



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Presidente Prudente

WILLIAM MIYAKAVA

**Análise das Ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) e a vegetação como instrumento
mitigatório**

Presidente Prudente

2023

WILLIAM MIYAKAVA

**Análise das Ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) e a vegetação como instrumento
mitigatório**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Geografia da Faculdade
de Ciências e Tecnologia da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Câmpus de Presidente Prudente.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Margarete Cristiane de
Costa Trindade Amorim

Presidente Prudente

2023

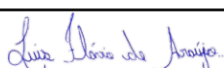
M685a	Miyakava, William Análise das Ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) e a vegetação como instrumento mitigatório / William Miyakava. -- Presidente Prudente, 2023 91 p. : il., tabs., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim 1. Clima urbano. 2. Ilhas de calor urbana. 3. Ritmo climático. 4. Cobertura vegetal. 5. Sensoriamento remoto. I. Título.
-------	--

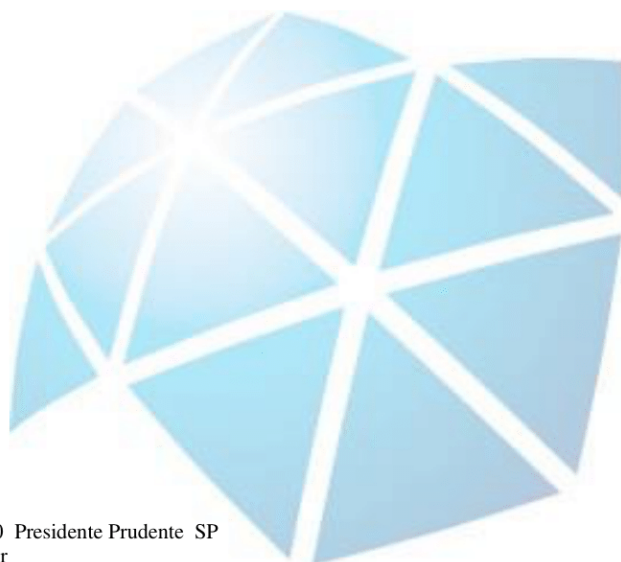
Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE GRADUAÇÃO

Aos 16, do mês de fevereiro de 2023, foi defendido pelo/a estudante **William Miyakava** o Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Bacharelado em Geografia, intitulado **"Análise das Ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) e a vegetação como instrumento mitigatório"**, tendo como nota final a média das notas dos três componentes da banca examinadora, conforme discriminado abaixo:

Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim (Orientador/a)		9,5
Profa. Dra. Danielle Cardozo Frasca Teixeira		9,5
Ms. Luis Flávio de Araújo		9,5
Média Final	9,5	



À minha família e amigos que me incentivaram
e me deram todo o apoio para que eu pudesse
alcançar todos os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Escrever para todos os momentos vividos e pessoas que passaram por essa trajetória é muito difícil, se não impossível de se realizar. Esta parte da monografia foi a escrita mais fluida que tive, afinal, me fez lembrar que nunca caminhamos sozinhos em busca de nossos sonhos, mas que suas materializações cabem a cada um de nós. E o limite sempre se torna suportável se partilharmos as conquistas e angústias junto àqueles que nos fazem bem.

Este trabalho representa a finalização uma trajetória, para assim dar início a outra(s). Dessa forma, não posso deixar de expressar meus agradecimentos:

À minha família, que sempre me apoiou e fez morada no meu coração, mesmo longe durante longos 6 anos de graduação. À minha mãe Nayr, por me dar a vida. Ao meu pai Helio, por nunca me deixar sozinho. Vocês me ensinaram a ser forte e correr atrás de todos os meus sonhos, enquanto davam todo o suporte necessário para tal. À minha irmã Paula, por sempre estar junto comigo, desde nossa infância até os dias atuais. Meu sincero obrigado...

À Ziza e Diego, grandes professores de Geografia do meu ensino médio. Sem vocês eu não teria me apaixonado por essa ciência que me move todos os dias, e que através das vivências, aprendi a amá-la com o passar do tempo. Carrego através de suas aulas o amor em ensinar e a esperança de um mundo melhor, através das lentes geográficas. Jamais esquecerei dos “aulões” aos fins de semana na praça Victor Civita para a preparação do vestibular e todas as conversas que me tranquilizaram durante este processo...

À espiritualidade por ter me guiado até onde me encontro e me ensinar a ser uma melhor pessoa, junto à oportunidade de acordar todo dia e fazer diferente. Nela aprendi a me cuidar e ter força para vencer as batalhas do dia a dia. Compreendi que devemos ter paciência, e que o tempo e a fé movem muito mais do que montanhas. Através dela pude enxergar minha força e acreditar nos meus sonhos. Ao Ilê Asé Ogum Mege Oni Irê Alaketu – AEU Ogum Mege Pai Joaquim de Aruanda e minha família de Axé, meu sincero obrigado, pelo acolhimento e por ser meu refúgio em meio a tantas preocupações e demandas do dia a dia.

A meus amigos, minha família que eu criei laços em Prudente ao longo destes anos de caminhada, agradeço por terem feito minha estadia mais leve e feliz. Àquele que fiz morada, que esteve comigo desde o primeiro dia de graduação, Jota, muito obrigado por sempre estar do meu lado nas mais diversas situações que passamos até aqui.

Aquela que admiro muito e nunca negou ajuda quando mais precisei, Carolina Simon, agradeço por ter compartilhado os saberes e me tranquilizar durante diversos momentos da graduação e vida cotidiana.

À dupla que ajudou a tornar a pandemia mais humana, Daiane e Giuliana, não tenho palavras para descrever nossa amizade. Agradeço por todos os rolês, viagens, conversas, jantas e as boas taças de vinho. Tenho muito orgulho da caminhada de cada uma e adoro tê-las por perto!

À Jaqueline, minha irmã e amiga, muito obrigado por me fazer companhia nesses últimos tempos. Sua energia é contagiante, sua risada cura qualquer frustração, medo e tristeza. Basta um olhar, uma expressão para nos entendermos, que no fim, sempre acaba em um prazeroso sorriso.

À Bia, por estar presente em minha vida mesmo tão distante. Me orgulho muito de sua caminhada e adoro ver como nossas conversas fluem do mesmo jeito que 2014. Você é incrível e vai ganhar o mundo!

À Bateria Furiosa, por ser minha morada durante a graduação. Nela eu pude crescer, amadurecer, aprender, ensinar, viajar, conhecer pessoas novas e estreitar relações com aquelas que jamais imaginei um dia estar junto. Agradeço por ter me ensinado tanto, que este espaço seja cada vez mais presente dentro da Universidade. Em especial ao meu naipe do coração, Tamborim, não poderia deixar de agradecer por toda parceria e “tirações de onda” que deixaram minha caminhada mais leve. Eternizar a estrela dourada em nossa polo junto ao estandarte de Tamborim de Ouro definitivamente foi um dos momentos mais marcantes durante toda essa trajetória. “Tamborim é assim!”.

À Margarete, por ter me ensinado, escutado, orientado e principalmente acalmado meu coração durante todo este percurso, meu sincero agradecimento. Através das oportunidades concebidas fui criando coragem para adentrar o mundo acadêmico.

Ao Luís, pelos saberes compartilhados e por mostrar que o processo pode, e deve ser mais leve. Todas as conversas, desabafos, companhias no GAIA e reuniões foram fundamentais para a finalização deste trabalho, tal qual para adentrar ao Mestrado em Geografia.

Ao Grupo de Pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA), por ter sido e ser minha morada durante o trajeto da pesquisa. Todos os saberes compartilhados, cafés, estudos, e convivência me ensinam a levar o meio acadêmico de uma forma mais prazerosa e menos maçante.

Às funcionárias e funcionários contratados e terceirizados que mantêm a UNESP limpa, oxigenada e agradável, meu sincero agradecimento. Sem vocês a Universidade, a comunidade acadêmica e externa não funcionaria.

Por fim, à todas e todos que não pude expressar em palavras neste agradecimento, mas que contribuíram e tornaram possível a realização de um sonho e a conclusão de mais uma etapa que estará sempre em minhas memórias.

O presente trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPe) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), editais nº 04/2021 e 04/2022.

*Exu matou um pássaro ontem
com uma pedra que só jogou hoje.*

(Ditado Iorubá)

RESUMO

A interferência humana materializada a partir das diversas relações nos espaços urbanos e rurais proporcionam alterações na paisagem, podendo ser sazonais ou permanentes. A transformação da natureza em meio à necessidade humana é indissociável, ocorrendo concomitantemente à expansão territorial urbana, sendo capaz de produzir climas urbanos. Fatores como a impermeabilização massiva do solo, retirada de cobertura vegetal original combinada com as características físicas dos materiais construtivos encontrados nas cidades resultam em alterações dos elementos climáticos como a temperatura do ar. Tais modificações se espacializam mais expressivamente na escala local, sendo responsável pela compreensão da forma de organização do clima devido a sua proximidade com a superfície alterada. Como produto dessas modificações, geram-se as ilhas de calor, afetando diretamente o conforto térmico e a saúde dos cidadãos. Desta forma, o estudo do clima urbano ambiciona fornecer subsídios ao planejamento territorial das cidades, ao tornar-se capaz de responder as indagações e necessidades da sociedade, visto que o mesmo não é sentido da mesma maneira para as distintas classes sociais. O presente trabalho teve como objetivo analisar a ocorrência de ilhas de calor superficiais diurnas e a intensidade e magnitude das ilhas de calor atmosféricas a partir de três pontos com características distintas de cobertura da terra em Presidente Prudente - SP, sendo duas áreas urbanas (uma densamente construída e outra com vegetação-agrofloresta) e um ponto representativo do rural. Para o atendimento da proposta fez-se o uso da contextualização física e histórica da área de estudo; da espacialização e correlação das temperaturas superficiais e o índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em função dos sistemas atmosféricos atuantes; da análise da ilha de calor atmosférica em meses representativos da estação chuvosa e seca e sua relação com o ritmo climático; da análise do perfil de uso e ocupação da terra no aspecto vegetativo baseada na proposta das Zonas Climáticas Locais (STEWART, 2011). Os resultados obtidos evidenciaram que a precipitação, tal qual os sistemas atmosféricos atuantes, influenciam diretamente na temperatura superficial e do ar. O predomínio da estiagem ocasionou temperaturas de superfície elevadas no entorno rural e uma grande proximidade ao ambiente construído, devido à diminuição da biomassa. Em contrapartida, durante o predomínio de precipitação as temperaturas do intraurbano se elevaram se comparadas ao rural. No que tange as ilhas de calor atmosféricas, as maiores temperaturas foram registradas sob atuação de sistemas estáveis, enquanto sob sistemas instáveis houve certa homogeneização no intraurbano e rural. Em um panorama geral, as áreas mais aquecidas relacionam-se às parcelas de solo descobertos ou com predomínio de pastagens, enquanto as menores temperaturas correspondem às áreas de adensamento vegetativo. Por fim verificou-se também a extrema importância da vegetação como papel mitigador das ilhas de calor, atuando na amenização das altas temperaturas, atmosféricas e superficiais, ao proporcionar uma maior evapotranspiração, diminuindo o calor sensível, e o sombreamento dos raios solares apropriado ao solo, mantendo a umidade e dificultando o armazenamento de calor pelos materiais urbanos.

Palavras-chave: Clima urbano; Ilhas de calor urbana; Ritmo climático; Cobertura vegetal; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Human interference materialized from the various relationships in urban and rural spaces provide changes in the landscape, which may be seasonal or permanent. The transformation of nature in the midst of human needs is inseparable, occurring concomitantly with the urban territorial expansion, being able to produce urban climates. Factors such as massive soil sealing, removal of original vegetation cover combined with the physical characteristics of construction materials found in cities result in changes in climate elements such as air temperature. Such modifications are spatialized more expressively at the local scale, being responsible for the understanding of the form of organization of the climate due to its proximity to the altered surface. As a product of these changes, heat islands are generated, directly affecting the thermal comfort and health of city dwellers. In this way, the study of urban climate aims to provide subsidies to the territorial planning of cities, by becoming able to respond to the questions and needs of society, since the same is not felt in the same way for the different social classes. The present work aimed to analyze the occurrence of diurnal surface heat islands and the intensity and magnitude of atmospheric heat islands from three points with different characteristics of land cover in Presidente Prudente - SP, being two urban areas (one densely built and another with vegetation-agroforestry) and a point representative of rural. For the fulfillment of the proposal it was made the use of the physical and historical contextualization of the study area; of the spatialization and correlation of the surface temperatures and the Normalized Difference Vegetation Index - NDVI in function of the acting atmospheric systems; of the analysis of the atmospheric heat island in representative months of the rainy and dry season and its relation with the climatic rhythm; of the analysis of the land use and occupation profile in the vegetative aspect based on the proposal of the Local Climate Zones (STEWART, 2011). The results obtained showed that precipitation, like the acting atmospheric systems, directly influence the surface and air temperature. The predominance of drought caused high surface temperatures in the rural surroundings and a great proximity to the built environment, due to the decrease in biomass. On the other hand, during the predominance of precipitation, intra-urban temperatures increased compared to rural areas. Regarding the atmospheric heat islands, the highest temperatures were recorded under the action of stable systems, while under unstable systems there was some homogenization in the intraurban and rural areas. In a general overview, the warmest areas are related to plots of bare ground or with a predominance of pastures, while the lowest temperatures correspond to areas of vegetative densification. Finally, the extreme importance of vegetation as a mitigating role of heat islands was also verified, acting in the mitigation of high atmospheric and surface temperatures, by providing greater evapotranspiration, reducing the sensible heat, and the shading of solar rays appropriate to the soil, maintaining the humidity and hindering the storage of heat by urban materials.

Keywords: Urban climate; Urban heat islands; Climate rhythm; Vegetation cover; Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Entradas, caracterização e ocorrências dentro do Sistema Clima Urbano e sua integração com a sociedade _____	24
Figura 2 – Potenciais Zonas Climáticas Locais (LCZ) em Presidente Prudente _____	39
Figura 3 - Localização do município de Presidente Prudente no Estado de São Paulo _____	40
Figura 4 - As massas de ar na América do Sul no período do inverno _____	45
Figura 5 - As massas de ar na América do Sul no período do verão _____	45
Figura 6 - Trajetos das massas de ar que atingem o oeste paulista _____	47
Figura 7: Fluxograma do objetivo geral da pesquisa e etapas realizadas para sua obtenção _____	49
Figura 8 - Abrigo meteorológico (RS3 – Hobo) com registrador de temperatura e umidade – data logger (U23-002) Hobo _____	54
Figura 9 - Localização dos pontos fixos de medição atmosférica e da Mata do Furquim no município de Presidente Prudente (SP) _____	57
Figura 10 – Localização e caracterização da área referente ao sensor automático inserido no ponto rural _____	58
Figura 11 - Localização e caracterização da área referente ao sensor automático inserido no intraurbano (Sistema Agroflorestal) _____	59
Figura 12 - Área de cultivo agroflorestal urbano em Presidente Prudente (SP) _____	60
Figura 13 - Localização e caracterização da área referente ao sensor automático inserido no intraurbano (Bairro Santa Helena – Presidente Prudente) _____	61

LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1 - Distribuição sazonal e espacial da intensidade da ilha de calor de superfície e NDVI para Presidente Prudente (2021) _____	69
Prancha 2 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Fevereiro de 2021 _____	72
Prancha 3 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Março de 2021 _____	74
Prancha 4 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Julho de 2021 _____	76
Prancha 5 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Agosto de 2021 _____	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades radioativas de materiais urbanos	29
Tabela 2 - Propriedades radioativas de materiais rurais	29
Tabela 3 - Sistema de Geração de Produtos Landsat	50
Tabela 4 - Magnitude da ilha de calor de acordo com sua intensidade	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CGA - Circulação Geral da Atmosfera

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

FAO – Food and Agriculture Organization

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilhas de Calor Urbanas

ICU_{ATM} – Ilhas de Calor Urbanas Atmosféricas

ICU_{SUP} – Ilhas de Calor Urbanas Superficiais

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LCZ – Local Climate Zones

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NDVI – índice de Vegetação por Diferença Normalizada

PANC – Plantas Alimentícias Não Convencionais

PUC – Potenciais Unidades Climáticas

SAF - Sistemas Agroflorestais

SCU - Sistema Clima Urbano

TGS – Teoria Geral dos Sistemas

UBL – Urban Boundary Layer

UCL – Urban Canopy Layer

UR – Umidade Relativa do Ar

USGS – United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. O CLIMA URBANO	22
2.1 Ilhas de calor urbanas.....	25
2.2 Sensoriamento remoto aplicado ao clima urbano	31
2.2 Vegetação como instrumento mitigador às Ilhas de calor	35
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40
3.1 Formação histórica de Presidente Prudente	42
3.2 O clima em Presidente Prudente	43
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
4.1 Coleta e processamento dos dados de sensoriamento remoto.....	49
4.2 Coleta e processamento dos dados associados à atmosfera	53
4.2.1 Caracterização dos pontos fixos	56
4.3 Perfil de uso e ocupação da terra.....	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
5.1 Ilhas de calor superficiais.....	65
5.2 Ilhas de calor atmosféricas	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS	83

1. INTRODUÇÃO

As complexas relações do processo de urbanização no Brasil apontadas por Santos (1994), demonstram que os núcleos urbanos refletem as contradições inerentes ao processo capitalista de produção do espaço, favorecendo a lógica do capital imobiliário e resultando na segregação socioespacial junto à exclusão de grande parte de sua população. Corrêa (2006), na mesma direção, afirma que a diferenciação socioespacial é um processo intrínseco ao capitalismo.

Santos (2006) nos ajuda a compreender a cidade ao contribuir para os estudos do espaço geográfico, este sendo um conjunto indissociável do sistema de objetos e ações, inerente aos fixos e fluxos, que, ao estabelecerem constantes relações, nos permitem enxergar o espaço urbano à sua articulação e fragmentação, assim como seus produtos e meios.

Tal conjunto manifesta-se essencialmente complexo e desigual, tal qual o meio em que o compõe, podendo ser estes os elementos ambientais, como os elementos climáticos e a dinamicidade da atmosfera, interferindo diretamente na vida dos cidadãos. Desta forma, as cidades se consolidam sob um sistema desigual que abarca não somente o fator social, mas também o ambiental.

As alterações no ambiente natural resultantes do processo de urbanização acarretam novos elementos ou rearranjos, que de fato impactarão de forma concentrada o ser humano. O modelo de produção do espaço urbano a partir de sua expansão territorial foi marcada por rápidas e radicais alterações da paisagem natural, tais como a impermeabilização do solo, redução da vegetação, adensamento construtivo, emissão de poluentes na atmosfera, dentre outros fatores, que foram e são capazes de gerar alterações no clima local, criando um clima próprio para estas áreas, o clima urbano (MONTEIRO, 1976; AMORIM, 2000; 2020).

Monteiro (1976, p. 23) define o clima urbano como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, podendo ser entendido como o resultado da relação entre a sociedade e natureza. Oke (1978) complementa, afirmando que o clima urbano é resultante do processo de modificações na superfície e proximidades atmosféricas de um dado local, produzidos a partir de sua urbanização e atrelado às características urbanas e geoambientais.

À vista disso, os estudos sobre o clima urbano surgiram a partir da complexidade de interações que envolvem distintas realidades urbanas, onde se fez cada vez mais necessário pensar tais espaços como locais benéficos para a produção, reprodução e manutenção da vida em toda sua plenitude.

Monteiro (1976), a partir da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) e estudos da perspectiva dinâmica climática de Sorre (1951) e Pédelaborde (1957), elaborou a proposta teórica e metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU), nos permitindo investigar a cidade como um sistema aberto sob uma perspectiva integradora, que propõe a adoção de uma concepção dinâmica dirigida através do ritmo de sucessão habitual dos estados atmosféricos atuantes sobre as cidades. Desta forma, a cidade é analisada como um sistema aberto, dinâmico e integrador, diferenciando-se dos propósitos exclusivamente meteorológicos da climatologia tradicional (OKE, 1978; BRYSON, 1972; LANDSBERG, 1981).

A concepção e construção da climatologia dinâmica não exclui a climatologia tradicional, e sim a complementa ao introduzir materiais, métodos e perspectivas de análise que sejam capazes de responder as indagações e necessidades da sociedade, como nos remete Sant'Anna Neto (2001) a partir da Geografia do Clima.

Para estruturar a análise do clima e dos diferentes tipos de tempo no espaço urbano, fundamentando seu ritmo, adotou-se a análise das dinâmicas atmosféricas por meio do ritmo climático proposto por Monteiro (1971). A relevância de reconhecer e identificar os tipos de tempo por meio da análise rítmica, revela-se através da gênese dos fenômenos climáticos que habitualmente relacionam-se em caráter cronologicamente diário no cotidiano social, permitindo o intercâmbio dos elementos climáticos e fatores geográficos do clima dentro de uma realidade regional (ALEIXO, 2014).

É justamente nas escalas inferiores, isto é, no local e regional, que há a compreensão da forma de organização do clima urbano, pois segundo Sant'Anna Neto (2013), tais camadas são mais complexas do que a escala global, devido ao fato destas serem a combinação da circulação geral da atmosfera junto à circulação secundária.

Desta forma, se evita tamanha homogeneização dos elementos, constituindo-se como as camadas mais importantes de análise climática, sendo importante para a compreensão dos fatores que influenciam diretamente a vida dos cidadãos, tal qual a questão do conforto térmico e suas repercussões causadas pelo processo de uso e ocupação da terra devido à urbanização, acarretando o fenômeno das ilhas de calor urbanas (ICU), que por definição são:

[...] bolsões de ar quente registrados nos ambientes urbanos decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais encontrados na superfície de armazenar e refletir a energia solar e da produção do calor antropogênico. Resultam das diferenças no balanço de energia entre a área urbana e rural, além das diferenças existentes no interior da própria cidade (AMORIM, 2019, p. 25).

A ICU tem influência sobre a qualidade de vida da população ao interferir diretamente no conforto e saúde dos indivíduos devido aos problemas relacionados com a temperatura, como estresse térmico, problemas de saúde relacionados à qualidade do ar que resulta em sérios efeitos sobre a mortalidade local e o modo que os mesmos se apresentam perante a exposição a tais fatores climáticos desiguais (AMORIM, 2010; GARTLAND, 2010)

Assim, a interação entre o clima-sociedade não é percebida da mesma forma para todos, pois nas palavras de Sant'Anna Neto (2012, p. 36), “[...] espaços desiguais potencializam efeitos do clima igualmente desiguais. Nesta perspectiva temos que admitir que o clima é uma construção social”.

Esses espaços desiguais e, conseqüentemente, a produção de um clima desigual, nos permite enxergar através das lentes da Geografia do Clima (SANT'ANNA NETO, 2001), entendendo que a vulnerabilidade climática advém dos riscos, estes tendo seus eixos pautados na origem natural, tecnológico e social, sendo a compreensão de como são sentidos nas distintas classes sociais e revelando a injustiça social aos eventos extremos (VEYRET, 2007).

Amorim (2000) nos aponta o caminho para se investigar as ilhas de calor ao trazer a comparação de dois pontos distintos, um urbano e um rural, de modo a averiguar a interferência urbana na temperatura da cidade. O ideal para os estudos das alterações da atmosfera devido à urbanização seria trabalhar com dados meteorológicos de séries temporais que precedem a existência das cidades, o que não é possível, visto que o registro de dados não era uma prática existente neste período, portanto, o entorno rural próximo é utilizado nas comparações, sendo considerado menos alterado em relação à paisagem original do que as cidades (AMORIM, 2020).

Os estudos de Oke (1978) e Fernández García (1995) indicam que a intensidade e magnitude das ICU devem ser calculadas a partir das diferenças das temperaturas registradas simultaneamente no urbano e rural. Na mesma perspectiva, Gartland (2010) e Amorim (2020) mostram metodologias que viabilizam o monitoramento e análise das ICU.

As ilhas de calor se categorizam em quatro tipos distintos em função da camada em que se encontram, apresentadas em Oke *et al.* (2017): ICU subsuperficial; ICU superficial, utilizando técnicas de sensoriamento remoto (SR) para obtenção dos dados, ICU atmosférica, dividida entre a camada inferior e a superior, aferindo a temperatura do ar. O presente trabalho visa fornecer análises que se referem à ilha de calor urbana superficial e da atmosfera inferior.

Por mais que os estudos sobre ilhas de calor de superfície sejam menos comuns no Brasil, o número de trabalhos está aumentando (AMORIM, 2020), muito por conta da

disseminação do uso das geotecnologias e do sensoriamento remoto, que possibilitam novas análises sobre a superfície terrestre e suas interações.

Porém a ciência do sensoriamento remoto tem suas limitações, pois ela por si só não consegue fornecer todos os dados e informações necessárias para as pesquisas nas diferentes áreas do conhecimento, provendo somente alguma informação espacial, espectral e de valor que integre e nos dê um caminho para realizá-la por completo (JENSEN, 2009).

Partiu-se da necessidade então de compor tal estudo a partir do coleta e tratamento de dados remotos junto à coleta de dados *in loco*, com trabalhos de campo. Assim, evitou-se a monotonia de dados generalizados, ao coletar dados instantâneos de acordo com o fenômeno de interesse, o comportamento dos alvos e temperatura, mediante a presença ou não de vegetação disponível.

A partir de resultados obtidos apresentados em Lombardo (1985), Amorim (2000), Gartland (2010), afere-se que a característica do uso e ocupação da terra, tal qual a superfície urbana, são fatores determinantes na configuração da ilha de calor urbana. Através da implantação e manutenção de áreas verdes, aponta-se uma melhoria nos efeitos do clima urbano, considerando que “é principalmente sob altas temperaturas e baixa umidade que a arborização age eficientemente regulando as condições térmicas do ambiente” (GOMES; AMORIM, 2003, p. 104).

A ausência da vegetação somada a materiais artificiais padronizados que são utilizados interferem na dinâmica do clima em escala local. Sem a cobertura vegetal, a radiação incide de forma direta na superfície, seja nos materiais construtivos ou em solo nu, o que promove o armazenamento de calor excessivo, associado às condições do ar na atmosfera urbana, deflagrando problemas na saúde humana (LOMBARDO, 1985; GARTLAND, 2010).

Dentre as áreas verdes encontradas nas cidades, é recorrente a presença de espaços destinados à Agricultura Urbana, que de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO, 2009), oferece diversos benefícios para a dinâmica da cidade e sua população, ao favorecer a disponibilidade de alimentos de qualidade, gestão sustentável de recursos naturais, além de diminuir erosões e o aquecimento urbano, propiciando a criação de cidades resilientes.

Silva (2018; 2020) mostra que há benefícios para a qualidade do ambiente urbano e amenização de altas temperaturas superficiais e atmosféricas, por meio da inserção de áreas destinadas a agricultura urbana em meio a áreas densamente construídas. Em seu estudo realizado no ano de 2018, em Álvares Machado (SP), a temperatura do ar no período noturno

se mostrou menor em espaços de agricultura urbana em relação as áreas densamente construídas. Já na cidade de Florianópolis (SC), Silva (2020) aponta que as áreas de agricultura urbana e periurbana apresentaram até 8°C a menos de aquecimento superficial em comparação às áreas densamente ocupadas.

Portanto, os Sistemas Agroflorestais (SAF) ocupam um papel importante em escala local, constituindo-se de espaços de cultivo que tem como intuito reproduzir a dinâmica da floresta, sendo para Götsch (1996), uma tentativa onde se é possível imitar a natureza, criando um ambiente de sinergia para seu pleno desenvolvimento, ao contrário do setor agrícola, que desempenha papel adverso nesse processo, contribuindo para a intensificação das mudanças climáticas através dos gases causadores de efeito estufa liberados pelo desmatamento, pecuária e fertilizantes (BEDDINGTON *et al.*, 2012).

Para além de serem sistemas livres de agrotóxicos e garantir a disponibilidade diversa de alimentos, as agroflorestas também cumprem um papel fundamental na preservação e até mesmo na recuperação de solos degradados através do controle de erosão e da manutenção da fertilidade (RODRIGUEZ, 2015), contribuindo também para manutenção do ciclo hídrico, já que a água da chuva é incorporada no sistema por conta da presença de espécies arbóreas e de matéria orgânica (BEER *et al.*, 2003).

A importância de se analisar o conforto térmico mediante a ocorrência ou não das ICU reside no fato de que as áreas verdes da cidade devem proporcionar condições de bem-estar para a população, atuando como um condicionante fundamental no estudo das temperaturas urbanas, cujo estudo de Gartland (2010) comprovou ao demonstrar que as árvores cumprem um papel fundamental na diminuição da temperatura do ar e da intensidade das ilhas de calor, por conta do sombreamento que oferecem para as superfícies tal qual seu processo de evapotranspiração.

Considerando os impactos positivos oferecidos pela inserção e manutenção da vegetação no meio urbano para a mitigação de fenômenos climáticos junto à proposta da Geografia do Clima de Sant'Anna Neto (2001), buscou-se neste trabalho comprovar a hipótese de que a cobertura vegetal influencia positivamente na dinâmica do clima local.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo, analisar a ocorrência de ilhas de calor urbanas superficiais (ICU_{SUP}) diurnas e a intensidade e magnitude das ilhas de calor urbanas atmosféricas (ICU_{ATM}) a partir de três pontos com características distintas de cobertura da terra em Presidente Prudente(SP), sendo duas áreas urbanas (uma densamente construída e outra com vegetação-agrofloresta) e um ponto representativo do rural.

Além disso, buscou-se verificar a densidade vegetativa no contexto urbano e rural próximo, por meio da produção e interpretação das cartas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), relacionado a análise das características do tempo atmosférico no período de captura das imagens termais, de modo a compor a análise da vegetação e sua influência no clima local.

2. O CLIMA URBANO

O crescimento acelerado das cidades devido ao processo de urbanização pautada no capital imobiliário (SANTOS, 1994) e no planejamento urbano visando as hierarquias sociais (CORRÊA, 2006), em conjunto ao perfil construtivo e de uso de superfície da terra, ocasionam diversos problemas ambientais e climáticos através da transformação da paisagem natural, afetando riscos à qualidade de vida dos cidadãos.

Na mesma perspectiva, Mendonça (2011) remete grande parte dos problemas ambientais encontrados nas metrópoles ao desconsiderar o clima na elaboração do planejamento urbano ocidental. O trato dos problemas ambientais, para além dos fundamentos científicos, requer a tomada de medidas reparadoras de natureza administrativa, visto que “a qualidade de vida humana está diretamente relacionada com a interferência da obra do homem no meio natural urbano” (LOMBARDO, 1985, p. 16).

Tais problemas ambientais são originados através da retirada de cobertura vegetal original, impermeabilização da superfície, alteração no relevo e hidrografia, concentração e disposição das edificações, características dos materiais construtivos, entre outros.

Estas modificações condicionam a falta de arborização nas cidades, o remanejamento da drenagem urbana, os fluxos de ar no interior da cidade e de absorção e reflexão de radiação solar. Por outro lado, as atividades desempenhadas pela sociedade tangem à emissão de materiais particulados na atmosfera, fluxo de veículos e pessoas, geração de calor através dos condicionadores de ar e o uso da superfície no entorno urbano (AMORIM, 2020).

As relações de produção do espaço causam uma segunda natureza, a cidade. Santos (2006) em sua obra “A Natureza do Espaço” mostra a questão do espaço geográfico como um híbrido entre o social e o físico, sendo o resultado da conjugação do sistema de objetos e ações que nos permite transitar do passado ao futuro mediante o presente, e vice-versa. Para o autor, não há mais a existência da natureza primária, ou seja, a “*natura naturans*”, pois tudo se transforma em objeto, de modo que não existem mais ecossistemas naturais sem a influência e modificação da ação humana, resultando em uma natureza secundária.

A dominação da natureza pelo ser humano se dá a partir do processo de apropriação. Assim, “a natureza, destruída como tal, terá de ser reconstruída e reconstrói-se já num outro plano, a outro nível, o de uma natureza segunda: a cidade e o urbano” (LEFEBVRE, 1973, p. 15). O processo migratório do campo advindo do êxodo rural e das migrações entre cidades junto as elevadas taxas de reprodução têm provocado o crescimento urbano, resultando em uma

má administração e desconforto térmico que ultrapassa os limites de tolerância dos habitantes (LOMBARDO, 1985).

Desta forma, urge a necessidade de estudos que possam fornecer subsídios para a urbanização e seus problemas, fixando parâmetros físicos de um ambiente urbano mais compatível com a questão de qualidade de vida humana. As cidades apresentam características climáticas distintas se comparada aos ambientes rurais, sendo justificado pela densidade de urbanização, que tem a capacidade de alterar o clima local, variando de cidade para cidade em virtude do uso e ocupação da terra (LANDSBERG, 1981).

Entende-se o clima urbano como o resultado da relação entre a sociedade e natureza, a partir dos estudos de Monteiro (1976), em sua contribuição à Climatologia Geográfica Brasileira por meio da proposta teórica do Sistema Clima Urbano. Nela a cidade é analisada em uma perspectiva integradora e dinâmica a partir da sucessão habitual dos estados atmosféricos, ao buscar-se a mensuração do ar comprometido dentro da realidade do ambiente urbano.

É nesta perspectiva teórica, e consequentemente seus resultados, que a Climatologia dinâmica se diferencia da tradicional, ao analisar não somente os dados e médias por si só, mas integrá-los a perspectiva dinâmica da sociedade dentro de uma realidade vivida e percebida pelos distintos agentes em suas respectivas classes sociais. A Geografia climatológica deve atender, responder e mitigar os anseios da sociedade (SANT'ANNA NETO, 2011).

Partindo destes preceitos, Monteiro (1976) sugere que a análise do clima urbano se dê por meio de canais de percepção humana, dentro do SCU, englobando as entradas e ocorrências dentro do sistema. O autor aponta os canais do Conforto Térmico (Subsistema Termodinâmico), Qualidade do Ar (Subsistema Físico – Químico) e Meteoros de Impacto (Subsistema Hidrometeorológico), sistematizando as características presentes na atmosfera que interferem diretamente à vida cotidiana (Figura 1). Desta forma o ser humano é incluído dentro da problemática climática junto às questões naturais.

O canal do conforto térmico é o filtro perceptivo mais significativo, pois afeta a todos permanentemente, por englobar as componentes termodinâmicas expressadas através do calor, ventilação e umidade. A qualidade do ar, refere-se, entre outros fatores, à poluição do ar, que associada à outras formas de poluição (água, solo) torna-se uma das mais decisivas dentro da qualidade ambiental urbana. O impacto meteorológico agrupa todas as formas meteorológicas, hídricas, mecânicas e elétricas que através de suas intensidades são capazes de causar impactos na vida dos cidadãos (MONTEIRO, 1976).

Figura 1 – Entradas, caracterização e ocorrências dentro do Sistema Clima Urbano e sua integração com a sociedade

<i>Caracterização</i>	SUBSISTEMAS		
	Termodinâmico Conforto Térmico	Físico-Químico Qualidade do Ar	Hidrometeorológico Impacto Meteorológico
<i>Fonte</i>	atmosfera, radiação, circulação horizontal	atividade urbana, veículos automotores, indústrias, obras-limpas	atmosfera, estados especiais (desvios rítmicos)
<i>Trânsito no Sistema</i>	intercâmbio de operador e operando	de operando ao operador	do operador ao operando
<i>Mecanismo de ação</i>	transformação no sistema	difusão através do sistema	concentração no sistema
<i>Projeção</i>	interação núcleo e ambiente	do núcleo ao ambiente	do ambiente ao núcleo
<i>Desenvolvimento</i>	contínuo (permanente)	cumulativo (renovável)	episódio (eventual)
<i>Observação</i>	meteorológica especial (trabalho de campo)	sanitária e meteorológica especial	meteorológica hidrológica (trabalho de campo)
<i>Correlações disciplinares tecnológicas</i>	Bioclimatologia, Arquitetura, Urbanismo	Engenharia Sanitária	Engenharia Sanitária e infra-estrutura urbana
<i>Produtos</i>	"ilha de calor", ventilação, aumento de precipitação	poluição do ar	ataques à integridade urbana
<i>Efeitos diretos</i>	desconforto e redução do desempenho humano	problemas sanitários e doenças respiratórias, oftalmológicas, etc.	problemas de circulação e comunicação urbana
<i>Reciclagem adaptativa</i>	controle do uso do solo, tecnologia de conforto habitacional	vigilância e controle dos agentes de poluição	aperfeiçoamento da infra-estrutura urbana, regularização fluvial, uso do solo
<i>Responsabilidade</i>	natureza e homem	homem	natureza

Fonte: Monteiro (1976).

Desta forma, o clima urbano é produzido pela ação humana em contato com a natureza, gerando condições distintas revelado por meio de seus produtos, tal qual o conforto ou desconforto térmico e alterações na atmosfera na escala local. Atrai-se características da dinâmica da atmosfera com o uso da terra, resultando na produção e ocupação do espaço urbano.

Os elementos do clima podem ser modificados tanto por características naturais, quanto antrópicas, e seus produtos decorrentes espelham-se na geração das ICU e ilhas secas, desconforto térmico, inversões térmicas, inundações, alagamentos e a poluição do ar (MONTEIRO, 1976).

Dentre os três subsistemas do SCU, o termodinâmico carrega uma importante atenção dos estudos realizados no Brasil (MENDONÇA, 2015), devido aos produtos consequentes deste canal ter-se intensificado em consonância à urbanização no ambiente tropical. É nesta percepção humana do SCU que se baseia este trabalho, de modo a analisar as ICU_{ATM} e ICU_{SUP}.

2.1 Ilhas de calor urbanas

As cidades são responsáveis pela alteração no balanço de energia e balanço hídrico urbano, causadas pela retirada de vegetação original e os efeitos do uso e ocupação da terra perante o processo de urbanização. Tais alterações geram bolsões de ar quente decorrentes da capacidade diferenciada de armazenamento e reflectância de energia solar dos materiais encontrados na superfície, denominadas de Ilhas de Calor (AMORIM, 2010).

Monteiro (1976) remete o clima urbano ao resultado da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada limite urbana, que em conjunto com a natureza, são capazes de alterar o clima em escala local.

Oke (1978) mostrou que a característica mais importante da ilha de calor atmosférica é sua magnitude, dada a partir da diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural no mesmo instante.

Fernández García (1995) definiu a intensidade e a magnitude das ICU_{ATM} considerando-se as diferenças térmicas entre o urbano e rural de acordo com os seguintes parâmetros: ICU_{ATM} de fraca magnitude, quando as diferenças entre os pontos mais quentes e frescos variam de 0°C a 2°C; ICU_{ATM} de moderada magnitude, quando variam entre 2°C e 4°C; ICU_{ATM} de forte magnitude, quando variam de 4°C a 6°C; e de muito forte quando supera os 6°C.

Seu efeito sobre as cidades ocorre devido à redução da evaporação, aumento da rugosidade e às propriedades térmicas dos edifícios, materiais construtivos e pavimentados (LOMBARDO, 1985). Howard (1818) foi o pioneiro a publicar os estudos das ilhas de calor atmosféricas em Londres, ao constatar a queima de carvão nas indústrias como fator originário do aumento de temperatura e contaminação do ar, evidenciando as maiores temperaturas na cidade em relação aos registros rurais.

A partir deste, outros estudos foram agregando a análise do clima urbano, tal qual os trabalhos clássicos de Landsberg (1956) ao analisar a alteração dos elementos climáticos ao entrarem em contato com a área urbana, e Chandler (1965) ao aferir que a cidade tem a capacidade de modificar o clima e a composição da atmosfera através das alterações na superfície, resultando no aumento de calor e precipitação. Ambos pautam a abordagem do clima em uma perspectiva tradicional, sem correlacionar a ocorrência do aumento de temperatura superficial e atmosférica com os fenômenos antrópicos advindos do processo de urbanização.

Estudos mais recentes, com foco no ambiente tropical, se materializaram a partir dos estudos de Monteiro (1976) e sua obra “Teoria e Clima Urbano”, destacando a importância do

estudo da climatologia urbana ao propor uma análise dinâmica através das relações espaço – tempo – sociedade: Tarifa (1977) ao estabelecer a correlação entre a influência da natureza do espaço e do tipo de cobertura da terra nas variações de temperatura atmosférica e umidade na cidade de São José dos Campos (SP); Lombardo (1985) ao trabalhar a ocorrência das ICU superficiais e atmosféricas nas metrópoles através da sua obra “Ilha de Calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo”.

Abrangendo Presidente Prudente, Amorim (2000; 2020) refletiu sobre os princípios teóricos e práticos aos estudos das ICU superficiais e atmosféricas em cidades de médio e pequeno porte e propôs um roteiro metodológico para sua detecção de intensidade e magnitude. Nessa mesma lógica, Sant’Anna Neto (2002) organizou uma coletânea de estudos sobre o clima de cidades brasileiras com o objetivo de contribuir para o entendimento climático e seus elementos na produção do espaço urbano, assim como a qualidade ambiental e de vida nas cidades, tal qual a proposta de uma Geografia do Clima (SANT’ANNA NETO, 2001), visando incorporar a dimensão social na interpretação do clima urbano.

Oke *et al.* (2017) categoriza as ilhas de calor em quatro tipos distintos em função da camada que se materializam. A ilha de calor urbana subsuperficial refere-se aos padrões de temperatura entre o perfil subsuperficial da cidade e o tecido subterrâneo; a ilha de calor urbana superficial trabalha com a temperatura dos alvos, diagnosticada por meio do sensoriamento remoto; a ilha de calor urbana atmosférica concerne à temperatura do ar, dividida entre a camada inferior – compreendida entre o nível do solo e o nível médio dos telhados, e a superior, sobrepondo-se à anterior e se estendendo até a atmosfera livre.

A classificação da atmosfera em duas camadas de Oke (1978) é resultado das alterações provocadas pela urbanização no clima, sendo a primeira delas a *Urban Canopy Layer* (UCL), decorrente dos processos atuantes na microescala, e a segunda a *Urban Boundary Layer* (UBL), resultante dos processos locais ou de mesoescala. A UCL refere-se aos elementos da rugosidade, modelando-se através dos materiais e geometria do local, enquanto a UBL tem suas características afetadas pela presença de uma área urbana no seu limite mais baixo (AMORIM, 2020).

Este fenômeno tem como origem a radiação solar, sendo esta um elemento fundamental no balanço energético, que alteram o padrão térmico das superfícies atingidas através do processo de reflectância e emissividade dos objetos, sendo mais evidente no período noturno.

O monitoramento e medição das ICU_{ATM} podem ter diversas metodologias e fonte de dados, a depender do objetivo da análise e dos recursos disponíveis. Gartland (2010) e Amorim (2020) elencam alguns procedimentos, com destaque para os mais empregados, tais como pontos fixos por meio de estações meteorológicas ou registradores automáticos inseridos na malha urbana e no ambiente rural, transectos móveis (medidas itinerantes com veículos) e o sensoriamento remoto. Dentre estas, foi empregado o uso de técnicas de SR e de medidas em pontos fixos.

Eriksen (1978) atribui a formação da ICU aos efeitos da transformação de energia no interior da cidade devido ao processo de gentrificação e verticalização da mesma, às cores (albedo) e material construtivo. Também ressalta a importância da vegetação e alterações antrópicas, como a retirada de cobertura da terra e canalização dos córregos, causando a redução da evaporação, e a emissão e produção de calor antropogênico através das indústrias, trânsito e habitações.

Amorim (2020) complementa ao reiterar a formação das ICU como resultado do balanço de energia da consequência dos aspectos naturais e urbanos, destacando-se dentre os fatores naturais os tipos de tempo, relevo, presença de superfícies com vegetação, e dentre os fatores urbanos, as características dos espaços construídos e as atividades humanas.

As condições sinóticas atuantes têm a capacidade de estabelecer o tipo de cobertura do céu, velocidade e direção do vento e as precipitações, causando interferências na formação e principalmente na intensidade da ICU. A ausência de ventos ou sua ocorrência com menos intensidade dificulta a dispersão do calor urbano, contribuindo para a maior intensificação da ICU, e vice versa, enquanto a nebulosidade reduz a recepção e devolução da radiação solar e modera sua intensidade (PINHO, 2000).

Lombardo (1985) relaciona o aumento de precipitação nas áreas urbanas com a ocorrência de ICU devido a rugosidade de construções, ar quente ascendente e o aumento da condensação devido a concentração de aerossóis. A importância dos tipos de tempo e condições atmosféricas parte pela análise dos episódios, e não dos valores médios, diferenciando a perspectiva geográfica daquela puramente meteorológica no estudo do clima.

O diagnóstico das ICU sustentam-se na análise rítmica de Monteiro (1971), aonde a sequência das características dos tipos de tempo são a peça-chave para se “alcançar o ritmo climático, capaz de exibir a tendência habitual, sem esquecer os desvios extremos” (MONTEIRO, 2015, p. 70).

Devemos pautar o relevo também como fator necessário para se compreender a formação da ICU, tendo seu papel na distribuição espacial da temperatura do ar no intraurbano e rural próximo vinculadas a altitude, declividade e orientação das vertentes (AMORIM, 2020).

Os fundos de vale são responsáveis pela diminuição das temperaturas nas áreas densamente construídas, principalmente no período noturno, sob atuação das massas de ar polar propiciando situações de inversão térmica (AMORIM, 2000; 2005).

Junto à vegetação, a temperatura do ar tem sua diminuição através do processo de evapotranspiração e sombreamento, influenciando diretamente na emissividade dos materiais construtivos encontrados nas cidades, pois como enfatiza Brandão e Lucena (1999, p. 67) “além do sítio e dos sistemas atmosféricos, os atributos urbanos têm peso significativo sobre os índices de conforto para o pleno desenvolvimento das atividades humanas”. Seu efeito na diminuição da temperatura é mais evidente durante o dia, entretanto, mesmo sendo menos evidente no período noturno, também produz efeitos positivos decorrentes da diferença de calor armazenado durante os dois períodos (AMORIM, 2020).

Por fim, o ambiente urbano se torna um grande armazenador de calor devido a densidade e características dos materiais construtivos, junto a impermeabilização do solo. Oke (1987) classificou as propriedades radioativas de materiais urbanos (Tabela 1) e rurais (Tabela 2), comprovando a interferência dos processos energéticos sofridos pela atmosfera próxima à superfície.

Tabela 1 - Propriedades radioativas de materiais urbanos

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIONIDADE
1. Ruas com asfalto	0.05 – 0.20	0.95
2. Paredes		
Concreto	0.10 – 0.35	0.71 – 0.90
Tijolos	0.20 - 0.40	0.90 – 0.92
Pedras	0.20 – 0.35	0.85 – 0.95
Madeiras		0.90
3. Telhados		
Piche e Cascalho	0.08 – 0.18	0.92
Telhas	0.10 – 0.35	0.90
Ardósia	0.10	0.90
Sapé – Folhagem	0.15 – 0.20	
Chapa Ondulada	0.10 – 0.16	0.13 – 0.28
4. Janelas		
Vidros claros: zênite		
Ângulo menor 40°	0.8	0.87 – 0.94
Ângulo de 40 a 80°	0.09 – 0.52	0.87 – 0.92
5. Pinturas		
Branças, Caiadas	0.50 – 0.90	0.85 – 0.95
Vermelha, Marrom, Verde	0.20 – 0.35	0.85 – 0.95
Preta	0.02 – 0.15	0.90 – 0.98
6. Áreas Urbanas		
Variações	0.10 – 0.27	0.85 – 0.96
Médias	0.15	0.95

Fonte: adaptado de Oke (1987, p. 281).

Tabela 2 - Propriedades radioativas de materiais rurais

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIONIDADE
1. Solos		
Escuro, Úmido	0.05	0.90
Claro, Seco	0.04	0.90
2. Desertos	0.20 – 0.25	0.84 – 0.9
3. Grama		
Alta (1m)	0.16	0.90
Baixa (0.02m)	0.26	0.95
4. Cultivos, Tundra	0.18 – 0.25	0.90 – 0.99
5. Pomares	0.15 – 0.20	
6. Florestas Decíduas		
Solo nu	0.15	0.97
Abandonadas	0.20	0.98
7. Coníferas	0.05 – 0.15	0.97 – 0.99
8. Água		
Pequeno ângulo	0.03 – 0.10	0.92 – 0.97
Zênite		
Grande ângulo	0.10 – 1.00	0.92 – 0.97
Zênite		

Fonte: adaptado de Oke (1987, p. 12).

O albedo corresponde à quantidade de energia absorvida de uma determinada superfície, assim quanto maior o albedo, menor o aquecimento da superfície devido à reduzida quantidade de energia disponível para gerar calor (DUMKE, 2007). Na cidade “a mudança na condutividade, na capacidade calorífica e na área superficial são marcantes, de maneira que os materiais armazenem mais energia que o solo natural, agindo como reservatórios de radiação” (BARBIRATO, 2007, p. 76).

Por outro lado, quanto menor for o albedo e emissividade, maior será a absorção de calor e sua permanência no ambiente de entorno (FERREIRA; PRADO, 2003; SANT’ANNA NETO, 2011), visto que:

Os diferentes tipos de revestimentos e materiais urbanos possuem albedos diferenciados. Dessa forma, verifica-se que a qualidade térmica dos recintos urbanos também será fortemente influenciada pelas propriedades termo-físicas dos materiais adotados. A capacidade de reflexão e absorção dos diversos materiais, em relação à luz e ao calor, depende diretamente de suas propriedades físicas (albedo) como densidade, textura e cor influenciam consideravelmente na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a atmosfera, contribuindo para um aumento da temperatura do ar (expresso pelo albedo, absorção e emissividade) (BARBIRATO, 2007, p. 31).

Desta forma, o balanço energético encontrado nas cidades varia de uma para outra, a depender das características construtivas e uso e ocupação da terra particulares de cada uma. A inserção do calor antropogênico é fundamental para a compreensão das ICU, pois refere-se ao aumento do calor gerado pelas atividades humanas.

A poluição pode influir na absorção e reemissão da radiação na área ocupada pela cidade, onde Landsberg (1956) relacionou a concentração de poluentes sendo a maior aberração climática das condições naturais advindas da urbanização. A camada de poluentes, que a princípio pode apresentar certa tendência a refletir a luz solar, ao mesmo tempo, dificulta o escoamento e a dispersão do calor (LOWRY, 1967).

A ilha de calor é portanto, um fenômeno complexo, resultado da diversidade paisagística, urbana, social e meteorológica do interior de cada cidade. Ayoade (1986) destaca a importância de considerar os tipos de uso de ocupação da superfície nos estudos do clima urbano, mantendo sempre uma articulação do urbano e do rural, ao invés de ambos serem estudadas por si só.

Assim, o armazenamento de calor no espaço construído pelas características anteriormente apresentadas e seu respectivo balanço energético não nos remete a uma situação

nula de energia, criando-se assim condições para formação das ilhas de calor e ilhas de frescor (AMORIM, 2000).

2.2 Sensoriamento remoto aplicado ao clima urbano

Conforme discutido até agora, sobre o clima urbano e seus processos desencadeadores, qualifica-se a importância do balanço energético dentro das cidades, a fim de se analisar e aferir a intensidade e magnitude das ICU_{SUP} , tal qual a obtenção das características térmicas dos materiais construtivos.

Para tanto, o sensoriamento remoto, junto ao processo de fotogrametria na banda no infravermelho termal, tem auxiliado cada vez mais as análises climáticas, ao permitir análises da superfície e dos alvos contidos nela. O SR junto ao processo de fotogrametria pode ser definido como:

[...] a arte, ciência, e tecnologia para obter informação confiável sobre objetos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (COLWELL, 1997, p. 35).

O SR é um aliado importante para a identificação das ilhas de calor superficiais, por meio do tratamento de imagens de satélite que possibilitam a obtenção da temperatura aparente da superfície, e que nos permite adquirir dados sobre um objeto sem a necessidade de tocá-lo, podendo fornecer visões em diferentes escalas do desenho da temperatura local (WENG, 2003). Barbirato (2007, p. 120) complementa ao afirmar que “[...] para transformar essas informações de interesse para os estudos do clima urbano, é preciso considerar os dados dessas temperaturas com a temperatura do ar”.

Jensen (2009) afere que todos os objetos acima do zero absoluto, 0 Kelvin, emitem energia eletromagnética, porém nossos olhos não são capazes de detectar tais bandas termais devido a nossa limitação biológica, que nos permite enxergar somente na banda do visível de $0,4 - 0,7 \mu m$, recorrendo ao sistema de infravermelho termal, possibilitando o contato com um vasto mundo de informações anteriormente invisíveis aos olhos humanos.

As leis da radiação termal especificam que em uma situação teórica, um *corpo negro* compõe-se de uma entidade que tem a possibilidade de absorver toda radiação que o atinge e radiar tal energia na máxima taxa possível por unidade de área em cada comprimento de onda para uma dada temperatura. Porém o mundo é composto de corpos que radiam seletivamente,

pois nenhum objeto da natureza é passível de tal hipótese, como rocha, vegetação, solo e água (JENSEN, 2009).

Para tal, utiliza-se a lei da emissividade, sendo esta a razão entre a radiância seletiva emitida por um corpo do mundo real e um *corpo negro* à mesma temperatura termodinâmica (JACOB *et al.*, 2004). Todos os corpos que radiam seletivamente têm emissividade variando entre $0 \leq 1$, onde 0 significa menos emissivo e 1 mais emissivo, destacando-se a água (0,92-0,98), concreto (0,71-0,9), asfalto (0,95), tijolo (0,93), vegetação aberta e fechada (0,96 – 0,98, respectivamente) e grama (0,97) (SABINS, 1997; LILLESAND; KIEFER, 2003).

Se a refletividade aumenta, então a emissividade deve diminuir. Por exemplo, a água absorve quase toda a energia e reflete muito pouco. Portanto, a água é um emissor muito bom e tem uma alta emissividade, perto de 1. Ao contrário, um teto metálico reflete a maior parte da energia incidente e absorve muito pouco, gerando uma emissividade muito menor que 1 (JENSEN, 2009, p. 260).

Os sistemas de infravermelho termal de SR atuam na banda invisível aos olhos humanos de 3 - 14 μm , e são capazes de registrar a radiação infravermelha termal. Quattrochi e Luvall (2004) mostram que podem ser utilizadas para determinar o tipo do material com base em sua emissão térmica e mudanças significativas que ocorreram nestas características termais ao longo do tempo.

O domínio das técnicas de SR tem sido muito útil para mensurar temperaturas e outras características de diferentes superfícies, como variações de cobertura da terra, pavimentação, vegetação e temperatura dos alvos. A energia eletromagnética emitida ou refletida por uma área geográfica ou objeto torna-se um meio para a obtenção de dados e resultados, sendo estas convertidas em informação utilizando técnicas visuais ou de processamento digital de imagens, estas sendo visíveis ou não visíveis aos olhos humanos (JENSEN, 2009).

Para obtenção das imagens termais, é comumente utilizado os satélites, em maior escala de imageamento, e as aeronaves, em escalas menores. Voos em aeronaves espaciais viabilizam uma maior acurácia de detalhes da temperatura de superfície pela sua proximidade à mesma, aumentando significativamente a resolução das imagens obtidas, entretanto são caros e necessitam de autorização para voar a altitudes mais baixas do que normalmente é permitido (AMORIM, 2020).

Em contrapartida, são utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 e 7, na banda 6 do infravermelho termal, com resoluções espaciais de 120 e 60 metros, respectivamente, e o

Landsat 8, bandas 10 e 11 do infravermelho termal/TIRS 1, com resolução espectral de 10.6-11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros pela *United States Geological Service* - Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

A operação do satélite em órbita é administrada pela *National Aeronautics and Space Administration* - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA), e a produção e comercialização de imagens ficam sob os cuidados da USGS. O financiamento governamental junto à ciência global nos permite desfrutar de tais dados, através do acesso e uso disponibilizados de forma gratuita, através dos sítios eletrônicos das instituições responsáveis pelas imagens captadas.

As imagens termais geradas e obtidas a partir do sensor Landsat 8 possibilitam maior detalhamento das temperaturas dos alvos do que comparado as imagens geradas pelo Landsat 5 e 7, devido à sua maior resolução espacial, determinante do menor tamanho de objeto que pode ser identificado em uma imagem.

Uma cena do Landsat 8 é composta por 11 bandas espectrais, sendo a banda 5 (infravermelho próximo), 6 (infravermelho médio) e 7 (infravermelho médio) registram a radiação eletromagnética no infravermelho termal, e as bandas 10 e 11 oferecem continuidade a aquisição de dados captados pela banda 6, com resolução espacial de 100 metros, resolução radiométrica de 12 bits, resolução temporal de 16 dias e uma área imageada de 185 quilômetros (km) (NASA, 2013).

A partir do trabalho pioneiro de Lombardo (1985), o número de trabalhos relacionados às ICU_{SUP} têm aumentado, particularmente nas regiões metropolitanas e em cidades de grande porte (ANDRADE, 2007; COLTRI *et al.*, 2007). Na última década, as cidades de pequeno e médio porte tornaram-se objeto de estudo das temperaturas superficiais, destacando-se Barbosa, Vecchia (2009), Amorim; Monteiro (2011), Lima (2011), Ortiz; Amorim (2011); Mauro (2020); dentre outros.

Andrade (2007), em seu estudo sobre as ICU_{SUP} na cidade de São José dos Campos (SP), utilizou imagens do Landsat 5 (120m) e imagens do sensor *Hyperspectral Scanner System* (HSS), com resolução espacial de 2,7m e 8,3m, a fim de comparar sua ocorrência no período diurno e noturno. De acordo com a autora, a amplitude térmica entre a área urbana e rural foi de 6°C a 8°C às 10h local, podendo ser ampliada em horários de maior emissão superficial, as 14h e 15h local.

Coltri *et al.* (2007) comparou as ICU_{SUP} das estações de outono e inverno na área urbana do município de Piracicaba (SP) por meio de imagens termais do Landsat 7, com

resolução espacial de 60 metros. Verificou-se a média das ICU_{SUP} no inverno de $24,71^{\circ}C$ e no outono de $21,40^{\circ}C$, tendo a intensidade no inverno atrelada principalmente à condição da cobertura da terra no entorno da cidade, advindo da cultura da cana de açúcar, época em que o solo rural está exposto.

Barbosa e Vecchia (2009) analisaram a ICU_{SUP} em São Carlos (SP) através das imagens do Landsat 7. Os autores demonstraram que as áreas de comércio e serviço residencial apresentaram magnitudes térmicas na classe de $45^{\circ}C$ a $48^{\circ}C$, enquanto menores valores, na faixa de $29^{\circ}C$ a $33^{\circ}C$ foram identificados com maior extensão nas áreas verdes.

Amorim e Monteiro (2011) analisaram diferença de temperaturas intraurbanas em duas cidades de porte médio com latitudes distintas: Porto (Portugal) e Presidente Prudente (Brasil) em episódios de verão, a partir de imagens do Landsat 7. Em ambas as cidades, mesmo com as diferenças construtivas, foi verificado que as menores temperaturas advinham das áreas verdes, em torno dos $21^{\circ}C$. Em Presidente Prudente, as maiores temperaturas de superfície foram detectadas nas habitações populares devido à característica construtiva, tais como as coberturas de fibrocimento, e baixa densidade vegetativa, alcançando os $27^{\circ}C$. Já no Porto, os bairros mais aquecidos foram o centro, a zona industrial e áreas densamente construídas com vias de circulação rápida e intensa, apresentando temperaturas acima de $38^{\circ}C$.

Lima (2011) combinou a análise da ICU superficial e atmosférica inferior junto ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), com intuito de verificar a qualidade ambiental na cidade de Nova Andradina (MS). Os resultados permitiram aferir a influência e importância da vegetação na temperatura da superfície e do ar. Através das imagens do Landsat 7, verificou-se que os locais na faixa dos $25^{\circ}C$ a $26^{\circ}C$ apresentaram baixa densidade vegetativa, enquanto áreas com maior índice vegetal (Parque Florestal) configuraram-se como áreas de menores temperaturas ($15^{\circ}C$ a $17^{\circ}C$).

Em estudo realizado por Ortiz e Amorim (2011), foi analisado as diferenças nas temperaturas da superfície intraurbana na cidade de Cândido Mota (SP) ao compará-las com a área rural no entorno. A partir de imagens do Landsat 7, de 04 de março de 2003, identificou-se diferenças de temperatura de superfície de aproximadamente $11,5^{\circ}C$, sendo a mínima $23^{\circ}C$ e a máxima de $35^{\circ}C$. Verificou-se mais uma vez que as maiores temperaturas se relacionam com as áreas densamente construídas, enquanto as menores temperaturas associaram-se as áreas com maior cobertura vegetal arbórea.

Mauro (2020), em sua dissertação, verificou a relação entre a expansão das áreas construídas de Presidente Prudente e a intensidade da temperatura aparente da superfície nos

anos de 1989, 1999, 2009 e 2019. O autor atestou, por meio de imagens do Landsat 5 e 8, que durante o período de estiagem (seco), houve o ressecamento da vegetação das áreas rurais, ocasionando o aumento da temperatura dos alvos, tendendo a igualar as temperaturas do urbano e rural próximo. Já no período referente à estação chuvosa, observou-se o aumento expressivo das ilhas de calor superficiais, se comparado ao período seco, por conta do desenvolvimento vegetativo e aumento da biomassa.

Dessa forma, a partir dos resultados obtidos nas diversas obras e estudos citados acima, verifica-se que a característica do uso e ocupação da terra, tal qual a superfície urbana são fatores determinantes na configuração do que Oke (1982) considerou as ICU como uma anomalia térmica. O padrão de análise atmosférica e superficial tende a apresentar menores temperaturas com a maior presença de vegetação arbórea, e vice versa.

Nesse contexto, a elaboração de cartas termais por meios do SR constitui-se como um processo imprescindível na identificação das características térmicas dos alvos, sendo uma grande aliada na descrição, interpretação e análise da ICU atmosférica inferior e do clima urbano de Presidente Prudente no recorte temporal descrito.

2.2 Vegetação como instrumento mitigador às Ilhas de calor

O ambiente urbano torna-se um grande armazenador de calor perante a densidade, característica dos materiais construtivos e a impermeabilização da superfície. A geometria das edificações resulta em superfícies rugosas que tem a capacidade de modificar as trocas de energia entre a superfície e a baixa troposfera (AMORIM, 2020).

Stewart (2011) destacou a partir das *Local Climate Zones* – Zonas Climáticas Locais, a disparidade de complexidade entre a estrutura urbana e o rural, com suas diversas superfícies horizontais e verticais para a captura e absorção de radiação solar, que porventura influencia no albedo, fluxo de ar e armazenamento de calor durante o dia. As estruturas urbanas de alta massa térmica e inércia (asfalto, edifícios, concreto) têm capacidade de armazenar o calor durante o dia e liberá-lo lentamente durante a noite. Já no rural, pelas características opostas, resfria-se rapidamente logo após a cessão de incidência solar se comparado com o urbano.

Desta maneira, Cardoso (2015) comprovou estatisticamente que há influência da morfologia urbana e cobertura da terra na atmosfera local através do procedimento de modelagem da temperatura do ar relacionada com as características da superfície. Além disso, a autora identificou e selecionou as unidades que melhor representam o campo térmico da

cidade, verificados em: LCZ – Vegetação arbórea densa; LCZ – Vegetação arbórea esparsa; LCZ – Compacta de baixa elevação com vegetação rasteira.

Através do mapa das Potenciais Zonas Climáticas (LCZ) em Presidente Prudente (Figura 2), especificou-se a análise vegetativa comparando três zonas climáticas, sendo duas relacionadas à vegetação e uma ao urbano. Assim, complementa-se a análise das ilhas de calor com o efeito da cobertura da terra, no quesito vegetativo.

O termo “uso da terra” refere-se ao modo como a terra é utilizada pelos seres humanos, enquanto a “cobertura da terra” refere-se aos materiais biofísicos encontrados sob a superfície terrestre (JENSEN, 2009). Estas informações são necessárias em ambientes urbanos para diversas aplicações e finalidades, sendo neste caso, aplicada para uma contribuição dos estudos do clima urbano.

Desta forma, a LCZ - Compacta de baixa elevação com vegetação rasteira, possui morfologia densamente construída, que para além dos edifícios baixos e pequenos, com materiais construtivos pesados (pedra, cimento tijolo) e telhados de fibrocimento e cerâmica, apresenta também áreas permeáveis de vegetação rasteira no entorno das pavimentações. Sua ocorrência é notável nas porções Oeste, Sudoeste e Noroeste da cidade, apresentando temperatura média do ar no verão de 27,4°C e no inverno 21,9°C (CARDOSO, 2015).

A autora classificou a LCZ - Vegetação arbórea densa, em paisagens densamente arborizadas e árvores dispersas em terrenos permeáveis com vegetação rasteira, com pouco edifício e fluxo de tráfego nulo ou baixo em seu entorno. Estende-se desde pequenos fragmentos no intraurbano até o entorno rural próximo à cidade e fundo de vales vegetados, apresentando temperatura média do ar no verão de 25,5°C e 19,8°C no inverno.

A autora também caracterizou a LCZ - Vegetação arbórea esparsa, apresentando paisagens levemente arborizadas, com a presença de árvores dispersas em áreas permeáveis cobertas por vegetação rasteira, com a presença de vias, edifícios e fluxo de tráfego moderado a alto em seu entorno. Concentra-se no entorno rural próximo, podendo ser encontrada no intraurbano (Parque do Povo), tendo-se como temperatura média do ar no verão 27,1°C e 21,6°C no inverno.

A partir dessas três LCZs, com dados de temperatura média do ar no verão e inverno dos anos de 2013 e 2014, observa-se a importância da vegetação na regulação do clima urbano. Os dados apresentados do perfil construtivo, mesmo que superior aos índices vegetativos, foi o que apresentou menores temperaturas em relação às demais construções compactas de baixa elevação.

Em contrapartida, o perfil de vegetação densa, apresentou menores temperaturas médias do ar no verão e inverno de 2013 e 2014 do que as demais LCZs, em um panorama geral. Mesmo o perfil vegetativo esparso tendo sua presença no intraurbano, se comparada com a média das demais LCZs vegetativas inseridas na cidade, ainda apresenta menores temperaturas, devido à presença de vegetação ao invés do uso de materiais construtivos.

Romero (2007, p. 94) expôs o papel das áreas verdes nos ambientes urbanos através dos seguintes aspectos:

- A vegetação tem menor capacidade calorífica e condutibilidade térmica que os materiais dos edifícios.
- A radiação solar é, em grande parte, absorvida pelas folhas, e a reflexão é pequena (albedo baixo).
- A taxa de evaporação é muito mais alta nas áreas verdes que nas sem plantas.
- As folhas podem filtrar a poeira e a contaminação do ar.
- A vegetação reduz a velocidade do vento e as flutuações próximas do solo.

O efeito da vegetação na diminuição da temperatura é mais evidente durante o dia, mas também produz efeitos positivos decorrentes do menor armazenamento de calor durante o dia para o período noturno. A diferença vegetativa não se restringe somente a temperatura do ar, mas também interfere na velocidade do vento, umidade do ar e na temperatura radiante (AMORIM, 2020).

Chen e Wong (2006) demonstraram que a introdução de vegetação arbórea nos ambientes urbanos é uma estratégia fundamental para se criar o efeito “oásis” e mitigar as ilhas de calor urbanas. Para os autores, quando a vegetação é distribuída ao longo da cidade o balanço energético urbano pode ser modificado pela adição de mais radiação absorvida e superfícies evaporativas. Desta forma, o calor sensível pode ser dissipado em forma de calor latente, reduzindo a temperatura do ar.

Nesse sentido, destaca-se a necessidade das cidades mais sujeitas à geração de ilhas de calor, de incluir em seus planejamentos urbano-territoriais ações que priorizem as questões ambientais, com ênfase no clima urbano. Como elencado anteriormente, a vegetação cumpre um papel fundamental na manutenção do conforto térmico nas cidades, e pode ser inserido no intraurbano a partir de práticas agrícolas urbanas. De acordo com a FAO (2009, p. 4):

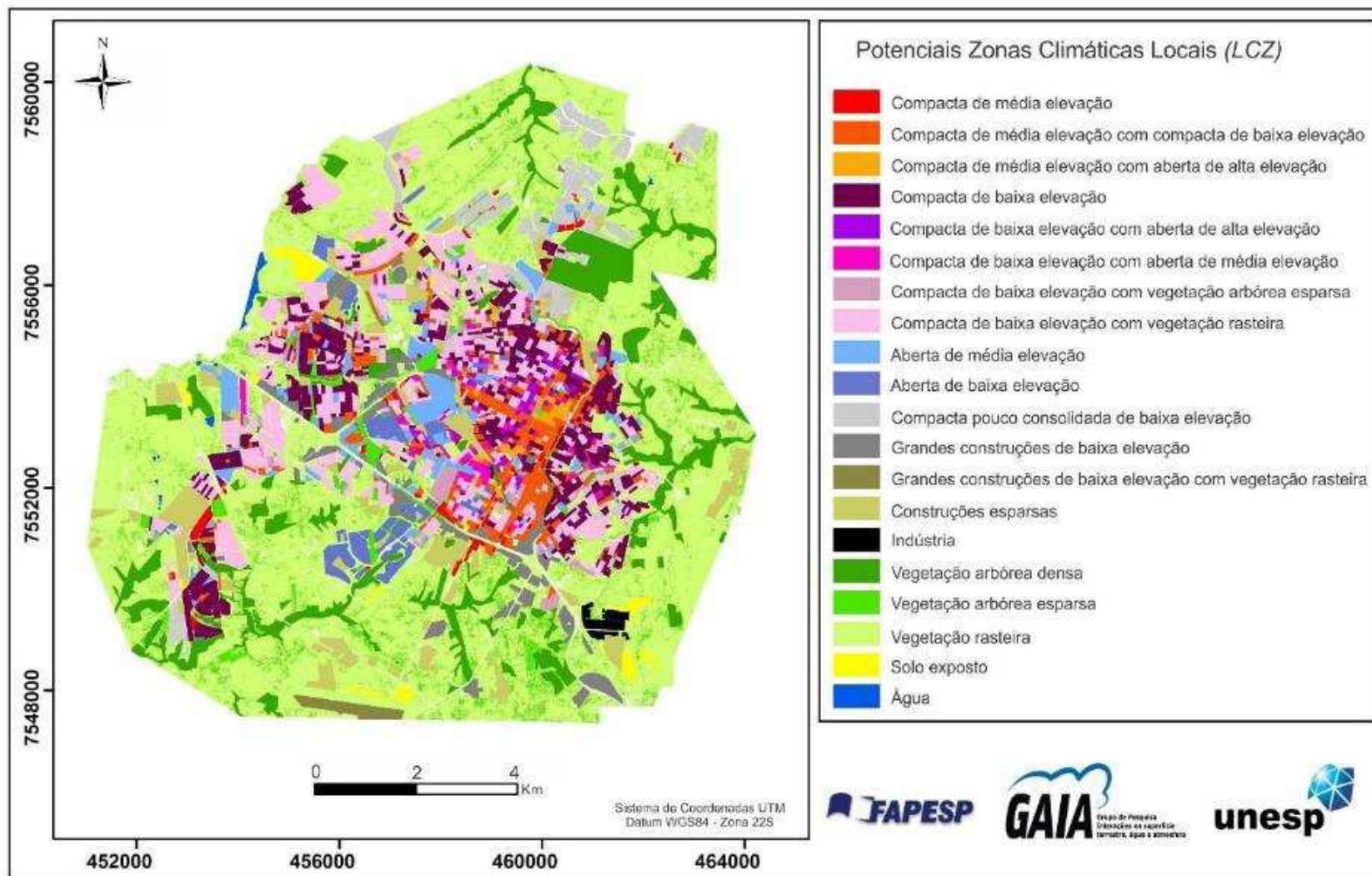
A gestão paisagística multifuncional, com a integração de agricultura, terras e florestas, ajuda a tornar as cidades mais resilientes. Isso é feito não apenas com a diversificação das fontes de alimentos urbanos e oportunidades de renda, mas também mantendo áreas verdes abertas, aumentando a superfície de vegetação e a infiltração aquática, e contribuindo para a gestão sustentável da água e dos recursos naturais. A silvicultura urbana, incluindo a agrossilvicultura, ajuda especialmente a melhorar a qualidade do ar, reduzir o aquecimento urbano, frear a erosão e aumentar a biodiversidade urbana.

A multifuncionalidade para Mougeout (2005) e Moreira (2008) refere-se à produção do alimento próximo ao consumidor; a diminuição das despesas com a logística da distribuição (menor uso de combustíveis fósseis); produto final com menor custo; uso de procedimentos alternativos frente à agricultura convencional, como a produção de alimentos orgânicos; a agroecologia, sendo uma prática para além da obtenção de alimento ao preocupar-se com os resíduos sólidos (compostos orgânicos) e o uso da água.

Historicamente define-se a prática agrícola como atividade exclusiva do espaço rural, enquanto a cidade se assenta sobre a indústria e comércio, seguindo a clássica divisão do trabalho. Embora haja diferenças entre a agricultura urbana e rural, não se deve tratá-las como antagônicas ou independentes, e sim como uma relação sistêmica, sendo o espaço periurbano mediador entre o urbano e o rural (PINHEIRO; FERRARETO, 2010).

Portanto os produtos da agricultura urbana agroflorestal podem ser tão diversificados quanto os desenvolvidos nos espaços rurais, com o diferencial de extensão da produção, onde no intraurbano não requer grandes lotes de terra horizontais, podendo ser praticada em canteiros suspensos, fragmentos de mata, quintais, conforme o manejo empregado (ROESE, 2003; SORZANO, 2009).

Figura 2 – Potenciais Zonas Climáticas Locais (LCZ) em Presidente Prudente

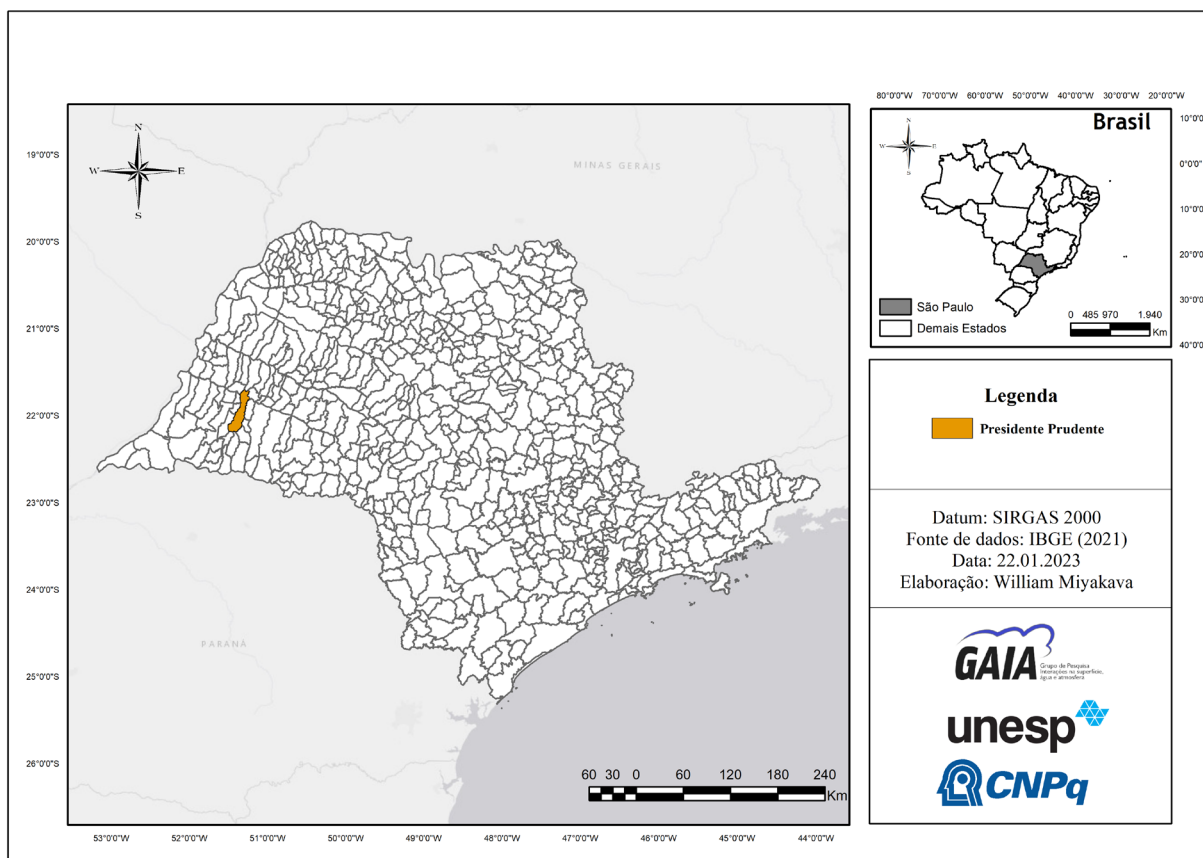


Fonte: Cardoso (2017).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Presidente Prudente localiza-se no Oeste do Estado de São Paulo (Figura 3), à 22° 07' 04" de latitude sul e 51° 22' 57" longitude oeste, distante cerca de 560km da capital paulista, com população de 207.610 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 3 - Localização do município de Presidente Prudente no Estado de São Paulo



Fonte: IBGE. Elaboração: Miyakava (2023).

É considerada capital regional de uma extensa área agropastoril, caracterizada como importante centro de comércio, serviços e universitário, com setor industrial pouco expressivo quando comparado com outras áreas do Estado de São Paulo (SPOSITO, 2011).

Assentada sob o planalto ocidental paulista, tem sua altitude média de 472m acima do nível do mar, sendo essencialmente constituído por rochas do grupo Bauru, apresentando relevo com predomínio de colinas médias e amplas junto a morrotes alongados e espigões (AMORIM, 2000).

A porção Norte do município carrega a característica das colinas amplas, nas margens do rio do Peixe, enquanto na extremidade sul são observadas as colinas médias “onde se

encontra o córrego do Cedro e os morrotes e espigões, predominantes no município abrangendo cerca de 80% de seu território” (AMORIM, 2000, p. 45).

A área urbana de Presidente Prudente está situada sobre um espigão divisor de águas das bacias do rio do Peixe, ao norte, e Paranapanema, ao sul, tendo a bacia do rio Santo Anastácio, que deságua no Paraná, ao sul-sudeste. O sistema hidrográfico é constituído por pequenos cursos d’água formadores dos córregos do Cedro e Limoeiro, ambos afluentes do Santo Anastácio, e os córregos do Gramado e Cascata, que são formadores do rio Mandaguari, o qual, por sua vez, é afluente do rio do Peixe, localizado no setor leste-nordeste da cidade (SUDO; LEAL, 1996, p. 362).

A porção Oeste do município apresenta maior crescimento territorial com sua extensão originada da Vila Goulart, devido ao fato do relevo ser menos acidentado e a implantação da estação ferroviária, em contrapartida da porção leste, como aponta Amorim (2000), sendo justificado pelas fortes declividades no relevo, que favorece a área central pela mesma estar sobre o divisor espigão de águas.

O processo de urbanização proporcionou alterações significativas na paisagem natural, materializada por meio de canalizações de córregos e retirada de cobertura vegetal original para fins construtivos, contribuindo para a formação das ICU. Presidente Prudente apresenta grande diversidade de ocupação da terra, tendo seus bairros mais antigos densamente construídos e com média cobertura vegetal arbórea nas calçadas e quintais (AMORIM, 2000; 2020).

Entretanto, as áreas residenciais mais recentes, sendo a grande maioria da área urbana da cidade, tem como característica edificações esparsas, com gramado e vegetação arbórea, contrastando socialmente com as classes menos favorecidas, como Amorim (2005) elucida o exemplo dos conjuntos habitacionais, apresentando menor tamanho, materiais construtivos menos adequados ao clima tropical e ao conforto térmico, que acabam por absorver e armazenar muito calor em sua estrutura (inércia térmica).

O conceito de periferia, comumente encontrado na literatura associado à pobreza e às grandes distâncias sociais e espaciais, adquire novo contorno em Presidente Prudente. A porção Sul da cidade qualificou-se como um espaço de moradia de famílias de alta renda, e em um movimento contrário, a porção Norte destinou-se às classes de menores rendimentos na cidade (MELAZZO *et al.*, 2003).

Assim, os bairros populares e conjuntos habitacionais concentram-se na porção Norte (Conjunto Habitacional João Domingos Netto; Conjunto Brasil Novo), Leste (Conjunto

Habitacional Diolina Flor do Nascimento; Conjunto Habitacional José Rotta), e Sudoeste (Conjunto Habitacional Mário Amato; Conjunto Habitacional Ana Jacinta).

Em vista das características aqui apresentadas, justifica-se a escolha de Presidente Prudente (SP) mediante ao fato da mesma ser uma cidade de porte médio, com importância econômica, social e de centralidade urbana no contexto regional, associada à presença de elementos que permitem a reflexão das atividades na área urbana junto aos elementos climáticos na escala local.

3.1 Formação histórica de Presidente Prudente

A região de Presidente Prudente tem sua história pautada no cultivo do café, quando a mesma era chamada de Vale do Paranapanema, representando o Oeste paulista e tendo sua paisagem transformada de leste a oeste “incrementado pela procura de novas terras, presença de mão de obra imigrante, e pela alta dos preços do grão” (WHITACKER, 1997, p. 126).

A expansão do café no Oeste paulista valorizou os espigões do planalto ocidental de São Paulo ao criarem oportunidades locais de trabalho e consequentemente a criação e ocupação de cidades, sendo incrementada pela Estrada de Ferro Sorocabana, se expandindo pela região entre os rios do Peixe e Paranapanema, ocupando os espigões (AMORIM, 2000).

Abreu (1972) esclarece que Presidente Prudente nasceu da união de dois núcleos urbanos criados para fins financeiros pelo Coronel Goulart e Coronel Marcondes, dando origem a Vila Goulart e Marcondes. Desta forma, a cidade surgiu da colonização de glebas rurais com negociações de terras e demandas exploratórias, tendo seu crescimento voltado para o campo.

A instalação da ferrovia foi importante para a dinâmica da ocupação e dispersão territorial, servindo não somente como uma barreira física, mas sim social que sempre dividiu a cidade em duas partes distintas (SPOSITO, 1995).

A crise do café na década de 1930 abalou o sistema econômico da cidade, porém mesmo esta sendo a principal atividade econômica da época, não parou de crescer. O algodão e gado sucederam o café na década de 1940, contribuindo para o desenvolvimento urbano de Presidente Prudente, que ao passar dos anos foi se tornando um centro comercial da área agrícola e prestação de serviços (ABREU, 1972).

A pecuária se caracterizou como principal atividade econômica da região a partir de 1960, propiciando uma concentração maior ainda de capital, enquanto no final da década de 1950, 60 e 70 o crescimento atrelou-se ao estabelecimento de frigoríficos e curtumes, dando

origem ao êxodo rural, visto que o campo passou a apresentar precárias condições de vida e trabalho (AMORIM, 2000).

A migração em massa para a cidade acelerou o ritmo da urbanização de Presidente Prudente, contribuindo para a alteração da paisagem e configuração urbana atual. A cidade constitui uma forma de transformação intensa da paisagem natural, mesmo que em escala local, pois seu impacto advém da alteração da morfologia do terreno, quanto das mudanças nas condições do meio ambiente e atmosfera (FERNANDEZ GARCÍA, 1995; MONTEIRO, 2003).

Portanto, torna-se imprescindível o conhecimento histórico do município para analisar-se a forma urbana atual, relacionando-a com o clima urbano e aspectos físico-sociais-climáticos presentes no recorte da pesquisa, explicitados através da ocorrência do fenômeno das ilhas de calor urbanas.

3.2 O clima em Presidente Prudente

A cidade está inserida em um contexto climático que apresenta um período quente e chuvoso entre outubro e março, e outro mais ameno e seco entre abril e setembro, sob um regime de clima tropical com estação seca de inverno (Aw), segundo a classificação de Köppen (DUBREUIL *et al.*, 2018). Por localizar-se em uma área de transição climática, a atuação da maioria dos sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul se faz presente (SANT'ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009):

Presidente Prudente apresenta um clima tropical, com duas estações definidas, um período de verão/outono mais quente (temperaturas médias das máximas entre os 27°C e 29°C) e muito chuvoso (entre 150 e 200mm mensais) e invernos amenos (com temperaturas médias das mínimas entre os 16°C e 18°C) e menos úmidos (chuvas mensais entre os 20 e 50mm) (AMORIM; MONTEIRO, 2011, p. 5).

A importância da caracterização climática regional está inserida dentro das escalas geográficas do clima, revelada através da gênese dos fenômenos climáticos espacializados em meio ao clima urbano. As escalas globais possibilitam apenas a generalização dos elementos e processos, enquanto as regionais proporcionam a compreensão de suas formas de organização, de forma mais especializada e complexa. Desse modo:

As escalas do clima não devem ser entendidas apenas como as dimensões espaciais ou temporais nas quais os elementos climáticos se manifestam, mas, assim, como processos dinâmicos dotados de atributos altamente sensíveis aos

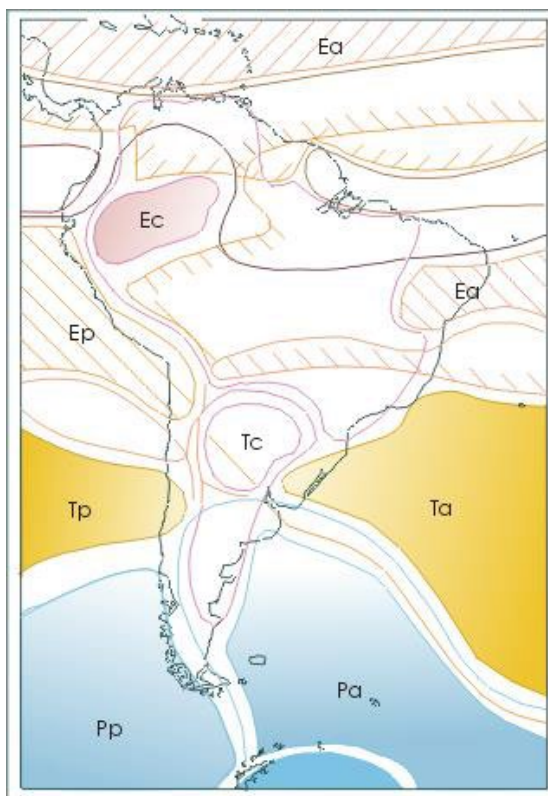
ritmos, variações e alterações de todas as forças terrestres, atmosféricas e cósmicas que de alguma forma exercem, ou provocam qualquer tipo de interferência no sistema climático (SANT'ANNA NETO, 2013, p. 75).

Monteiro (1999) propôs, em uma abordagem geográfica, que as escalas superiores (milhões de Km²), como a global, estabelecem relações generalizantes e aproximativas, devido as correlações entre a dinâmica atmosférica – Circulação Geral da Atmosfera (CGA) - e os grandes conjuntos das paisagens planetárias – massas oceânicas e continentais, cadeias montanhosas e extensas planícies.

A escala regional, de caráter intermediário (centenas ou milhares de Km²), viabiliza a compreensão dos diversos níveis de organização espacial, e a observação da paisagem natural e socioeconômica. Nela, entende-se a circulação secundária dos sistemas atmosféricos e suas relações com os fatores geográficos: rugosidade do relevo; influência da continentalidade nas variações diárias e sazonais; altitude; perfil vegetativo e antrópico. As escalas inferiores, ou seja, os climas locais e microclimas (inferiores a dezenas de Km²), permitem a identificação dos tipos de tempo e ritmo climático associados ao perfil socioambiental, apresentando um nível de espacialização e detalhamento associado à produção do espaço e as formas urbanas e rurais (SANT'ANNA NETO, 2013).

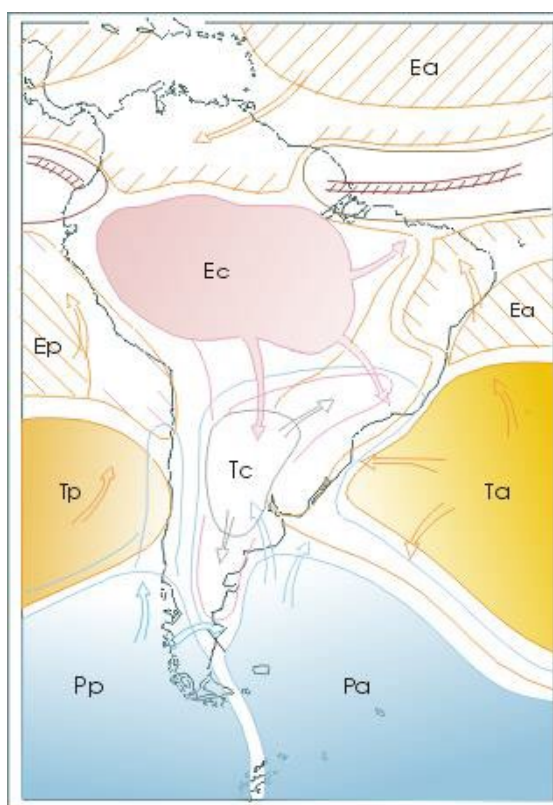
Visto a importância da atuação dos sistemas atmosféricos na gênese climática local e regional, ressaltam-se os principais atuantes na área de estudo, conforme a Figura 4, que revela a atuação dos sistemas no inverno e a Figura 5 no verão.

Figura 4 - As massas de ar na América do Sul no período do inverno



Fonte: Monteiro (1973, p.17).

Figura 5 - As massas de ar na América do Sul no período do verão



Fonte: Monteiro (1973, p. 17).

A região de Presidente Prudente é influenciada pelos sistemas atmosféricos tropicais, como a Massa Tropical Atlântica (Ta), que se origina no anticiclone do Atlântico, atuando o ano todo sobre o Oeste paulista, causando estabilidade de tempo no inverno e instabilidade na parte inferior no verão. Ao adentrar o continente a mesma se modifica, dando origem a uma variante, a Massa Tropical Atlântica continentalizada (Tac), apresentando temperaturas mais elevadas, umidade relativa baixa e pressões em ligeiro declínio (BARRIOS; SANT'ANNA NETO, 1996).

As áreas de baixas pressões da América do Sul, denominada de Depressão do Chaco e seu relevo contribuem para que a Massa Equatorial Continental (Ec) e a Massa Tropical Continental (Tc) atuem periodicamente na região de estudo, tendo sua influência bem definida na primavera e verão, ocasionando o aquecimento da mesma através da Tc e o aumento de umidade relativa do ar (UR), precipitações e aquecimento pela Ec (MONTEIRO, 1973).

Fruto do anticiclone migratório polar, as massas polares se dividem no sul do continente, apresentando a Massa Polar Atlântica (Pa), tratando-se de um sistema estável, com temperaturas baixas, pouca umidade e elevada pressão atmosférica, atuando principalmente no outono e inverno. Após alguns dias de domínio a mesma perde pressão e a temperatura aumenta gradativamente, passando a se denominar Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt), tendo sua natureza secundária com alteração permanente de suas características originais, apresentando maior amplitude térmica nos dias de inverno e queda singela nos índices de UR (SANT'ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009).

Na Figura 6 podemos observar os trajetos das massas de ar que atingem o oeste paulista, sintetizado através de sua orientação e denominação.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa fora realizado o levantamento bibliográfico a partir de livros, teses, dissertações, periódicos e documentações oficiais, nacionais e internacionais. A seleção dos trabalhos utilizados se deu pela relação direta e indireta na linha de pensamento à climatologia geográfica, climatologia urbana, Geografia do Clima, ilhas de calor e suas técnicas de análise.

Associado a estes temas, realizou-se a busca por informações históricas, aspectos do uso e ocupação da terra e do processo de urbanização do município de Presidente Prudente, sendo estes prováveis fatores responsáveis pelas modificações no clima local.

A pesquisa teve por base teórica-metodológica a proposta do SCU de Monteiro (1976), sob a ótica da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), permitindo a análise do clima urbano por meio de uma perspectiva integradora entre o homem e a natureza, através das relações no espaço modificado, levando-se em consideração suas respectivas trocas de fluxos de energia e matéria.

Dentro de sua proposta, tendo em vista que as ilhas de calor atmosféricas se materializam no canal de percepção humana do conforto térmico, utilizou-se do subsistema termodinâmico. A ênfase da pesquisa pautou-se na análise da ilha de calor urbana associada à cobertura da terra com foco na característica vegetativa.

Em conjunto com este subsistema, utilizou-se roteiros metodológicos para estudos de ICU em cidades de pequeno e médio porte proposto por Amorim (2020), sendo justificado pela complementaridade da análise do fenômeno a partir da apresentação e inserção da técnica do sensoriamento remoto, que permitiu a elaboração das cartas termais de superfície e NDVI, de modo a compor os resultados obtidos.

Partiu-se do pressuposto de Amorim (2020) de que a análise da interferência das cidades nas temperaturas, e conseqüentemente, a geração das ilhas de calor urbanas pode ser realizada através da perspectiva espacial.

Deste modo, a análise da expansão territorial urbana e a ocupação da terra pelo processo da urbanização, levando-se em consideração a localização das estações meteorológicas, pode fornecer subsídios para a compreensão das características dos elementos climáticos, sendo destacada a temperatura.

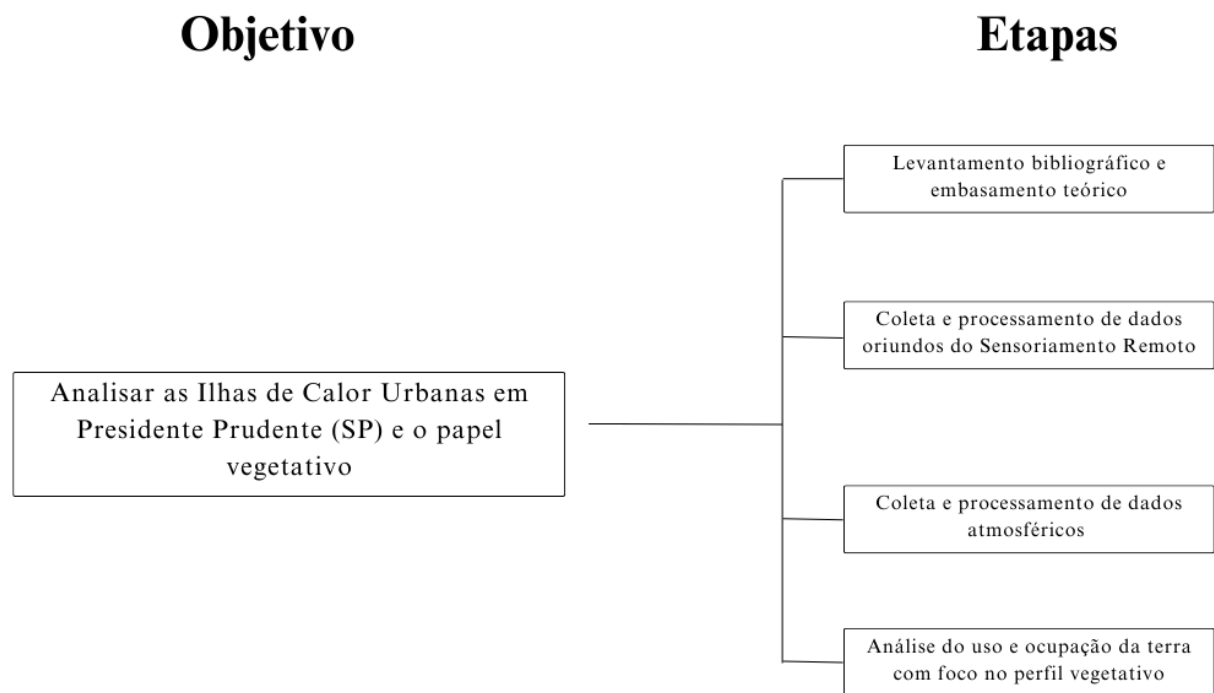
À vista disso, a análise espacial tem predominado por meio do método de registros que permitem aferir os efeitos da urbanização sobre as temperaturas e demais elementos climáticos, como os registros em pontos fixos, os transectos móveis e o sensoriamento remoto. Esta perspectiva de análise permite o levantamento de dados primários levando-se em consideração

a diversidade das paisagens encontradas tanto no urbano quanto no rural, não dependendo somente da obtenção e análise de dados secundários.

Todavia, a análise dos dados primários recai sobre uma realidade de registros em curtos períodos, muitas vezes sem analisar e verificar o ritmo de sucessão habitual dos tipos de tempo. Desta forma, se deve tratar as duas perspectivas de análise das ICU de forma complementar, quando possível, pois ambas se integram de modo a prover dados e reflexões a partir de seus resultados de uma maneira mais fidedigna à realidade.

Portanto, para o atendimento dos objetivos propostos à pesquisa, foram realizadas quatro etapas principais (Figura 7):

Figura 7: Fluxograma do objetivo geral da pesquisa e etapas realizadas para sua obtenção



Fonte: Elaboração própria (2023).

4.1 Coleta e processamento dos dados de sensoriamento remoto

Para a geração dos mapas de intensidade de temperatura, referente às ilhas de calor superficiais, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 (Coleção 2, nível 1) da banda 10, do canal infravermelho termal/TIRS 1, apresentando resolução espectral de 10.6-11.19 μm e resolução espacial disponibilizada pela USGS de 30 metros.

Todos os dados da Coleção 2 Landsat 8-9 OLI/TIRS coleta 2 nível 1 são processados utilizando o sistema de Geração de Produtos Landsat (LPGS), que contam com os parâmetros aplicados como disposto na Tabela 3.

Tabela 3 - Sistema de Geração de Produtos Landsat

PARÂMETRO	
Tamanho do pixel	1 – Bandas termais TIRS/TIRS-2: 100 metros (reamostradas para 30 metros para corresponder às bandas multiespectrais);
Característica dos dados	2 – Reamostragem de GeoTIFF (COG) Convolução Cúbica (CC) otimizada para nuvem; 3 – Projeção de mapa Universal Transversa de Mercator (UTM); 4 – Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 <i>Datum</i> ; 5 – Erro circular de 12 metros, precisão global de 90% de confiança para OLI/OLI2; 6 – Erro circular de 41 metros, precisão global de 90% de confiança para TIRS/TIRS-2; 7 – Valores de pixel de 16 bits.

Fonte: Adaptado de USGS (2020).

Assim, obteve-se imagens através da plataforma *Earth Explorer*, no sítio eletrônico da USGS¹ para a elaboração das cartas termais superficiais e NDVI, referentes ao ano de 2021 (21/04, 26/07, 11/08, 12/09, 25/12) abarcando uma heterogeneidade do uso e cobertura da terra no intraurbano e rural, tal qual a sazonalidade da temperatura dos alvos superficiais mediante os episódios climáticos no clima urbano.

Em conjunto à obtenção das imagens, fora levantado dados de precipitação que antecedem a tomada das imagens divididas em períodos de cinco, dez, vinte e trinta dias antes das mesmas. Este método baseou-se nos trabalhos de Amorim (2018, 2020) de modo a analisar a distribuição da chuva e sua sazonalidade em relação ao comportamento da temperatura e vegetação no intraurbano.

Os reservatórios de água encontrados no recorte das cartas termais e NDVI (Balneário da Amizade, Represa da Cica e a Cidade da Criança) foram delimitados por polígonos na cor azul, a fim de diferenciá-los do restante da análise, e seus valores isolados do resultado final. Sua presença na metodologia da análise da temperatura dos alvos superficiais e índice vegetativo causa interferências, devido a água ser um corpo com baixo albedo (0.03 – 0.10) e alta emissividade (0.92 – 0.97) (OKE, 1987), sendo justificado seu isolamento.

Todavia, ao contrário das superfícies terrestres, os corpos d'água transferem energia primariamente por meio da convecção, sendo responsável pela uniformidade da temperatura de superfície durante o dia e à noite, resultando em uma alta inércia termal, que implica em corpos

¹ Disponibilizadas gratuitamente em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

d'água relativamente mais frios do que a terra durante o dia e relativamente mais quentes do que as terras vizinhas ao amanhecer (JENSEN, 2009).

Em relação ao NDVI, os corpos d'água não respondem à fórmula (Equação 3) de forma positiva, visto que este índice é altamente correlacionado com o índice de área foliar (IAF). Assim, os reservatórios de água apresentavam índices muito baixos de vegetação por diferença normalizada, não mantendo um padrão de confiabilidade para a análise em específico.

Cabe afirmar que a escolha das imagens foram somente do período diurno e tiveram tal recorte temporal devido à dificuldade na seleção apropriada das mesmas para a implementação do algoritmo necessário, que para Lombardo (1985, p. 46) “[...] consiste na necessidade de se encontrar condições de estabilidade atmosférica favoráveis: céu claro, ausência de nebulosidade, baixo teor de vapor d'água”, pois estas são capazes de alterar a confiabilidade dos resultados e inviabilizam sua utilização.

O processamento da banda termal do Landsat 8 (Banda 10) se deu no programa *ArcGIS Pro*² com a ferramenta *Raster Calculator*, utilizando fórmulas que transformam os níveis de cinza (NC ou *Digital number*) de uma imagem de satélite para radiância espectral e posteriormente em temperatura Kelvin (K), sendo convertida para graus Celsius (°C) por meio da subtração de cada pixel por 273.15³.

A conversão dos níveis de cinza da imagem em radiância se materializou perante a aplicação da seguinte equação:

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

L_{λ} = Radiância do topo da atmosfera/Radiância espectral (Watts/(m²srum))

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento (0.0003342)

AL = Fator aditivo de redimensionamento (0.1000)

Qcal = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (Banda 10)

A temperatura da superfície foi obtida através da transformação da radiância em graus Kelvin e posteriormente graus Celsius, mediante a aplicação da disposta equação (2), de acordo com Becker e Ugeda Júnior (2019):

$$T_{sup} = (K_2 / \ln(k_1 / L_{\lambda}) - 1) - 273.15 \quad (2)$$

² Um produto *Esri*TM, sob licença cedida aos laboratórios pela UNESP.

³ As equações e parâmetros estão disponibilizados em: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>

Sendo:

T_{sup} = Temperatura da superfície em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

k_1 e K_2 = Constantes a depender do sensor. No sensor OLI, os valores de k_1 e K_2 são respectivamente 774.8853 e $\text{W m}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e 1321.0789 K

$L \lambda$ = Radiância do topo da atmosfera/Radiância espectral ($\text{Watts}/(\text{m}^2\text{srum})$)

Após este processamento, os valores de temperatura contidos em cada pixel foram subtraídos do menor valor médio presente em área vegetada independente do período do ano, sendo este o Parque Ecológico Municipal “Chico Mendes” – Mata do Furquim (Figura 9), em Presidente Prudente ($22^{\circ} 05' \text{ S}$ e $51^{\circ} 22' \text{ O}$). O ponto foi padronizado para todos os mapas termais, com a finalidade de se obter as diferenças das temperaturas dos alvos das áreas em relação a uma paisagem vegetada, gerando-se assim a intensidade de temperatura em graus celsius.

Para a análise vegetativa, utilizou-se do NDVI, inserido nos índices de vegetação, sendo estes “medidas radiométrica adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente ativa absorvida” (JENSEN, 2009, p. 384).

Por meio do NDVI, mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividade da vegetação podem ser monitoradas, resultando em valores que variam de -1 a 1, sendo os índices próximos a 1 representantes das vegetações ativas. As bandas utilizadas neste processo correspondem as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do Landsat 8, aplicada pela equação (3) disposta a seguir:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (3)$$

Onde:

NIR = *Near-Infrared Band* (Banda 5)

RED = *Red Band* (Banda 4)

As metodologias aqui descritas e seus respectivos resultados foram organizadas no formato de cartas comparativas de forma a facilitar a demonstração visual das mudanças

sazonais e sua associação concomitante com os elementos climáticos e características atmosféricas atuantes.

4.2 Coleta e processamento dos dados associados à atmosfera

Uma das formas de se investigar a interferência urbana na temperatura refere-se à comparação entre dois pontos distintos: um urbano e outro rural. Para tal, é fundamental que a escolha da área de instalação do sensor automático ocorra em locais representativos de cada ambiente. No urbano deve-se escolher uma área construída típica da cidade, e no rural, a que seja mais próxima as características naturais anteriores à ocupação, o entorno rural próximo (AMORIM, 2000).

Para uma análise mais detalhada da ICU_{ATM} , por meio da utilização dos pontos fixos, requer uma grande quantidade de sensores instalados no intraurbano em comparação com as características rurais próximas da malha urbana. Porém, devido ao custo, manutenção e disponibilidade dos mesmos, nem sempre é possível o uso de diversos sensores automáticos

A investigação das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte apresenta certas facilidades para o registro das temperaturas na medida em que seu território reduzido possibilita melhor detalhamento dos ambientes intraurbanos (AMORIM, 2020, p. 46).

Assim, quando disponível, é fundamental complementar a análise dos dados primários obtidos a partir dos sensores automáticos com a especificação dos aspectos físicos da área e dados secundários para caracterização dos tipos de tempo e identificação dos sistemas atmosféricos atuantes nos dias de registro.

Nesse sentido, visando complementar a análise espacial dos registradores fixos, fez-se necessário a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes no período analisado por meio do gráfico de análise rítmica (MONTEIRO, 1971). Para tal, utilizou-se imagens do satélite GOES - 16⁴ e as cartas sinóticas de superfície da Marinha do Brasil⁵.

Em conjunto, foi obtido os dados referentes à precipitação; temperatura; umidade relativa do ar (UR); pressão atmosférica; direção do vento; velocidade do vento; nebulosidade; oriundos da estação automática A707 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)⁶

⁴ Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>

⁵ Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>

⁶ Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>

localizada no município de Presidente Prudente , sob a latitude geográfica -22,120000, longitude -51,408611 e altitude de 431,92 metros acima do nível do mar.

A fim de complementar e aumentar a acurácia dos dados obtidos, utilizou-se dados da estação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)⁷ localizada dentro da Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus Presidente Prudente, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita filho” (UNESP).

A partir do tratamento e tabulação dos dados em planilhas *Excel*⁸ é possível a identificação dos sistemas atmosféricos junto aos elementos do clima para assim obter-se o ritmo climático (MONTEIRO, 1976) e analisar a dinamicidade da atmosfera, articulado com as ICU_{ATM} , no período estudado.

O registro dos pontos fixos ocorreu por meio de três sensores *data loggers* da marca HOBO (U23-002) com acurácia de $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ (0° a 50°C) e resolução de $0,02^{\circ}\text{C}$ (HOBO Data Loggers, 2017). Os mesmos foram protegidos da incidência de radiação solar direta por abrigo RS3 da mesma marca, e instalados a 1,50 metros do solo de modo a não sofrer interferência da radiação terrestre (Figura 8).

Figura 8 - Abrigo meteorológico (RS3 – Hobo) com registrador de temperatura e umidade – data logger (U23-002) Hobo



Fonte: AMORIM (2020).

⁷ Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>

⁸ Um produto *Microsoft*TM.

Desta forma tornou-se possível obter e analisar os dados de temperatura e umidade relativa do ar em três pontos com características distintas de cobertura da terra em Presidente Prudente, sendo duas áreas urbanas (uma densamente construída e outra com vegetação agroflorestal) e um ponto representativo do rural.

A coleta se deu em dois meses da estação chuvosa (fevereiro e março) e dois meses da estação seca (julho e agosto) do ano de 2021 para fins de comparação entre ambas. Para a análise dos dados registrados em cada área estudada, foi calculada a intensidade de temperatura e UR através da diferença dos dados de cada ponto em relação ao ponto 1 (representativo rural), determinado como o ponto de referência.

Em sequência, foram elaborados painéis espaço temporais de temperatura e UR para cada mês, em três horários representativos dos períodos do dia (9h, 15h e 21h) através do programa *Surfer*⁹ 11. A partir destes três horários, representativos dos períodos diurno e noturno, se faz possível analisar o intervalo da manhã e o aquecimento matutino, o intervalo vespertino junto à maior incidência de raios solares durante o dia, e monitorar o intervalo noturno em relação a ocorrência das ICU_{ATM} noturnas. Com as intensidades calculadas, foi possível observar a influência das características de cada área no microclima e no clima local.

Ressalta-se que, devido a geração e identificação da ICU pautar-se na diferença do urbano com o rural, é através de sua intensidade que obtemos os importantes resultados assim como as características do fenômeno. Assim, as análises referentes a ICU atmosférica inferior baseou-se nas magnitudes de Fernández García (1995) como disposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Magnitude da ilha de calor de acordo com sua intensidade

MAGNITUDE	INTENSIDADES
Fraca	0°C – 2°C
Moderada	2°C – 4°C
Forte	4°C – 6°C
Muito forte	>6°C

Fonte: Adaptado de Fernández García (1995, p. 264).

Amorim (2000; 2020) complementa ao apontar que quando os valores de intensidades se encontram abaixo de 0°C, tem-se o fenômeno da ilha de frescor, sendo este o oposto da ilha de calor, determinado pela porção do urbano apresentar menos aquecimento do que o rural por diversos fatores, como o relevo, sombreamento, precipitação, vegetação, dentre outros.

⁹ Um produto *Golden Software*TM, sob licença cedida aos laboratórios pela UNESP.

Assim como as cartas termais e NDVI, a disposição dos painéis espaço temporais de temperatura e UR, gráficos de análise rítmica e localização dos registradores fixos foram organizadas no formato de cartas comparativas, de modo a facilitar a demonstração visual das mudanças sazonais e o ritmo climático.

4.2.1 Caracterização dos pontos fixos

Para a seleção dos pontos fixos de medição dos dados foram considerados o padrão de uso e ocupação da terra do município de Presidente Prudente, de modo a aferir a temperatura e umidade relativa do ar a fim de analisar e comparar as diferenças existentes entre a cidade e o rural em 3 pontos distintos (Figura 9).

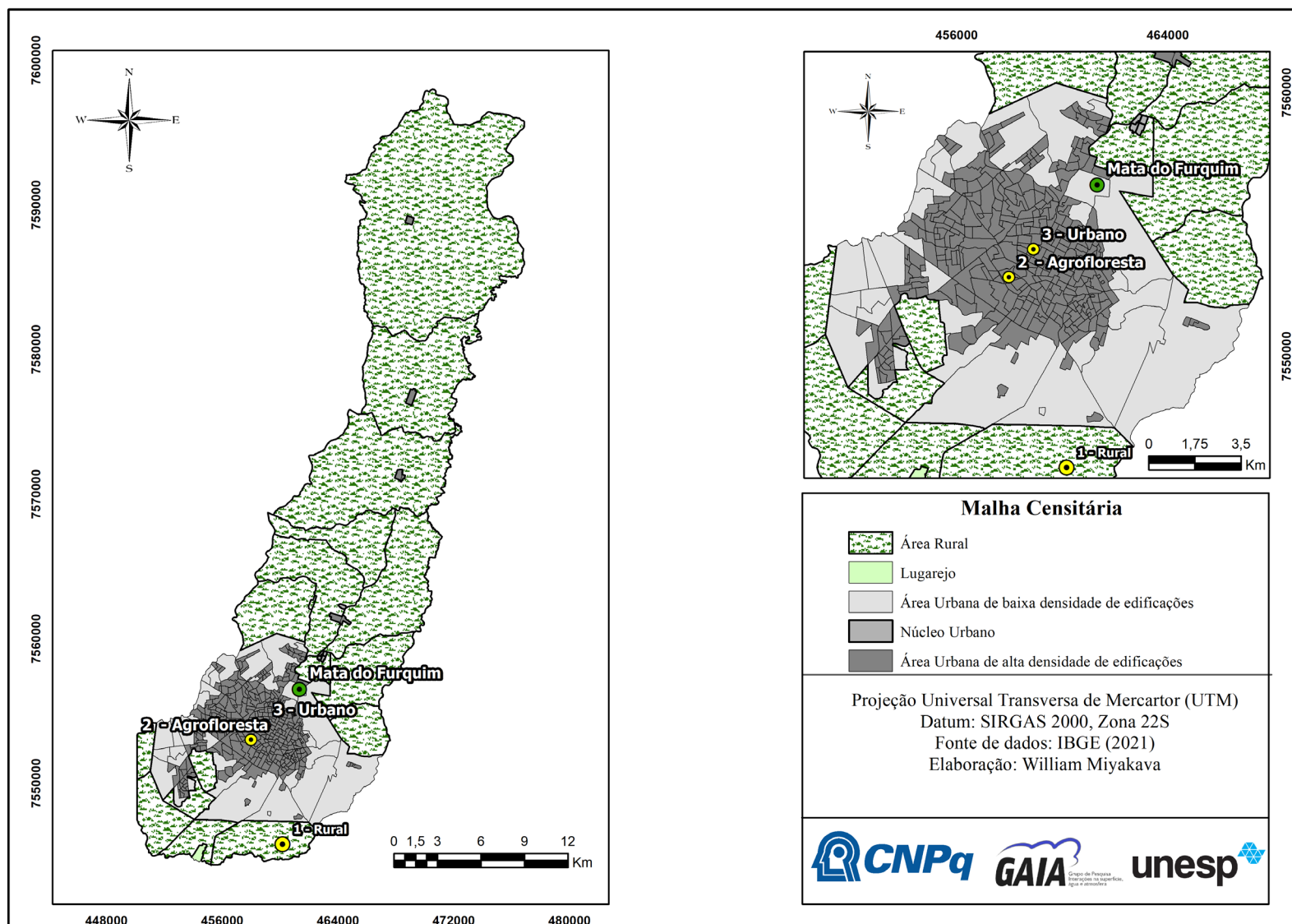
Para a elaboração do mapa de localização dos registradores automáticos fora utilizado a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2021, respeitando as divisões político-administrativas do Brasil, a partir das unidades da federação: Estados, Municípios, Distritos e Subdistritos.

A fim de estudos estatísticos e geográficos, o IBGE subdivide tais áreas em unidades ainda menores, os setores censitários, sendo uma unidade territorial de coleta e divulgação de dados estatísticos do IBGE. Cada setor censitário recebe uma classificação de acordo com suas características geográficas.

Dentro da área urbana temos três subdivisões: área urbana de alta densidade de edificações; área urbana de baixa densidade de edificações, processos de expansão urbana, áreas verdes desabitadas, entre outras; e o núcleo urbano, sendo aglomerações urbanas separadas das cidades e vilas por menos de 1km ou que, superando essa distância, apresentem características urbanas - loteamentos, conjuntos habitacionais e condomínios (IBGE, 2022).

Na área rural temos o aglomerado rural, caracterizado pelo caráter aglomerado de domicílios, normalmente distantes entre si não mais que 50 metros e separados da franja das cidades e vilas por mais de 1km, com exceção dos núcleos urbanos, subdividido entre povoado (existência de comércio e serviços), núcleo (vinculado a um único proprietário, fazenda ou estabelecimento agropecuário) e lugarejo (não dispõe de comércio e serviços como o povoado); e a área rural, determinada pela dispersão de domicílios e presença usual de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2022).

Figura 9 - Localização dos pontos fixos de medição atmosférica e da Mata do Furquim no município de Presidente Prudente (SP)



Fonte: IBGE. Elaboração: Miyakava (2023).

Na área rural do município encontra-se o ponto 1 da pesquisa (Figura 10). Localiza-se na porção sudeste, fora da malha urbana, sob as coordenadas $22^{\circ}11'34.09''\text{S}$ e $51^{\circ}23'10.85''\text{O}$, a aproximadamente 449 metros de altitude em relação ao nível do mar, no km 561 da Rodovia Raposo Tavares, e possui no entorno cobertura vegetal rasteira e arbórea (AMORIM, 2016).

Figura 10 – Localização e caracterização da área referente ao sensor automático inserido no ponto rural



Fonte: Google Earth. Elaboração: Miyakava (2022).

No intraurbano, situa-se o ponto 2 da pesquisa, a Agrofloresta (Figura 11). Localiza-se dentro da malha urbana na porção centro-oeste, sob as coordenadas $22^{\circ}7'39.01''\text{S}$ e $51^{\circ}24'27.00''\text{O}$, a aproximadamente 447m de altitude em relação ao nível do mar, sendo o entorno ocupado por condomínios fechados e prédios de alto padrão. No local funciona o Seminário Diocesano Nossa Senhora Mãe da Igreja, uma instituição religiosa voltada a formação de padres.

Figura 11 - Localização e caracterização da área referente ao sensor automático inserido no intraurbano (Sistema Agroflorestal)



Fonte: Google Earth. Elaboração: Miyakava (2022).

O Sistema Agroflorestal urbano estava em início de manejo porém já apresentava características necessárias para a coleta de dados (Figura 12). GÖTSCH (1996) entende o princípio agroflorestal como um consórcio de diferentes espécies vegetais, alimentícias ou não, considerando o interior do espaço ocupado por área verde onde são cultivadas espécies frutíferas, plantas alimentícias não convencionais (PANCs), ervas medicinais entre outras.

Além do consórcio, foi possível observar o princípio de estratificação (Figura 12), apresentando predomínio de espécies arbóreas frutíferas de pequeno, médio e grande porte em diferentes estágios de desenvolvimento, que contribuem para a maior divisão da radiação solar no solo e manutenção dos elementos climáticos, como a umidade relativa do ar, por conta do efeito de sombreamento.

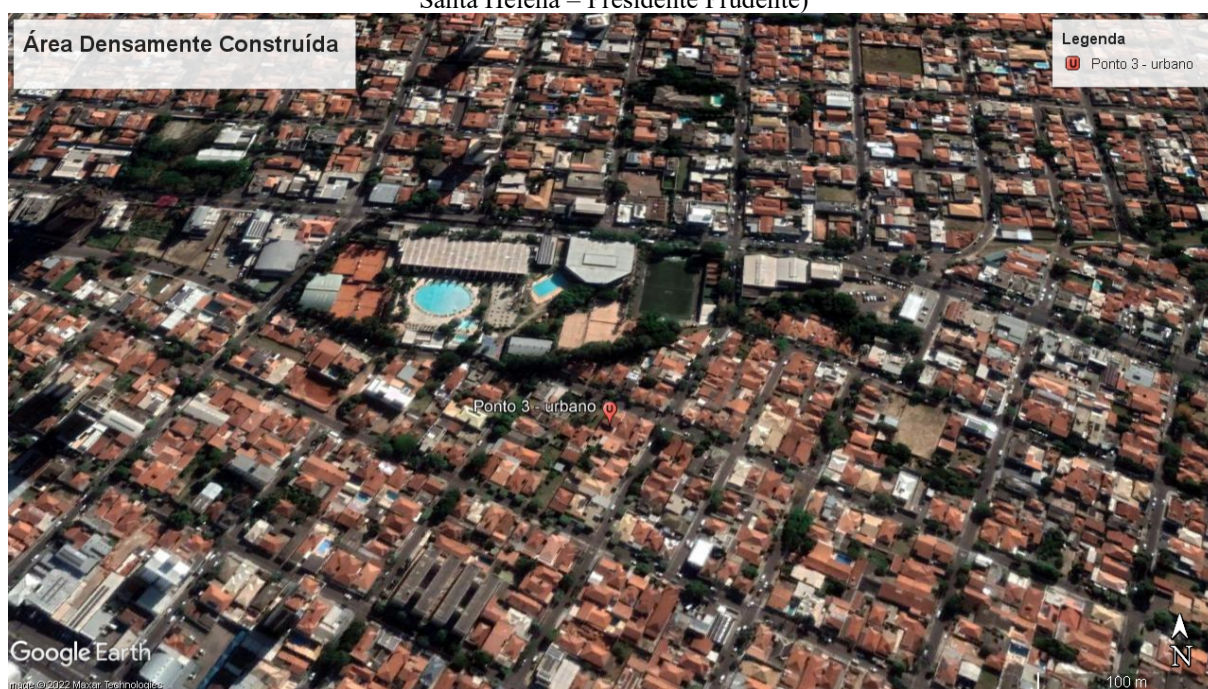
Figura 12 - Área de cultivo agroflorestal urbano em Presidente Prudente (SP)

	
Vegetação em diferentes extratos e estágios de desenvolvimento	Sensor automático instalado na área no início do manejo
	
Vegetação frutífera de extrato médio e baixo	Vegetação de baixo, médio e alto extrato

Fonte: Goes (2022).

Por fim, o ponto 3 da pesquisa (Figura 13), localiza-se dentro da malha urbana próximo ao centro da cidade, sob as coordenadas $22^{\circ} 7'4.71''\text{S}$ e $51^{\circ}23'54.16''\text{O}$, a aproximadamente 424 metros de altitude em relação ao nível do mar, apresentando média cobertura vegetal arbórea nas calçadas e quintais, característica dos bairros mais antigos de Presidente Prudente (SP). Trata-se de uma área densamente construída, com alta pavimentação do solo, com entorno caracterizado por edificações de alvenaria com telhados de cerâmica vermelha (AMORIM, 2016).

Figura 13 - Localização e caracterização da área referente ao sensor automático inserido no intraurbano (Bairro Santa Helena – Presidente Prudente)



Fonte: Google Earth. Elaboração: Miyakava (2022).

4.3 Perfil de uso e ocupação da terra

Para compor a análise do uso e ocupação da terra com foco no perfil vegetativo, utilizou-se o mapa das potenciais Zonas Climáticas Locais (LCZ) em Presidente Prudente de Cardoso(2015).

Sua elaboração pautou-se na classificação de Stewart (2011), *Local Climate Zones* – Zonas Climáticas Locais (LCZ), baseada na capacidade da modificação do clima local devido à radiação térmica, rugosidade, umidade e propriedades antropogênicas.

Stewart (2011) criou uma classificação centrada na paisagem seguindo o princípio da modificação da superfície, possibilitando o diagnóstico do grau em que o aspecto técnico-

cultural se sobrepõe à superfície físico-natural. Desta forma, as áreas são detalhadas em relação às propriedades que impactam o clima próximo à superfície, tendo a exposição de forma clara e padronizada das informações, o que possibilita uma interpretação mais fidedigna do clima urbano (CARDOSO, 2015).

As potenciais zonas climáticas locais foram mapeadas, em um primeiro momento, a partir do conhecimento prévio da autora com o auxílio da imagem GeoEye-1 de 5 de março de 2013 (adquirida pelo Programa de Pós Graduação da FCT/UNESP), permitindo a definição das classes temáticas que apresentaram semelhanças com os diferentes arranjos da paisagem urbana de Presidente Prudente. Durante este processo, utilizou-se do programa *ArcGIS*, pela técnica de interpretação visual.

A identificação das características se deu através da metodologia dos transectos móveis para medir os dados de temperatura ao longo de percursos que expressassem a diversidade das LCZs, sendo adicionado pela autora o adjetivo “potencial” à nomenclatura original de Stewart, “zonas climáticas locais”, devido à abrangência de áreas que não seriam atingidas. A ênfase de dados referiu-se à temperatura, não equivalendo aos demais elementos climáticos, tais como a umidade do ar, direção e velocidade do vento, entre outros.

A obtenção da temperatura do ar se deu de forma manual, de quarteirão em quarteirão da cidade (distância média de 100m entre os pontos), com base em técnicas de interpretação visual e validação em campo. A temperatura dos alvos foi obtida de quadra a quadra, por meio de termômetro digital infravermelho pela janela do carro em direção ao objeto ou superfície.

Após a tabulação dos dados, foram elaborados modelos espaciais das ilhas de calor através do cálculo de regressões lineares, realizado no programa IDRISI¹⁰, referente ao cálculo da frequência (%) de cada LCZ em “janelas” com tamanhos variados: 3x3 pixels (90x90m), até 33x33 pixels (990x990m). A partir destas frequências, obteve-se a frequência média de cada classe no entorno dos pontos.

Desta forma, foram identificadas 20 classes, possibilitando a visualização da distribuição das LCZs na malha urbana de Presidente Prudente e os locais onde as alterações da superfície são mais significativas.

Justifica-se a inserção das LCZs a partir da metodologia descrita para obtenção dos resultados desta pesquisa considerando a importância do uso e ocupação da terra e sua influência no clima urbano, utilizando-se somente das classificações de zonas climáticas relacionadas à presença de vegetação, sendo estas: Vegetação arbórea densa; Vegetação arbórea

¹⁰ IDRISI é marca registrada da *Clark Labs – Geospatial Software for Monitoring and Modeling the Earth System*.

esparsa; Vegetação rasteira. Também foi utilizado a unidade climática construtiva com a presença de vegetação: Compacta de baixa elevação com vegetação arbórea esparsa; Compacta de baixa elevação com vegetação rasteira; Grandes construções de baixa elevação com vegetação rasteira (CARDOSO; AMORIM, 2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Lombardo (1985) afirma que a indissociável relação entre o uso da terra e elevação das temperaturas encontradas nas cidades impõe uma análise partindo-se de diferentes escalas referente aos padrões de uso do solo urbano. Nessa perspectiva, Amorim (2000) e Cardoso (2015) verificaram a partir de seus trabalhos referentes a Presidente Prudente que:

A morfologia da superfície afeta o clima local por meio da modificação do fluxo de ar e do transporte de calor no ar, enquanto a cobertura da terra modifica o albedo, a disponibilidade de umidade e o potencial de aquecimento/resfriamento do solo (AMORIM, 2020, p. 60).

Desta forma, conforme apresentado na introdução deste trabalho, partiu-se da hipótese de que o uso e cobertura da terra, em específico a cobertura vegetal, influencia positivamente na dinâmica do clima urbano. Gomes e Amorim (2003) em seu estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente aferiram que as espécies de médio e grande porte desencadeiam ventilação e sombreamento, ao mesmo tempo de ser uma reguladora do campo térmico urbano.

Foram inseridas na análise as características das temperaturas da superfície destacando-se a importância das técnicas de sensoriamento remoto, ao modo que a conversão dos dados obtidos em cartas termais e índice vegetativo permitiu uma melhor visualização dos fenômenos atmosféricos, complementando assim a da ilha de calor atmosférica inferior.

Amorim (2020) argumenta a utilização das imagens termais como o primeiro passo para se diagnosticar as fontes de calor dispostas na superfície, considerando-se os totais de precipitação nos períodos que antecederam a tomada das imagens, de modo a compreender as diferenças nas intensidades das ICU superficiais e como estas podem interferir na temperatura do ar.

Assim, partiu-se do pressuposto teórico-metodológico de Monteiro (1976) a respeito do Sistema Clima Urbano, considerando-se o paradigma da Geografia do Clima (SANT'ANNA NETO, 2001), de modo que este trabalho possa responder às indagações e necessidades da sociedade perante o clima e seus fenômenos atmosféricos, perpassando pelos procedimentos metodológicos propostos por Lombardo (1985) e Amorim (2000; 2014; 2020) no que tange a análise e diagnóstico das ilhas de calor urbanas.

5.1 Ilhas de calor superficiais

As temperaturas da superfície têm maior variabilidade espacial e temporal no período diurno do que as temperaturas do ar devido a variabilidade das características térmicas da cobertura da terra (GARTLAND, 2010; LOMBARDO, 1985; WENG, 2003).

Weng (2003) argumentou que poucos estudos analisaram as temperaturas dos alvos, e consequentemente a ocorrência da intensidade das ICU_{SUP} , para além somente das características do uso da terra, mas englobando fatores como a sazonalidade e variabilidade de precipitação, comuns nos ambientes tropicais.

Nesta perspectiva, Amorim (2018) demonstrou que durante o período diurno, a variabilidade espacial da temperatura da superfície está associada às condições atmosféricas no período que antecede a tomada da imagem termal, sendo as maiores diferenças entre as áreas construídas e não construídas no período chuvoso.

Os resultados da análise das imagens termais e vegetativas (Prancha 1) evidenciaram que os contrastes de intensidade de temperatura e vegetação estão diretamente relacionados com a ocorrência ou não de precipitação nos períodos antecedentes à tomada de imagens.

Quando há menor total de precipitação a vegetação fica menos exuberante, diminuindo os gradientes entre o urbano e o rural, devido ao fato da cidade apresentar diversos tipos de cobertura da terra no intraurbano e o ponto rural, temporariamente, apresentar menos índice vegetativo aparente.

Entretanto, quando há maior total de precipitação, a vegetação tem suas folhas mais desenvolvidas e maior umidade no solo, resultando em menores temperaturas superficiais do que comparado aos ambientes construídos.

Há também épocas mais propícias que outras para extração de informações biofísicas da vegetação (biomassa) a partir do SR. Os ciclos fenomenológicos das plantas referem-se às que perdem folhas sazonalmente (decíduas) e as que mantêm suas folhas em todas as estações do ano (perenifólias) (JENSEN, 2009). Isto também se aplica à realidade fora do sensoriamento remoto, visto que a presença da vegetação é fator decisivo para a intensidade de temperatura dos alvos no urbano e no rural.

Os resultados aqui obtidos conversam diretamente com os apresentados em Mauro (2020), para o município de Presidente Prudente. O autor referenciou sua análise das temperaturas superficiais em um período de trinta anos, com um recorte temporal de dez anos, referente à estação seca e chuvosa, sendo estes: 1989, 1999, 2009 e 2019.

O predomínio das ilhas de calor superficiais durante os anos de 1989 e 1999 no período de estiagem (seco) foram de magnitude fraca (0°C a 2°C) e moderada (2°C a 4°C), devido ao ressecamento da vegetação em áreas rurais, ocasionando o aumento da temperatura dos alvos respectivos, tendendo a igualar as intensidades entre o urbano e rural próximo. Já no período chuvoso, o predomínio fora de moderada magnitude, localizadas principalmente na porção central da cidade, abrangendo mais de 50% da área total.

Durante os anos de 2009 e 2019, durante o período seco, certas porções do território rural apresentaram ICU_{SUP} de moderada, forte (4°C a 6°C) e muito forte (maior que 6°C) magnitudes, devido a intensa estiagem precedente à tomada de imagens, ocasionando inclusive algumas ilhas de frescor no intraurbano. No período chuvoso, manteve-se o percentual das ICU_{SUP} de forte magnitude, ao mesmo tempo de um aumento expressivo de magnitudes muito fortes, por todo o recorte geográfico, chegando a 40% da área urbana de Presidente Prudente, no ano de 2019.

Desta forma, segundo Mauro (2020), o fenômeno das ilhas de calor superficiais intensificou-se nos anos de 2009 e 2019, com preponderância das magnitudes forte e muito forte, ao mesmo tempo que comprovou o acréscimo das áreas edificadas na cidade de Presidente Prudente. As novas formações de ICU_{SUP} relacionam-se diretamente com as regiões da mancha urbana que surgiram ao longo dessas três décadas, devido às características construtivas dos loteamentos urbanos brasileiros, sendo certo que tal fator constitui papel importante, porém não exclusivo, na elevação das temperaturas superficiais do ambiente intraurbano, principalmente em períodos de precipitação.

Em relação ao ano de 2021, referente à precipitação, Presidente Prudente apresentou um perfil extremamente seco, se comparado à série histórica de dados registrados na estação meteorológica localizada na FCT/UNESP. O total de precipitação acumulado em milímetros (mm) deste ano foi de 823,4 mm¹¹, sendo os meses referentes às imagens termais obtidas: abril – 4mm; julho – 2,8mm; agosto – 28,8mm; setembro – 21mm; dezembro – 46,4mm. Ressalta-se que estes valores se referem ao mês como um todo, portanto apresentam diferenças ao serem comparadas à precipitação anterior a tomada de imagens.

Os valores históricos (1969 – 2015) para Presidente Prudente apresentam uma média anual de precipitação de 1318mm, sendo para escala mensal: 70mm em abril; 42mm em julho; 37mm em agosto; 79mm em setembro; 173mm em dezembro (TOMMASELLI, 2016).

¹¹ Dados oriundos da estação automática A707 – Presidente Prudente/INMET. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>

Os alvos comportam-se de modo distinto da temperatura do ar, onde Mutiibwa *et al.* (2015) mostraram que há forte relação entre a temperatura da superfície e a temperatura do ar próxima à superfície, embora ambas tenham condições atmosféricas diferentes e sua capacidade de responder as mais diversas indagações da sociedade.

Deste modo, as ilhas de calor de superfície apresentaram uma magnitude muito forte (acima de 10°C) nos períodos com total inferior de precipitação e média magnitude (acima de 6°C) no período com total elevado de precipitação, destacando-se as altas temperaturas nos diferentes materiais urbanos quando comparado ao entorno rural próximo.

Nas cartas termiais de superfície, todos os dias analisados do ano de 2021 (Prancha 1, dias 21/04, 26/07, 11/08, 25/12), com exceção do dia 12 de setembro, apresentam baixos índices de precipitação aos 5 dias que antecedem o imageamento, resultando na menor intensidade de temperatura encontrado no intraurbano em relação ao entorno rural próximo. Isto não significa que a cidade ficou mais “fresca”, e sim que o campo ficou mais quente devido à diminuição da biomassa (AMORIM, 2018).

Nos dias em que houve uma homogeneização entre o campo e a cidade e com baixa diferença de temperatura entre as áreas vegetadas e construídas (21/04/21, 26/07/21, 11/08/21, 25/12/21) não foi constatada a presença do fenômeno da ilha de calor superficial, pois somente alguns fragmentos do intraurbano apresentaram maiores diferenças se comparado com o rural. Somente no dia 21 de abril de 2021, na porção Oeste e Leste da cidade, apresentaram maior intensidade se comparado com o campo.

Em contrapartida, no dia 12 de setembro de 2021 as áreas construídas se apresentaram mais quentes do que as áreas vegetadas no rural, sendo comum no período chuvoso e, portanto, com a ocorrência da ICU_{SUP}. Entretanto, a chuva abarcou somente a porção noroeste da cidade, sendo evidenciada na carta termal, causando uma disparidade de temperaturas no intraurbano. A esse respeito:

Essas características observadas no período chuvoso ocorrem porque a vegetação depende da precipitação para se manter exuberante. Nesse período, a vegetação rasteira (pastagem) predomina no entorno de Presidente Prudente. Há também alguns fragmentos de vegetação arbórea, particularmente nos fundos de vale, que possuem folhas bem desenvolvidas e que possibilitam que o ambiente rural apresente temperaturas dos alvos menores do que as áreas construídas e com solo exposto (AMORIM, 2020, p. 65).

A superfície coberta por vegetação manifesta maior capacidade térmica e necessita de maior quantidade de energia para que sua temperatura aumente 1°C quando comparado com os materiais urbanos (JENSEN, 2009). Portanto, o NDVI apresenta um papel fundamental ao ser

comparado com a intensidade da ICU_{SUP} , comprovando-se a importância do maior desenvolvimento da cobertura vegetal na diferenciação entre o urbano e o rural.

Jensen (2009) também aponta que o solo coberto por vegetação perde energia por meio do processo de evaporação e evapotranspiração ao transformar o calor sensível em calor latente e transferi-lo para a atmosfera sem ocasionar o aumento de temperatura. Assim, as áreas cobertas por vegetação, mesmo que rasteira, apresentaram menores temperaturas, verificado a partir do Ponto 1 – Rural (Figura 10) que apresentou menor intensidade ($^{\circ}C$) ou equivalência da mesma, no recorte temporal proposto, porém nunca maior se comparado com o Ponto 2 – Agrofloresta (Figura 11) e Ponto 3 – Urbano (Figura 13).

Durante os períodos de estiagem, além da diminuição da umidade do solo, há o declínio da evaporação e evapotranspiração, ocasionando solos secos e sem vegetação abundante. Estes apresentam menos albedo e retêm mais calor, resultando em temperaturas elevadas na área rural e muito próximas com as do ambiente construído.

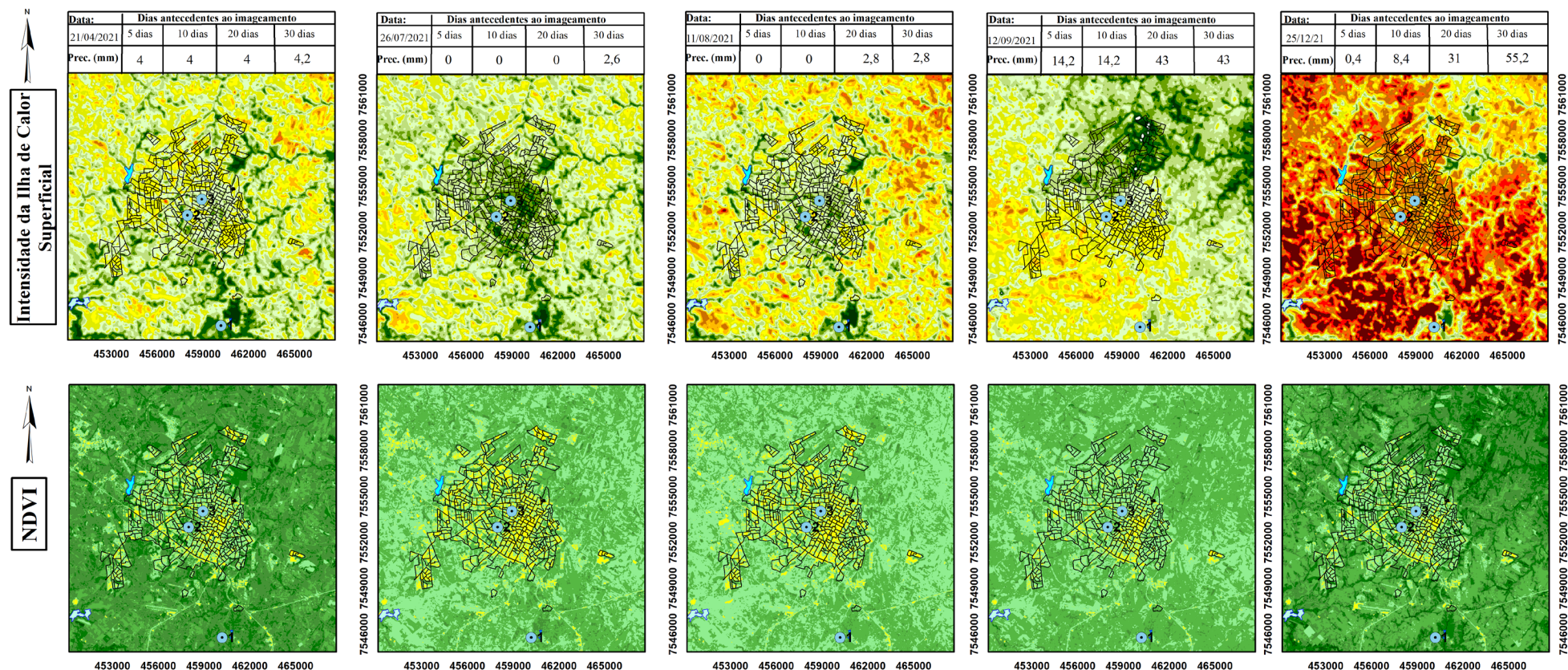
As áreas mais quentes foram registradas em algumas parcelas de solos descobertos ou com predomínio de pastagens, enquanto as superfícies com menores temperaturas corresponderam as áreas de adensamento vegetativo (matas de galeria) e em alguns bairros da cidade, com exceção do dia 26 de julho de 2021, onde houve uma homogeneização da temperatura no intraurbano.

À vista disso, os maiores contrastes de temperatura no período mais seco ocorreram entre as áreas com densa cobertura arbórea, capazes de reter umidade por meio da vegetação mesmo em períodos de estiagem, e os outros alvos localizados tanto no urbano quanto no rural.

Amorim (2020) relaciona a sazonalidade das ilhas de calor superficiais e sua magnitude com os períodos do ano. Estas são mais evidentes durante os períodos com maior precipitação, especialmente quando bem distribuídas durante os 30 dias que antecedem a tomada das imagens, resultando em uma vegetação mais vigorosa nas áreas rurais.

Em síntese os resultados obtidos equipararam-se conforme os apontamentos de Amorim (2020). A alta precipitação aumenta a intensidade da ICU superficial, pois ela causa o aumento da atividade fotossintética na área rural, que diminui a temperatura dos alvos. Já no período seco, diminui-se a intensidade da ICU_{SUP} em comparação com o rural, causando um contraste inverso (AMORIM, 2000). Neste caso, aumenta-se as diferenças intraurbanas devido as características construtivas encontradas nas coberturas.

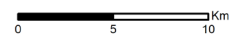
Prancha 1 - Distribuição sazonal e espacial da intensidade da ilha de calor de superfície e NDVI para Presidente Prudente (2021)



Informações Cartográficas:

Projeção: Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum: SIRGAS 2000, Fuso 22 Sul
Base Vetorial: IBGE, 2021

Escala:



Instituição de Ensino:



Grupo de Pesquisa:



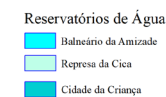
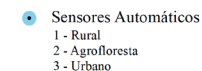
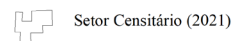
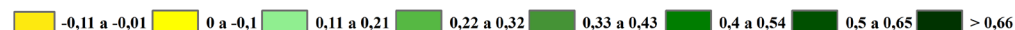
Fomento:



Intensidade (C°)



NDVI:



Elaboração: William Miyakava
Orientadora: Profa. Dra. Margarete Amorim

5.2 Ilhas de calor atmosféricas

Através dos dados obtidos dos sensores automáticos instalados no intraurbano e rural próximo, partindo do pressuposto de Monteiro (1971;1976) e metodologia de Fernández García (1995), foi identificadas as magnitudes encontradas para o recorte da pesquisa. A numeração dos pontos foi organizada de sul para norte, para coerência espacial dos painéis espaço-temporais de temperatura e umidade relativa do ar, assim como suas caracterizações, disposto na seção 4.2.1.

Foram coletados dados referente a estação chuvosa (fevereiro e março) e seca (julho e agosto) de 2021, mas como posto na seção 5.1, este ano foi extremamente seco, com irregularidade de precipitação e baixa sazonalidade. Foi acumulado 386,8mm de precipitação referente aos meses de janeiro, fevereiro e março, representativos do verão de 2021; e 92,4mm de precipitação dos meses de junho, julho e agosto, representativos do inverno de 2021.¹²

Tais dados confirmam as proposições referente à circulação atmosférica no extremo Oeste paulista (BARRIOS; SANT'ANNA NETO, 1996), sendo que:

Sob condições de atmosférica instáveis (FPA, FQ, ZCOU, ZCAS, IT), com presença de vento e/ou precipitação, as características da temperatura tendem-se a se homogeneizar tanto no intraurbano como em relação ao rural de entorno. Já sob condições de estabilidade atmosférica (Ta, Tac, Tc, Pa, Pt), a manifestação das diferenças de temperatura entre o campo e cidade é evidente, e as ilhas de calor atingem as maiores intensidades e magnitudes (AMORIM, 2020, p. 30).

O mês de fevereiro (Prancha 2), apesar de habitualmente ser considerado como representativo do período chuvoso em Presidente Prudente, no ano de 2021 foram registrados eventos de precipitação em apenas 4 dias. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) considerou o ano de 2021 marcado por temperaturas extremas e estiagem para a porção Sul e Sudeste do Brasil, sendo sinais dos padrões da mudança climática em alerta nos países em desenvolvimento (OMM, 2021).

Os sistemas atmosféricos predominantes foram, respectivamente, a Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt), Massa Tropical Atlântica (Ta), Massa Polar Atlântica (Pa), seguidas da Frente Polar Atlântica (FPA) e Repercussão da FPA. A maior ocorrência de sistemas polares gerou maior estabilidade atmosférica, justificando a baixa ocorrência de precipitação no mês.

¹² Dados oriundos da estação automática A707 – Presidente Prudente/INMET. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>

A Pa tem seu deslocamento facilitado pela calha do relevo da bacia do Paraná, alcançando as mais baixas altitudes e atua sobre todo o centro, Sul e Leste do continente. Suas características térmicas e higrométricas são o frio e redução da umidade do ar e chuvas no centro do Brasil no período do inverno (NIMER, 1979). A Pt tem sua natureza secundária, com alteração permanente de suas características originais (Pa), apresentando uma maior amplitude térmica nos dias de inverno e uma queda singela nos índices de umidade relativa do ar.

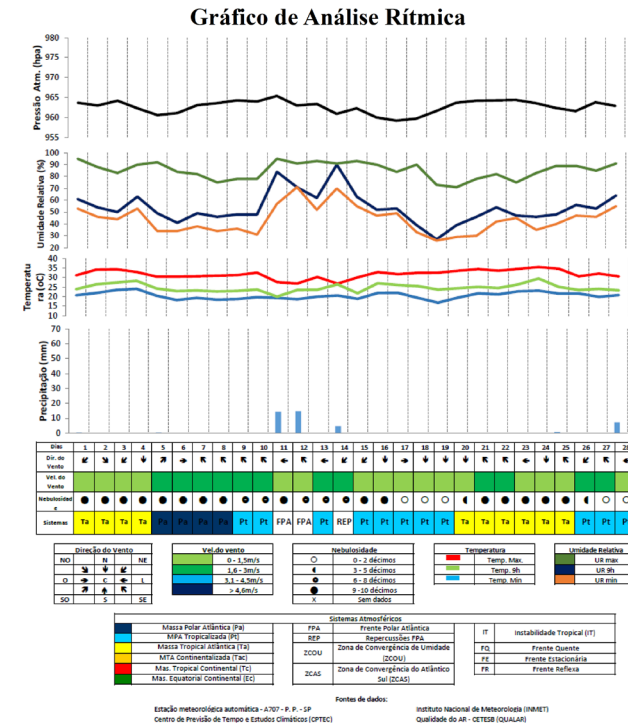
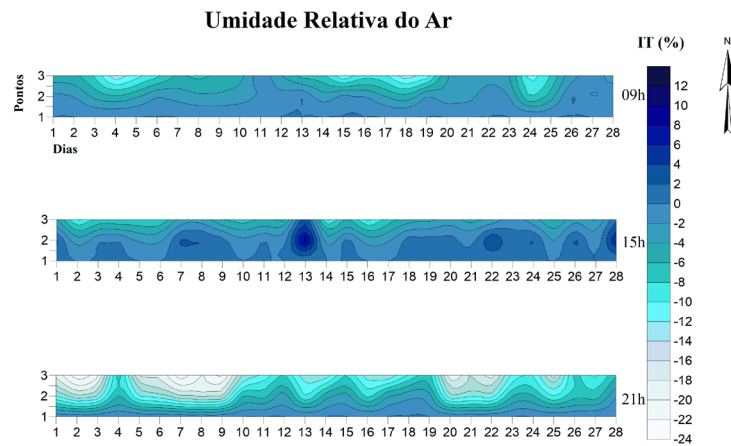
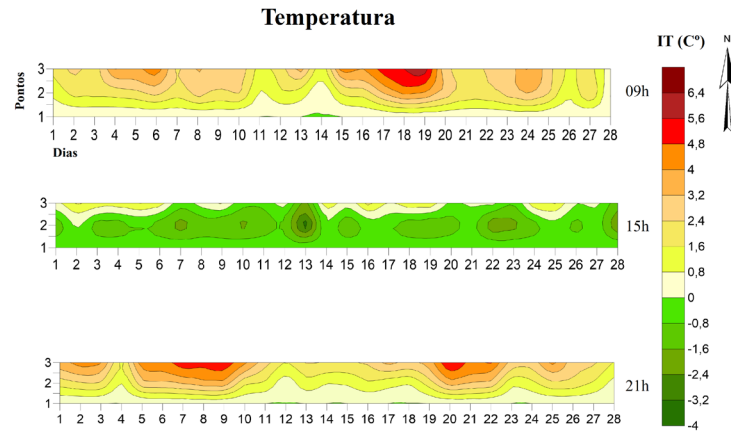
O predomínio de estabilidade atmosférica nos traz uma observação bastante expressiva sob as dinâmicas microclimáticas de cada ponto estudado. Foram registradas diferenças consideráveis entre os pontos 1 (Rural), 2 (Agrofloresta) e 3 (Urbano), especialmente às 09h e 21h, sendo o ponto 2 mais ameno em relação a variabilidade climática do que o densamente construído.

Durante a atuação dos sistemas atmosféricos estáveis, as temperaturas diurnas (15h) e noturnas (21h) dos pontos 2 e 3, quando relacionadas com o ponto 1, se mostraram mais altas, da mesma forma que a umidade esteve menor, salvo exceções, como o caso do dia 13 de fevereiro de 2021, que no horário das 15h o ponto 2 apresentou menores temperaturas e maior índice de UR do que o rural, após a passagem de uma FPA.

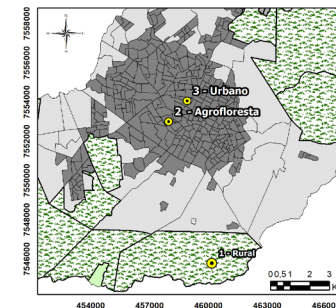
Isto ocorreu devido à baixa precipitação, ocasionando uma proximidade da temperatura do ar entre o ponto rural e agroflorestal. No período noturno se torna evidente o papel da cobertura da terra, tanto para amenizar a temperatura do ar quanto para aumentar a UR.

Apesar dos pontos 2 e 3 estarem inseridos no intraurbano, devido ao perfil de cobertura da terra seus resultados foram completamente distintos. Este mês apresentou magnitude forte da ilha de calor, com intensidade de 5,6°C representada nos dias 18 e 19 de fevereiro de 2021, às 09h.

Prancha 2 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Fevereiro de 2021



Presidente Prudente: localização dos sensores



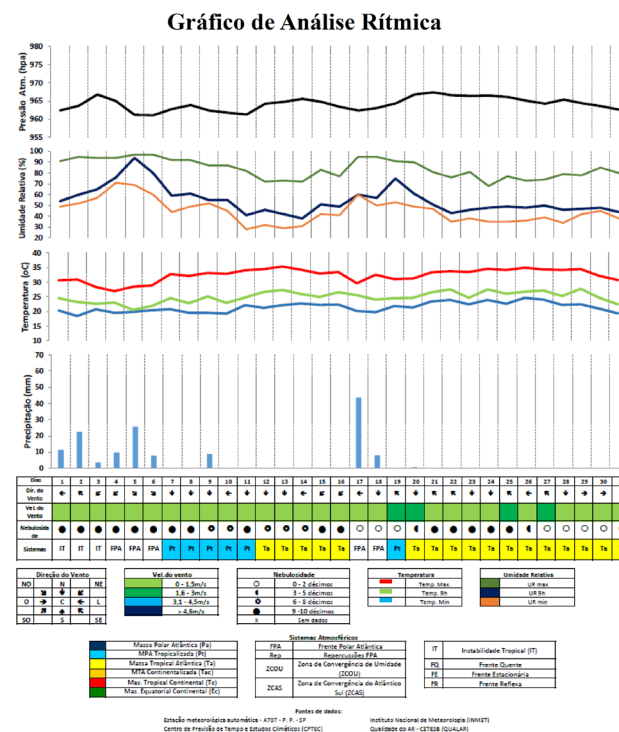
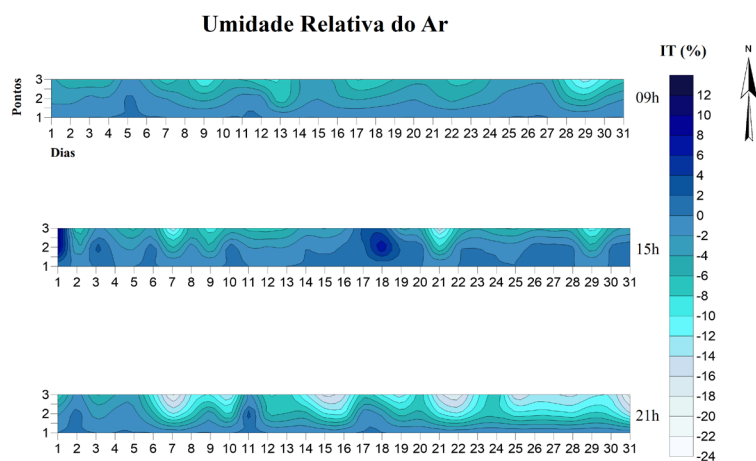
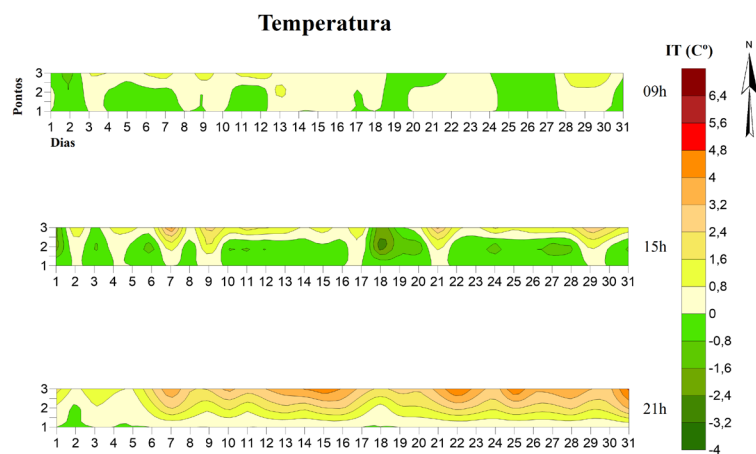
Elaboração: Miyakava; Goes (2022).

No decorrer do mês de março de 2021 (Prancha 3) os sistemas atmosféricos predominantes, respectivamente, foram: a Massa Tropical Atlântica (Ta), Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt), Frente Polar Atlântica (FPA) e Instabilidade Tropical (IT), apresentando cenários diversos de instabilidade atmosférica, sendo confirmados com a maior presença de precipitação (10 dias).

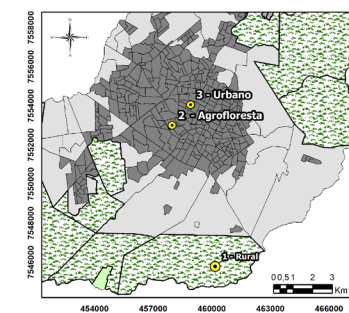
A maior presença de sistemas de instabilidade atmosférica (FPA e IT) ocasionaram maiores diferenças de umidade relativa entre o rural e a cidade nos três horários. Já a diferença de temperatura foi mais notável no período noturno, tendo o rural apresentado menores temperaturas durante os dias de precipitação.

A homogeneização da temperatura no intraurbano em relação ao rural, principalmente no período matutino, e em alguns dias do período vespertino ocorreu devido a atuação dos sistemas instáveis (IT, FPA) junto à precipitação. Isto ocasionou uma menor magnitude, se comparado ao mês de fevereiro, apresentando intensidades de 4°C no período noturno, sendo classificada como forte.

Prancha 3 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Março de 2021



Presidente Prudente: localização dos sensores



Elaboração: Miyakava; Goes (2022).

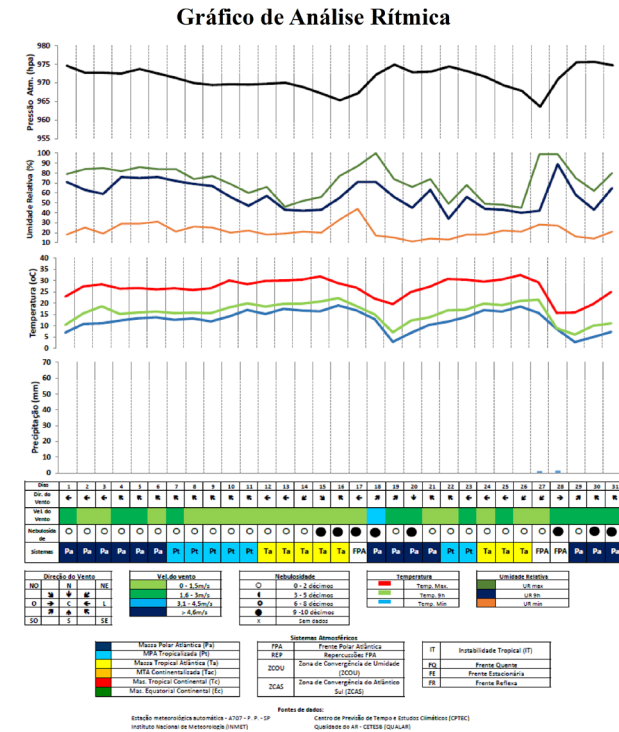
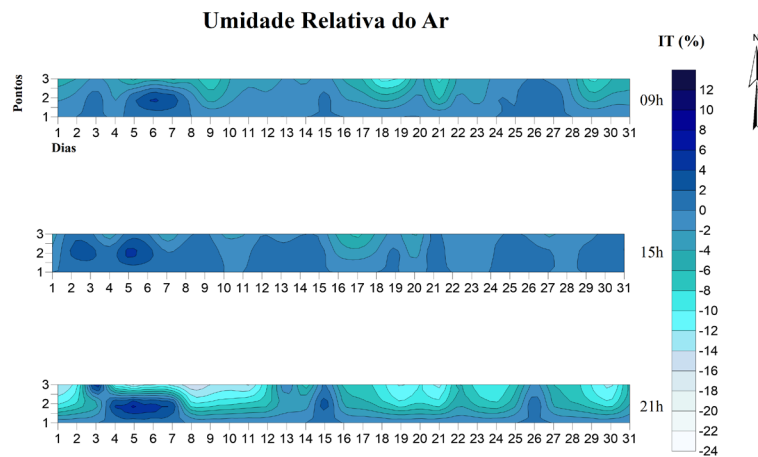
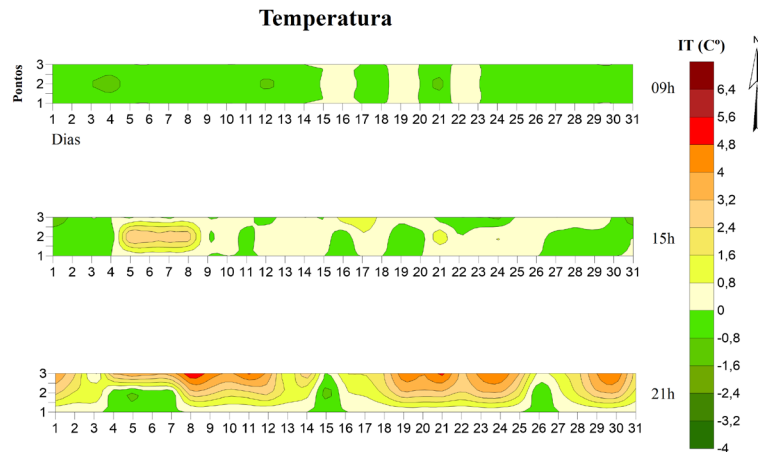
No mês de julho de 2021 (Prancha 4) predominou a Massa Polar Atlântica (Pa), seguida respectivamente da Massa Tropical Atlântica (Ta), Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt) e Frente Polar Atlântica (FPA). Apresentou características de estabilidade atmosférica na maioria dos dias, devido a ocorrência dos sistemas estáveis (Pa, Ta, Pt).

Houve pouca precipitação neste mês, sendo registrados somente dois dias de chuva, causadas pela instabilidade atmosférica advinda da FPA nos dias 27 e 28 de julho de 2021, que em sua vanguarda e domínio, podem ocasionar, respectivamente, chuvas com possíveis trovoadas e aguaceiros, geralmente acompanhados de granizo e trovoadas (AYOADE, 2003).

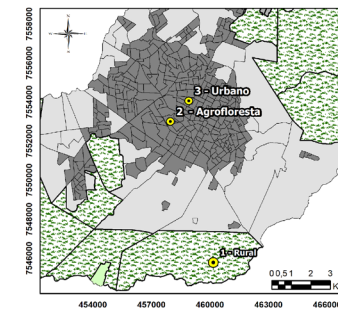
Sob condições de estabilidade atmosférica, a manifestação da ilha de calor atmosférica se torna mais evidente. Porém às 09h e 15h fora registrada uma certa homogeneidade da temperatura entre o entorno rural e o urbano, com exceção do ponto 2, que apresentou maior intensidade (°C) comparado aos outros dois pontos no período vespertino (dias 05/07; 06/07; 07/07; 08/07; 21/07).

Neste caso, o período de estiagem explica tal fato, de modo que no período de inverno torna-se mais claro o diagnóstico de ilhas de calor atmosféricas, apresentando uma magnitude forte (4,8°C de intensidade), devido à diferença gerada a partir do armazenamento de calor nos materiais construtivos e o menor aquecimento do solo rural devido à vegetação, mesmo que menos exuberante.

Prancha 4 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Julho de 2021



Presidente Prudente: localização dos sensores



Elaboração: Miyakava (2022).

Já o mês de agosto de 2021 (Prancha 5) a Massa Polar Atlântica (Pa) tomou a frente do mês, seguida respectivamente da Massa Tropical Atlântica Continentalizada (Tac), Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt), FPA e Massa Tropical Atlântica (Ta). Num panorama geral, o mês apresentou estabilidade atmosférica.

Apesar dos sistemas atmosféricos estáveis manifestarem maior intensidade e magnitude de ilha de calor atmosférica, neste mês, assim como o mês de julho, apresentou certa homogeneização das temperaturas no período diurno, chegando em situações inversas aonde o ponto urbano apresentou menores temperaturas do que o entorno rural (15h do dia 26 e 27/08/2021).

Já o período noturno (21h) apresentou uma maior intensidade de temperatura, tendo-se como padrão os dois pontos urbanos (Ponto 2 e 3) mais aquecidos do que o entorno rural (Ponto 1). Mesmo assim, o ponto da agrofloresta apresentou menores intensidades ($^{\circ}\text{C}$) do que comparado ao ponto urbano.

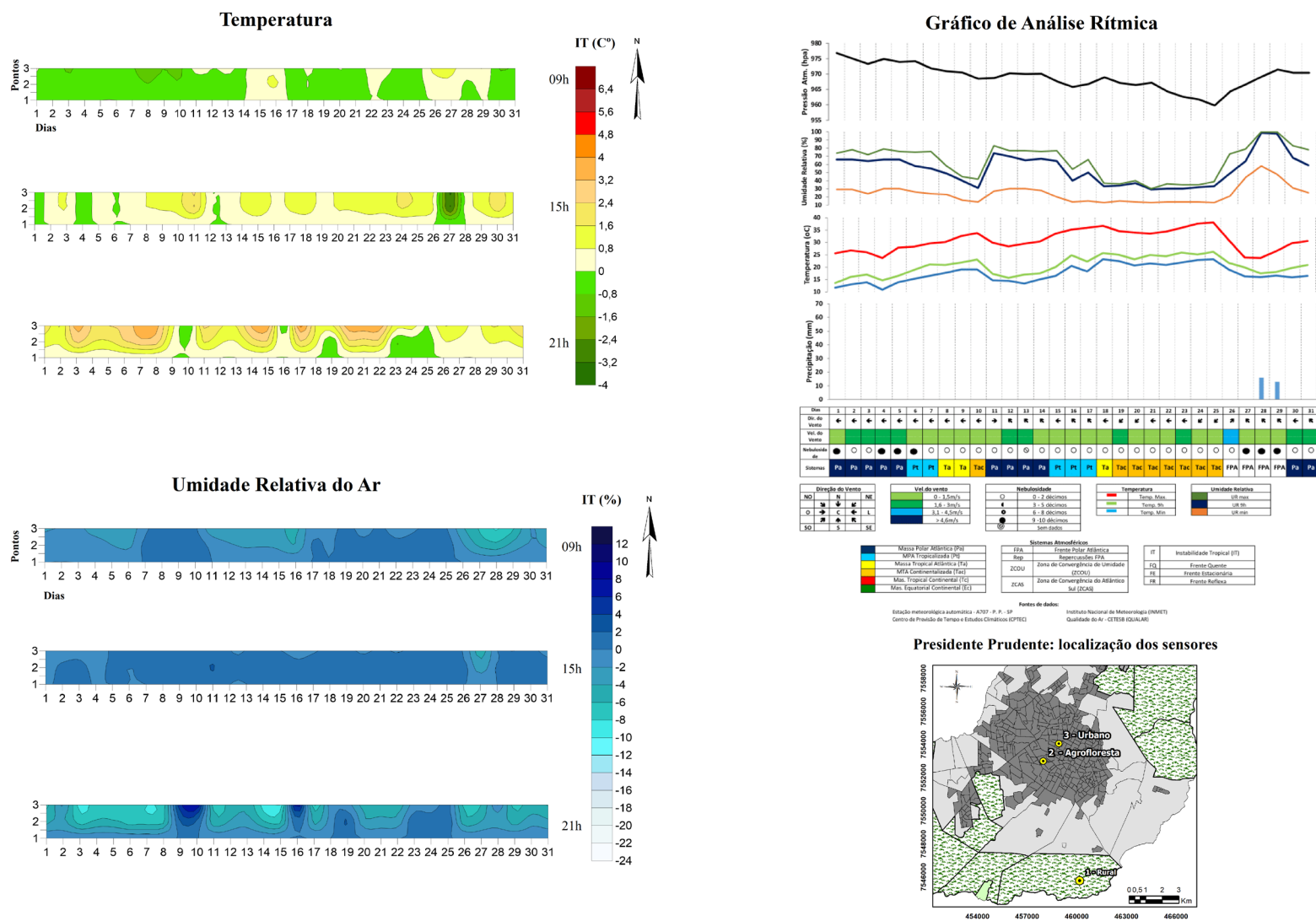
A estiagem e, conseqüentemente, a redução vegetativa proporcionou uma realidade atípica a ser notada no mês de agosto de 2021, tendo o urbano apresentado menores temperaturas ou sua equivalência, junto a uma homogeneização de intensidade ($^{\circ}\text{C}$) se comparado ao rural próximo. Devido a este fato, a intensidade aferida foi de $3,2^{\circ}\text{C}$, classificando-se como média.

Analisando-se as características das temperaturas nos meses de estudo, no decorrer do dia, e nos diferentes pontos registrados, observa-se as maiores intensidades das ICU_{ATM} no período noturno (21h – 06h), particularmente naqueles sem precipitação, justificado pela sua maior ocorrência e intensidade no inverno.

Os sistemas atmosféricos instáveis que proporcionaram maior precipitação ou velocidade do vento nos quatro meses de análise foram a FPA, Repercussão da FPA (Rep) e Instabilidade Tropical. As maiores intensidades das ICU_{ATM} foram registradas sob a atuação de sistemas estáveis, ocorrendo nos meses de fevereiro e julho de 2021, sob atuação da Ta, Pa e Pt.

A ausência de precipitação e nebulosidade combinada com os sistemas atmosféricos estáveis proporcionaram maiores diferenças entre o rural e a cidade, especialmente no período noturno, onde a ICU_{ATM} é mais evidente (AMORIM, 2020). Já no período com maior presença de instabilidade, associado a maior precipitação e nebulosidade, teve-se uma homogeneização das características da temperatura tanto no intraurbano quanto rural.

Prancha 5 - Painéis espaço temporais e análise rítmica de Agosto de 2021



Elaboração: Miyakava (2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações humanas materializadas nos espaços urbanos e rurais proporcionam a alteração nos balanços energéticos e hídricos, que podem interferir nos elementos do clima urbano, como a temperatura.

A transformação da natureza em meio à necessidade humana é indissociável, como aponta Santos (2006), ocorrendo em uma velocidade crescente junto à expansão territorial das áreas urbana, o que implica em alterações a partir das interações entre a baixa troposfera e a superfície terrestre, que são capazes de produzir climas antrópicos (AMORIM, 2020). Assim a atmosfera urbana também é, em grande parte, resultado de como se produz o espaço (ROMERO, 2019).

Como produto das modificações antrópicas, o clima evidencia-se através das anomalias em seus elementos, gerando as ilhas de calor, que afetam diretamente o conforto térmico dos cidadãos e podem acarretar problemas de saúde.

O conforto térmico é entendido como a “zona delimitada por valores térmicos em que o maior número de pessoas manifeste sentir-se bem” (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1995, p. 198). Desta forma, o estudo do clima urbano, através de uma perspectiva integrada, inclui-se uma análise espacial, ambiental e regional a fim de fornecer subsídios ao ordenamento territorial urbano, que deva lançar-se na busca pelo conforto térmico dos ambientes intraurbanos (AMORIM, 2000).

No presente trabalho buscou-se mostrar que para o diagnóstico das ilhas de calor, além da análise das características da superfície, sejam elas naturais ou antrópicas, é fundamental considerar a dinâmica da atmosfera por meio da análise do ritmo climático e o desencadeamento dos tipos de tempo.

Os dados e análises apresentados nas seções 5, 5.1 e 5.2, contribuíram para o alcance do objetivo geral da pesquisa, que se pontuou na identificação e análise da ilha de calor em Presidente Prudente, confirmando a hipótese de que a cobertura vegetal influencia positivamente na dinâmica do clima local.

Ao analisar a geração das ilhas de calor em Presidente Prudente, percebeu-se que somente o levantamento da temperatura dos alvos superficiais assim como a temperatura do ar não sustentam a discussão de sua ocorrência por completo. Se faz necessário compor tais análises com dados dos elementos climáticos, informações históricas da área de análise, perfil de uso e ocupação da terra e atributos físicos do sítio urbano.

A utilização de dados obtidos por processamento digital das imagens de satélite (Landsat 8) possibilitou identificar, no momento de captura, a distribuição da temperatura dos

alvos superficiais, através das cartas termais de superfície, assim como realizar a análise da temperatura em relação a cobertura da terra e a precipitação.

Os resultados permitem averiguar que a precipitação, tal qual os sistemas atmosféricos atuantes, influenciam diretamente na temperatura superficial. Os dias com menor precipitação devido à presença de sistemas estáveis apresentaram solos secos e sem vegetação abundante, ocasionando em temperaturas elevadas no entorno rural e muito próximas ao ambiente construído. Conforme Amorim (2018), isto não significa que a cidade ficou mais fresca, e sim que o campo ficou mais quente devido à diminuição da biomassa.

Em contrapartida, durante a presença de sistemas atmosféricos instáveis e a maior ocorrência de precipitação, há o aumento da umidade do solo, que ocasiona a elevação da evaporação e evapotranspiração, apresentando mais albedo e restando menos calor, resultando em temperaturas elevadas no intraurbano se comparado ao rural.

As áreas mais quentes foram registradas em algumas parcelas de solos descobertos ou com predomínio de pastagens, enquanto as menores temperaturas corresponderam as áreas de adensamento vegetativo, que mesmo durante a estiagem foram capazes de reter umidade por meio da vegetação, resultando em menores intensidades (°C).

Em relação a temperatura do ar, a maior intensidade das ilhas de calor atmosféricas se deu no período noturno durante o inverno, época que se torna mais evidente sua análise e diagnóstico, ocorrendo particularmente nos dias sem a ocorrência de chuva.

Isto ocorre devido à alta capacidade de retenção de calor durante o dia e sua liberação lenta durante a noite proveniente das estruturas urbanas de alta densidade construtiva. Já no ambiente rural, pelas características opostas, resfria rapidamente após o pôr do sol quando se compara ao urbano. Desta forma, a atmosfera sobre a cidade entende-se no aquecimento durante a noite, armazenando o calor, até o nascer do sol, período em que o ambiente rural se aquece com maior rapidez em decorrência da insolação direta (AMORIM, 2020).

As maiores temperaturas foram registradas sob atuação de sistemas estáveis, enquanto sob a atuação dos sistemas instáveis houve uma certa homogeneização das características da temperatura no intraurbano e rural. Portanto a intensidade e magnitude das ilhas de calor estão diretamente relacionadas com as propriedades térmicas não somente dos materiais urbanos, mas também das características da vegetação no ambiente rural.

Desta forma, urge a necessidade de se mitigar o fenômeno das ilhas de calor encontradas nas cidades, compreendendo a vegetação como um fator de extrema importância na amenização das altas temperaturas e regulador da umidade do solo.

Conforme Wong e Chen (2005), as pesquisas sobre o papel da vegetação na diminuição da temperatura dividem-se em três categorias: 1 - registros meteorológicos e imagens de satélite no estudo de áreas verdes nas cidades em nível macro; 2 - estudos detalhados com medidas em campo para analisar-se o efeito do resfriamento da vegetação em nível micro; 3 - estudos utilizando-se cálculos numéricos para predizer os benefícios térmicos da vegetação nas cidades.

Foram utilizadas as categorias dois e três para compor a análise vegetativa no perfil de uso e ocupação da terra, aferindo que a presença do vapor d'água ameniza as intensidades das ilhas de calor ao retirar o calor sensível da atmosfera e transformá-lo em calor latente, amenizando as diferenças entre o rural e o urbano. Junto a ela, o sombreamento proporcionado pela cobertura vegetal protege a superfície da incidência direta dos raios solares, mantendo o índice de umidade no solo e dificultando o armazenamento de calor pelos materiais urbanos.

Destaca-se a amplitude da vegetação ao aliá-la com os fatores sociais do uso da terra, utilizando-se espaços urbanos para a inserção da agricultura agroflorestal, que resulta em impactos positivos na dinâmica da cidade ao favorecer alimentos de qualidade, gestão e conservação sustentável dos recursos naturais e diminuição do desconforto térmico dos cidadãos.

A análise do clima urbano deve ser primordial para o desenvolvimento urbano, não apenas porque pode interferir na escala local do clima, mas pelo fato de que nas cidades habitam grande parte das pessoas na escala nacional e planetária (AMORIM, 2020).

Sua análise não deve ser rasa ao analisarmos o clima pelo clima, e sim entendê-lo como parte integradora da sociedade, visto que o mesmo interfere diretamente na produção do espaço e território, ao ser construído de forma desigual perante a uma sociedade de classes (SANT'ANNA NETO, 2011). A escala local climática retrata o próprio cotidiano da sociedade assim como os ciclos da natureza urbana, sendo o local responsável pela compreensão da forma de organização da sociedade e suas alterações no clima urbano de forma mais evidente.

Cabe destacar que os bairros populares e conjuntos habitacionais representam as áreas mais aquecidas no intraurbano, o que conversa diretamente com a soberania do poder e, conseqüentemente, capacidade de viver, entendido através do biopoder, sendo este o domínio da vida sobre o qual o poder estabeleceu o controle (FOUCAULT, 1997). Da mesma forma, a subjugação da vida ao poder da morte (Necropolítica) submetem vastas populações a condições de vida que lhes conferem o estatuto de "mortos-vivos" (MBEMBE, 2018). O mais importante é o modo como o poder de morte opera:

[...] Lá eles nascem, pouco importa onde ou como; morrem lá, não importa onde ou como. É um mundo sem espaço; os homens vivem uns sobre os outros. A cidade do colonizado é uma cidade com fome, fome de pão, de carne, de sapatos, de carvão, de luz. A cidade do colonizado é uma vila agachada, uma cidade ajoelhada (MBEMBE, 2018, p.41).

Assim, afere-se que o clima não é sentido de forma igual para todas e todos, perpassando o fator físico e adentrando também ao social, revelando a injustiça social aos eventos extremos a partir da classificação de Veyret (2007), ao entender o risco como um fenômeno (natural, tecnológico, social) e a vulnerabilidade socioambiental sua espacialização nas distintas classes sociais.

Portanto a Geografia, em especial a Climatologia Geográfica, deve, e se faz capaz de contribuir na análise dos processos e dinâmicas em escalas regionais e locais, de modo a responder as indagações e necessidades da sociedade.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. S. **Formação histórica de uma cidade pioneira paulista**: Presidente Prudente. Presidente Prudente: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1972. 339p.
- ALEIXO, N. C. R; SANT'ANNA NETO, J. L. Condicionantes Climáticos e Interações por Pneumonia: Estudo de Caso em Ribeirão Preto/SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v.27, 2014, p. 1-20. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.503>. Acesso em: 07 jul. 2022.
- AMORIM, M. C. C. T. As temperaturas da superfície e do ar: contribuições aos estudos de clima urbano. In: X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica; V Simpósio Paranaense de Climatologia, Reunião da COC-UGI, 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2014. p. 1122-1130.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte**: teoria e prática. 1. ed. Curitiba: Appris, 161 p., 2020.
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista brasileira de climatologia**, [s. L.], p. 22-46, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul** (UFSC), v. 20, p. 65-82, 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/13307>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. São Paulo, 2000. 374p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- AMORIM, M. C. C. T.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins** [online], v.13. p. 1-18, 2011. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/7284>. Acesso em: 26 jan. 2023.
- AMORIM, M.C.C.T. Climatologia e Gestão do Espaço Urbano. **Revista Mercator**, p. 71-90, 2010.
- 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.11.001>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- AMORIM, M. C. C. T. Análise da temperatura do ar e alvos: uma contribuição aos estudos do clima urbano. In: Sant'Anna Neto, J. L.; Amorim, M. C. C. T.; Silva, C. A. (orgs.). **Clima e Gestão do Território**. Jundiaí: Paco Editorial, p. 33-49, 2016.
- ANDRADE, L. L. et al. Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 473-480.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332p.

BARBIRATO, G. M. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de Ilha de Calor Urbana por meio de Imagens do Landsat 7 ETM+: Estudo de Caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, v. 6, p. 273-278, 2009. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(03\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(03)%2007.pdf). Acesso em: 08 ago. 2022.

BARRIOS, N. A. Z.; SANT'ANNA NETO, J. L. **A circulação atmosférica no extremo oeste paulista**. Boletim climatológico, Presidente Prudente, v.1, n.1, p.8-9, março 1996.

BECKER, T. S.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto no assentamento Roseli Nunes em Mato Grosso. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research medium**, Ituiutaba, v.10, n.1, p. 131-156. 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/57617>. Acesso em: 28 jan. 2023.

BEDDINGTON, J. R. *et al.* What Next for Agriculture After Durban? **Science**, v. 335, p. 289-290, 2012. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1217941>. Acesso em: 20 ago. 2022.

BEER, J. *et al.* Servicios ambientales de los sistemas agroflorestales. **Agroforesteria em las Américas**, v. 10, n. 37, p. 80-87, 2003. Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6806>. Acesso em: 04 mar. 2022.

BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. Rio Claro. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

BRANDÃO, A. M. P. M.; LUCENA, A. J. L. A ilha térmica e sua influência no conforto humano na área central da cidade do Rio de Janeiro. *In*: VIII Simpósio brasileiro de geografia física aplicada, 1999, Belo horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 1999.

BRYSON, R. A.; ROSS, J. E. The climate of the city. **Urbanization and enviroment**, Belmont: Duxbury Press, 1972.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. 2015. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

CARDOSO, R. S. **O campo e a cidade em Presidente Prudente**: uma contribuição aos estudos de clima urbano. 2012. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.

CARDOSO, R.; AMORIM, M. C. C. T. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. **Revista de Geografia**

e Ordenamento do Território (GOT), n. 12, p. 75-99, 2017. Disponível em: [dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.004](https://doi.org/10.17127/got/2017.12.004). Acesso em: 15 fev. 2023.

CHANDLER, T. J. **The Climate of London**. London: Hutchison of London, 1965. 287p.

CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal benefits of city parks. **Energy and buildings**, 38, p. 105-120, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>. Acesso em: 03 jan. 2023.

COLLISCHONN, E.; MATTOS, G. P. Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada do dossel urbano - metodologia e aplicação à cidade de Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, p. 56-67, 2011.

COLTRI, P. P. et al. Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 5151-5157.

COLWELL, R. N. "History and Place of Photographic Interpretation". In: PHILLIPSON, W. R. (ed.). **Manual of Photographic Interpretation**. Bethesda: ASPRS, v. 2, p. 33-48, 1997.
CORRÊA, R. L. Diferenciação Sócio-Espacial, Escalas e Práticas Espaciais. **Revista Cidades**, v. 4, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.36661/2448-1092.2007v4n6.12795>. Acesso em: 02 dez. 2022.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, n. 37, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>. Acesso em: 11 nov. 2022.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade** – uma perspectiva a partir do Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de Curitiba (AU-RMC) 2007. Tese de Doutorado. Programa de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná.

ERIKSEN, W. – Klimatologisch – "Ökologische Crapekte der umweltbelastung Hannovers Stadtklima und Lutverunreinigung". In: **Hannover und sein Unland**, Hannover, 1978.

FAO – Organização das Nações Unidas Para Alimentação e Agricultura. **Alimento para as cidades**. Roma: FAO, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/ak824pt/ak824pt00.htm>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatologia aplicada: clima, médio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis S.A., 1995. 285p.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2003.

FOUCAULT, M. **"Il faut défendre la Société"**: Cours au Collège de France 1975-1976. Paris: Seuil, 1997. 283p.

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

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 10, p. 94-106, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG41015319>. Acesso em: 15 nov. 2022.

GÖTSCH, E. **O renascer da agricultura**. 2.ed. Rio de Janeiro: Assessoria e serviços a projetos em agricultura alternativa, 1996.

HOBOT DATA LOGGERS. **HOBOT® Pro v2 (U23-00x) Manual**. Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/sites/default/files/resources-documents/10694-Q%20U23%20Manual.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2023.

HOWARD, L. **The Climate of London**: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis. 1 ed. Londres: W. Phillips, George Yard, Lombard Street, 1818, v.1. 221p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama> Acesso em: 10 dez. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual do Recenseador**. Cd – 1.09. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/sobre/treinamento/manuais.html>. Acesso em: 05 jan. 2023.

JACOB, F. *et al.* “comparison of Land Surface Emissivity and Radiometric Temperature Derived from MODIS and ASTER”. **Remote sensing of environment**, v. 90, p. 137-152, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.015>. Acesso em: 07 jan. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [*et al.*]. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

LANDSBERG, H. E. The Climate of Town. In: THOMAS JR., W. L. (ed.). **Man's role in Changing the Face of the Earth**. Chicago: University of Chicago Press, p. 585-601, 1956.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic, 1981.

LEFEBVRE, H. **A reprodução das relações sociais de produção**. Publicações Escorpião. Cadernos O homem e a Sociedade, 1973.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. NY: John Wiley, 2003. 750p.

LIMA, A. P. **Análise do clima urbano em Rosana/SP**. Presidente Prudente/SP, 2009. Monografia (Bacharel em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

LIMA, G. N. **Características do clima urbano de Nova Andradina – MS**. Presidente

Prudente/SP, 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. Editora Hucitec com apoio de Lalekla S.A. Comércio e Indústria, 1985. 244p.

LOWRY, W. P. The Climate of the Cities. *Sci.* V. 217, p. 15-23, 1967.

MAURO, D. R. **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**. 2020. 84f. Dissertação (Mestrado profissional em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.

MBEMBE, A. **Necropolítica: biopoder, soberania, estado de exceção, política da morte**. São Paulo: N-1 edições, 2018. 80p.

MELAZZO, E. S. *et al.* **Mapeando a distribuição da renda no espaço intra-urbano de Presidente Prudente/SP**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/148458>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MENDONÇA, F. de A. RISCOS E VULNERABILIDADES SOCIOAMBIENTAIS URBANOS: a contingência climática. *Mercator*, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 153 a 163, jan. 2011. ISSN 1984-2201. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/538>. Acesso em: 07 jun. 2022.

MENDONÇA, F. de A. O estudo do SCU – Sistema Clima Urbano – no Brasil: aplicações e avanços. MONTEIRO, C. A. de F. (org.); SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F.; ZAVATINI, J. A. (org.). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. 1 ed. Campinas: Alínea, p. 155-166, 2015.

MIYAKAVA, W; GOES, M. J. AGROFLORESTA URBANA E SUA INTERFERÊNCIA NO CLIMA DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP: análise comparativa entre a estação chuvosa e seca. In: XXXIV Congresso de Iniciação Científica da Unesp: Reflexos da Pandemia no Letramento e na Cultura Científica. *Anais...Atibaia* (SP), 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/xxxivcicunesp/607519-agrofloresta-urbana-e-sua-interferencia-no-clima-de-presidente-prudente-sp--analise-comparativa-entre-a-estacao-c/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MONTEIRO, C. A. de F. A abordagem ambiental na geografia: possibilidades na pesquisa e limitações do geógrafo ao monitoramento. *Ra'e ga: o espaço geográfico em análise*, v. 3, n. 3, p. 9-17, 1999.

MONTEIRO, C. A. de F. A climatologia geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. MONTEIRO, C. A. de F.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. ZAVATINI, J.A. (org.). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. 1 ed. Campinas: Alínea, 2015. p. 61-153.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica e as chuvas no estado de São Paulo**. São Paulo: IGEO/USP, 1973. 129p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. Climatologia. São Paulo: USP/IGEOG, n. 1, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e Monografias, nº 25).

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. A. (org.). *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

MOREIRA, C. Trajetórias contemporâneas da agricultura urbana. In: HISSA, C. E. V. **Saberes ambientais: desafios para o conhecimento disciplinar**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, p. 243-281, 2008.

MOUGEOT L. J. A. **Agropolis: The Social, Political and Environmental Dimensions of Urban Agriculture**. Ottawa: IDRC, 2005.

MUTIBWA, D.; STRACHAN, S.; ALBRIGHT, T. Land Surface Temperature and Surface Air Temperature in Complex Terrain. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 10, p. 4762-4774, Oct. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2468594>. Acesso em: 15 jan. 2023.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 8**. Washington: 2013. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

OMM. Organização Meteorológica Mundial. **Para Organização Meteorológica Mundial, 2021 foi marcado por temperaturas extremas**. Genebra: 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1775082>. Acesso em: 02 fev. 2023.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

OKE, T. R. *et al.* **Urban Heat Island**. In **Urban Climates** (pp.). Cambridge: Cambridge University Press, p.197-237, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781139016476.008>. Acesso em: 20 jan. 2023.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Routledge, 1987. 435p.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the royal Meteorological society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, jan. 1982. Disponível em: https://www.patarnott.com/pdf/Oake1982_UHI.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C.C T. Temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota/SP a partir da imagem de satélite Landsat 7. **Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011-** Costa Rica II Semestre 2011, p. 1-16. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820581>. Acesso em: 20 dez. 2022.

PÉDELABORDE, P. **Le climat du Bassin Parisien: essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique**. Editions M.T. Leinin / Librairie Medicis, Paris, 1957.

PINHEIRO, M.C., FERRARETO, L.C. **Política Nacional de Agricultura Urbana: estratégia para o combate à fome e promoção da segurança alimentar**. Portal da Agricultura Urbana e Periurbana, 2010. Disponível em: <https://www.agriculturaurbana.org.br/textos/artigo-fome-zero-Maristela-Luciane.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

PINHO, O. S.; ORGAZ, M. D. M. The urban heat island in a small city in coastal Portugal. **International Journal of Biometeorology**, 44: 198-203, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s004840000063>. Acesso em 23 dez. 2022.

QUATTROCHI, D. A.; LUVALL, J. C. **Thermal Remote Sensing in Land Surface Process**. Boca Raton: CRC, 2004. 440p.

RODRIGUEZ, C. A. S. Serviço ambientais em sistemas agroflorestais. In: RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. (orgs.). **Cadernos da Disciplina: Sistemas Agroflorestais**: 1. vol. Piracicaba: Edição dos Autores, Cap. 5, p. 65- 85, 2015. Disponível em: *Sistemas Agroflorestais A5 Volume I.pmd (usp.br)*. Acesso em: 20 dez. 2022.

ROESE, A. D. **Agricultura Urbana**. Brasília: EMBRAPA, 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP/56674/1/FOL14.pdf> .Acesso em: 01 fev. 2023.

ROMERO, M. A. B. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: UNB, 2007. 226p.

ROMERO, H. Urban climates and the challenge of sustainable development of Chilean cities. In: HENRÍQUEZ, C.; ROMERO, H. (org.). **Urban Climates in Latin America**. Springer, 2019. p. 207-256. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4_9. Acesso em: 02 fev. 2023.

SABINS JR., F. F. **Remote sensing principles and interpretation**. NY: Freeman, 1997. 494p.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. In: **Terra Livre**, São Paulo, n.20, 2001. p. 49-62. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/339>. Acesso em 15 dez. 2022.

SANT'ANNA NETO, J. L. (org.) **Os climas das cidades brasileiras**. Presidente Prudente, 2002. 227p.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, p. 45-60, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25794>. Acesso em: 08 dez. 2022.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo. In: AMORIM, M.C.C.T.; SANT'ANNA NETO, J. L. E MONTEIRO, A. **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013.

SANT'ANNA NETO, J. L. Desafios da climatologia geográfica no Brasil: da competência técnica ao compromisso social. *In*: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (org.). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**. 1 ed. Dourados: Editora da UFGD, 2012, v. 1, p. 13-38.

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

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4ª edição. São Paulo: Hucitec, 2006.

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico informacional**. São Paulo: HUCITEC, 1994. 190 p.

SILVA, G. H. P. **A agricultura urbana/periurbana e sua interferência nas características térmicas e higrométricas de Álvares Machado – SP**. Monografia - Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Presidente Prudente, 2018.

SILVA; G. H. P. **Os efeitos de áreas agrícolas urbanas na intensidade das ilhas de calor em Florianópolis – SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), DA Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Presidente prudente, 2020.

SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. Tome Premier: Les fondaments biologiques. Paris: Armand. Colin, 1951.

SORZANO, A. H. Impacto de la agricultura urbana em Cuba. **Novedades em población**, año 5, nº 9, p. 1-14, 2009. Disponível em: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Cuba/cedem-uh/20100323071744/Impacto.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

SPOSITO, E. S. Presidente Prudente: crítica da formação histórica. *In*: WHITACKER, A. M.; MELAZZO, E. S. (coord.). **conjuntura Prudente 2011**. Presidente Prudente, FCT/UNESP, 2011.

SPOSITO, M. E. B. A expansão territorial urbana de Presidente Prudente. **Recortes**, Presidente Prudente, n.4, p.5-40, 1995.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011. 368 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver, 20110. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.14288/1.0072360>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SUDO, H.; LEAL, A. C. Aspectos geomorfológicos e impactos ambientais da ocupação dos fundos de vales em Presidente Prudente-SP. **Revista Natureza**, Uberlândia, p. 362-367, 1996.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural se São José dos Campos (SP). **Geografia**, v. 2, n. 4, p. 59-80, 1977. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/14785>. Acesso em: 05 jan. 2023.

TOMMASELLI, J. T. G. **Sinopse climática de Presidente Prudente – SP para o ano de 2015.** Relatório Técnico. 2016. 1p.

USGS. United States Geological Survey. **USGS EROS Archive – Landsat 8-9 Operational Land Image and Thermal Infrared Sensor Collection 2 Level-1 Data.** Virginia: 2020. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-operational-land-imager-and>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VEYRET, Y. **Os riscos – O homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007.

ZAVATTINI, J. A. Desenvolvimento e perspectiva da climatologia geográfica no Brasil: o enfoque dinâmico, a noção de ritmo climático e as mudanças climáticas. SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATTINI, J. A. (org.). **Variabilidade e mudanças climáticas.** Maringá: EDUEM, 2000, p. 225-252.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric engineering & remote sensing**, v. 69, n. 5, p. 555-556, 2003. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2003journal/may/2003_may_555-566.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023.

WHITACKER, A. M. **A produção do espaço urbano em Presidente Prudente: uma discussão sobre a centralidade urbana.** Presidente Prudente, 1997. 319p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

WONG, N. H.; CHEN, Y. Study of green areas and urban heat island. In a tropical city. **Habitat International**, Oxford, v. 29, p. 547-558, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2004.04.008>. Acesso em: 14 jan. 2023.