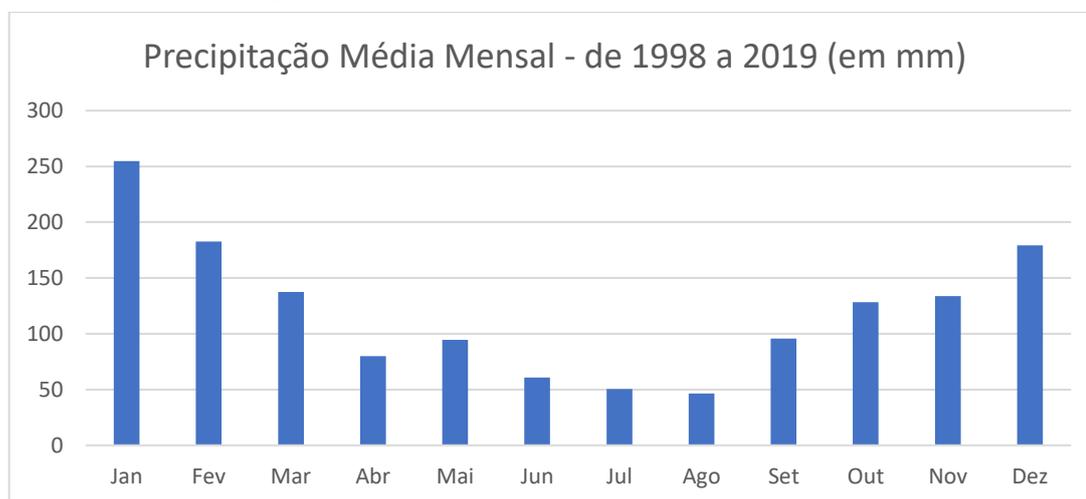
De início, foi realizado o *download* das imagens dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*, tratadas e disponibilizadas pela NASA, de forma gratuita, por meio do site da USGS e seu aplicativo *Global Visualization Viewer* (GloVis).

As imagens dos referidos satélites que englobam a região de Presidente Prudente/SP são aquelas que têm sistema de referência órbita 222, ponto 075.

Como já dito, a cidade de Presidente Prudente/SP, por suas características climáticas que evidenciam duas estações bem definidas – seca e chuvosa –, foi o recorte escolhido para o presente estudo, apto a demonstrar a relação entre a expansão das áreas edificadas e a existência e comparação entre as ilhas de calor superficiais urbanas, na Estação Seca e na Estação Chuvosa.

Adotou-se o período entre os meses de outubro a março como sendo a Estação Chuvosa, e o compreendido entre os meses de abril a setembro, como Estação Seca, de acordo com o gráfico 1, que apresenta o climograma de Presidente Prudente/SP, com as precipitações médias mensais entre os anos de 1998 e 2019, a partir de dados do aplicativo Giovanni<sup>7</sup>, disponibilizado gratuitamente pela NASA.

Gráfico 1 – Precipitações médias mensais para Presidente Prudente, entre 1998 e 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, para representar a série histórica objeto deste estudo, foram escolhidas duas cenas para cada período, representativas dos períodos seco e chuvoso, tendo como base, para tanto, análise conjunta dos dados de precipitação da Estação Meteorológica da FCT/UNESP de Presidente Prudente/SP e os disponibilizados pelo *Giovanni/NASA*.

Além disso, para a confiabilidade dos dados do sensor termal dos satélites, optou-se pelo *download* de imagens com total ausência de nuvens na área de estudo, resultando na escolha das cenas conforme detalhado na tabela 1.

<sup>7</sup> *Giovanni* é um ambiente virtual destinado à visualização de análise de parâmetros geofísicos. Disponível em <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso entre jan/2019 e fev/2020.

Tabela 1 – Imagens adquiridas para a cena de PresidentePrudente/SP paraos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019

<b>Ano</b>	<b>Satélite</b>	<b>Data de Aquisição</b>	<b>Estação</b>
1989	Landsat 5	19/08/1989	Seca
1989	Landsat 5	26/11/1990	Chuvosa
1999	Landsat 5	28/06/1999	Seca
1999	Landsat 5	21/12/1999	Chuvosa
2009	Landsat 5	22/05/2009	Seca
2009	Landsat 5	29/10/2009	Chuvosa
2019	Landsat 8	27/08/2019	Seca
2019	Landsat 8	25/10/2019	Chuvosa

Fonte: Elaborada pelo autor

Como as cenas mostradas em cada imagem baixada dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* abrangem área deveras maior que aquela de interesse do presente estudo, por meio de técnicas de geoprocessamento e se utilizando de ferramentas do QGIS, as cenas foram reprojctadas para o *Datum* SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG: 31982) e recortadas, de acordo com a área definida para o presente trabalho, qual seja a cidade de Presidente Prudente/SP e seu entorno rural próximo.

Entenda-se como entorno rural próximo, uma porção de áreas não edificadas que se avizinham das áreas edificadas da cidade, em quantidade suficiente para que se faça uma análise espacial entre as medidas da temperatura aparente da superfície.

A tabela 2 apresenta os pontos de coordenadas que limitam o recorte geográfico do estudo, perfazendo uma área aproximada de 200 km<sup>2</sup>:

Tabela 2 – Coordenadas dos pontos relativos ao recorte geográfico

<b>Ponto \ Coordenada</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
1	-51.4797 W	-22.0587 S
2	-51.3433 W	-22.0587 S
3	-51.3433 W	-22.1864 S
4	-51.4797 W	-22.1864 S

Fonte: Elaborada pelo autor

Para cada cena bruta baixada, a ferramenta de recorte gera uma nova imagem, restrita à área de interesse da pesquisa, que foram utilizadas nas etapas seguintes.

#### 4.6 Cálculo da temperatura aparente da superfície (TAS)

O cálculo da temperatura aparente da superfície tem como objetivo transformar os valores de cada *pixel* da cena, originalmente em níveis de cinza (NC), para temperatura em graus Celsius (°C).

Para tanto, inicialmente é calculada a radiância espectral monocromática ( $L_{\lambda i}$ ), por meio das equações 1 e 3, extraídas do próprio site da USGS.

Para a banda 6 do satélite *Landsat 5*, tem-se que<sup>8</sup>:

$$L_{\lambda i} = \frac{L_{max_i} - L_{min_i}}{QCAL_{max} - QCAL_{min}} * (NC - QCAL_{min}) + L_{min_i} \quad E.1$$

Onde:

- $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral da banda  $i$
- $L_{max_i}$  é radiância espectral máxima na banda  $i$  (= 15,303)
- $L_{min_i}$  é a radiância espectral mínima banda  $i$  (= 1,238)
- $NC$  é o nível de cinza captado para cada *pixel*
- $QCAL_{max}$  é o valor digital máximo da imagem (= 255)
- $QCAL_{min}$  é o valor digital mínimo da imagem (= 1)

Resumidamente, pode-se rerepresentar a equação 1 da seguinte forma:

$$L_{\lambda 6} = \frac{15,303 - 1,238}{255 - 1} * (NC - 1) + 1,238 \quad E.2$$

<sup>8</sup> Adaptada pelo autor. Disponível em <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7-data-users-handbook>. Acesso em 20/11/2020. Apesar da fórmula utilizada estar definida para a banda termal do satélite *Landsat 7*, é a mesma usada para conversão de NC (níveis de cinza) em temperatura (na escala Kelvin) para a banda 6 do satélite *Landsat 5*, pois em ambos o sensor termal escaneia a superfície atribuindo valores que variam entre 1 e 255 para cada pixel, diferindo apenas nos valores máximo e mínimo de radiância espectral.

Já com relação à banda 10 do satélite *Landsat 8*, a fórmula<sup>9</sup> se apresenta de forma diferente:

$$L_{\lambda i} = M_L * NC + A_L \quad \text{E.3}$$

Onde:

- $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral da banda  $i$   
 $M_L$  é o fator de reescalonamento multiplicativo específico (= 0,0003342)  
 $NC$  é o nível de cinza captado para cada *pixel*  
 $A_L$  é o fator de reescalonamento aditivo específico (= 0,1)

Mais uma vez, de forma resumida, apresenta-se a seguinte equação:

$$L_{\lambda 10} = 0,0003342 * NC + 0,1 \quad \text{E.4}$$

No *software* QGIS, o processo de cálculo é feito por meio da ferramenta Calculadora Raster. Com relação às fórmulas descritas nas equações 2 e 4, o cálculo é feito substituindo o valor de NC pelo 'nome' da imagem base (resultado do recorte), ou seja, pelo valor de cada *pixel*. Assim, para cada cálculo efetuado, uma nova imagem é gerada, com novos valores associados

Em seguida foi calculada a temperatura aparente da superfície ( $T_{AS}$ ), para todas as imagens resultantes do passo anterior, por meio da equação 5<sup>10</sup>:

$$T_{AS} = \frac{K_2}{\ln\left(\left(\frac{K_1}{L_{\lambda i}}\right)+1\right)} - 273,15 \quad \text{E.5}$$

Onde:

- $T_{AS}$  é a temperatura aparente da superfície (em °C)<sup>11</sup>  
 $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral da banda  $i$   
 $K_1$  e  $K_2$  são constantes de calibração da banda termal  $i$

<sup>9</sup> Disponível em <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8-data-users-handbook>. Acesso em 20/11/2019.

<sup>10</sup> Adaptada pelo autor. As fórmulas para o cálculo da temperatura aparente da superfície, para os satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* são iguais, e são apresentadas nos arquivos descritos na nota anterior, diferindo apenas nos valores das constantes de calibração dos sensores.

<sup>11</sup> A fórmula original resulta em temperaturas na escala Kelvin. Para otimizar os cálculos e as etapas de processamento, foi embutida na fórmula a subtração do valor 273.15K, equivalente a temperatura de 0°C.

As fórmulas utilizadas para o cálculo da temperatura aparente da superfície, para os satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* são iguais, e são apresentadas nos arquivos descritos nas notas de rodapé anteriores, diferindo apenas com relação às constantes de calibração dos sensores ( $K_1$  e  $K_2$ , respectivamente), cujos valores podem ser encontrados nos arquivos de metadados que acompanham as respectivas imagens e estão discriminados na tabela 3:

Tabela 3 – Valores das constantes de calibração das bandas termais

Satélite	Banda	K1	K2
<i>Landsat 5</i>	6	607,76	1260,56
<i>Landsat 8</i>	10	774,8853	1321,0789

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por fim, cabe destacar que a fórmula original resulta em temperaturas na escala Kelvin. Para otimizar os cálculos e as etapas de processamento, foi embutida na equação 5 a subtração do valor 273.15K, equivalente a temperatura de 0°C.

#### 4.7 Cálculo da Intensidade da TAS

Assim, como resultado das etapas anteriores, foram obtidas as imagens representativas da temperatura aparente da superfície. Contudo, diante da proposta do presente trabalho de analisar a intensidade da temperatura superficial – e não seu valor absoluto –, fez-se necessário mais uma etapa de cálculo, para que se pudesse estabelecer uma relação entre os *pixels*.

O procedimento é o descrito por Amorim (2017, p. 64):

Como a opção foi por analisar a intensidade das ilhas de calor superficiais, foram calculadas as diferenças das temperaturas intraurbanas em relação à área com alta densidade de cobertura vegetal localizada a nordeste da malha urbana, conhecida como 'Mata do Furquim' (...). Esta área, como sempre está entre aquelas que apresentam as menores temperaturas dos alvos, devido à presença de quantidade significativa de cobertura vegetal arbórea, foi considerada como ponto '0' e, a partir dela, foram calculadas as diferenças de temperatura dos alvos (...).

Também é o posicionamento adotado por Dorigon (2019, p. 55), em sua Tese de Doutorado, ao escolher como ponto “0” um *pixel* localizado em área rural no entorno da cidade, para obtenção da diferença térmica, aqui chamada de intensidade da temperatura aparente da superfície ( $\Delta T$ ). Isso porque a utilização de dados absolutos pode gerar análises conflitantes .

A tabela 4 apresenta os valores obtidos da temperatura aparente da superfície, referente à área da “Mata do Furquim”, para todas as duplas de imagens dos anos 1989, 1999, 2009 e 2019:

Tabela 4 – Valores da temperatura aparente da superfície para a Mata do Furquim, em Presidente Prudente/SP

<b>Ano</b>	<b>Data</b>	<b>Estação</b>	<b>T (°C)</b>
<b>1989</b>	19/08/1989	Seca	21,06
<b>1989</b>	26/11/1990	Chuvosa	23,68
<b>1999</b>	28/06/1999	Seca	17,93
<b>1999</b>	21/12/1999	Chuvosa	23,68
<b>2009</b>	22/05/2009	Seca	20,17
<b>2009</b>	29/10/2009	Chuvosa	22,81
<b>2019</b>	27/08/2019	Seca	21,60
<b>2019</b>	25/10/2019	Chuvosa	28,63

Fonte: Elaborada pelo autor

Assim, para cada imagem obtida na etapa da estimativa da temperatura aparente da superfície, foi realizado um último cálculo, subtraindo-se os valores relacionados na tabela 4.

Na sequência foi definida a escala de cores para representar as intensidades da temperatura superficial, como exibido na figura 2:

Figura 2 – Captura de tela do QGIS escala de cores



Fonte: Elaborada pelo autor

A escala escolhida varia do azul (para intensidades menores ou iguais a zero) para o vermelho (para intensidades maiores que 8 °C).

#### 4.8 Cálculo de NDVI

Um indicador interessante, quando se fala em expansão urbana é a medida da densidade de vegetação local.

Neste estudo foi utilizado o NDVI<sup>12</sup> - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, que é a razão entre a diferença e a soma das bandas do infravermelho próximo (NIR<sup>13</sup>) e do vermelho (RED). Nos satélites *Landsat 5*, essas faixas do espectro eletromagnético são representadas pelas bandas 3 e 4, respectivamente; no *Landsat 8* são as bandas 4 e 5, respectivamente. Com valores que variam entre -1 e +1, por meio desse índice é possível identificar as áreas vegetadas (valores maiores) daquelas que não possuem cobertura vegetal (valores menores - edificações, ruas, solo exposto etc.), assegurando a diferenciação do urbano e de seu entorno rural. O NDVI é muito utilizado em análises históricas, nas quais se minimiza o efeito das condições atmosféricas, bem como para caracterizar

<sup>12</sup> Em inglês, *Normalize Difference Vegetation Index (NDVI)*

<sup>13</sup> Em inglês, *Near-infrared*

grandes área de cobertura vegetal (MENESES; ALMEIDA, 2012, p. 147-150; POLIZEL, 2009, p. 56; AMORIM, 2019, p. 28-29).

Para se obter as imagens de NDVI, utilizou-se a fórmula representada pela equação 6:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad E.6$$

Onde:

*NDVI* é o índice de vegetação por diferença normalizada

*NIR* é o valor do *pixel* da banda do infravermelho próximo

*RED* é o valor do *pixel* da banda do vermelho

Utilizando-se novamente da ferramenta Calculadora Raster, foram obtidas as imagens de NDVI para cada ano da série histórica, para as estações seca e chuvosa.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

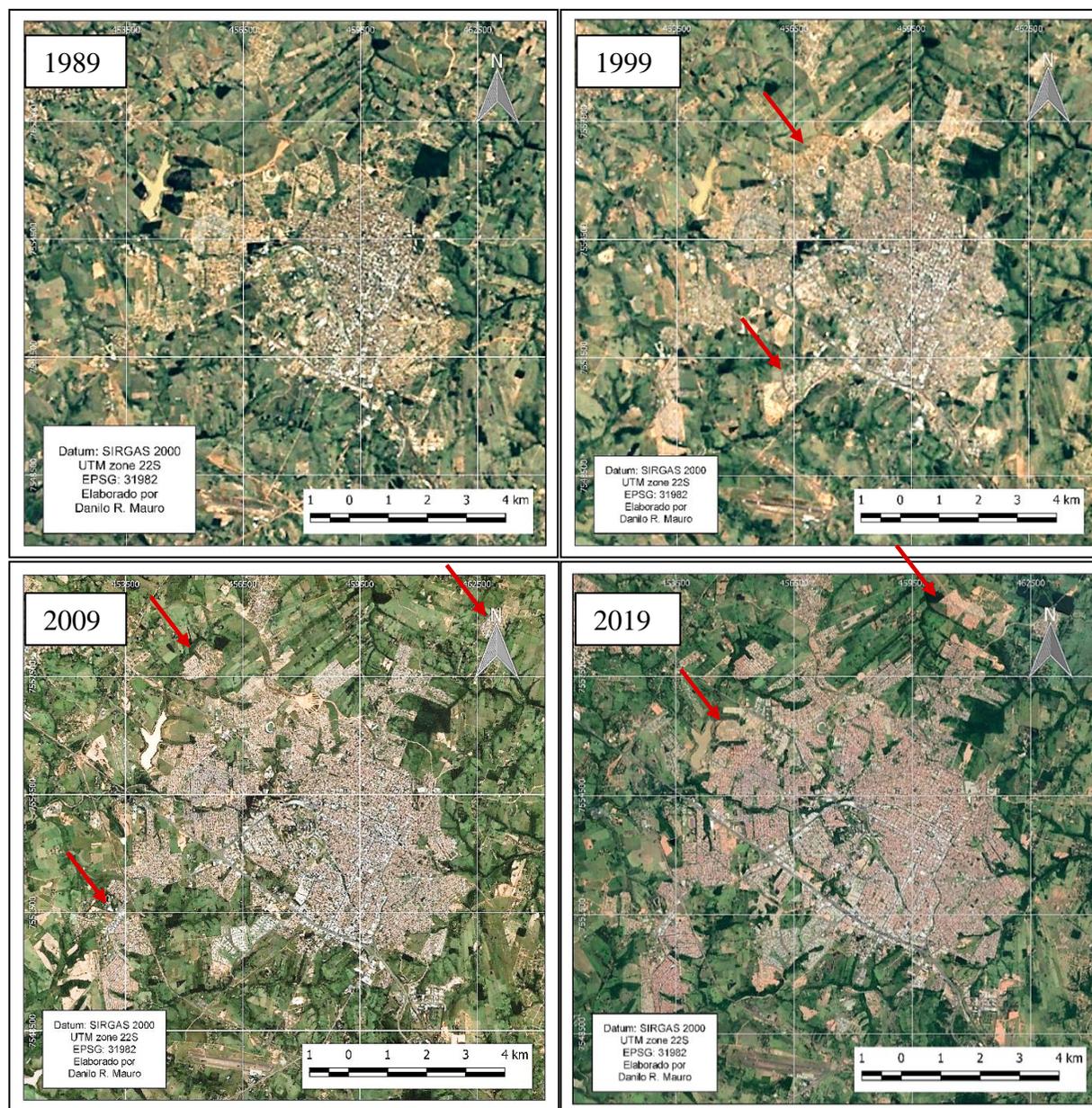
### **5.1 A expansão das áreas construídas e o NDVI**

No início da série histórica, no ano de 1989, a cidade de Presidente Prudente/SP tinha uma malha urbana já bastante expandida, sendo das áreas construídas ainda limitadas, de certa forma, pelas rodovias, estradas e principais avenidas.

Baron (2017, p. 61) aponta que, entre 1989 e 2012, “foi possível verificar a construção de 14 conjuntos habitacionais de interesse social, totalizando 8.300 unidades habitacionais”.

É o que se pode observar da figura 3, que mostra que nas últimas três décadas (entre 1989 a 2019), Presidente Prudente/SP passou por um intenso processo de expansão de suas áreas construídas, de maneira mais significativa, para as regiões sul, sudoeste, oeste e norte, apontadas nas setas vermelhas.

Figura 3 – Evolução das áreas construídas de P. Prudente/SP de 1989 a 2019



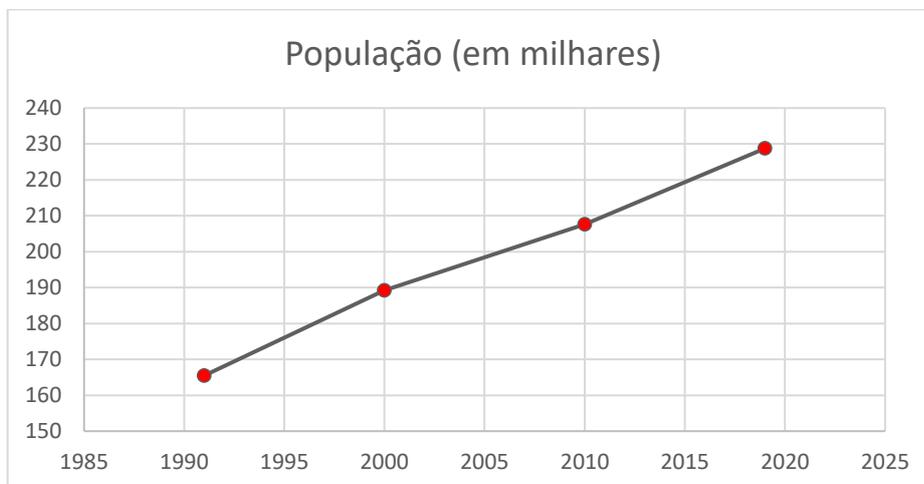
Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar alguns ‘vazios’ no município, em detrimento de outros pontos de expansão desconectados da cidade. Isso ocorre, segundo Pereira (2002, p. 57), porque algumas áreas se valorizam mais, de acordo com o interesse do capital financeiro e da especulação imobiliária, razão pela qual “a expansão se dá sem continuidade com o tecido urbano (...) em função dessa lógica de produção territorial ser calcada nos interesses dos agentes desse processo”. No mesmo sentido:

A expansão urbana de Presidente Prudente tem demonstrado o maior interesse nas áreas a sudoeste para loteamentos e condomínios das elites, e a oeste e norte para as camadas de menor poder aquisitivo. O processo de crescimento com manutenção de grandes vazios urbanos tem permanecido (HONDA et al., 2015, p. 67).

Em somatória, os dados disponibilizados pelo IBGE<sup>14</sup> explicitam que houve grande incremento populacional no município, passando de 165.484 habitantes, em 1991, a estimados 228.743 munícipes para o ano de 2019, como apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Incremento populacional de Presidente Prudente de 1991 a 2019



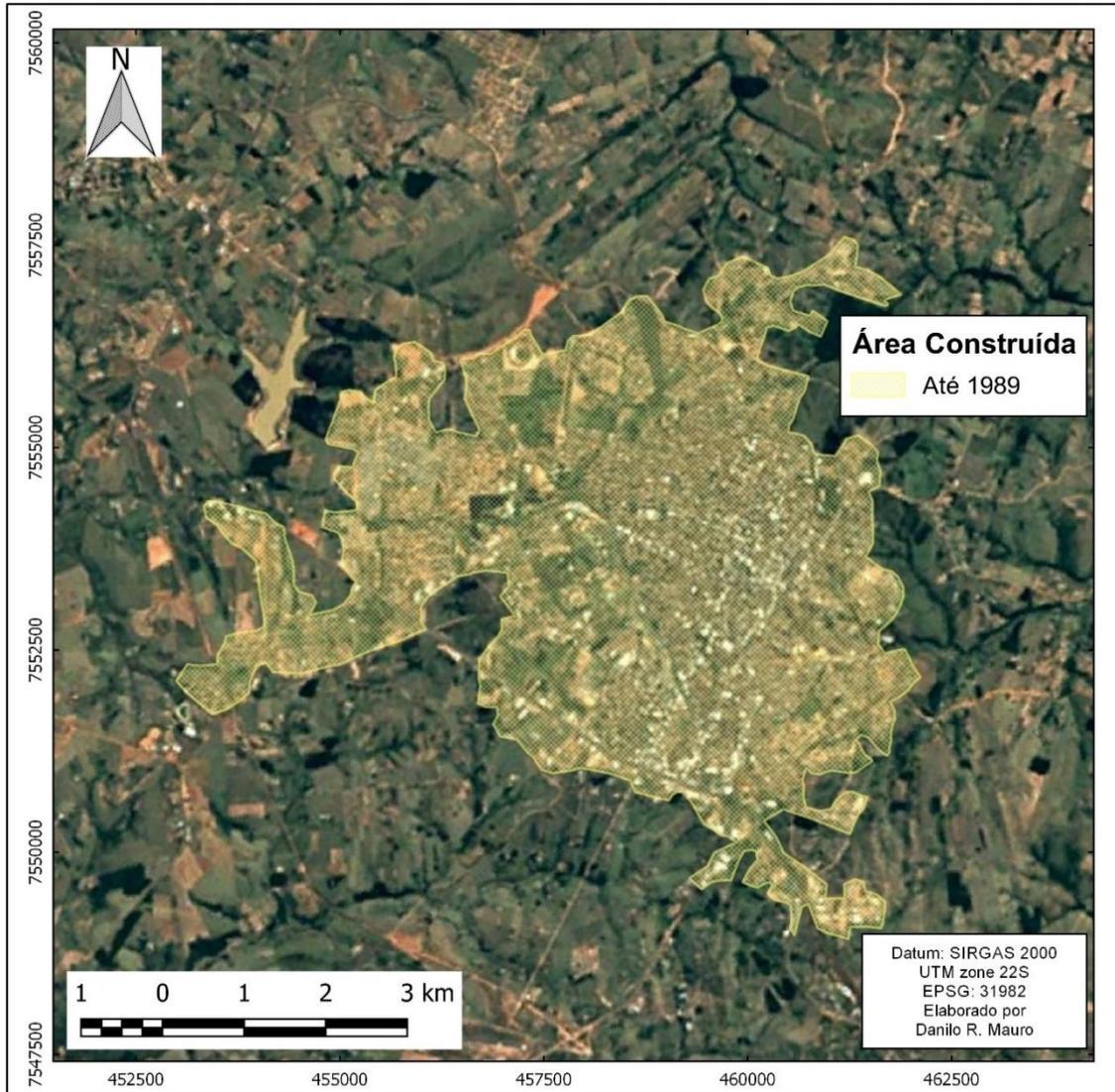
Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, é possível compreender a expansão das áreas edificadas de Presidente Prudente/SP como reflexo do aumento populacional da cidade, bem como a busca por espaços periféricos, marcados por processos de especulação imobiliária e imposição do capital financeiro.

<sup>14</sup> Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/todos-os-produtos-estatisticas.html>. Acesso em 25/11/2019.

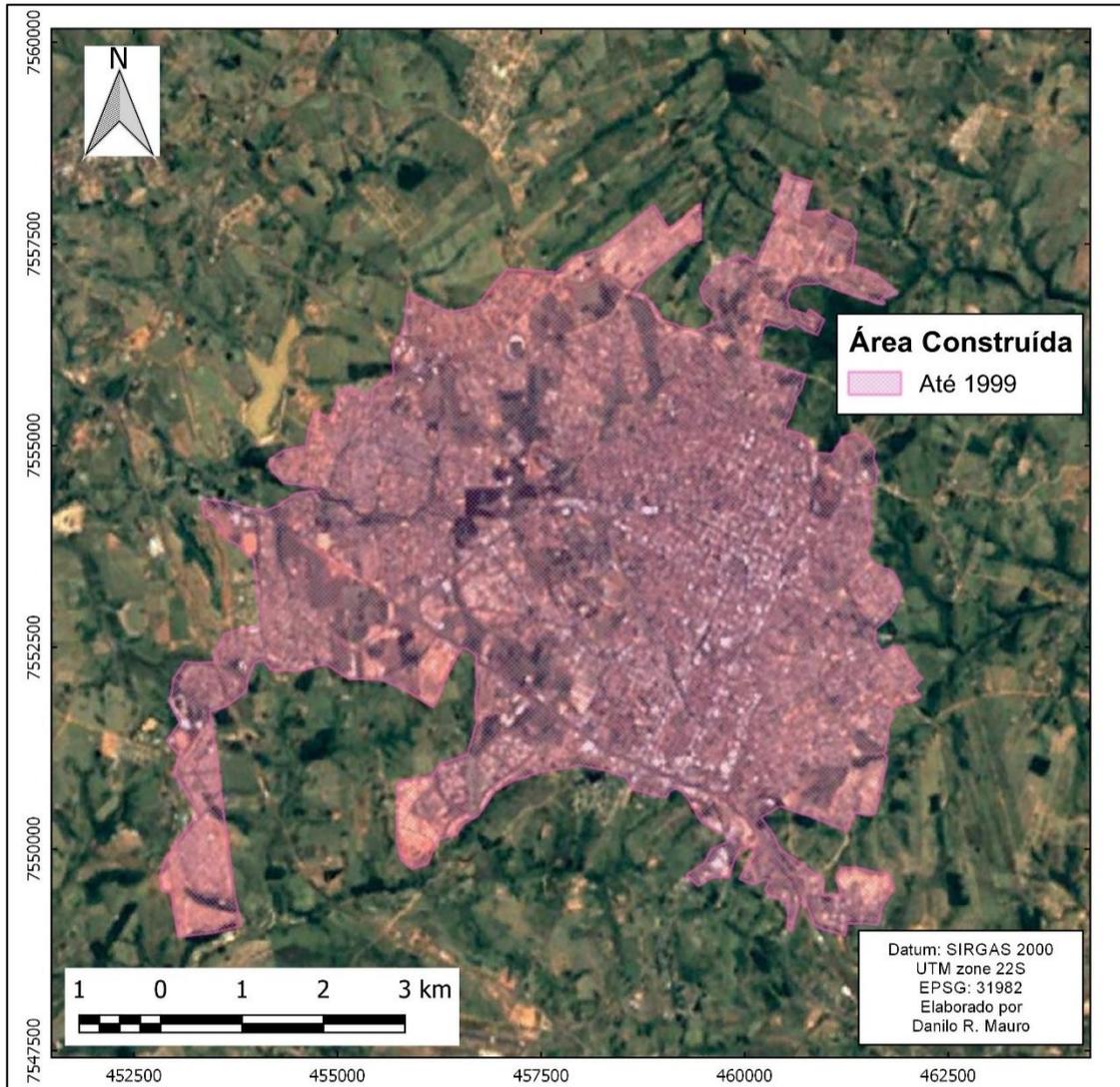
As figuras 4, 5, 6 e 7, mostram o resultado da etapa de vetorização das áreas edificadas em Presidente Prudente/SP, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019, respectivamente:

Figura 4 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 1989



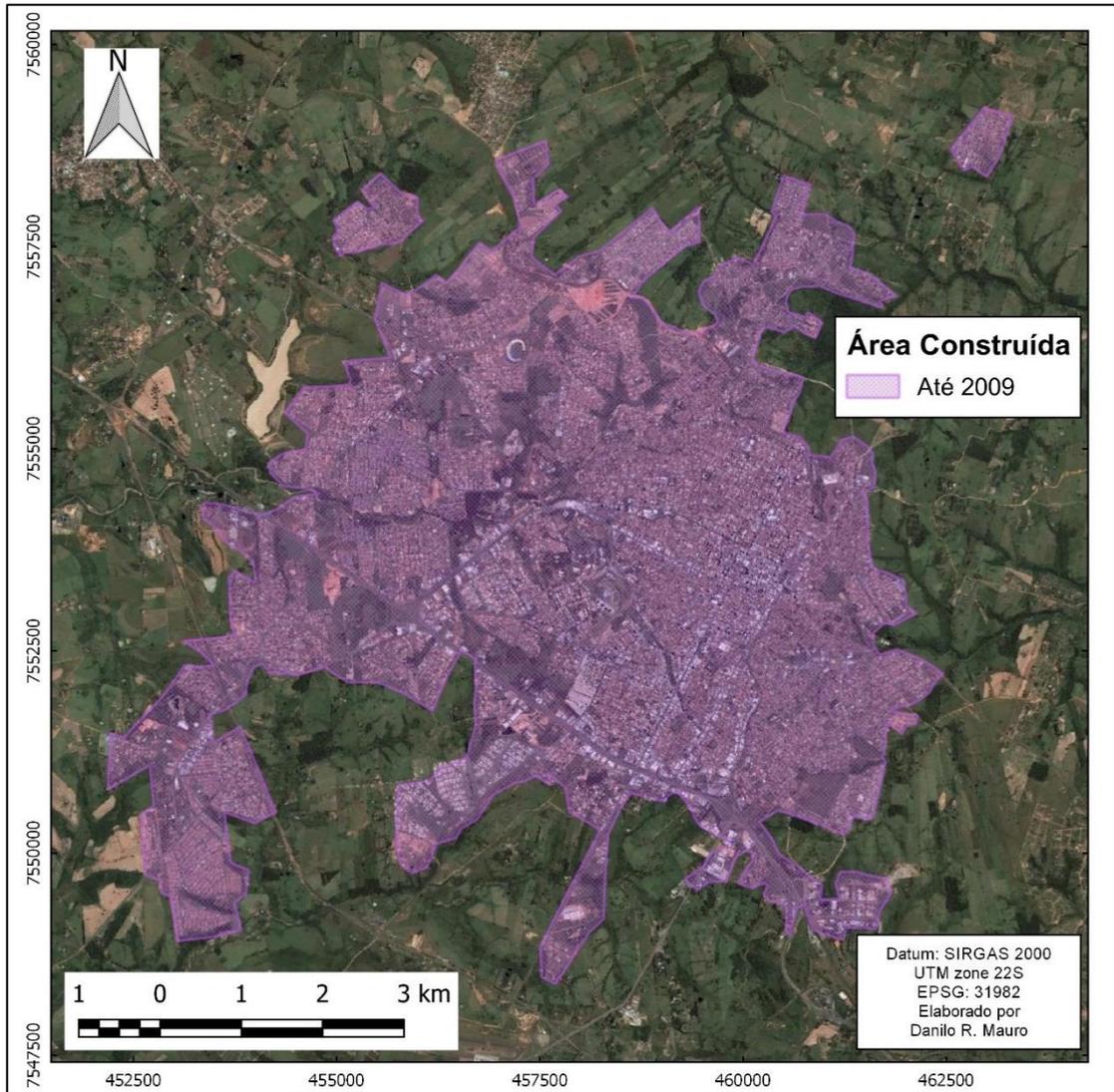
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 1999



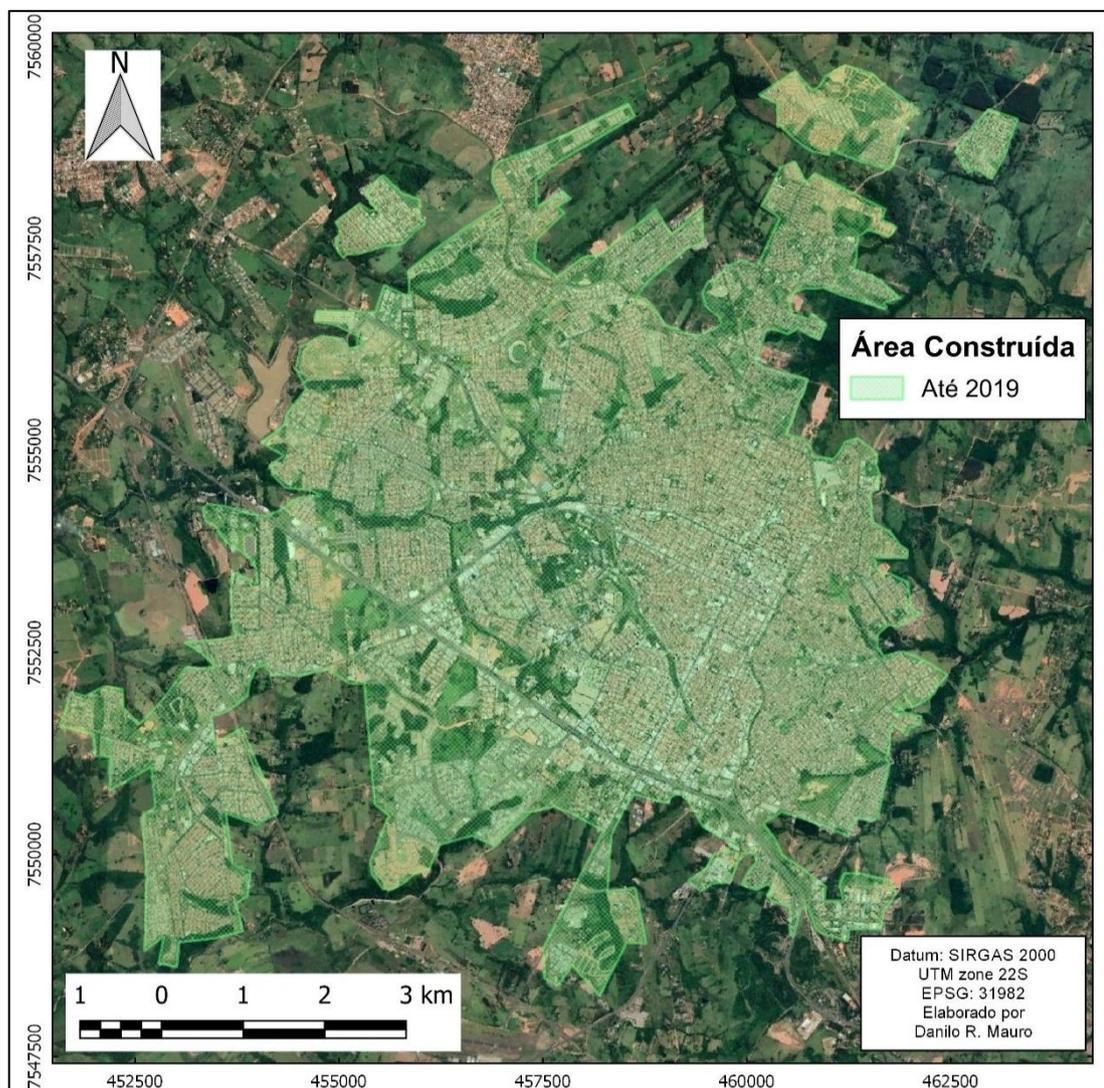
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 2009



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7 – Áreas construídas em Presidente Prudente/SP, até 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

É de se notar que houve um grande aumento nas áreas edificadas na área urbana de Presidente Prudente/SP. A tabela 5 mostra o incremento da área construída, em km<sup>2</sup> e em porcentagem, de acordo com informações extraídas do *software* de SIG.

Tabela 5 – Áreas construídas em Presidente Prudente, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019

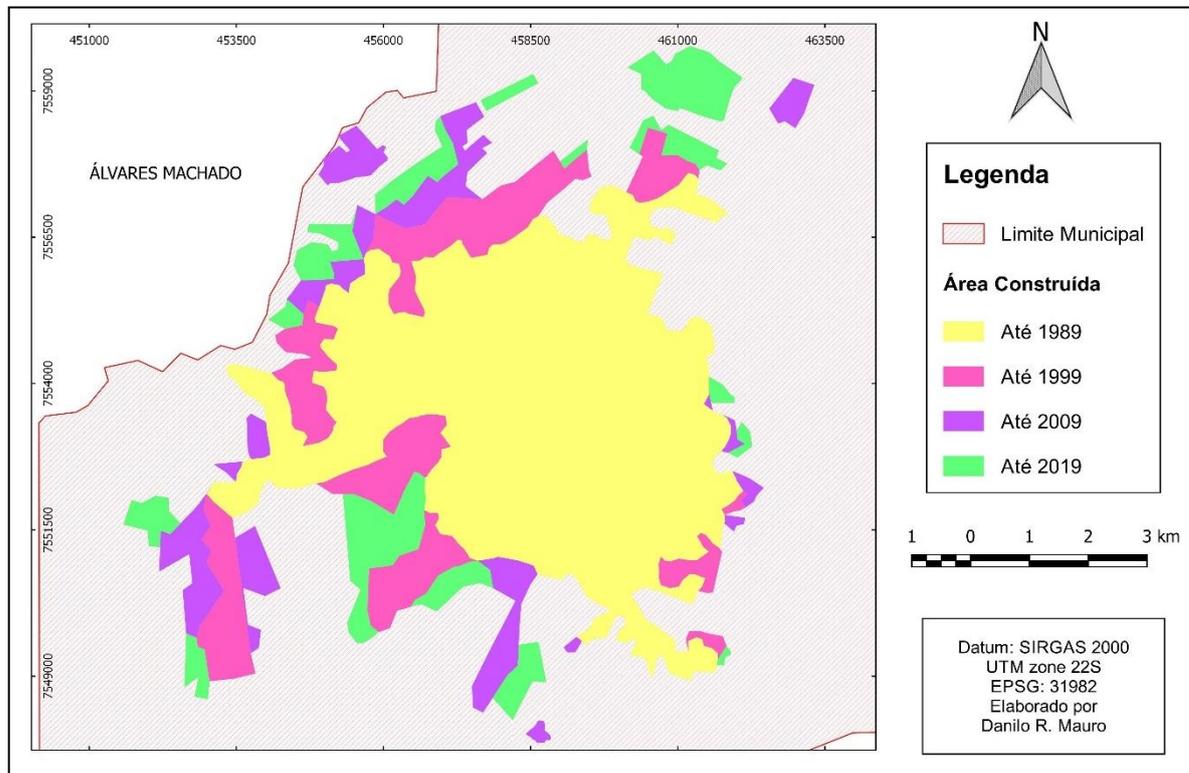
Ano	Área (em km <sup>2</sup> )	Incremento	Acumulado
1989	36,02	---	---
1999	46,89	30,18%	30,17%
2009	51,37	9,55%	42,62%
2019	61,09	18,92%	69,60%

Fonte: Elaborada pelo autor

Entre 1989 e 1999 houve um aumento de áreas construídas de cerca de 10 km<sup>2</sup>, o que representa um incremento de aproximadamente 30%; entre os anos de 1999 e 2009, houve um acréscimo de áreas edificadas de quase 5 km<sup>2</sup>, ou quase 10% com relação ao período anterior e mais de 40% no acumulado; por fim, entre os anos de 2009 e 2019, observou-se um aumento de mais 10 km<sup>2</sup>, aproximadamente, nas áreas construídas do município, que significa uma expansão de quase 19% em relação ao período anterior e quase 70% no acumulado.

A expansão das áreas construídas na cidade de Presidente Prudente/SP pode ser sintetizada na figura 8, realçada em cores diversificadas, tendo como base o ano de 1989, até a situação retratada em 2019:

Figura 8 – Expansão das áreas construídas em Presidente Prudente/SP de 1989 a 2019



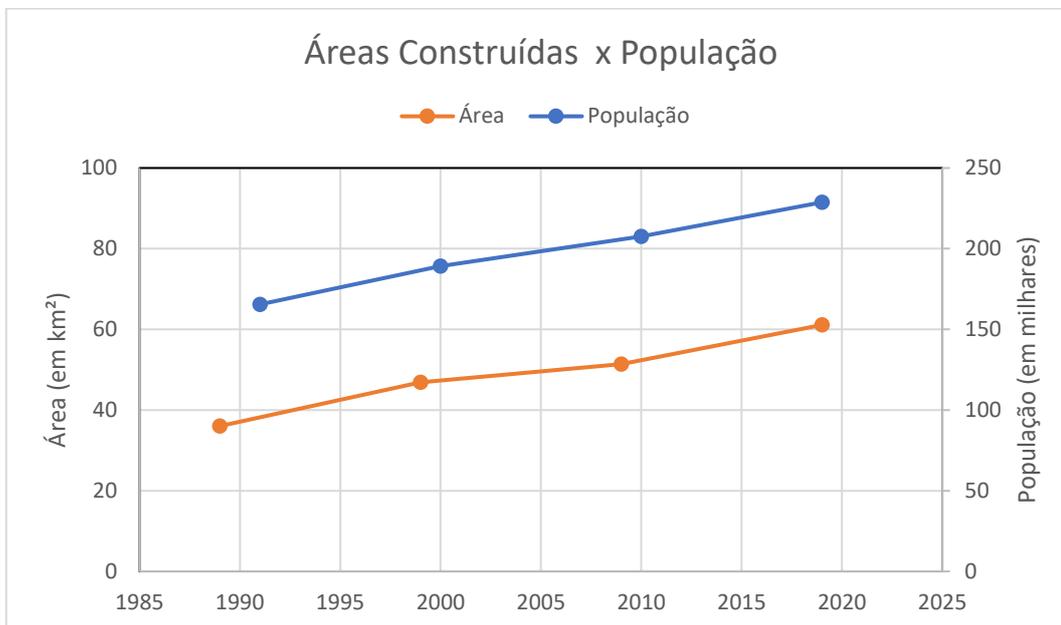
Fonte: Elaborada pelo autor

Entre os anos de 1989 e 2019, Presidente Prudente/SP teve um acréscimo de cerca de 25 km<sup>2</sup> em áreas edificadas, o que representa um aumento de aproximadamente 70%. Como já dito, o crescimento se deu, majoritariamente, nas porções sul, sudoeste, norte e noroeste da cidade.

Quando se agrupam as informações relativas ao incremento de áreas construídas no período histórico (Tabela 5) com os dados censitários disponibilizados

pelos IBGE (Gráfico 2) pode-se verificar que o crescimento de ambos os dados segue uma tendência bastante parecida.

Gráfico 3 – Comparativo entre o aumento populacional e a expansão das áreas construídas



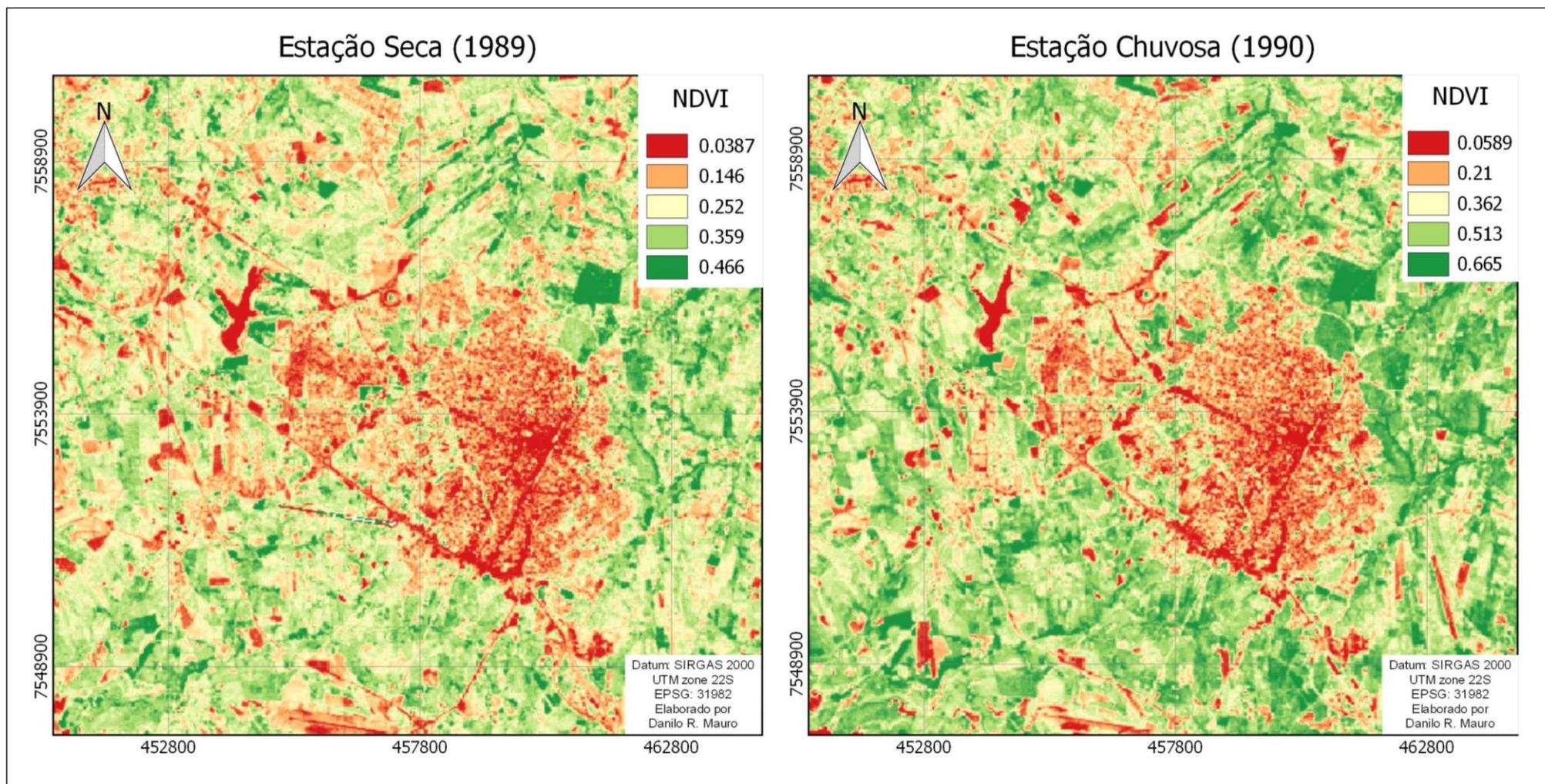
Fonte: Elaborado pelo autor

Por óbvio, o aumento das áreas construídas é uma consequência do crescimento populacional e da demanda por habitação, comércio e serviços, quando se está tratando de cidades que crescem horizontalmente. É provável que cidades do mesmo porte de Presidente Prudente/SP, mas que passaram por uma expansão caracterizada pela verticalização, apresentem divergências nessa correlação “área x população”.

Outro fator de grande relevância, que viabiliza a análise da expansão das áreas edificadas em uma cidade, como dito anteriormente, é o NDVI.

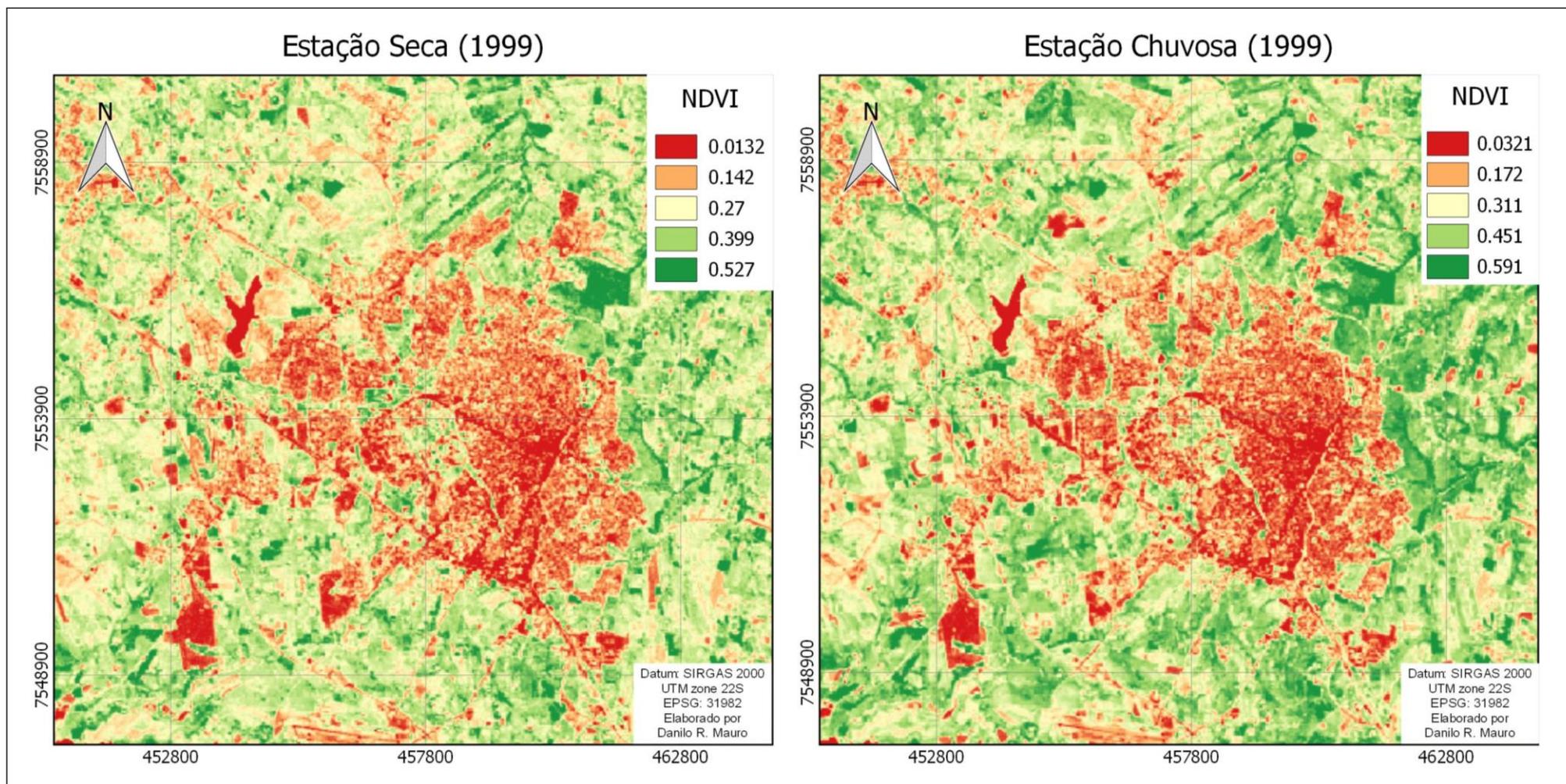
As figuras 9, 10, 11 e 12 apresentam as duplas de mapas de NDVI para a série histórica (1989/1990, 1999, 2009 e 2019) representativos do período seco e chuvoso.

Figura 9 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (1989-1990)



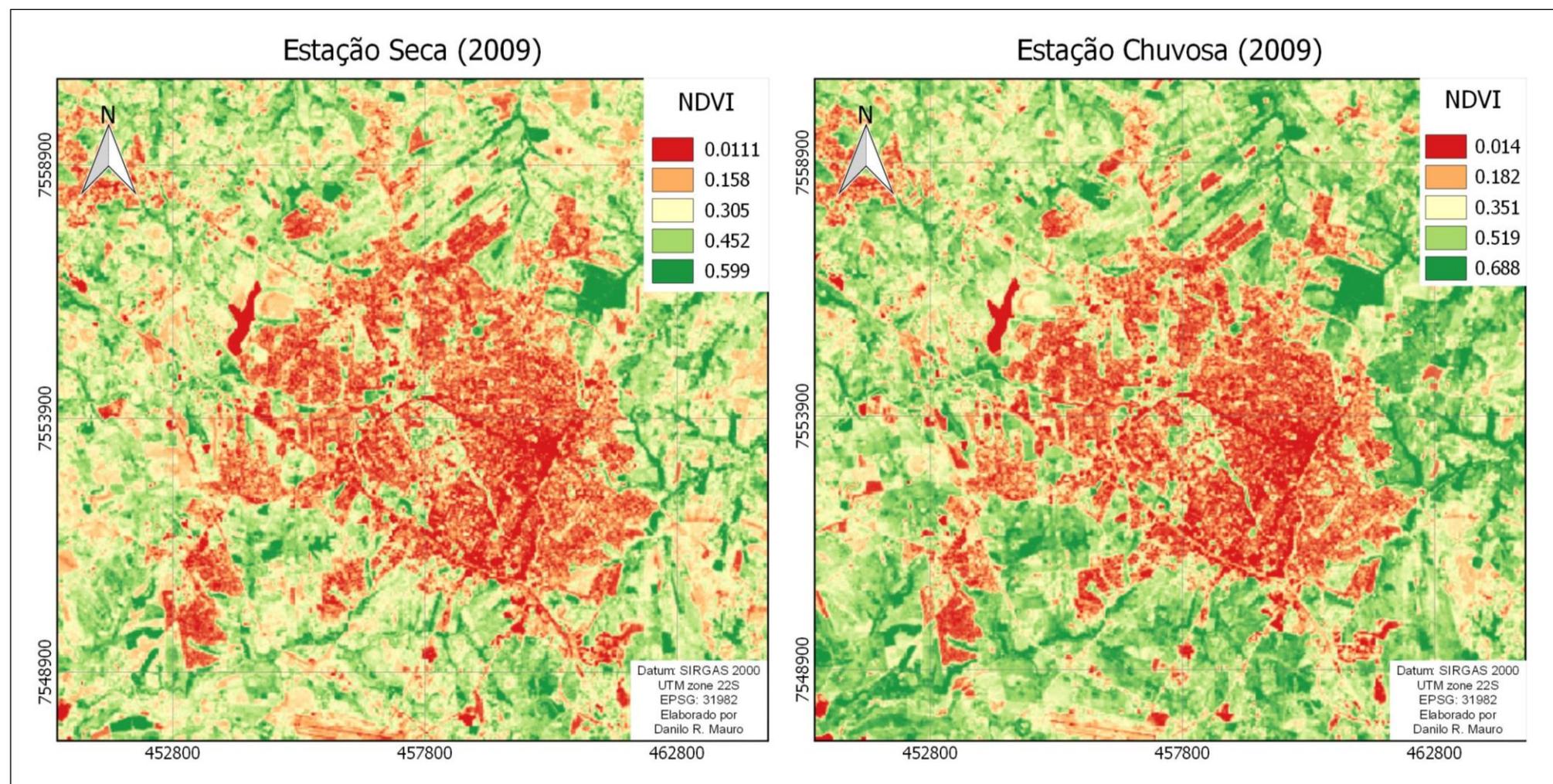
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 10 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (1999)



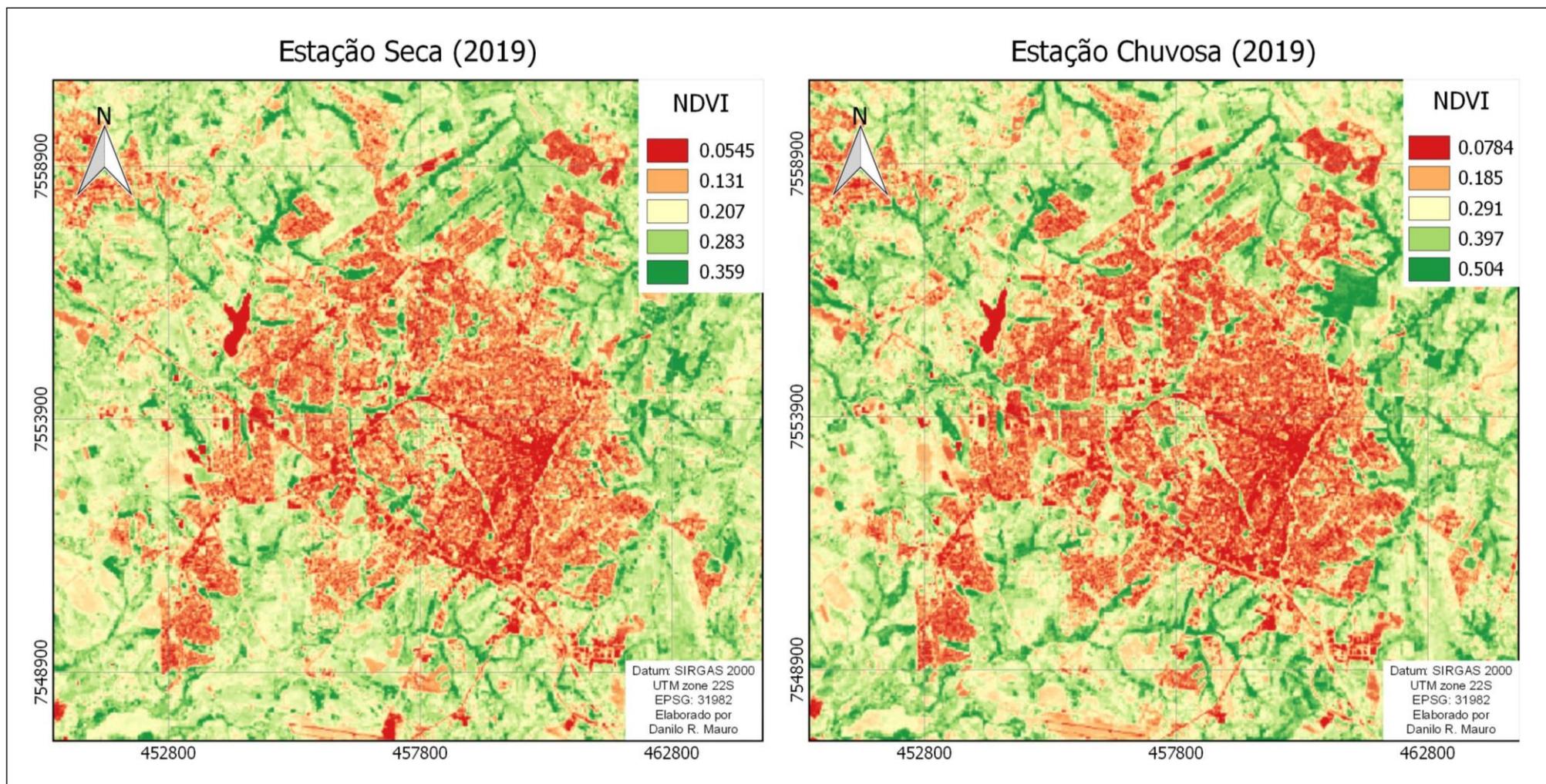
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 11 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (2009)



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 12 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – estação seca e chuvosa (2019)



Fonte: Elaborada pelo autor

Percebe-se, com clareza, o aumento das regiões mostradas nos mapas pela cor vermelha, que representam o acréscimo das áreas não vegetadas na cidade de Presidente Prudente/SP, quando comparadas na série histórica (de 1989 a 2019).

Além disso, as áreas representadas pela cor verde, simbolizam as áreas com algum tipo de vegetação no nível do solo. Quando comparadas lado a lado os mapas de NDVI de um mesmo ano, com imagens tomadas nas estações seca e chuvosa, pode-se notar que essas últimas possuem porções maiores de áreas em verde, também em tons mais intensos, caracterizando maior quantidade de áreas vegetadas, uma contribuição importante para as baixas temperaturas dos alvos no entorno rural, o que influencia diretamente na dinâmica das ilhas de calor urbanas.

## **5.2 Médias anuais de temperatura e precipitação para o período histórico**

Como já discutido anteriormente, a região de Presidente Prudente/SP tem predominância de duas estações bem definidas, com um período quente e úmido que se estende de outubro até março, e um período frio e seco entre os meses de abril e setembro.

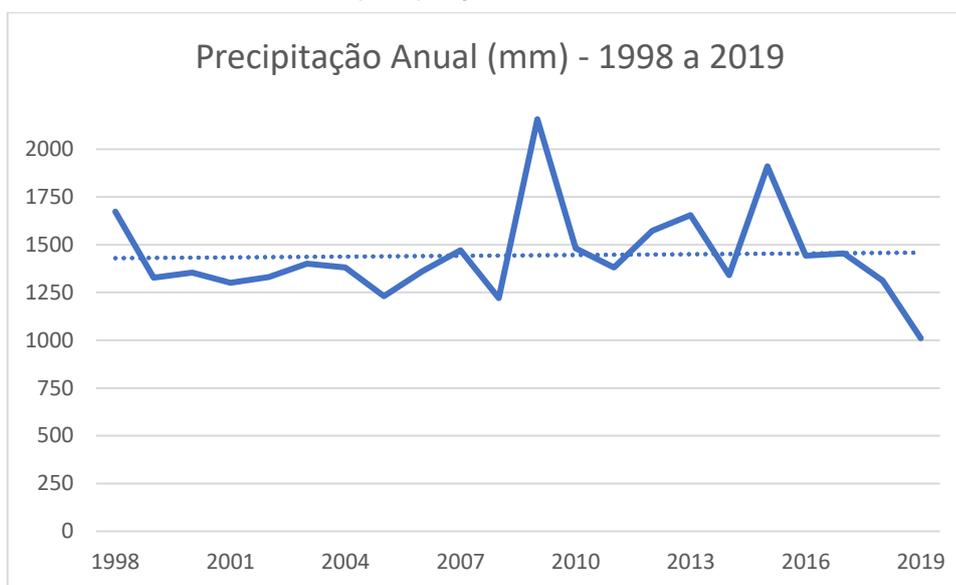
Utilizando-se de dados de precipitação e temperatura extraídos do aplicativo *Giovanni*, foi possível realizar uma análise pormenorizada das características desses elementos climáticos, para o recorte temporal desse estudo.

Os gráficos 4, 5 e 6 apresentam os totais anuais de precipitação entre 1998<sup>15</sup> e 2019:

---

<sup>15</sup> O software Giovanni/NOAA possui registros de precipitação a partir de 1998, para a área estudada.

Gráfico 4 – Totais anuais de precipitação de 1998 a 2019

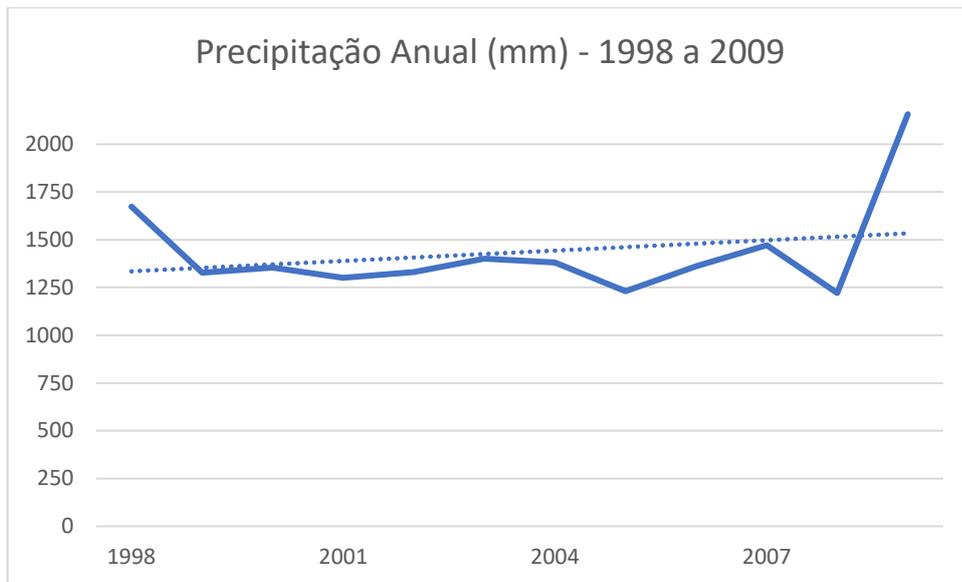


Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber que, embora durante as duas últimas décadas tenha havido registros de mais de 2000 mm de precipitação total anual (no ano de 2009), a linha azul pontilhada mostra uma aparente tendência de estabilidade do regime pluviométrico para a cidade de Presidente Prudente/SP.

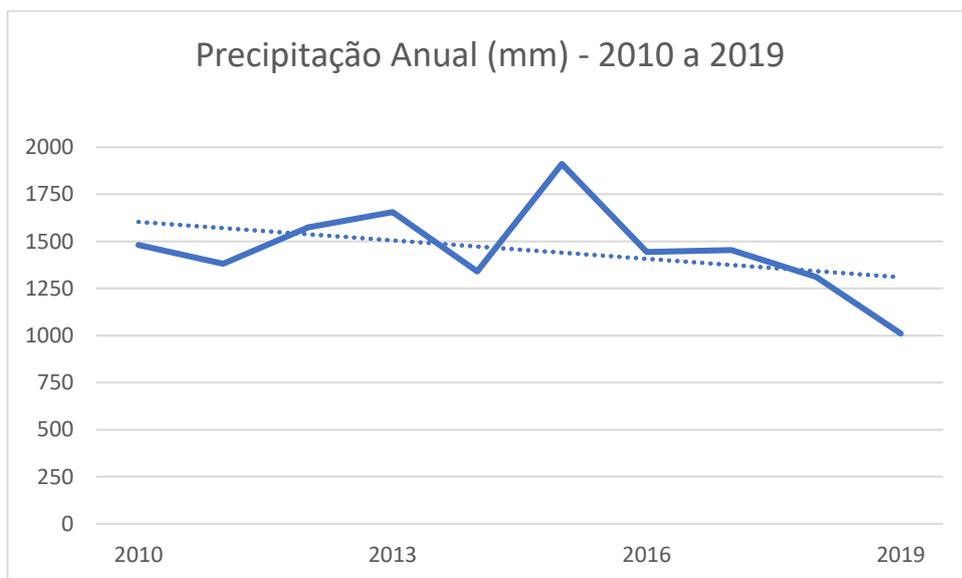
Contudo, quando se avalia as últimas duas décadas separadamente, percebe-se que houve uma tendência de aumento do total de precipitação entre os anos de 1998 e 2009, assim como uma tendência de queda na precipitação total no período compreendido entre os anos de 2010 e 2019.

Gráfico 5 – Totais anuais de precipitação de 1998 a 2009



Fonte: Elaborado pelo autor

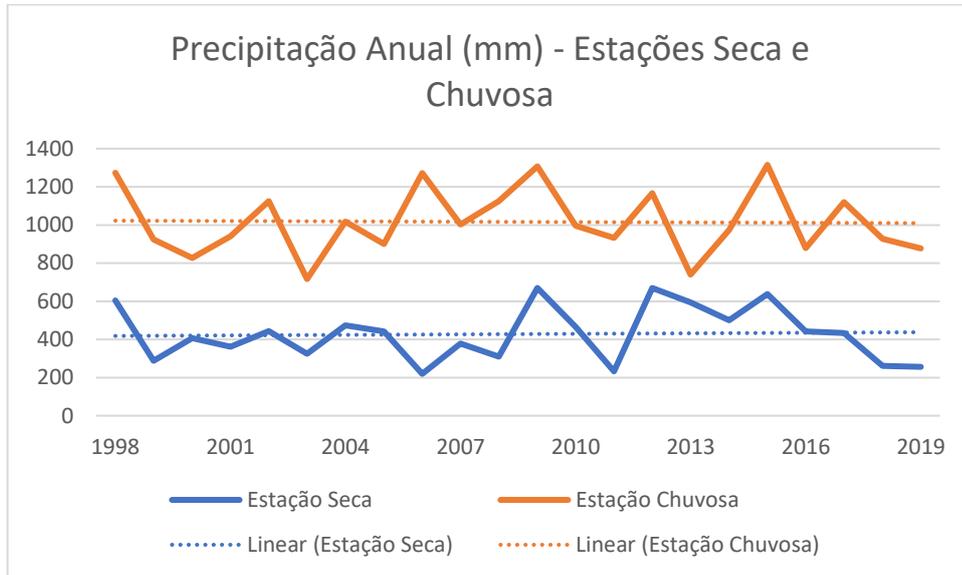
Gráfico 6 – Totais anuais de precipitação de 2010 a 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

Já os gráficos 7, 8 e 9 mostram os mesmos dados de precipitação total anual para o período, divididos para as estações seca e chuvosa. Observa-se, num primeiro momento, que a tendência linear também se mantém estável.

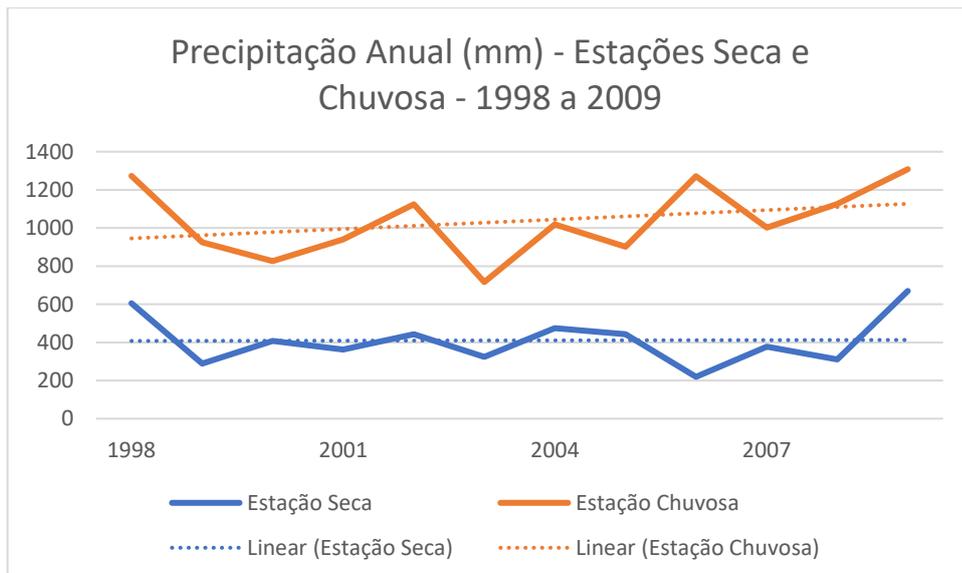
Gráfico 7 – Totais anuais de precipitação (mm) de 1998 a 2019 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

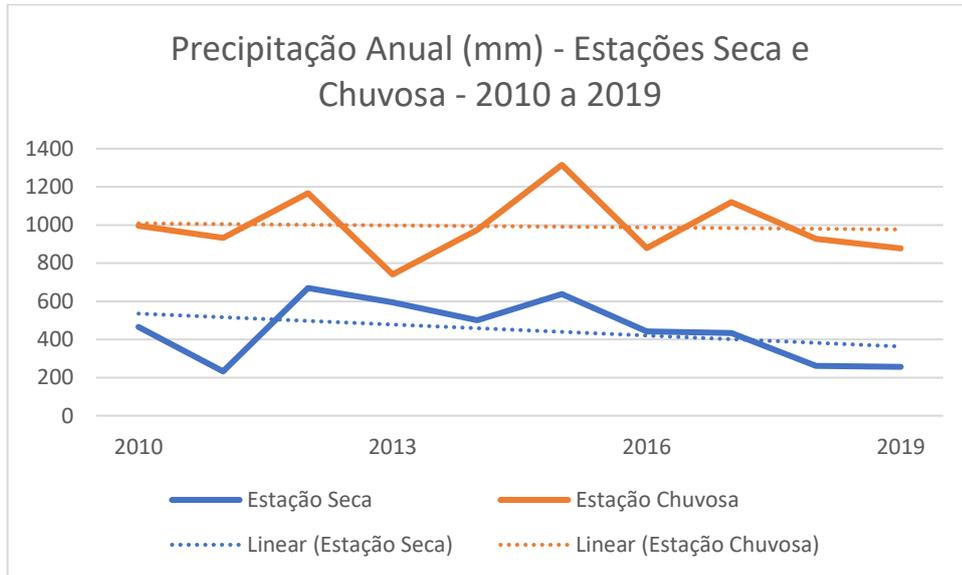
Entretanto, assim como as precipitações totais, quando se analisa as precipitações nas estações seca e chuvosa, das duas décadas em separado, percebemos uma tendência de aumento das precipitações na estação chuvosa do período compreendido entre os anos de 1998 e 2009, assim como uma tendência de queda nas precipitações totais entre 2010 e 2019, sobretudo na estação seca.

Gráfico 8 – Totais anuais de precipitação (mm) de 1998 a 2009 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

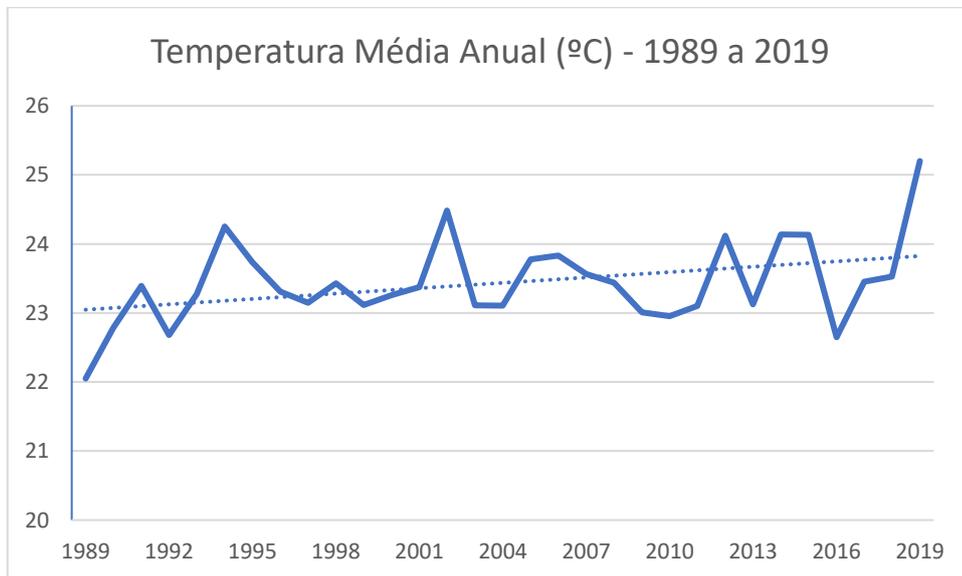
Gráfico 9 – Totais anuais de precipitação (mm) de 2010 a 2019 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

Não é o caso das temperaturas anuais médias observadas nas últimas três décadas, para a cidade de Presidente Prudente/SP.

Gráfico 10 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 2019

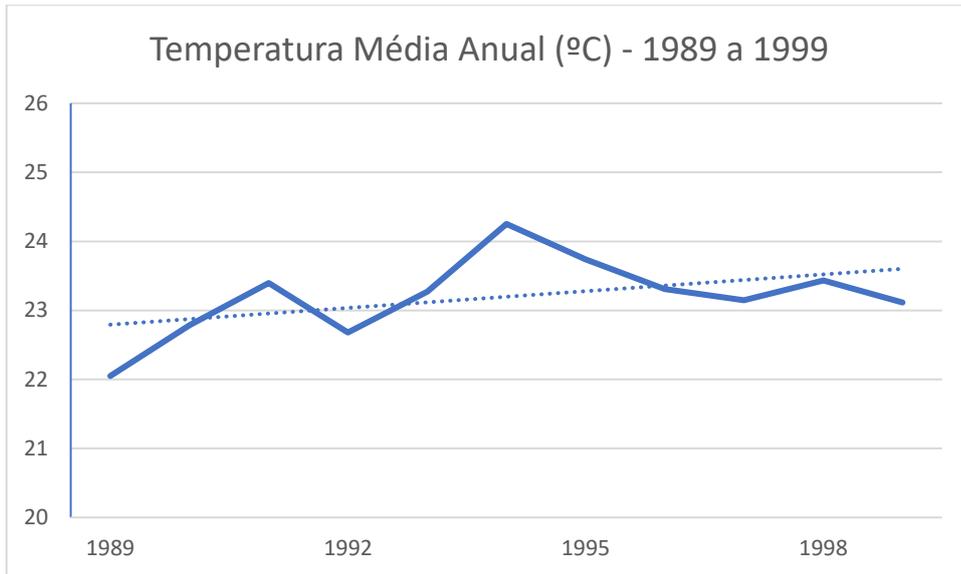


Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico 10 mostra a linha contínua azul, relativa aos dados de cada ano da série, enquanto a pontilhada é a linha de tendência linear para os dados plotados. Vê-se uma tendência de acréscimo da média anual da temperatura da ordem de aproximadamente 1°C (um grau Celsius).

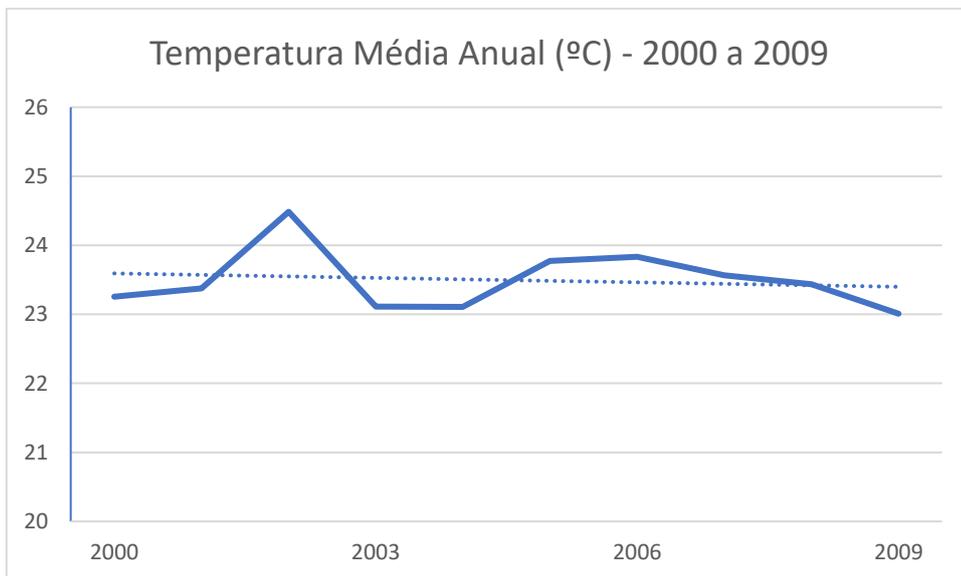
Quando os dados são separados por décadas, é possível identificar uma tendência de aumento da temperatura média anual entre os anos de 1989 e 1999, de leve decréscimo entre 2000 e 2009, e nova tendência de aumento entre 2010 e 2019, como se observa dos gráficos 11, 12 e 13.

Gráfico11 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 1999



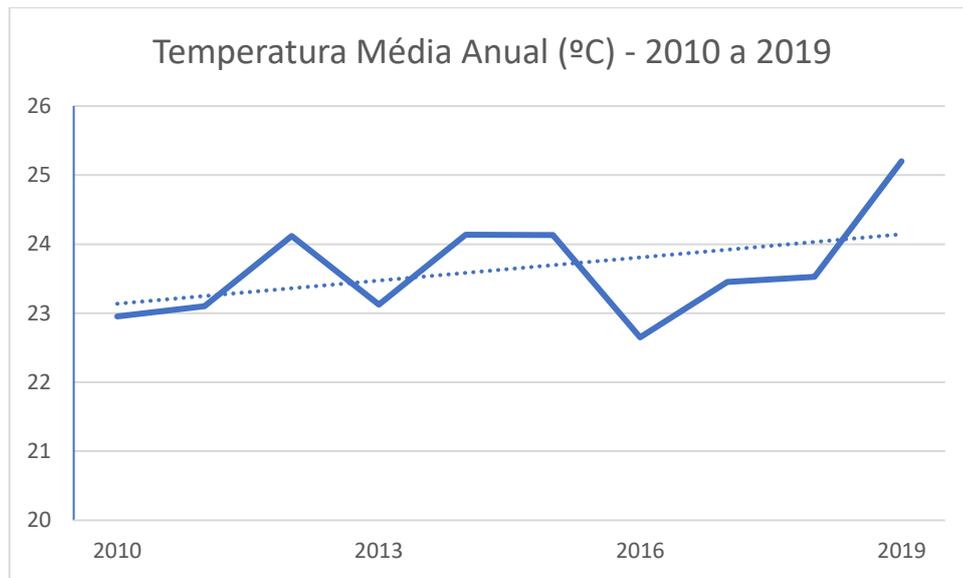
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico12 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2000 a 2009



Fonte: Elaborado pelo autor

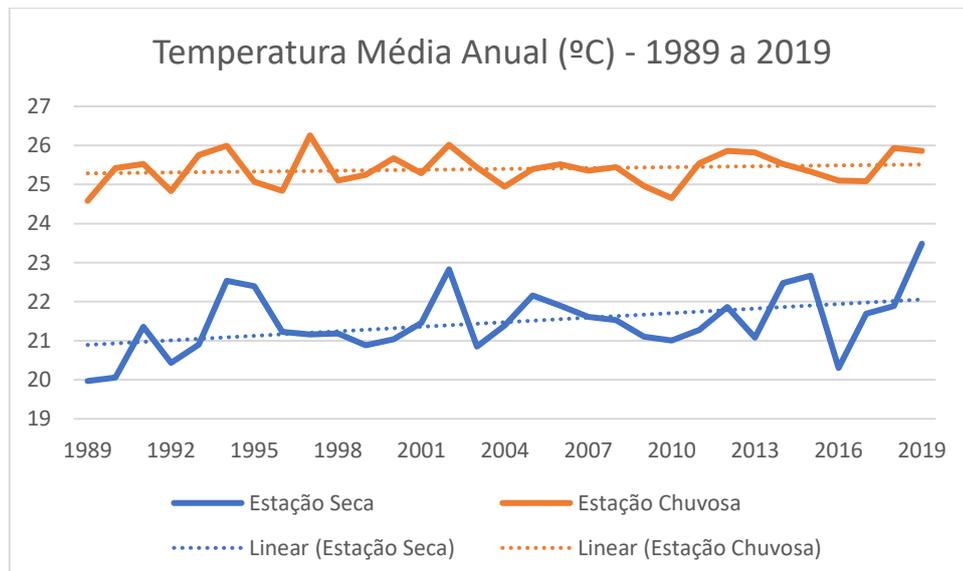
Gráfico13 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2010 a 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando são plotados os dados relativos às estações seca e chuvosa, percebe-se que esse aumento da temperatura média anual está mais fortemente ligado aos períodos de estiagem, embora não se possa descartar um ligeiro aumento das médias também no período das chuvas.

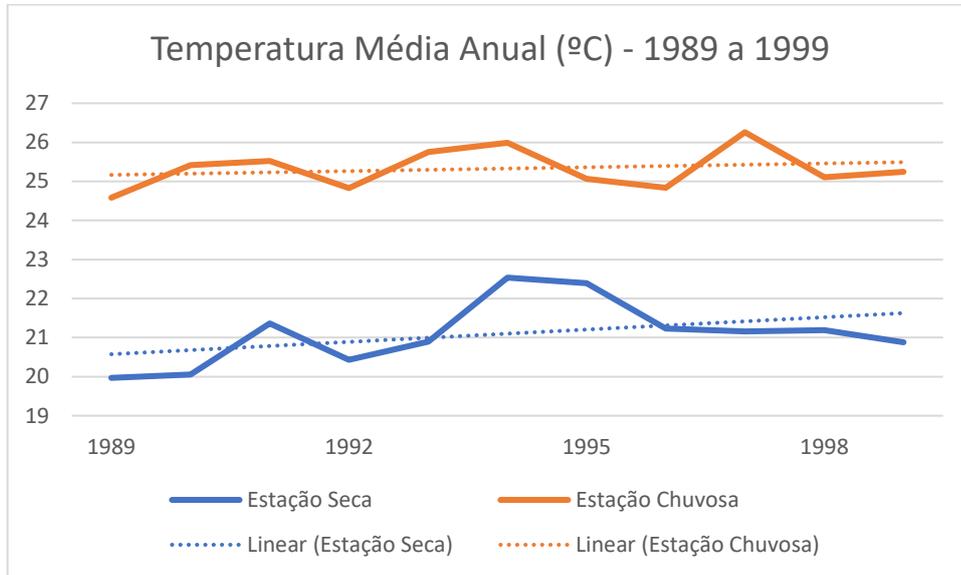
Gráfico 14 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 2019 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando separadamente as três décadas do período histórico, tem-se que, no período compreendido entre os anos de 1989 e 1999, houve tendência de acréscimo nas temperaturas médias anuais, mais significativamente no período seco.

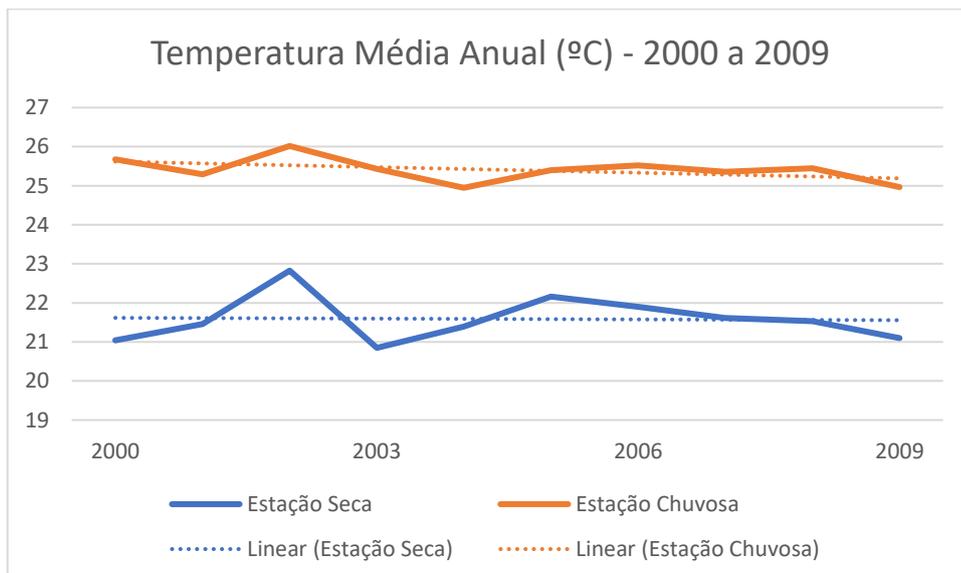
Gráfico 15 – Temperaturas médias anuais (°C) de 1989 a 1999 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

Já o gráfico 16 mostra que, entre os anos de 2000 a 2009, apresentou-se tendência de diminuição das temperaturas médias anuais, sobretudo no período chuvoso, provavelmente ocasionada pelo aumento das precipitações no período (gráfico 8).

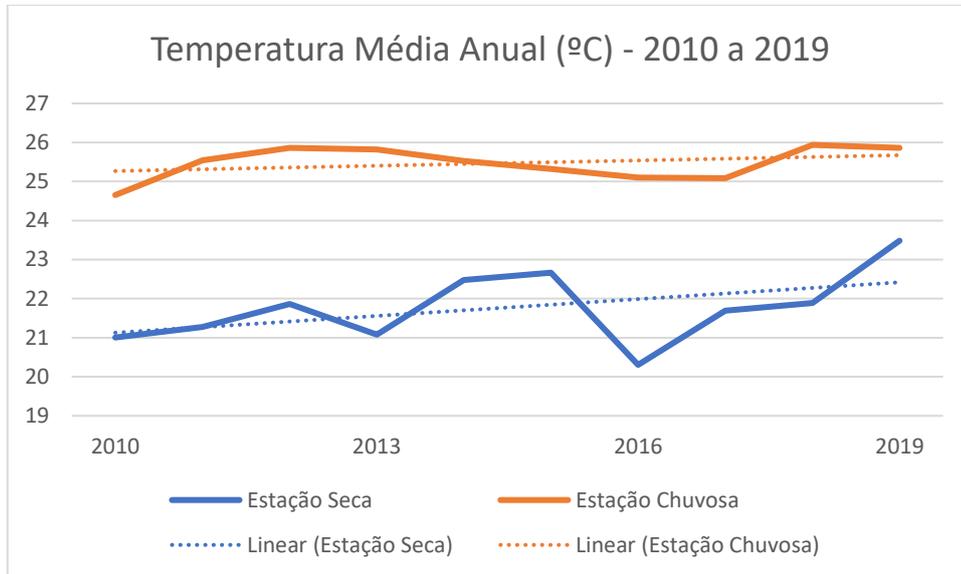
Gráfico 16 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2000 a 2009 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, entre 2010 e 2019, nota-se, mais uma vez, uma tendência de aumento das temperaturas médias anuais, novamente com maior expressividade na estação seca.

Gráfico 17 – Temperaturas médias anuais (°C) de 2010 a 2019 para as estações seca e chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

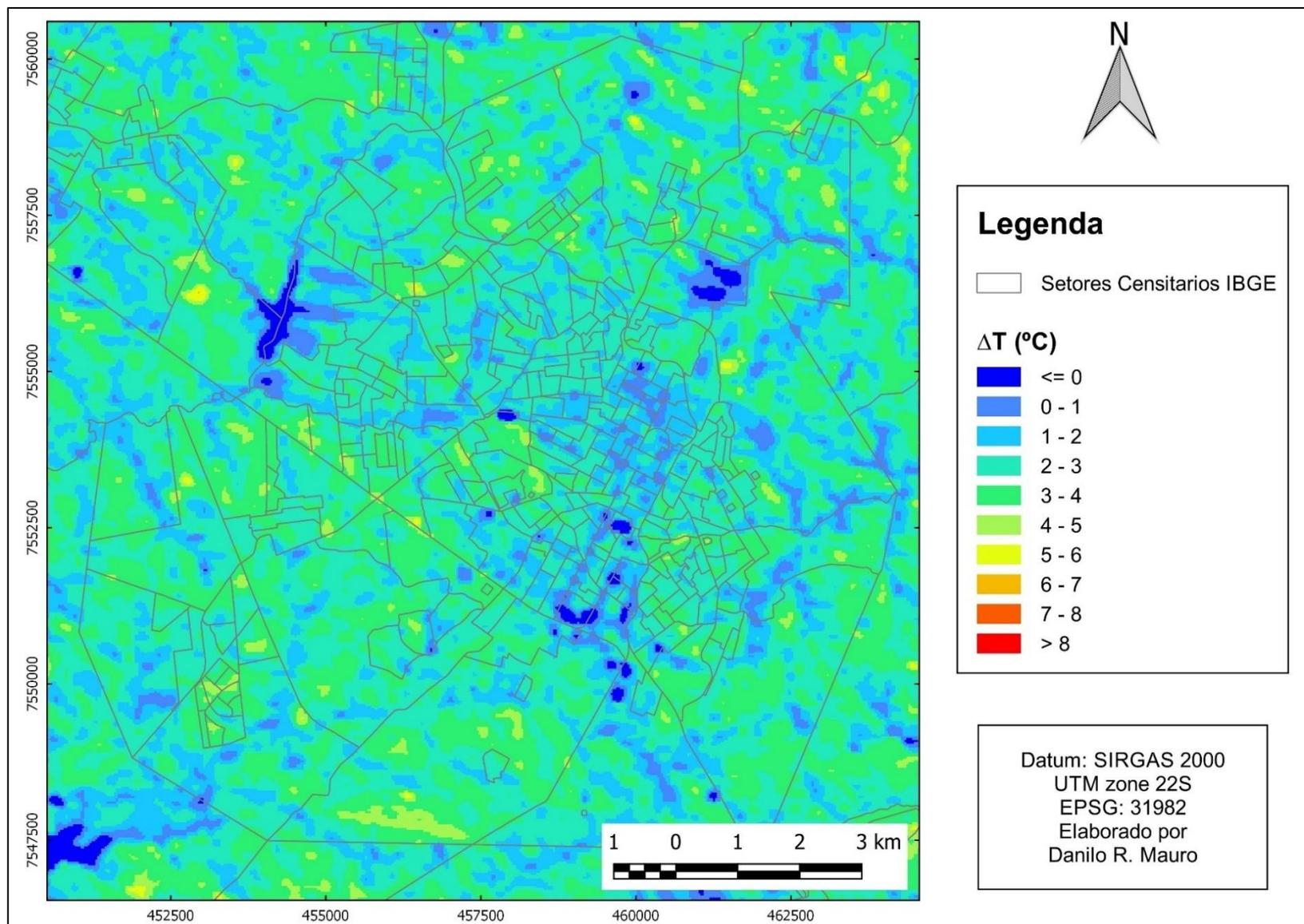
Isso significa dizer que a cidade de Presidente Prudente/SP, sobretudo nos últimos 10 anos, mostra uma tendência de queda no volume das precipitações totais anuais e aumento nas médias anuais de temperatura, fenômenos que se observam com maior intensidade nos períodos mais secos.

### 5.3 Características das ilhas de calor superficiais

Da mesma forma como ocorreu com as áreas edificadas de Presidente Prudente/SP, pode-se observar, ainda, a evolução das ilhas de calor superficiais, no mesmo período.

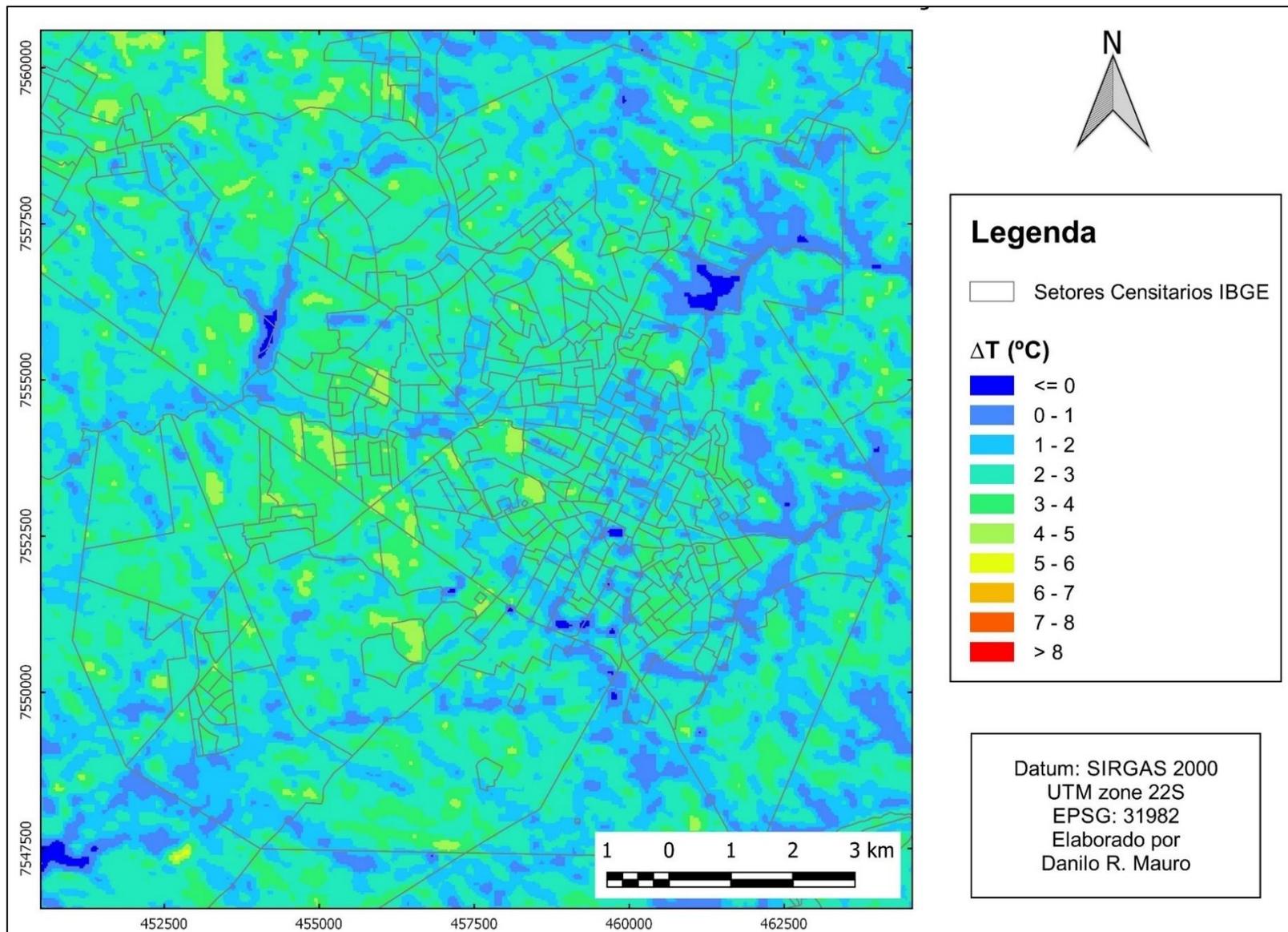
As figuras 13, 14, 15 e 16 mostram a intensidade da temperatura aparente da superfície, para a estação seca, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2019.

Figura 13 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1989 – Estação Seca



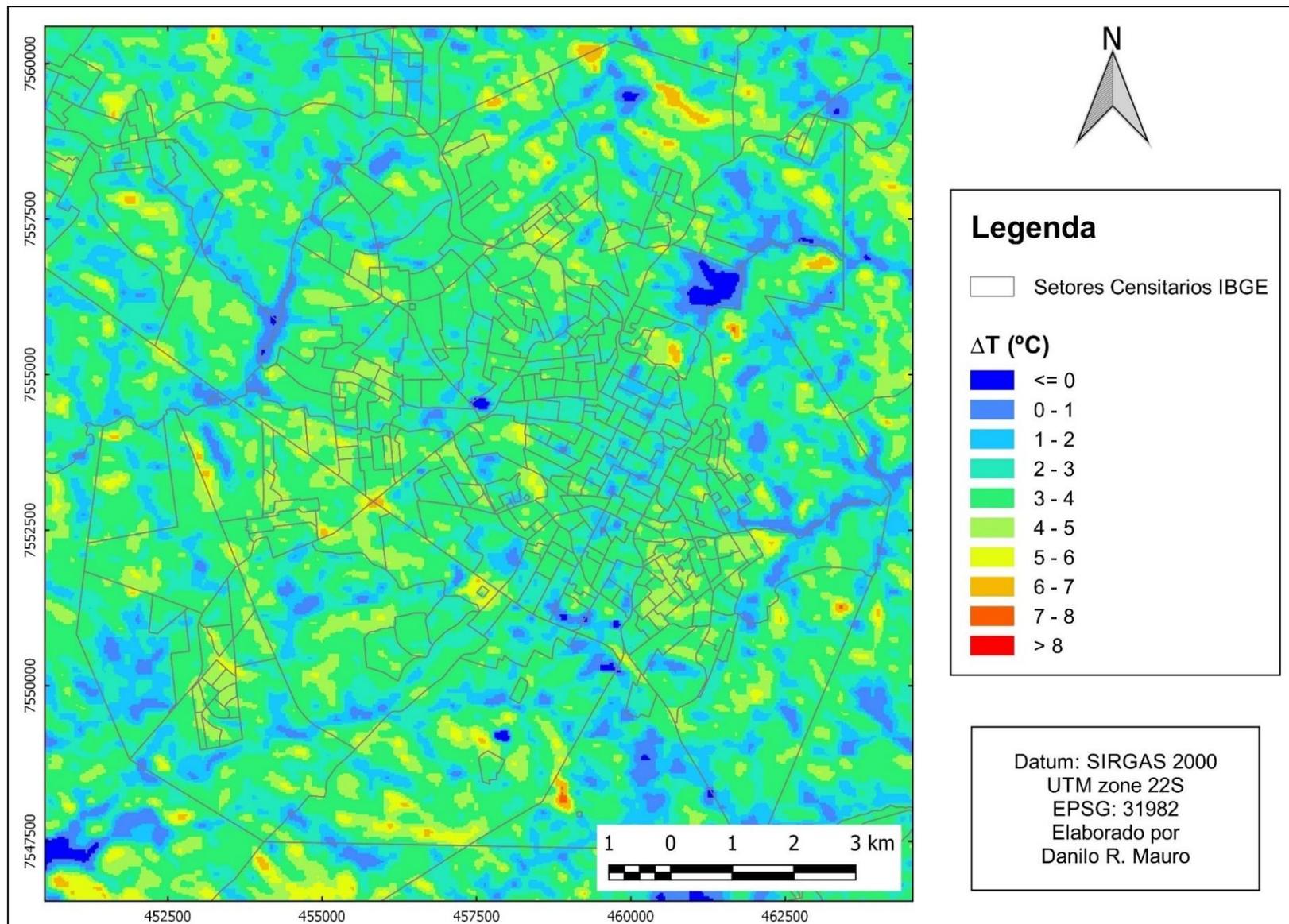
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 14 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1999 – Estação Seca



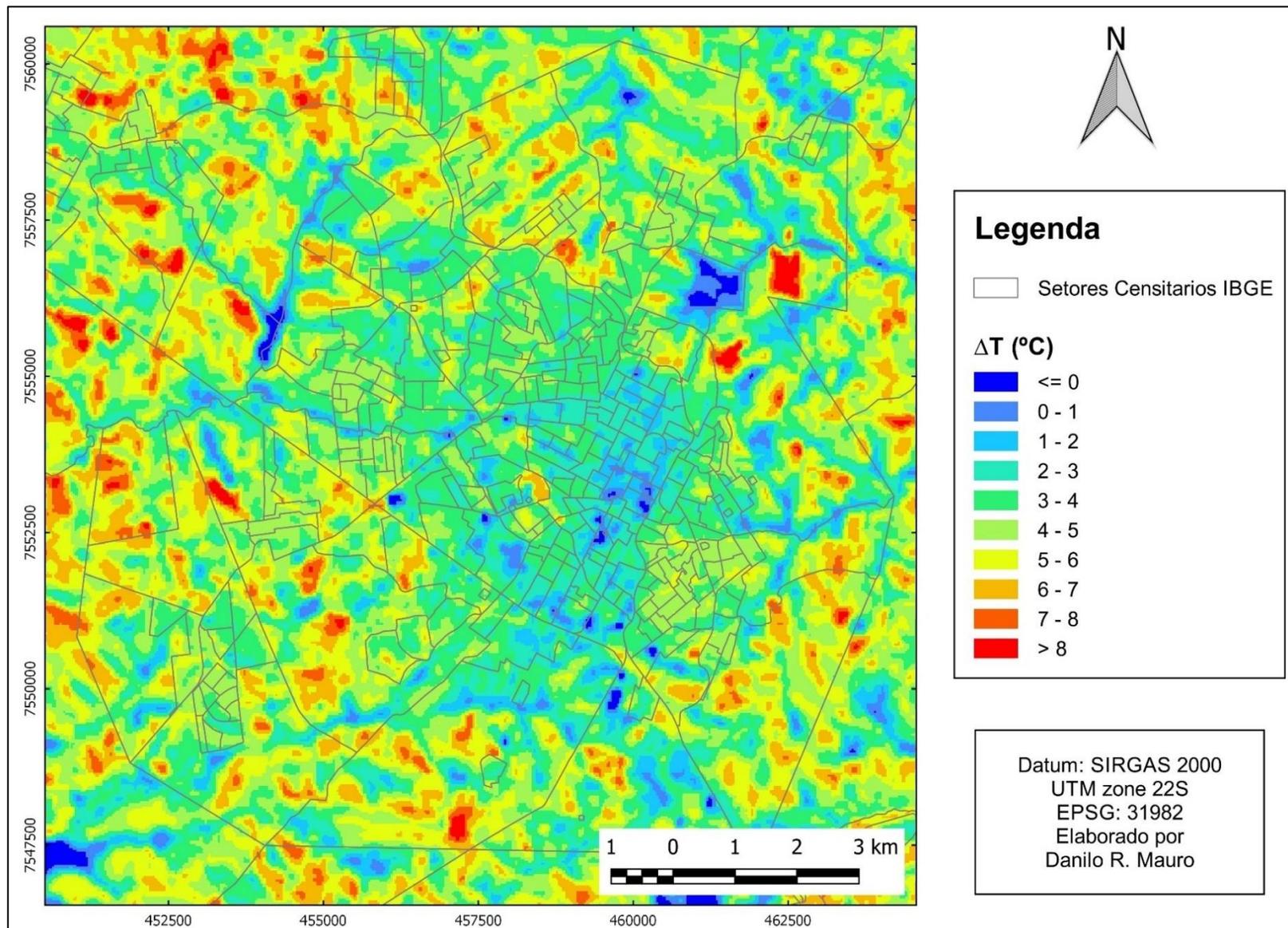
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 15 – Intensidade da temperatura aparente da superficial para o ano de 2009 – Estação Seca



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 16 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2019 – Estação Seca



Fonte: Elaborada pelo autor

É de se notar que, nos períodos de estiagem, não há formação significativa de ilhas de calor urbanas superficiais.

Nos anos de 1989 e 1999, predominam as ilhas de calor de magnitudes fraca ( $\Delta T$  entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $2^{\circ}\text{C}$ ) e média ( $\Delta T$  entre  $2^{\circ}\text{C}$  e  $4^{\circ}\text{C}$ ). Esse fenômeno pode ser explicado pelo ressecamento da vegetação das áreas rurais, muitas delas ficando inclusive com o solo exposto, o que ocasiona o aumento da temperatura dos alvos. Assim, a temperatura entre o urbano e o rural próximo tendem a se igualar, ou ao menos não apresentar diferença tão significativa.

É o que diz Amorim (2017, p. 118) quando se refere às imagens tomadas no período da estação seca:

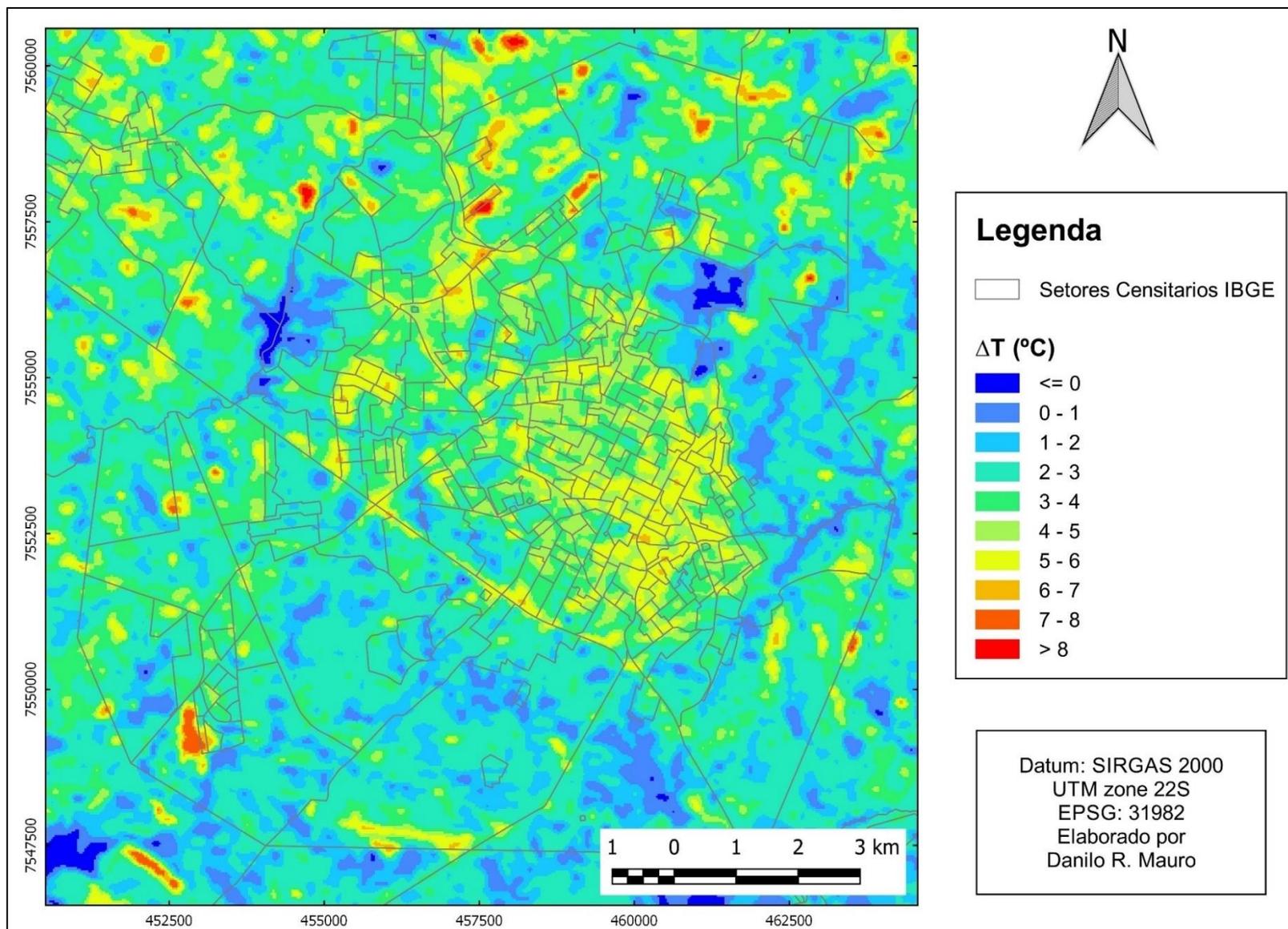
Isso ocorre porque, no período com os menores totais de precipitação, a vegetação fica menos exuberante e, como está se trabalhando com a intensidade das ilhas de calor, comparando uma área vegetada com diversos tipos de cobertura da terra no intraurbano e em outros pontos rurais, os gradientes entre o urbano e o rural diminuem, ou seja, as temperaturas da superfície do ambiente rural se aproximam das temperaturas urbanas”.

E finaliza, enfatizando que “não é porque a cidade ficou mais “fresca” e sim porque o campo ficou mais quente devido à diminuição da biomassa”.

Já nos mapas representativos dos anos de 2009 e 2019 – esse último com maior intensidade –, percebe-se a presença de porções do território rural com ilhas de calor de média ( $\Delta T$  entre  $2^{\circ}\text{C}$  e  $4^{\circ}\text{C}$ ), forte ( $\Delta T$  entre  $4^{\circ}\text{C}$  e  $6^{\circ}\text{C}$ ) e muito forte ( $\Delta T > 6^{\circ}\text{C}$ ) magnitudes. Ou seja, a estiagem foi tão intensa no período que precedeu a aquisição das imagens, que o entorno rural apresentou temperaturas mais elevadas do que a área urbana edificada, áreas que apresentam as intensidades mais baixas e, inclusive, algumas ilhas de frescor.

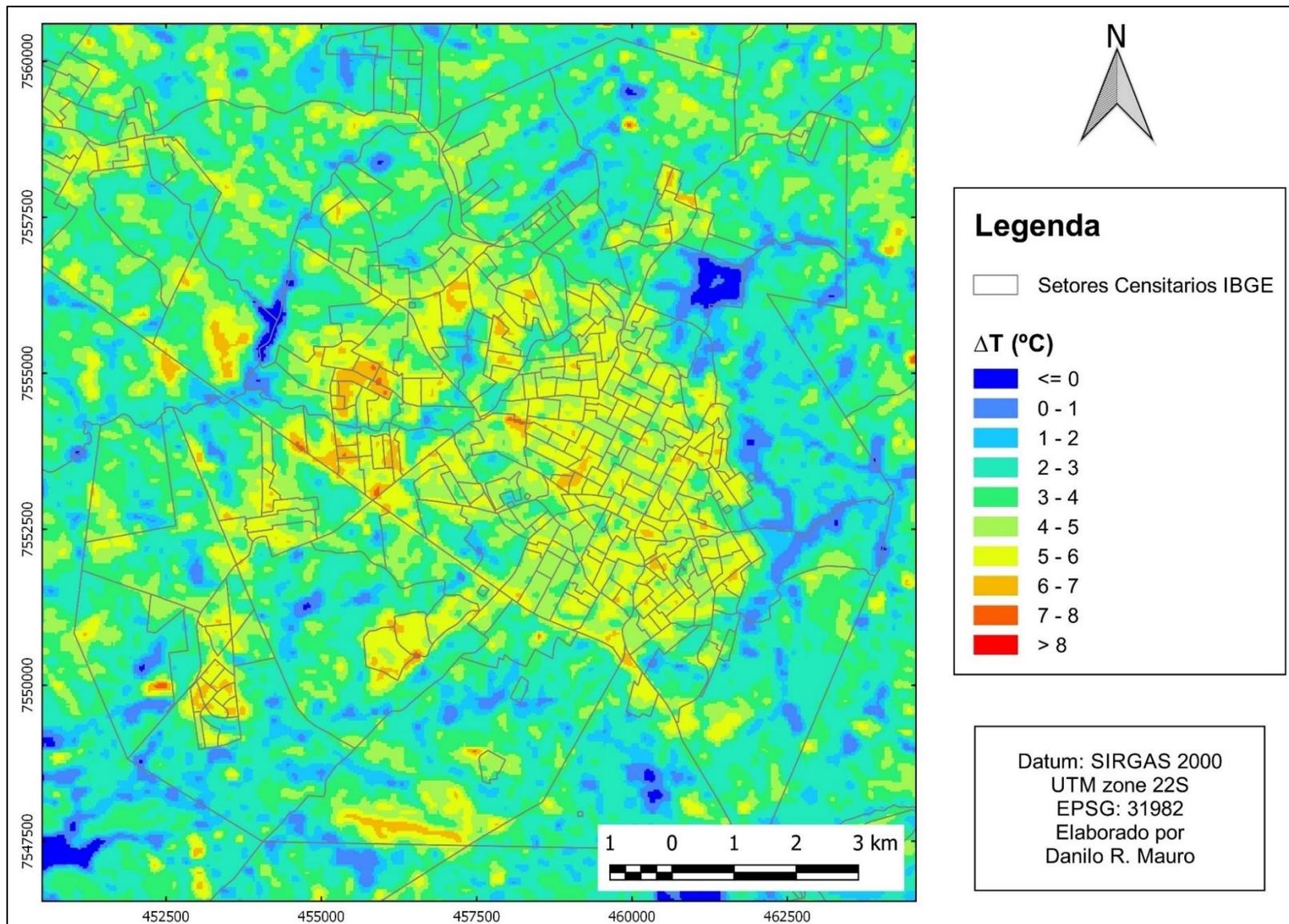
Na sequência, as figuras 17, 18, 19 e 20, apresentam a intensidade da temperatura aparente da superfície, para a estação chuvosa, relativas aos anos de 1990, 1999, 2009 e 2019:

Figura 17 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1990 – Estação Chuvosa



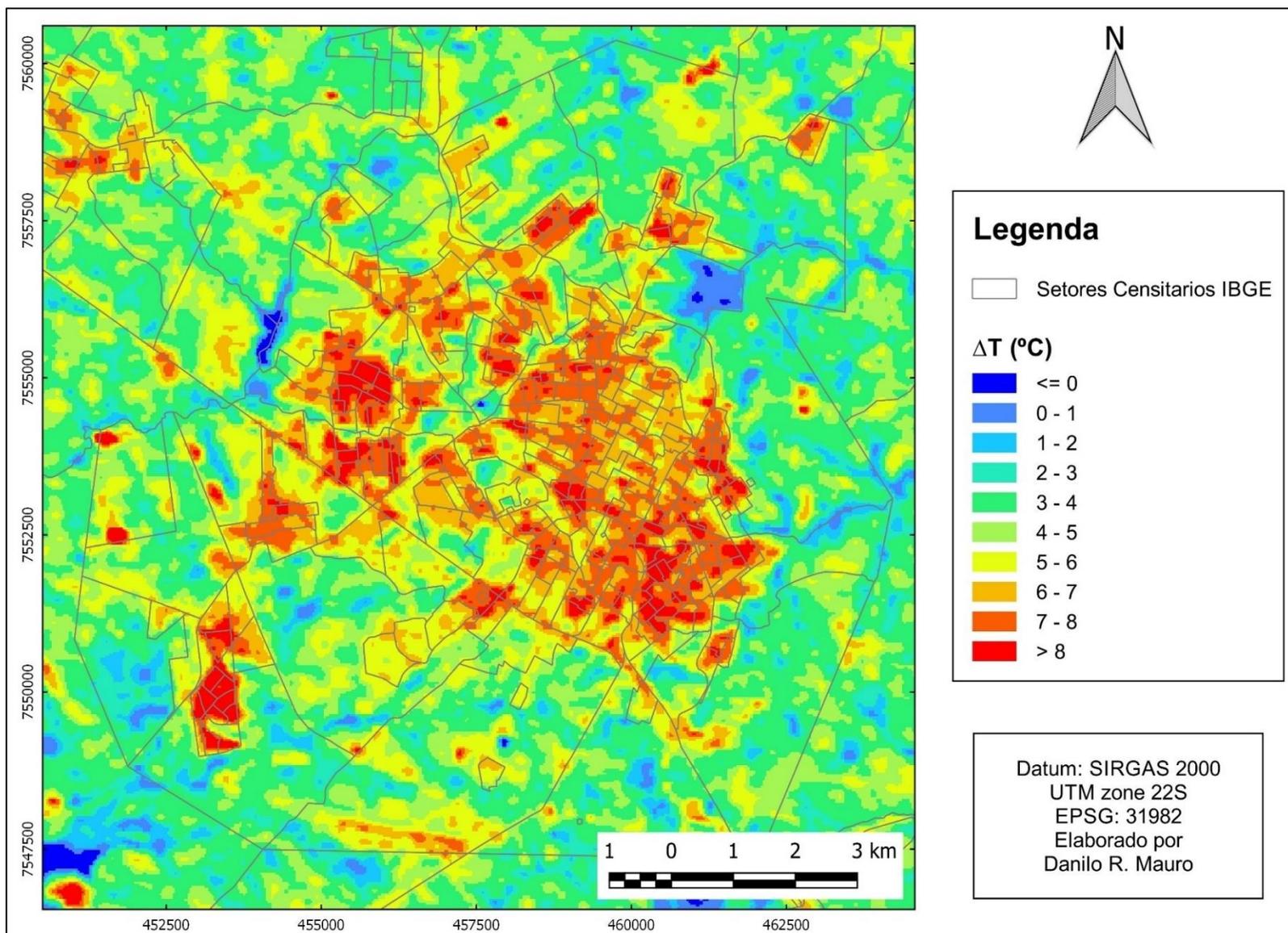
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 1999 – Estação Chuvosa



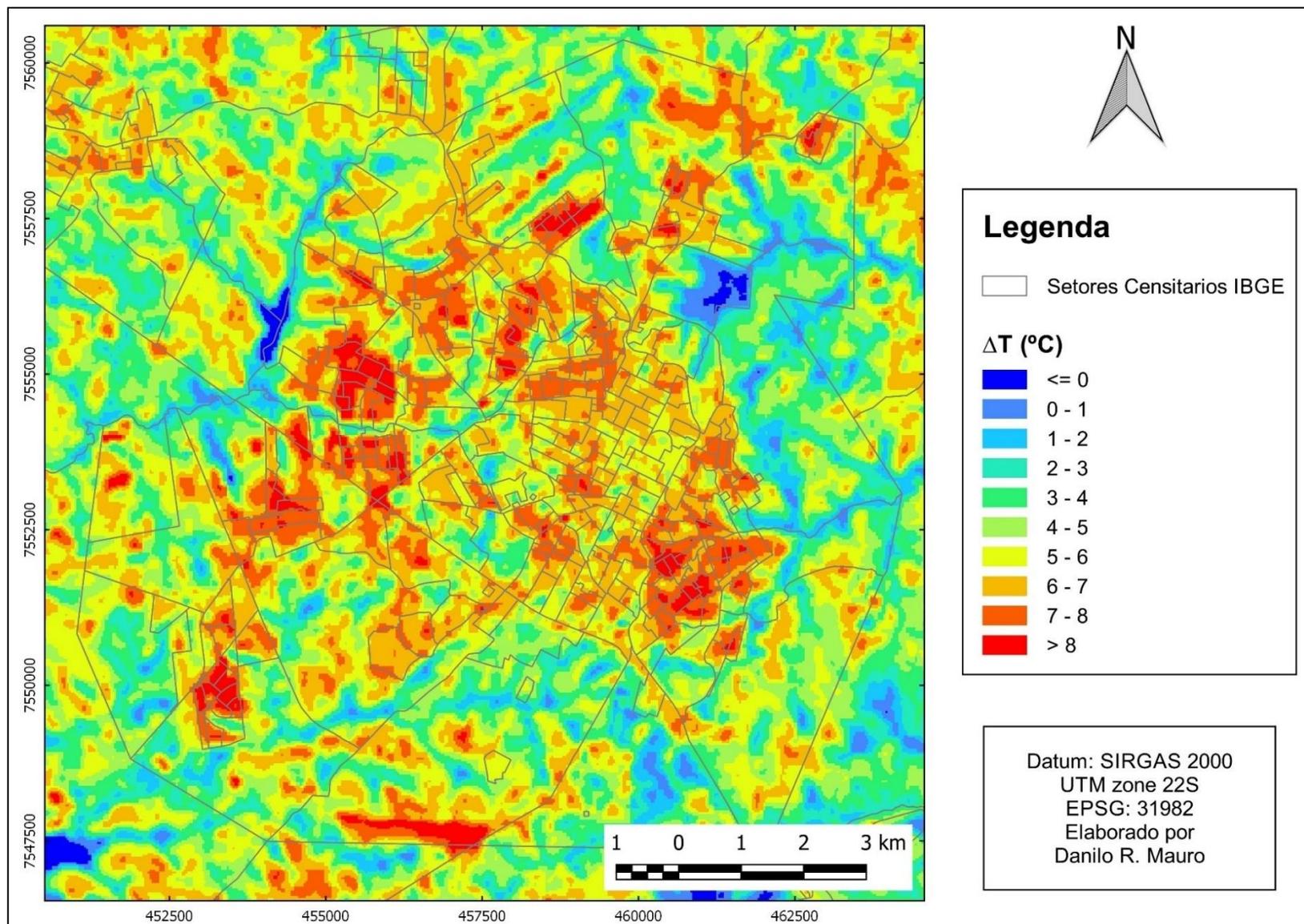
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2009 – Estação Chuvosa



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20 – Intensidade da temperatura aparente da superfície para o ano de 2019 – Estação Chuvosa



Fonte: Elaborada pelo autor

Diferentemente do que ocorre na estação seca, vê-se, com relação às imagens adquiridas na estação chuvosa, a nítida formação e expansão das ilhas de calor superficiais urbanas.

O fenômeno se explica, pois a vegetação do entorno rural próximo, revigorada pelos episódios de precipitação que antecederam o imageamento, tem a capacidade de manter baixas as temperaturas dos alvos, quando comparadas com as das áreas construídas.

A tabela 6 demonstra os percentuais de cada classe de intensidade de temperatura aparente da superfície ( $\Delta T$ ), na estação chuvosa:

Tabela 6 – Percentuais das classes de ilhas de calor na estação chuvosa

Área (%)	IF (< 0)	IC de Fraca Magnitude (0 – 2)	IC de Média Magnitude (2 – 4)	IC de Forte Magnitude (4 – 6)	IC de Muito Forte Magnitude (> 6)
<b>1990</b>	0,3	11,3	59,5	26,8	2,1
<b>1999</b>	0,4	7,3	50	38,4	3,9
<b>2009</b>	0,2	2,8	28,3	42,3	26,4
<b>2019</b>	0,2	3,4	18,3	38	40,1

Fonte: Elaborada pelo autor

De início, nos anos de 1990 e 1999, há predominância das ilhas de calor superficiais de média magnitude ( $\Delta T$  entre 2°C e 4°C), localizadas principalmente na porção central da cidade e abrangem mais de 50% da área total. Nesse período já se começa a observar o aumento das ilhas de calor de forte magnitude ( $\Delta T$  entre 4°C e 6°C), que saltam de 26% para quase 40% da área total.

Já nas imagens que representam os anos de 2009 e 2019 há uma certa manutenção do percentual das ilhas de calor de forte magnitude, enquanto se observa o aumento expressivo das ilhas de calor de magnitudes muito forte ( $\Delta T > 6^\circ\text{C}$ ), por todo o recorte geográfico, chegando em 2019 a 40% da área urbana de Presidente Prudente/SP.

Importante ressaltar, ainda, que no ano de 2019, as ilhas de calor de magnitudes forte e muito forte representam quase 80% de toda a área de estudo.

Como sintetizou Amorim (2017, p. 73-74), as intensidades das ilhas de calor diminuem após períodos de estiagem, em razão da diminuição da massa vegetal e aumento da exposição do solo, fazendo que haja tendência a igualar as

temperaturas das áreas edificadas e do entorno rural; de outro lado, nas imagens que representam o período chuvoso, o aumento de biomassa devido ao desenvolvimento vegetativo faz com que as temperaturas dos alvos, na área rural sejam mais baixas que as do urbano, significando ilhas de calor superficial de maiores magnitudes, o que se comprovou também pelos mapas de NDVI.

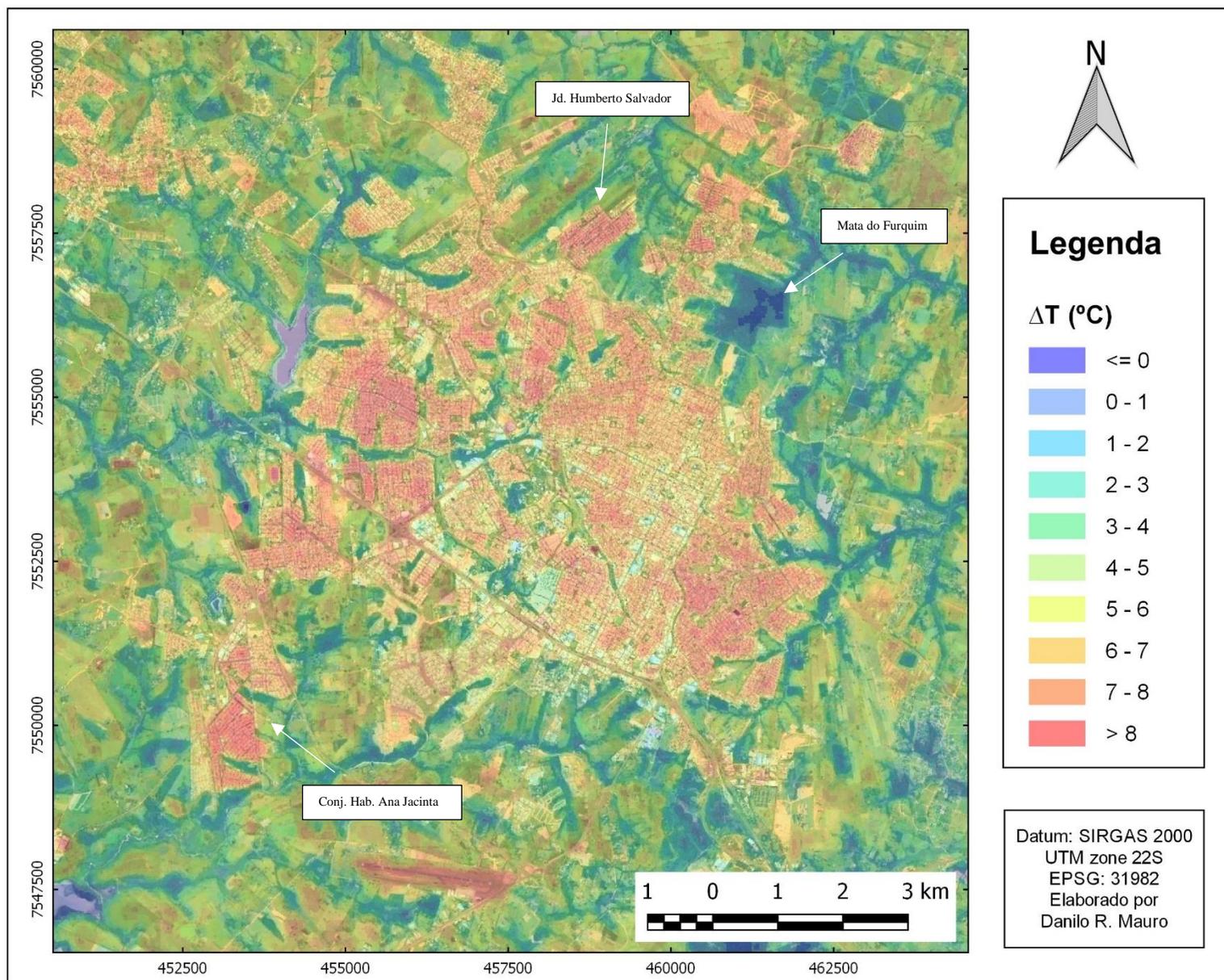
#### **5.4 Correlação entre a área urbana expandida e as ilhas de calor**

Pela análise das imagens produzidas, o fenômeno das ilhas de calor superficiais urbanas se intensificou nos anos de 2009 e 2019, com a preponderância das intensidades 'forte' e 'muito forte'. É o mesmo período em que se comprovou ter havido acréscimo de áreas edificadas na cidade de Presidente Prudente/SP. Além disso, as regiões da mancha urbana que foram surgindo ao longo dessas três décadas são justamente aquelas em que se observou a formação de novas ilhas de calor superficiais, características marcantes dos loteamentos urbanos brasileiros.

Associar esse fenômeno de aquecimento superficial exclusivamente à expansão das construções/edificações da área urbana seria desarrazoado, mas é certo que constitui fator importante na elevação das temperaturas superficiais do ambiente intraurbano, principalmente após períodos de elevados índices de precipitação, em razão do incremento de massa vegetal que se estabelece no entorno rural.

Para se visualizar com maior clareza essa relação foi realizada a sobreposição da imagem capturada pelo Google Earth, para a estação chuvosa do ano de 2019, com a imagem da intensidade das ilhas de calor superficiais, para o mesmo período. Com alguns ajustes nas camadas das imagens, o resultado foi surpreendente, como mostra a figura 21.

Figura 21 – Correlação entre as áreas de expansão urbana e as ilhas de calor superficiais, para o ano de 2019 – Estação Chuvosa



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível evidenciar que se formaram ilhas de calor sobre a maioria das áreas edificadas que surgiram entre os anos de 1989 e 2019.

De igual modo, pode-se relacionar a magnitude das ilhas de calor identificadas na imagem de 2019 com as áreas construídas em que se observa maior adensamento de edificações. Isso significa que a intensidade da temperatura aparente da superfície pode variar também de acordo com o padrão construtivo dessas áreas.

Nas regiões de maior adensamento das edificações, em que há presença de lotes menores e onde se verifica a fixação de população de menor poder aquisitivo, as ilhas de calor observadas têm maior nível de intensidade se comparadas com porções do território onde as construções são mais desaglomeradas, os lotes são um pouco maiores e se estabelece a população de maior poder aquisitivo.

Cabe retomar aqui a questão do processo de urbanização de Presidente Prudente/SP, em que foi visto a ocupação inicial dos topos de morros, em seguida expandindo as áreas urbanas para as vertentes e fundos de vales. O desenho dos lotes, como que um tabuleiro de xadrez, na maioria das vezes, não leva em consideração a morfologia do terreno e o curso natural dos corpos hídricos, além da substituição das áreas verdes do espaço intraurbano por áreas edificadas e, muitas vezes, impermeabilizadas (FAGUNDES, 2018, p. 111-120).

Nesse sentido, é cristalina a importância do planejamento urbano e habitacional de um município, pois se está a lidar com a vida dos cidadãos. Há que se pensar a cidade de maneira sistêmica, em que cada um dos núcleos urbanos são partes de um todo, havendo inter-relações e interdependência entre si. Os loteamentos, bairros e conjuntos habitacionais não podem ser considerados isoladamente.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou realizar estudos que viabilizassem uma análise correlacional entre a expansão das áreas construídas na cidade de Presidente Prudente/SP e sua influência sobre a intensidade da temperatura aparente da superfície, as chamadas ilhas de calor superficiais, por meio de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

Para isso, foi feito um extenso levantamento bibliográfico, englobando trabalhos publicados em diversos formatos, relacionados à climatologia, ao clima urbano, aos fenômenos climáticos locais e regionais, às ilhas de calor superficiais urbanas, à aplicação do sensoriamento remoto nos estudos climatológicos, dentre outros temas que pudessem se relacionar aos objetivos do trabalho.

Deu-se destaque aos diversos e importantes trabalhos já realizados dentro desta temática, em outras localidades e mesmo em Presidente Prudente/SP, que, sem dúvidas, contribuíram de alguma forma para esta pesquisa.

Os resultados obtidos apresentam uma forte relação entre a expansão das áreas edificadas da cidade de Presidente Prudente/SP entre os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019.

Foi possível quantificar um acréscimo de cerca de 70% nas áreas edificadas do município do período, bem como o aumento e a redistribuição das ilhas de calor superficiais urbanas, observando-se que as ilhas de calor de forte e muito forte magnitudes representam, em 2019, quase 80% da área total.

Isso porque com o passar dos anos e o surgimento de novos bairros e conjuntos habitacionais, centralizados ou periféricos, muitos inclusive desconectados do contexto da malha urbana, observa-se claramente que as ilhas de calor superficiais também acompanham essa evolução.

Levando-se em conta, igualmente, o padrão construtivo das residências e edificações comerciais presentes na cidade, bem com o tamanho dos lotes construídos, é de se constatar que regiões distintas dentro do espaço urbano de Presidente Prudente/SP apresentam ilhas de calor de diferentes magnitudes.

Frise-se, ainda, que a problemática que envolve o planejamento urbano e habitacional deve ser analisada de maneira sistêmica, interdisciplinar,

levando-se em conta o contexto econômico, político e social, com o objetivo de promover o bem estar da população, frear a especulação imobiliárias e assegurar a dignidade dos cidadãos.

Importante aqui ressaltar que a presente pesquisa não tem o objetivo de esgotar o tema, sendo necessários trabalhos acadêmicos que possam se aprofundar nas questões aqui tratadas. Contudo, verifica-se um avanço nos estudos de clima urbano e ilhas e calor urbanas e sua correlação com a expansão das áreas edificadas nas cidades.

Ficam, como perspectivas futuras de desdobramento desta pesquisa, a análise acerca de eventual correlação entre as ilhas de calor superficiais urbanas e o 'sumiço' de áreas verdes no espaço intraurbano; a influência do aquecimento global nas intensidades das temperaturas superficiais; o mapeamento de vazios urbanos em detrimento da especulação imobiliária em Presidente Prudente/SP; o planejamento urbano e habitacional, em vista de estratégias construtivas ambientalmente mais adequadas, que propiciem maior conforto térmico (arborização de arruamentos, telhados verdes, jardins suspensos, telhas termoacústicas, entre muitos outros) e bem estar à população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOFORADO, M. J. et al. **Application of climatic guidelines to urban planning: the example of Lisbon (Portugal)**. *Landscape and urban planning*, v. 90, n. 1-2, p. 56-65, 2009.
- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- AMORIM, M. C. C. T. **Análise da temperatura do ar e dos alvos: uma contribuição aos estudos de clima urbano**. *In: SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. C. T.; SILVA, C. A. (org.) Clima e gestão do território*. Jundiaí: Paco Editorial, 2016. p. 33-49.
- AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. **Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing**. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 9, p. 10-16, 2018.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise**. *Revista Brasileira de Climatologia*. Edição Especial, 2019. p. 22-46
- ARAKAKI, E. M.; PERRONE, R. A. C. **Considerações sobre a paisagem e ferrovia em Presidente Prudente**. *In: BARON, C. M. P.; FIORIN, E. 100 anos Presidente Prudente: arquitetura e urbanismo*. Bauru: Canal 6, 2017. p. 14-28.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. Revisão de Suely Bastos. Coordenação editorial de Antônio Christofolletti. 12<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- BAPTISTA, G. M. de M. **Sensores imageadores na faixa do termal (8 - 14 µm)**. *In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Universidade de Brasília: Brasília, 2012. p. 47-56. E-book.
- BARON, C. M. P. **O planejamento e os projetos urbanos em Presidente Prudente**. *In: BARON, C. M. P.; FIORIN, E. 100 anos Presidente Prudente: arquitetura e urbanismo*. Bauru: Canal 6, 2017. p. 58-77.
- BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2000.
- CARDOSO, R. S. **O campo e a cidade em Presidente Prudente: uma contribuição aos estudos de clima urbano**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em

Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

CHIARAVALLOTI, R. M. **O homem que salvou Nova York da falta de água.** São Paulo: Matrix, 2015.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo:** análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25102006-123617/publico/PriscilaColtri.pdf>. Acesso em 21/01/2020.

DA COSTA SANTOS, J. et al. **Análise multitemporal da temperatura da superfície através de imagens do TM Landsat 5, na cidade de Palmas-TO.** RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais, v. 15, n. 2, p. 195-212, 2013. Disponível em <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/2527>. Acesso em 14/02/2020.

DORIGON, L. P. **Clima urbano em Paranavaí/PR:** análise do espaço intraurbano. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/190867>. Acesso em 25/01/2020.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiaí-SP.** Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/191440>. Acesso em 21/01/2020.

FAGUNDES, B. **As águas da cidade de Presidente Prudente - SP- Brasil:** memória e representação social. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2018. 367p. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157227>. Acesso em 26/06/2020.

FEITOSA, S. M. R. et al. **Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina–Piauí.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 6, n. 2, p. 58-75, 2019. Disponível em <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66395>. Acesso em 21/01/2020.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte:** um caso de Viçosa, Zona da Mata Mineira. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 259p. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-22022010-154045/pt-br.php>.

FOUCAULT, A. **O clima:** história e devir do meio terrestre. Coleção Perspectivas Ecológicas. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. 303p.

FRANCISCO, A. M.; FIORIN, E. **Patrimônio e paisagem urbana de Presidente Prudente:** formação do núcleo original, urbanização e suas transformações. *In:*

BARON, C. M. P.; FIORIN, E. **100 anos Presidente Prudente: arquitetura e urbanismo**. Bauru: Canal 6, 2017. p. 30-43.

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

HENRÍQUEZ, C.; ROMERO, H. (Ed.). **Urban Climates in Latin America**. Springer International Publishing, 2019 (e-book). 414p.

HOFFMANN, M. **Ensaio da relação do parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra com a temperatura aparente de superfície do município de São Paulo em medições remotas**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. Disponível em [http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-27062014-115444/publico/2014\\_MartinHoffmann\\_VCorr.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-27062014-115444/publico/2014_MartinHoffmann_VCorr.pdf). Acesso em 14/02/2020.

HONDA, S. C. A. L. et al. **Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP)**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management), 2015, p. 62-73.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 30/08/2020.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. Tradução: EPIPHANIO, José Carlos N., et al (INPE). São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. Institute for Physical Science and Technology. University of Maryland. Academic Press, 1981.

LENCIONI, S. **Região e Geografia**. São Paulo: EDUSP, 1999. 224p.

LIMA, V. **A sociedade e a natureza na paisagem urbana: análise de indicadores para avaliar a qualidade ambiental**. 2013. 358 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. **Aplicações do sensoriamento remoto na geografia**. In: VENTURI, L. A. B. (org.) **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. p. 33-54.

MASHIKI, M. Y. **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90507>. Acesso em 21/01/2020.

MENDONÇA, F. A. **Clima e planejamento urbano em Londrina/PR**: proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. *In*: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2009a. 192p.

MENDONÇA, F. A. **O estudo do clima urbano no Brasil**: evolução, tendências e alguns desafios. *In*: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2009b. 192p.

MENESES, P. R. **Princípios de sensoriamento remoto**. *In*: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília: Brasília, 2012. p. 1-33. E-book.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Aritmética de bandas**. *In*: \_\_\_\_\_. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília: Brasília, 2012. p. 138-153. E-book.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Distorções e correções dos dados da imagem**. *In*: \_\_\_\_\_. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília: Brasília, 2012. p. 82-102. E-book.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. Série Teses e Monografia. n. 25. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1976a. 181p.

MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo**: problemas e perspectivas. Série Teses e Monografia. n. 28. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1976b. 54p.

MONTEIRO, C. A. F. **Some aspects of the urban climates of tropical South America**: the Brazilian contribution. *In*: **WMO Proceedings of the Technical Conference on Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas**, 1986. p. 166-198.

MONTEIRO, C. A. F. **Um quadro de referência teórica para estudos do clima urbano** (o clima urbano como um sistema dinâmico adaptativo). *In*: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. 192p.

NASA. **Landsat Satellite Missions**. 2020. Disponível em <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/>. Acesso em 21/08/2020.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente/SP**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

PARIZOTO, N. M. S. F. **Estudo de ilhas de calor no município de Piratininga/SP, por meio de dados orbitais do Landsat 5 sensor TM**. Dissertação (Mestre em

Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90638>. Acesso em 21/01/2020.

PEREIRA, S. R. **Expansão e estruturação interna do espaço urbano de Presidente Prudente**. Revista Formação (Edição Especial). n.13. vol.2, 2002

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e Clima Urbano: Aplicação dos Recursos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas na cidade de Piracicaba, SP**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-05022010-1011157/publico/JEFFERSON\\_LORDELLO\\_POLIZEL.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-05022010-1011157/publico/JEFFERSON_LORDELLO_POLIZEL.pdf). Acesso em 21/01/2020.

PRESIDENTE PRUDENTE. Prefeitura Municipal. **A Cidade**. História e Informações. Conheça Presidente Prudente. Disponível em <http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/acidade.xhtml>. Acesso em 25/11/2019.

RODRIGUES, M.; DUPAS, F. A.; REBOITA, M. S. **Temperatura aparente de superfície na bacia hidrográfica do rio Tavares, Florianópolis**. Revista Brasileira de Climatologia, Ano XIII, v. 21, 2017. Disponível em <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/46247>. Acesso em 04/02/2020.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima e organização do espaço**. Boletim de Geografia, v. 16, n. 1, p. 119-132, 2 fev. 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: UNESP/FCT, 2009.

SORRE, M. **Fundamentos biológicos de la geografía humana: ensayos de una ecología del hombre**. Barcelona: Juventud, 1955. 344p.

SOUZA, M. C. C. **Diagnóstico da qualidade ambiental nas áreas verdes públicas em Presidente Prudente (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016. 186p. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/134381>. Acesso em 20/08/2020.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. **Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 6, 2010. Disponível em <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25604>. Acesso em 04/02/2020.

UGEDA JUNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales/SP**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Editora Alínea, 2013.