

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

ANA LUIZA SBRUZZI PORTELA FIGUEIREDO

**O CAMPO TÉRMICO DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA – SP:
UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ANOS DE 1986-2021.**

VIÇOSA - MG
2022

ANA LUIZA SBRUZZI PORTELA FIGUEIREDO

**O CAMPO TÉRMICO DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA – SP:
UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ANOS DE 1986-2021.**

Monografia apresentada sob a orientação do Profº Dr. Edson Soares Fialho, como uma das exigências da disciplina GEO 484 (Monografia) para obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Viçosa.

VIÇOSA - MG
2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar eu gostaria de agradecer a Deus por ter me dado a oportunidade de viver essa experiência. Aos meus pais, Márcio e Renata, sem toda a ajuda e suporte deles eu não estaria concluindo essa graduação. Às minhas irmãs, Ana Laura e Ana Lívia, que mesmo na maior parte do tempo à distância, sempre me deram o apoio necessário para chegar até aqui.

A minha Avó Shirley que sempre cuidou e acreditou em mim, obrigada por tudo, Vó! Gostaria de agradecer também aos meus colegas de curso e amigos de vida: Trotta, Igor, Amanda, Janaína, Edson e Gabriel, vocês foram essenciais na minha caminhada na Geografia - UFV.

Aos amigos que conquistei durante a minha vivência em Viçosa, sobretudo: Camila, Yuri, Flávia e Karina, obrigada pela amizade que me acolheu tantas vezes. Gostaria de agradecer também aos professores e aos colegas de curso por todo o conhecimento que foi trocado que levaremos para o resto da vida. Além disso, também gostaria de agradecer meus amigos e família de Caçapava, que mesmo longe me apoiaram a todo momento. Obrigada a todos!

RESUMO

A Climatologia é o estudo das interações naturais e antrópicas presentes na atmosfera terrestre em diferentes escalas espaciais e temporais. O presente estudo visa a compreensão dos fenômenos atrelados a Climatologia Urbana, buscando entender a dinâmica atmosférica presente em centros urbanos, e como essa condição impacta a qualidade de vida urbana. A área de estudo dessa pesquisa é o município de Caçapava - SP, uma vez que o mesmo se encontra localizado entre os dois principais centros urbanos do Brasil: São Paulo e Rio de Janeiro. Além disso, Caçapava se desenvolveu no entorno da Rodovia Presidente Dutra, responsável por conectar esses dois grandes centros urbanos, que acabou influenciando o desenvolvimento econômico nessa região. O período da análise foram os anos de 1986 e 2021, um espaço temporal de 35 anos, com o intuito de comparar como se estabeleceu o uso e ocupação da terra no município, e como isso afetou a dinâmica atmosférica. Por meio do uso do Sensoriamento Remoto, é possível obter estimativas feitas a partir de imagens orbitais dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*, coletadas no Earth Explorer, referente aos anos de 1986 e 2021, respectivamente. Ambas as imagens orbitais foram processadas através do software *Qgis 3.16.3*, e utilizadas para produzir os mapas de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e os mapas de imagens termais. O mapa de Uso e Ocupação da terra foi obtido através do Mapbiomas, no qual foi realizada a seleção de dados de acordo com a necessidade da pesquisa, e a imagem também foi processada através do programa *Qgis*. Após a leitura e entendimento dos processos que causam o aumento atmosférico, e a análise em conjunto dos mapas elaborados, é possível observar como se estabeleceu a configuração espacial do município de Caçapava e identificar o impacto dessa modificação no campo térmico na cidade, além do efeito que isso causou também na vegetação local da área de estudo. Portanto, essa pesquisa visa explorar a dinâmica climatológica acerca da temperatura de superfície terrestre, e expor como a mesma vem impactando o município de Caçapava - SP nas últimas três décadas.

Palavras-chave: Climatologia Urbana. Ilhas de Calor. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Climatology is the study of natural and anthropogenic interactions present in the Earth's atmosphere at different spatial and temporal scales. The present study aims to understand the phenomena linked to Urban Climatology, seeking to understand the atmospheric dynamics present in urban centers, and how this condition impacts the quality of urban life. The study area of this research is the municipality of Caçapava - SP, since it is located between the two main urban centers in Brazil: São Paulo and Rio de Janeiro. In addition, Caçapava developed around the Presidente Dutra Highway, responsible for connecting these two large urban centers, which ended up influencing economic development in this region. The analysis period was the years 1986 and 2021, a time span of 35 years, in order to compare how the use and occupation of land in the municipality was established, and how this affected the atmospheric dynamics. Through the use of Remote Sensing, it is possible to obtain estimates made from orbital images of the Landsat 5 and Landsat 8 satellites, collected in Earth Explorer, referring to the years 1986 and 2021, respectively. Both orbital images were processed through Qgis 3.16.3 software, and used to produce the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) maps and thermal image maps. The Land Use and Occupation map was obtained through Mapbiomas, in which data selection was carried out according to the research needs, and the image was also processed through the Qgis program. After reading and understanding the processes that cause the atmospheric increase, and the joint analysis of the prepared maps, it is possible to observe how the spatial configuration of the municipality of Caçapava was established and to identify the impact of this modification on the thermal field in the city, in addition to the effect that this also caused in the local vegetation of the study area. Therefore, this research aims to explore the climatological dynamics about the terrestrial surface temperature, and expose how it has been impacting the municipality of Caçapava - SP in the last three decades.

Keywords: Urban Climatology. Heat Islands. Remote sensing.

RESUMEN

La climatología es el estudio de las interacciones naturales y antropogénicas presentes en la atmósfera terrestre a diferentes escalas espaciales y temporales. El presente estudio tiene como objetivo comprender los fenómenos vinculados a la Climatología Urbana, buscando comprender la dinámica atmosférica presente en los centros urbanos, y cómo esta condición impacta en la calidad de vida urbana. El área de estudio de esta investigación es el municipio de Caçapava - SP, ya que está ubicado entre los dos principales centros urbanos de Brasil: São Paulo y Río de Janeiro. Además, Caçapava se desarrolló alrededor de la Carretera Presidente Dutra, responsable de conectar estos dos grandes centros urbanos, lo que terminó influyendo en el desarrollo económico de esta región. El periodo de análisis fueron los años 1986 y 2021, un lapso de tiempo de 35 años, con el fin de comparar cómo se establecía el uso y ocupación del suelo en el municipio, y cómo esto afectaba la dinámica atmosférica. Mediante el uso de la Teledetección es posible obtener estimaciones realizadas a partir de imágenes orbitales de los satélites Landsat 5 y Landsat 8, recolectadas en Earth Explorer, referentes a los años 1986 y 2021, respectivamente. Ambas imágenes orbitales se procesaron a través del software Qgis 3.16.3 y se usaron para producir los mapas del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y los mapas de imágenes térmicas. El mapa de Uso y Ocupación del Suelo se obtuvo a través de Mapbiomas, en el cual se realizó una selección de datos de acuerdo a las necesidades de la investigación, además se procesó la imagen a través del programa Qgis. Luego de la lectura y comprensión de los procesos que provocan el aumento atmosférico, y del análisis conjunto de los mapas elaborados, es posible observar cómo se estableció la configuración espacial del municipio de Caçapava e identificar el impacto de esta modificación en el campo térmico en la ciudad, además del efecto que esto también provocó en la vegetación local del área de estudio. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo explorar la dinámica climatológica sobre la temperatura de la superficie terrestre y exponer cómo ha estado impactando el municipio de Caçapava - SP en las últimas tres décadas.

Palabras clave: Climatología Urbana. Islas de calor. Detección remota.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Mapa de localização do município de Caçapava - SP | 10 |
| Figura 2 - Igreja Matriz em 1855 | 12 |
| Figura 3 - Igreja Matriz em 2020 | 13 |
| Figura 4 - Praça da Bandeira 1950 | 13 |
| Figura 5 - Praça da Bandeira atualmente..... | 14 |
| Figura 6 – Evolução da População, no município de Caçapava – SP (1872-2021) .. | 15 |
| Figura 7 – Vista parcial superior da cidade de Caçapava - SP | 17 |
| Figura 8 – Tipos de Ilhas de calor | 20 |
| Figura 9 - Mapa de Uso e Ocupação da terra no município de Caçapava - SP no ano de 1985 | 25 |
| Figura 10 - Mapa de Uso e Ocupação da terra no município de Caçapava - SP no ano de 2021. | 25 |
| Figura 11 - Temperatura de Superfície no município de Caçapava - SP nos anos de 1986 e 2021 | 27 |
| Figura 12 - NDVI no município de Caçapava - SP nos anos de 1986 e 2021 | 28 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 9 |
| 1. Área de Estudo | 10 |
| 1.1 Histórico de Caçapava | 11 |
| 2. A CLIMATOLOGIA E O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO | 17 |
| 2.1. Clima Urbano | 18 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO | 24 |
| 4.1. Uso e Cobertura da terra no município de Caçapava para os anos de 1985 e 2021 | 24 |
| 4.2. Temperatura de superfície e NDVI no município de Caçapava para os anos de 1986 e 2021 | 26 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 29 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 31 |

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização é um dos principais fatores antrópicos responsáveis pela formação do Clima Urbano, visto que a área urbanizada absorve a energia solar durante o dia, e libera durante a noite, ocasionando um resfriamento mais lento da cidade no período da noite, sendo possível observar, também no período noturno, pontos onde há mais absorção e liberação de energia de acordo com a disposição das chamadas Ilhas de calor.

O Sensoriamento Remoto, é a técnica que obtém características da superfície terrestre através de imagens de sensores remotos. As imagens podem ser adquiridas através de satélites, câmeras a bordo de aeronaves, ou até mesmo *drones*, atualmente também é utilizado a ARP (Aeronave Remotamente Pilotada). Essas imagens possuem a capacidade de refletir a radiação solar através de ondas eletromagnéticas, e através de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), é possível processar essas imagens com a finalidade de obter valores como temperatura, infravermelho, entre outros.

O município de Caçapava - SP, fica entre as duas maiores metrópoles brasileiras São Paulo e Rio de Janeiro, essa região possui uma grande concentração urbana devido ao intenso desenvolvimento econômico que se iniciou na década de 1930, a região acabou se tornando atrativa para as indústrias, visto que uma das maiores Rodovias do país, a Rodovia Presidente Dutra, liga as duas capitais, facilitando o fluxo de pessoas e de mercadorias, por esta razão, a região acabou sendo afetada por um amplo processo de desenvolvimento e urbanização.

Segundo estudos voltados para a análise de ilhas de calor, as áreas urbanizadas são regiões que intensificam o aumento do calor atmosférico. Sendo assim, Caçapava - SP é um objeto de estudo de muita relevância devido a sua localização geográfica, uma vez que está situada na região do Vale do Paraíba, no entorno de uma das rodovias mais movimentadas do país. Portanto, é um município que está em constante crescimento urbano.

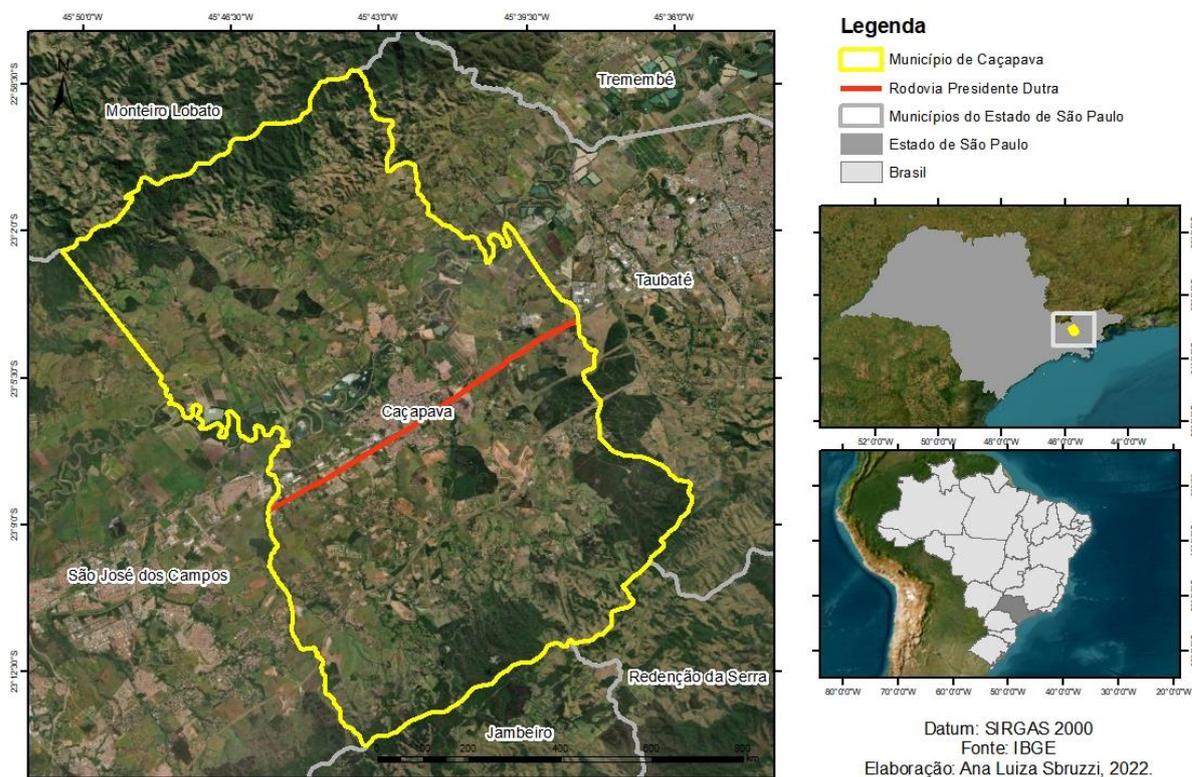
O recorte temporal deste estudo é de 1986 a 2021, um período de 35 anos, e através de pesquisas acerca de conceitos climatológicos, ilhas de calor, histórico do desenvolvimento de Caçapava, além da aplicação de técnicas do Sensoriamento Remoto, foi abordado como o desenvolvimento do município de Caçapava - SP afetou

a dinâmica atmosférica, produzindo aumento da temperatura superficial, e quais os impactos essa dinâmica trouxe para o município.

1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Caçapava (Figura 1) encontra-se no estado de São Paulo, na região do Vale do Paraíba, a uma altitude de 560m. Possui uma área de 368,990 km², e uma população estimada em 2021 de 95.752 (IBGE). A densidade demográfica é de 229,66 hab/km².

Figura 1 - Mapa de localização do município de Caçapava - SP



Fonte: Autor

Segundo as informações obtidas no site weatherspark (<https://pt.weatherspark.com/Clima-caracteristico-em-Cacapava-Brasil-durante-o-ano>), Caçapava apresenta um verão quente, com precipitação e de céu encoberto; o inverno é curto, com céu quase sem nuvens. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 12,0°C a 31,0°C e raramente é inferior a 9,0°C ou superior a 35,0°C.

A estação quente permanece entre novembro a março, com temperatura máxima média diária acima de 29,0°C. O mês mais quente do ano em Caçapava é fevereiro. A estação fresca (*inverno*) de maio a agosto, com temperatura máxima diária em média abaixo de 26,0 °C. O mês mais frio do ano em Caçapava é julho, com a máxima de 25,0°C e mínima de 12,0C, em média.

1.1 Histórico de Caçapava

Segundo informações disponíveis no site da Câmara Municipal de Caçapava (<https://www.camaracacapava.sp.gov.br/cidade>), o município de Caçapava teve sua formação inicial próximo ao curso do Rio Paraíba do Sul, no local denominado “caa-çapaba”, do tupi “caa=mato e “ çapaba “=clareira, vereda. Estabeleceu-se o fazendeiro Paulista, Jorge Dias Velho, que auxiliado pela sua mulher, Sebastiana de Unhate, construiu uma capela em louvor a Nossa Senhora da Ajuda. A partir disso, foi se constituindo um povoado, que em 1813 passou a ser considerado uma freguesia, subordinado ao município de Taubaté. Posteriormente, o povoado foi deslocado para um sítio chamado Caçapava Velha, que acabou se expandindo e foi elevado à categoria de Vila em 1855, e então, no ano de 1875, tornou-se município.

Segundo Bittencourt (2008), o processo de urbanização de Caçapava data a partir de 1876 com a construção da estrada de ferro, utilizada para o escoamento do café. Após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a economia ganhou forças através das instalações de indústrias automobilísticas na região. Atualmente, segundo dados obtidos no site da Prefeitura de Caçapava, as principais atividades econômicas no município são:

Tabela 1. Principais atividades econômicas em Caçapava – SP atualmente

| Principais atividades agropecuárias: | Principais Atividades Industriais: |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Criação de Bovinos; • Cultivo de cana-de-açúcar; • Produção de mudas e outras formas de propagação vegetal, certificadas; | <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores; • Fabricação de produtos derivados do cacau, de chocolates e confeitos; |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Cultivo de cereais;• Horticultura;• Apicultura;• Piscicultura. | <ul style="list-style-type: none">• Fabricação de vidro plano e de segurança;• Fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes;• Fabricação de artefatos de material plástico. |
|---|--|

Disponível em: https://ecrie.com.br/sistema/conteudos/arquivo/a_25_0_1_08032021101433.pdf

Através de alguns registros encontrados em redes sociais de pessoas antigas de Caçapava, ou até mesmo de sites que registram a história da cidade é possível ver algumas imagens que relatam a mudança na paisagem do município, no entanto, devido à escassez de informações disponíveis, muitas imagens acabam não informando a data específica, conforme pode ser observado nas figuras a seguir.

Figura 2 - Igreja Matriz em 1855



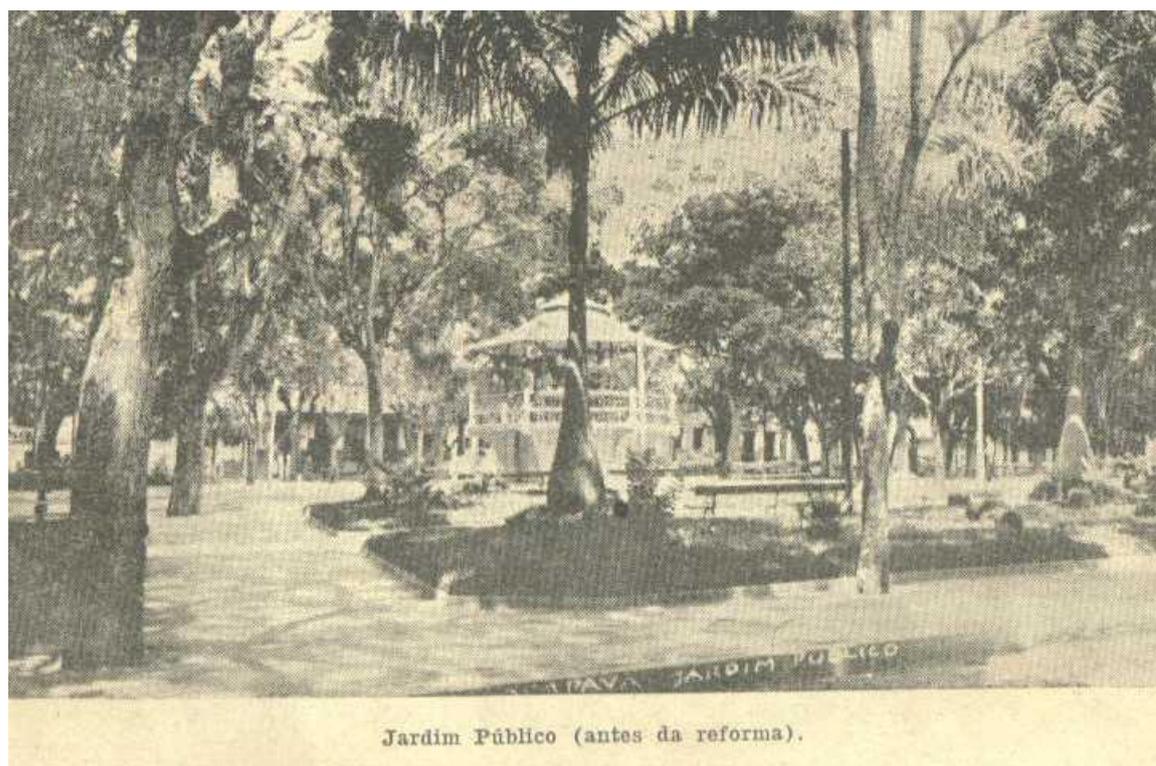
Fonte: Google imagens

Figura 3 - Igreja Matriz em 2020



Fonte: Google imagens

Figura 4 - Praça da Bandeira 1950



Disponível em: <https://www.taiadaweb.com.br/a-verdadeira-historia-de-cacapava/>

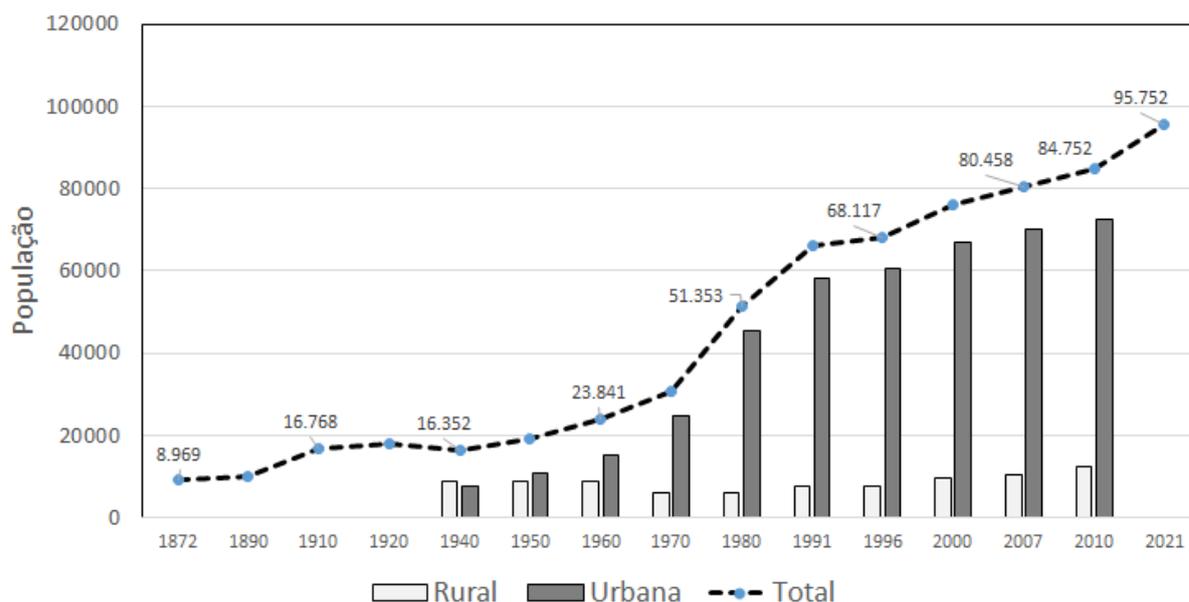
Figura 5 - Praça da Bandeira atualmente



Disponível em: <https://www.ferias.tur.br/fotos/9005/cacapava-sp.html>

o Município de Caçapava vem experimentando um relativo crescimento populacional entre 1872 e 2021, conforme pode ser observado na Figura 6. Entre 1980 até 2021, que é o recorte temporal desta pesquisa, houve um crescimento de aproximadamente 35.000 habitantes, predominantemente na área urbana.

Figura 6 – Evolução da População, no município de Caçapava – SP (1872-2021)



A partir da década de 1960, a maior parte da população começou a se expandir no âmbito urbano (Figura 6). Tal constatação, pode ser explicado pela implementação da Rodovia Presidente Dutra no ano de 1950, viabilizando um melhor desenvolvimento econômico da região central do município, visto que a rodovia passa próximo a região central de Caçapava.

Outro fator relevante a ser considerado, que favoreceu o desenvolvimento do município, é a sua localização entre as principais capitais econômicas do Brasil, São Paulo e Rio de Janeiro, o que acaba influenciando o desenvolvimento do município, uma vez que se torna uma região atrativa para instalações de indústrias, atraindo também mão-de-obra para a região. Sendo assim, aumenta o fluxo de pessoas e a demanda de infraestrutura na cidade.

Além disso, o município de Caçapava está localizado na região do Vale do Paraíba, que sofreu um intenso processo de industrialização principalmente durante os anos de 1960 a 1990, um período marcado pelas políticas de descentralização das atividades industriais no Estado de São Paulo, com uma forte presença do capital estatal e a expansão de empresas multinacionais (VIEIRA, 2009), viabilizado principalmente pela instalação da BR 116.

No entanto, esse processo de industrialização não se estabeleceu de forma homogênea, uma vez que algumas cidades tiveram um crescimento industrial muito

acelerado, como São José dos Campos e Taubaté, que juntas representavam cerca que 29% da concentração industrial, e 49,1% da concentração de mão-de-obra, sendo então classificadas como grandes centros industriais. Já Caçapava era considerada como pequeno centro industrial, uma vez que possuía apenas 6% (Tabela 2) da concentração industrial e 3% da mão-de-obra operária, segunda as informações da tabela a seguir (MULLER, 1969 e adaptado por Vieira 2009):

Tabela 2. Número de estabelecimentos e operários na indústria do vale do Paraíba paulista, em 1959.

| Cidades | Estabelecimentos industriais | | Operários | | Operários por estabelecimento operários |
|----------------------|------------------------------|-----|-----------|-------|---|
| | Total | % | Total | % | |
| Aparecida | 33 | 4 | 671 | 3 | 20,33 |
| Areias | 3 | 0,3 | 7 | 0,03 | 2,33 |
| Bananal | 14 | 1 | 209 | 1 | 14,93 |
| Caçapava | 50 | 6 | 762 | 3 | 15,24 |
| Cachoeira Paulista | 25 | 3 | 125 | 0,6 | 5,00 |
| Cruzeiro | 51 | 6 | 1.936 | 9 | 37,96 |
| Guaratinguetá | 72 | 9 | 1.727 | 8 | 23,99 |
| Jacareí | 62 | 8 | 2.562 | 12 | 41,32 |
| Lavrinhas | 1 | 0,1 | - | - | - |
| Lorena | 56 | 7 | 711 | 3 | 12,70 |
| Monteiro Lobato | 7 | 0,9 | 1 | 0,004 | 0,14 |
| Pindamonhangaba | 45 | 5 | 597 | 2 | 13,27 |
| Piquete | 14 | 1 | 77 | 0,3 | 5,50 |
| Queluz | 5 | 0,6 | 37 | 1 | 7,40 |
| Roseira | 4 | 0,5 | 7 | 0,03 | 1,75 |
| Santa Isabel | 15 | 1 | 638 | 3 | 42,53 |
| São José do Barreiro | 2 | 0,2 | 4 | 0,01 | 2,00 |
| São José dos Campos | 72 | 9 | 4.254 | 20 | 59,08 |
| Silveiras | 2 | 0,2 | 5 | 0,02 | 2,50 |
| Taubaté | 157 | 20 | 6.047 | 29 | 38,52 |
| Tremembé | 34 | 4 | 149 | 0,7 | 4,38 |

Fonte: Muller, 1969. p. 119-120. (adaptado por Vieira, 2009).

Essa análise histórica se perpetua até os dias atuais, uma vez que a economia municipal e regional se estabeleceu a partir dessa configuração social e espacial. Na Figura 7 é possível visualizar como a Rodovia Presidente Dutra é localizada próximo ao centro urbano, possibilitando um fluxo acessível de pessoas e mercadorias.

Figura 7 – Vista parcial superior da cidade de Caçapava - SP



Disponível em: <https://www.ferias.tur.br/fotogr/169141/imagensdacidadedecacapava-sp/cacapava/>

A partir disso, é possível observar que o crescimento urbano no município de Caçapava, é em decorrência a uma cadeia de fatores que configuraram o desenvolvimento da região. A instalação da Rodovia Presidente Dutra proporcionou a instalação industrial, atraindo mão-de-obra para a região, que conseqüentemente sofreu um intenso processo de expansão urbana, o que acarretou em uma série de mudanças no uso e cobertura da terra.

2. A CLIMATOLOGIA E O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO

Com o advento da ciência e tecnologia, os estudos em climatologia, desde seu início, vem evoluindo, seja por sua forma de abordagem ou técnicas (Andrews, 2019), como por exemplo medidas de leitura direta entre as edificações, imagens termais e modelos espaciais.

Todavia, mesmo com todo esse avanço, algumas cidades do Brasil, não dispõem de uma rede de monitoramento climático consistente, em função do alto custo, dificuldade de pontos representativos, custo logístico entre outros. Tais condições tornam o uso das técnicas de sensoriamento remoto relevante para compreendermos os efeitos das mudanças no uso e cobertura da terra na temperatura da superfície, bem como na configuração da ilha de calor e o clima urbano (Fialho, 2019).

Cabe salientar, que embora a técnica (sensoriamento remoto) seja recente dentro do âmbito das pesquisas da climatologia geográfica a base teórica, continua alicerçada na perspectiva do Clima Urbano proposta por Monteiro (1971) e introduzida nos estudos de Clima urbano por Monteiro (1976) e Sezerino e Monteiro (1990).

Nesse contexto, a pesquisa de clima urbano apesar de ainda muito recente no Brasil, na medida em que não atinge muitas cidades de pequeno e médio porte, a presente pesquisa visa contribuir no desenvolvimento da mesma ciência, a partir do estudo de caso de Caçapava-SP.

2.1. Clima Urbano

Para entender o sistema urbano de uma cidade, é necessário analisar o processo de industrialização e urbanização presente na região de estudo. Desde a revolução industrial que ocorreu na Inglaterra no século XVIII, as configurações urbanas das cidades foram afetadas para atender a demanda política e econômica (Vieira, 2009) existente no processo de industrialização.

A partir disso, os estudos acerca das questões climatológicas e ambientais no Brasil, começaram a ganhar força a partir da década de 1970, sendo o Professor e Geógrafo Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro o responsável por organizar a base de dados climatológicos, contribuindo para o desenvolvimento das pesquisas baseadas em clima urbano no Brasil.

A concentração urbana interfere no clima da cidade através das chamadas Ilhas de Calor Urbana (ICU) (FIALHO, 2019), que consiste no aumento da temperatura causado por características físicas (alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e reflectância) e as atividades urbanas (AMORIM, 2009).

Portanto, a ICU é relativa ao uso e ocupação da terra das cidades (FIALHO, 2019), seguindo essa lógica, os centros urbanos cobertos de construções vão apresentar uma maior emissão de calor do que áreas rurais que possuem cobertura naturais como pastos e áreas florestadas.

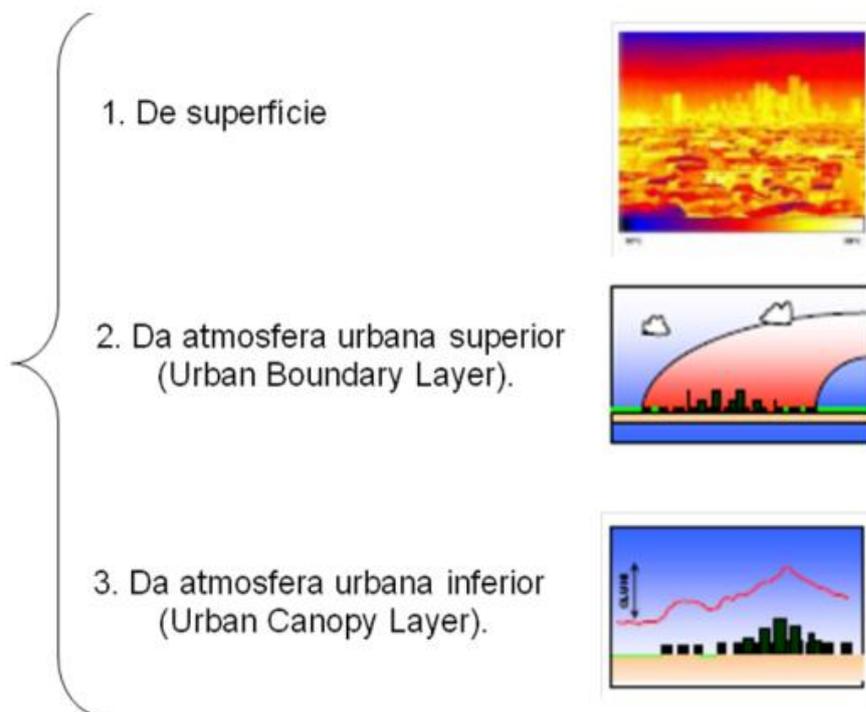
Além disso, Monteiro (2003, p. 24), propõe três concepções para o desenvolvimento da teoria para a condições do clima urbano no Brasil, sendo elas:

- Conforto térmico – Englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente. Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia, habitacional, assunto de investigação de importância crescente.
- Qualidade do ar – A poluição é um dos males do século, e talvez aquele que, por seus efeitos mais dramáticos, atraia mais a atenção. Associada às outras formas de poluição (água, solo etc.), a do ar é uma das mais decisivas na qualidade ambiente urbana.
- Impacto meteórico – Aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestade), que assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e os serviços.

A medição acerca dos aspectos climatológicos foram se aprimorando ao passar dos anos, quando ainda não havia a técnica do sensoriamento remoto para análises termal. As análises eram realizadas através de pontos de observação fixos ou móveis esporadicamente, e apesar de se tratar do mesmo fenômeno, as diferentes formas de medição acabaram diferenciando os resultados, impossibilitando a comparação entre eles (FIALHO, 2020). Segundo Fialho (2012), a ilha de calor se diferencia em três momentos (Figura 8):

- a) atmosfera inferior, onde a maior parte dos estudos realizados por Geógrafos se encontra;
- b) atmosfera vertical, onde se observa a expansão e retração da camada limite e
- c) de superfície, que verifica a temperatura dos alvos ou objetos, que se encontram na superfície.

Figura 8 – Tipos de Ilhas de calor



Fonte: Fialho (2012, p. 66).

A interpretação para mapas termiais a partir de imagem de satélite, se estabelece através da troca de radiação entre fluxos de calor na interface superfície-atmosfera (PRADO, 2020), sendo possível identificar a variabilidade de temperatura entre as zonas urbanas, e, portanto, definir quais áreas dentro de uma cidade precisam ser analisadas com mais atenção, devido aos impactos que o aumento da superfície pode gerar para a comunidade e o meio ambiente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, para elaborar os mapas a serem utilizados ao longo do percurso do trabalho, utilizou-se o software Arcgis e Qgis, cujas bases dos *shapes* foram obtidas em diferentes bancos de dados, a citar, IBGE, Map Bioma e INPE.

Para compreender a formação do campo térmico de superfície de do município de Caçapava, foi necessário a confecção de um Mapa de uso e ocupação da terra, , posteriormente correlacionando-o com a leitura dos canais termais do *Landsat* para os anos de 1985 e 2021.

Para a elaboração do Mapa de Uso e Ocupação da terra (Figura 9 e Figura 10) foi utilizado a plataforma do MapBiomas Brasil, juntamente com *Google Earth Engine*. Neste processo, foi necessário fazer um upload do *shape* atual do limite do município de Caçapava na plataforma do *Google Earth Engine*, bem como, selecionar as informações de dados pertinentes a essa pesquisa, como: região, coleção das imagens de satélite, buffer, ano da imagem, e tipo dado a ser trabalhado, para obter o *raster*.

Com os *rasters*, foi utilizado o programa Qgis 3.16.3 para classificar as imagens de acordo com os códigos das classes das legendas utilizadas pelo MapBiomas, obtendo as informações acerca do uso e ocupação da terra no município de Caçapava nos anos de 1985 e 2021.

As técnicas do sensoriamento remoto nos permitem fazer análises mais aprofundadas acerca da temperatura de superfície entre os anos de 1985 e 2021 no município de Caçapava.

Para os mapas de Temperatura de Superfície, foi utilizado a plataforma do *Earth Explorer* (EE) para obter as imagens do *Landsat 5* referente ao ano de 1986, e do *Landsat 8* para as imagens de 2021.

As datas das imagens são de 14/07/1986 e 22/08/2021, a estação do inverno foi determinada para realizar as análises desta pesquisa uma vez que é uma estação que possui um menor índice de umidade no ar, as datas específicas foram em função da ausência de nebulosidade sob a área de estudo.

Para a execução dos mapas termais, também foi utilizado o software Qgis 3.16.3, o primeiro passo foi reprojeter as imagens para o *Datum* SIRGAS 2000 23S. Na imagem de 1986 foi trabalhada a banda 6, e na imagem de 2021 a banda 10 (infravermelho termal), em seguida, foram aplicadas algumas equações sugeridas pela USGS.

Para a imagem Landsat 5, foi realizado o seguinte procedimento:

$$L\lambda = ((LMAX\lambda - LMIN\lambda) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN\lambda$$

(Equação 1)

Onde:

$L\lambda$ = radiância da banda termal

$LMAX$ e $LMIN\lambda$ = Parâmetros de radiância espectral para cada banda.

$QCALMAX$ = Máximo nível de cinza a ser calibrado (Landsat geralmente = 255).

$QCALMIN$ = Mínimo nível de cinza a ser calibrado (Landsat geralmente = 1).

$QCAL$ = Nível de cinza de cada pixel (dados de entrada, bandas).

Para a imagem Landsat 8, foi aplicada a seguinte equação:

Primeiramente, foi convertido o valor do pixel para os níveis de refletância obtidos no topo da atmosfera

$$L\lambda = Ml * Qcal + Al$$

(Equação 2)

Onde:

$L\lambda$ = Radiância espectral do sensor no topo da atmosfera ($W / (m^2 * srad * \mu m)$).

Ml = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10.

Al = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10.

$Qcal$ = Valores de pixel do produto padrão quantizados e calibrados (DN).

Logo após essa equação, foi transformado os valores para brilho de temperatura do satélite, posteriormente em Kelvin, e por fim a transformação para Celsius.

$$T B = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{l\lambda} + 1\right)} - 273.15$$

(Equação 3)

Onde:

TB = Temperatura de brilho.

L_{λ} = Radiância espectral ($W / (m^2 * srad * \mu m)$).

K 1 = Constante de calibração para a banda termal 1.

K 2 = Constante de calibração para a banda termal 2.

Para os mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), foram utilizadas as mesmas imagens do mapa termal, no entanto, para obter a reflectância da superfície e chegar a um valor de NDVI, foi necessário realizar a seguinte equação:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

(Equação 4)

Onde:

NIR= Infravermelho Próximo.

R= Vermelho.

Para as imagens do *Landsat 5* (1986) as bandas utilizadas nesta equação foram as B3 (R) e B4 (NIR). Já para a imagem do *Landsat 8* foram utilizadas as bandas B4 (R) e B5 (NIR), estas duas bandas espectrais são utilizadas por apresentar maior sensibilidade a absorção de clorofila nas folhas da vegetação e na densidade da vegetação na superfície (ALMEIDA *et al.*, 2015).

O NDVI é o produto da diferença entre a reflectância do infravermelho próximo e a reflectância no visível, gerando valores que variam de -1 a 1. Após o processamento das imagens, foi aplicado uma paleta de cores para representar os valores refletidos pela superfície, sendo os tons avermelhados para valores negativos representando corpos d'água, áreas construídas, pastos ou vegetações em condições não saudáveis, e os tons esverdeados para valores positivos representando vegetação saudável.

Em termos gerais, o NDVI, é um índice que permite mensurar o verde e a densidade de vegetação, capturada por uma imagem de satélite. Uma vegetação

saudável e robusta tem como curva uma reflexão espectral muito particular, quando comparado a uma vegetação em condições de stress hídrico.

Todavia, existem também limites no uso desta técnica, que não devem ser ignoradas. Como o fenômeno da saturação, que ocorre, quando a quantidade de pigmentos foliares atinge um ponto crítico, diminuindo a sensibilidade do NDVI. E um segundo ponto a destacar, é que em períodos de estiagem, o solo exposto ou afloramento rochoso, apresentam valores muito similares a de uma vegetação em stress hídrico, aumentando a área de abrangência de NDVI mais baixo no inverno, que se confundiu com o meio urbano.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

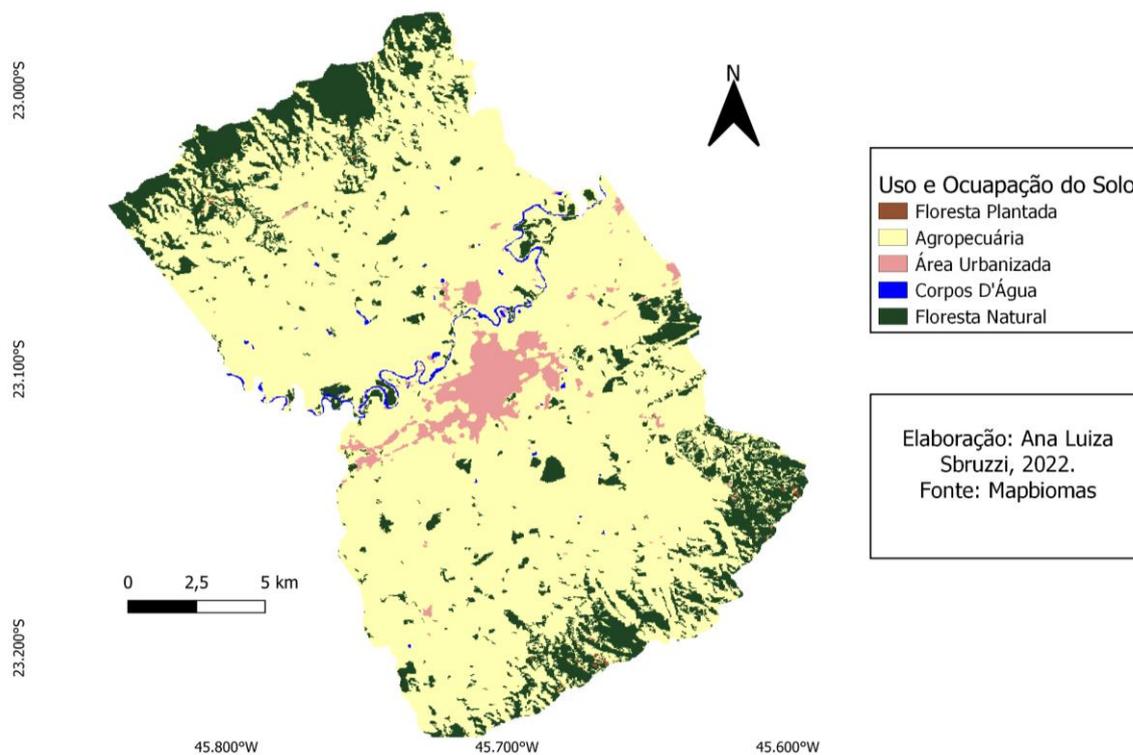
4.1 Uso e Cobertura da terra no município de Caçapava para os anos de 1985 e 2021

No primeiro mapa (Figura 9) é possível observar que o principal uso da terra em 1985 era destinado à agropecuária. A área urbana se concentrava no centro do município, próximo às margens do Rio Paraíba do Sul, e no entorno da Rodovia Presidente Dutra, visto que a facilidade do fluxo da rodovia foi um dos principais fatores para o desenvolvimento dos municípios dessa região que liga as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, uma vez que se tornou mais viável circular pela região, além de promover uma melhor condição de vida a partir da economia que vinha se desenvolvendo na mesma.

No mapa referente ao ano de 2021 (Figura 10), é possível ver como se deu o desenvolvimento do uso e ocupação da terra no município de Caçapava no intervalo de 36 anos. É possível analisar um aumento significativo em florestas plantadas sobretudo nas regiões próximas ao limite do município, além de um aumento no volume do corpo d'água do Paraíba do Sul.

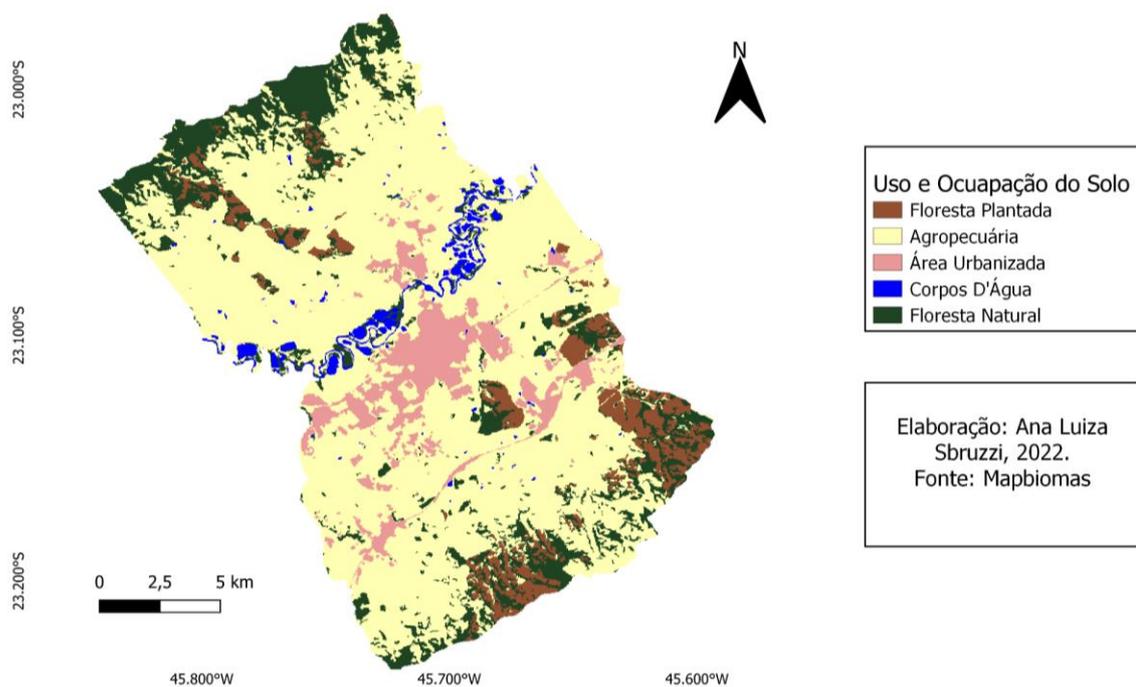
É possível observar também que além da expansão da mancha urbana central, também houve ampliação de área urbanizada para regiões mais externas do centro, devido ao crescimento populacional que ocorreu no município, estimado em 35 mil habitantes (Figura 6). No entanto, a atividade da agropecuária continuou sendo responsável pela predominância no uso e ocupação da terra em Caçapava.

Figura 9 - Mapa de Uso e Ocupação da terra no município de Caçapava - SP no ano de 1985



Fonte: Autora

Figura 10 - Mapa de Uso e Ocupação da terra no município de Caçapava - SP no ano de 2021.



Fonte: Autor

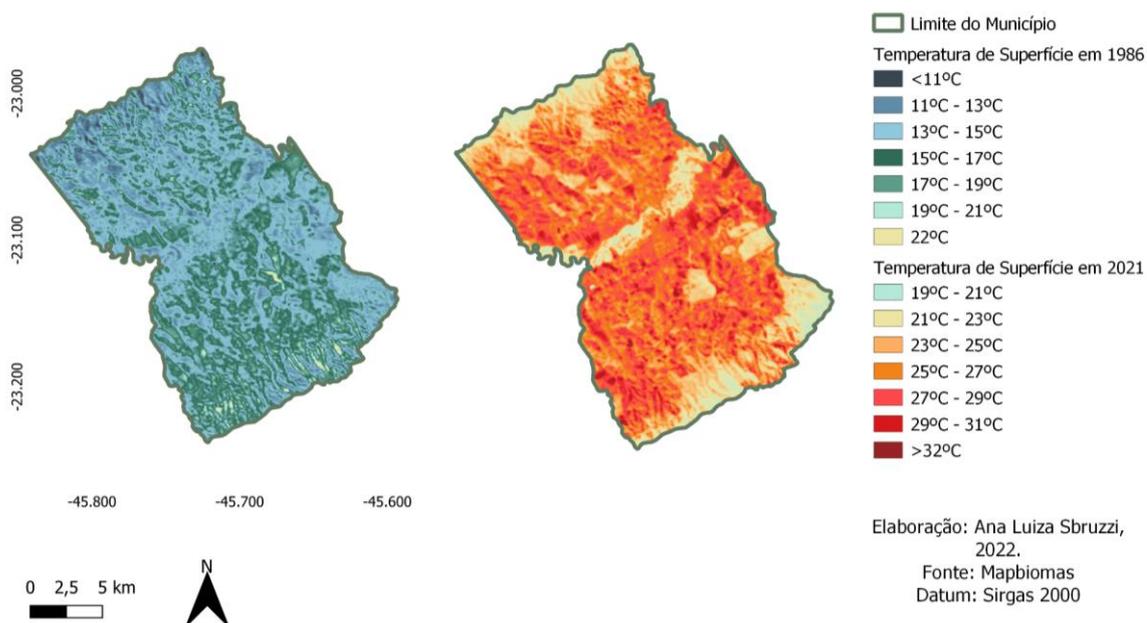
A região mais desenvolvida da cidade encontra-se localizada principalmente no entorno da Rodovia Presidente Dutra, conforme podemos observar nas figuras 9 e 10.

Ainda sobre a transformação da paisagem de Caçapava, segundo Borsoi (2008) a Lei Municipal Complementar nº 254, a qual deveria atender entre outros, os pressupostos da preservação e conservação do meio ambiente principalmente em APP, não está sendo cumprida, tanto pelos órgãos públicos, o qual seria o principal agente de fiscalização e também pelo setor privado, representado pelos construtores e loteadores. Verificou-se, o mesmo autor, que apesar da vigência da lei 4771/65, as APP foram ocupadas de forma indiscriminada. Este fato é devido à falta de fiscalização em fazer cumprir a lei, permitindo que os interesses econômicos dos proprietários de terra e dos grandes agentes imobiliários prevaleçam sobre os interesses sócio-ambiental.

4.2 Temperatura de superfície e NDVI no município de Caçapava para os anos de 1986 e 2021

A discrepância de temperatura entre o ano de 1986 e 2021, se deve a mudanças no uso e cobertura da terra, como por exemplo, a temperatura máxima de 1986 se encontra como uma das mínimas em 2021, representando um aumento de 45,4% na temperatura de superfície do município (Figura 11).

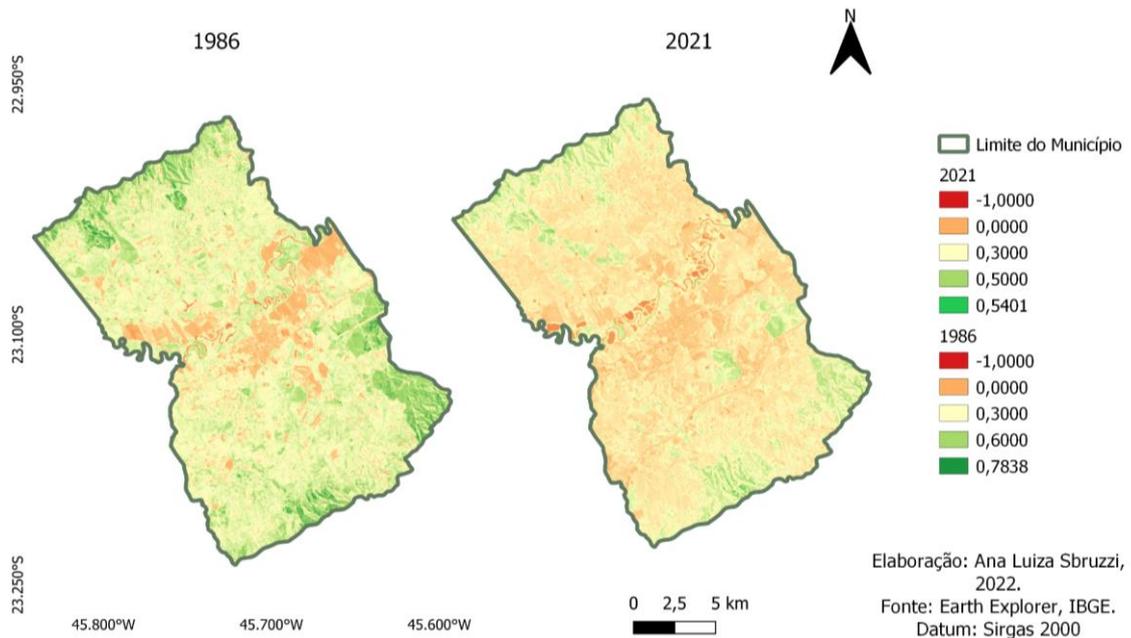
Figura 11 - Temperatura de Superfície no município de Caçapava - SP nos anos de 1986 e 2021



Fonte: Autor

Ademais, também é importante ressaltar um aumento significativo de florestas plantadas no município em relação aos anos de 1986 e 2021, o que é um recurso relevante para mitigar o aquecimento atmosférico, uma vez que a vegetação é capaz que equilibrar o CO₂ presente na atmosfera, gás responsável pelo aquecimento exorbitante na atmosfera, além de ser o principal agravador do aquecimento global (IPCC, 2014;2021). É possível realizar essa análise ao comparar os mapas de uso e ocupação da terra juntamente com o mapa termal e NDVI (Figura 12), uma vez que as regiões mais florestadas apresentam uma temperatura superficial mais amena.

Figura 12 - NDVI no município de Caçapava - SP nos anos de 1986 e 2021



Fonte: Autora.

As áreas onde possuem ocupação de florestas naturais ou plantadas, e corpos d'água são as áreas com menores temperaturas superficiais (Figura 9 e 10). Esse comportamento é influenciado devido ao menor índice de radiância em relação a áreas urbanizadas, ou seja, essas áreas refletem menos radiação solar gerando menos aquecimento superficial e consequente atmosférico.

Desta forma, é possível constatar que os problemas atrelados ao aumento da temperatura presente na atmosfera terrestre gerando consequentemente as Ilhas de Calor, é um problema recorrente nos municípios dessa região, visto que todos sofreram processos de urbanização, mesmo que de forma desproporcional, parecidos diante do contexto econômico do Vale do Paraíba.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que foi exposto, é possível constatar que o município de Caçapava está localizado em uma região vivenciando um processo de industrialização e urbanização, resultando em uma expansão urbana. A partir disso, é possível analisar que tais processos desencadearam fenômenos climatológicos, como o aumento da temperatura de superfície.

É possível que esse aumento de temperatura se deu principalmente na região central onde o aglomerado urbano é mais intenso, uma vez que a estrutura urbana possui um maior índice de reflectância de calor, gerando as chamadas Ilhas de Calor Urbano (ICU), dinâmica relativa ao uso e ocupação da terra das cidades.

Além disso, também é possível atestar que as áreas de vegetação mais densa são regiões que apresentam valores de temperaturas mais baixas, visto que a vegetação é um mitigador natural do aquecimento atmosférico, devido a sua capacidade de absorver gases que impulsionam o aumento da temperatura superficial terrestre.

Além do mais, as técnicas do sensoriamento remoto se mostram indispensáveis para entender a dinâmica existente da superfície terrestre, uma vez que é possível desencadear uma série de análises que explicam um determinado fenômeno. Como exposto neste estudo, através do processamento de imagens de satélites, foi possível obter dados acerca da temperatura superficial do município de Caçapava dos anos de 1986 e 2021 e a partir disso, realizar uma análise comparativa entre os anos, podendo concluir o aumento da temperatura superficial. Também foi possível produzir mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e verificar, que as regiões mais florestadas apresentam a temperatura superficial menos elevadas.

Sendo assim, a partir do presente estudo, é necessário complementar a importância da atenção de gestões públicas para essa questão, visto que esse fenômeno vem impactando o clima urbano da cidade de uma forma significativa, podendo acarretar diversos problemas relacionados a saúde pública e ambientais na região. Além disso, faz-se necessário planos de ação com a finalidade de amenizar o avanço do aumento da temperatura, e mitigar as consequências já estabelecidas por

consequência da mesma, além da fiscalização para que tais ações sejam de fato executadas com excelência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. J. P.; GUIMARÃES JR., S. A. M.; ANDRADE, E. L.; FERREIRA NETO, J. V. Relação entre o Índice de Vegetação e a temperatura de superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió - AL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17, **Anais...**, João Pessoa - PB, p. 2047 - 2054, 2015.

AMORIM, M. C. C; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNANETO, J. L. Características das Ilhas de Calor em Cidades de Porte Médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, São Paulo, n. 7, 2009.

BITTENCOURT, Luis F. F. **Análise Sócio-ambiental da Ocupação Urbana da Área de Preservação Permanente do Rio Paraíba do Sul no Município de Caçapava - SP**. Universidade de Taubaté, 2008.

BORSOI, V. **Análise multitemporal da dinâmica da expansão urbana em áreas de proteção permanente no município de Caçapava-SP**. Relatório final de projeto de iniciação científica, 2008. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm21c/2020/07.30.13.06/doc/Vanessa%20Borsoi.pdf> . Acesso em 4 nov. 2022.

FERNANDES, L. A; BRANDÃO, L. P; FIALHO, E. S. The Relationship between the Geoecological and Anthropic Aspects for the Conformation of the Urban Climate of Viçosa - MG in the Synotic Situation of Stability in 2015. **Climate**, New York - EUA, v. 5, n. 2, p. 1 - 10, 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2225-1154/5/2/35>>.

FIALHO, E. S; FERNANDES, L. A.; CORREA, W. S. C. Climatologia Urbana: Conceitos, Metodologias e Técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados-MS, Ano 15 – Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – JUN 2019

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

FIALHO, E. S; SANTOS, Larissa G. F. A Climatologia Urbana e o Uso do Sensoriamento Remoto: um estudo de caso em uma cidade de pequeno porte em clima tropical de altitude. **Geografia**, Rio Claro-SP, v.46, n.1, 2021.

FIALHO, E. S; PRADO, L. B; SANTOS, L. G. F. O Sensoriamento Remoto e o Clima Urbano: uma perspectiva de investigação através do campo térmico de superfície, na área central do município de Viçosa - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 16, v. 27, jul/dez 2020.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Setembro, 2005.

LUCENA, Andrews. **Uma análise de técnicas nos estudos de Clima Urbano para a região metropolitana do Rio de Janeiro**. Geo UERJ, [S.l.], n. 34, p. e40954, abr. 2019. ISSN 1981-9021

MELLO-THÉRY, N. A., CAVICCHIOLI, A., CALDAS, E. L. Iniciativas e ações públicas para mitigação da ilha de calor urbana em cidades médias: o caso de Jacareí-SP. **Espaço e Economia** [Online], 21 | 2021. Disponível em: <https://journals.openedition.org/espacoeconomia/18780>. Acesso em 4 nov. 2022.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima urbano**. Tese de Livre Docência. 219f. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.abclima.ggf.br/arquivos/obrasclimatologia/29/TEORIA%20E%20CLIMA%20URBANO_LD_1975.pdf>. Acesso em 5 nov. 2022.

PACHECO, R. C. Avaliação das características termiais superficiais do município de Jacareí por meio de geotecnologias. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte-MG, v.31, n.64, p. 192- 207, 2021.

SEZERINO, M. L., MONTEIRO, C. A. F. O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. Geosul, Florianópolis, v.5, n.9, p. 20-60, 1990

STEFFEN, C. A. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016.

VIEIRA, Edson T. **Industrialização e políticas de desenvolvimento regional: o Vale do Paraíba paulista na segunda metade do século XX**. Universidade de São Paulo: São Paulo, 2009.