



**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Geografia**

LUIS FLÁVIO DE ARAÚJO

**Ilhas de calor em Sinop-MT: análise das características térmicas
em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais**

Presidente Prudente
2021



**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Geografia**

LUIS FLÁVIO DE ARAÚJO

**Ilhas de calor em Sinop-MT: análise das características térmicas
em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.
Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico

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

Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil

Discente: Luis Flávio de Araújo

Presidente Prudente – SP

2021

A663i Araújo, Luis Flávio de
Ilhas de calor em Sinop-MT: análise das características térmicas em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais / Luis Flávio de Araújo. -- Presidente Prudente, 2021
166 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Coorientador: Vincent Dubreuil

1. Clima urbano. 2. Ilhas de calor. 3. Modelagem espacial. 4. Sinop/MT. 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.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Ilhas de calor em Sinop-MT: análise das características térmicas em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais

AUTOR: LUIS FLÁVIO DE ARAÚJO

ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

COORIENTADOR: VINCENT DUBREUIL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GEOGRAFIA, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

A handwritten signature in blue ink, reading "Margarete Amorim", is positioned above the printed name of the orientadora.

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

Prof. Dr. VINCENT DUBREUIL (participação Virtual) Departamento de Geografia / Universidade de Rennes 2

Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
(Participação Virtual) Departamento de Geografia / FCT/UNESP - Câmpus de Presidente Prudente

Profa. Dra. CAMILA RIBOLI RAMPAZZO
(Participação Virtual) Departamento Geografia / Universidade Federal da Grande Dourados

Presidente Prudente, 13 de julho de 2021

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, familiares e amigos que me incentivaram e incentivam na jornada pela busca dos sonhos. E a todos aqueles que tive o prazer e a honra de conhecer nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Refletindo sobre a caminhada e os processos enfrentados para – e durante – a elaboração deste trabalho, não consigo conter as emoções. Fico extremamente feliz em notar que grande parte dos sentimentos que se fazem presentes agora sejam positivos e, no mínimo, felizes, pois me arremetem às pessoas, que cada qual a sua maneira, contribuíram/contribuem no processo de formação profissional, de cidadão e, claro, de ser humano. Assim faz-se necessário agradecer oportunidades e indivíduos, aos quais – já me desculpo caso esqueça de apontar nominalmente – são/foram primordiais para este momento.

No âmbito institucional, menciono a toda política pública educacional das quais sou fruto, embora não sejam abrangentes o suficiente, mas foram de fundamental importância, sendo necessária sua manutenção, ampliação e defesa, sempre!

Agradeço a Prof.^a Margarete Amorim, pela paciência, motivação, sensibilidade, seriedade profissional, confiança e, claro, pela orientação nos caminhos teóricos-metodológicos que perpassaram pela pesquisa. Meu muito obrigado, pela profissional e pelo ser humano que és!

Ao Prof. Vicent Dubreuil, pela dedicação, leituras, parceria, apontamentos e reflexões sobre os dados e resultados, e disponibilização dos dados que embasaram e permitiram a identificação das características da ilha de calor sinopense. Meus sinceros agradecimentos.

Agradeço também ao Prof. Tadeu Tomaselli pelos apontamentos e instigação de outros aspectos a serem analisados dentro deste campo e pelo aceite em estar conosco no Exame de Qualificação e na Banca de Defesa.

Meu muito obrigado a Prof.^a Camila Rampazzo, pela leitura, apontamentos, indicações e contribuições nesta fase de mestrado. E, também, por ter acreditado, embarcado e me incentivado nesta caminhada do clima urbano na graduação, foi e é uma experiência incrível.

Menciono também os amigos e colegas do Grupo de Pesquisa: Interações na superfície, água e atmosfera – GAIA, pelas novas perspectivas de análise, técnicas, ajuda e cafezinhos, principalmente, ao Gustavo Pereira, Guilherme Sousa, Mariana Nishizima, Marco Aurélio Torres, Tiago Milani, Renata Cardoso, Leandro Pinton, Danielle Teixeira, Núbia Armond, e todos aqueles que tive o prazer de conhecer. Obrigado por tornar esta jornada instigante!

Agradeço imensamente aos familiares e amigos que os coloco em três famílias: a família andradense, sendo formada pelos meus pais – Ana Rosa e Roberto – e meus irmãos, Graziela, Alini, Vinicius e a fofura da casa, meu sobrinho Ricardinho, que me incentivam sempre na busca dos sonhos e me nutrem com amor, carinho e na consolidação do meu porto seguro; a família cuiabana, sendo esta selecionada por todas as boas experiências e vínculos que estão em vigor, e formada por Luiz Henrique Santos, Gustavo Caldeira, Verbena Florencia, Vinicius Martiniano, Beatriz Alves, Thamara Arruda e Camila Salles, que me apoiam e embarcam nas minhas loucuras; e a família prudentina, composta pela Gisele Araújo, Giovan Prates, Mariana Nishizima, Marco Torres, Nicolas Veregue, Tiago Milani, Ana Marques, Amanda Amorim, sendo estes o grupo do café, da convivência diária, das trocas de receitas e plantas, dos papos aleatórios até tarde da noite, do acalento e carinho. Obrigado por tornarem esta fase mais leve!!!

Nominalmente, agradeço a Gisele Araújo e ao Giovan Prates, pelos ensinamentos, companheirismo, paciência, perseverança, papos, caminhadas, afetos, sorrisos, ajuda na manutenção da sanidade mental, reclamações, apoio e, principalmente, por acreditarem em mim. Vocês são brilhantes e o futuro lhes guarda muitas coisas boas!

Agradeço também aos amigos e familiares que infelizmente foram convocados a avançar no ciclo da vida, e a força que nos move cada dia, permitindo sempre um recomeço, independentemente de sua denominação! Agradeço!!!!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A materialização das relações sociais no espaço, resulta em formas que tendem a alterar as propriedades físicas da área e consequentemente a paisagem. Estas alterações podem ser sazonais ou permanentes e deixam marcas no sistema ambiental que se reorganiza e manifesta novos fenômenos, sobretudo nos elementos do clima local, dada a sua relação de proximidade com a superfície alterada. O espaço urbano, derivado da substituição da cobertura vegetal por novos materiais e usos, e a dinamicidade dada pelas atividades socioeconômicas do entorno rural, se apresentam como exemplos de transformações no espaço e na paisagem que podem resultar em alterações na componente climática da temperatura do ar na escala local. Nesse sentido, as cidades de pequeno e médio porte, sobretudo as associadas a produção agroexportadora, se tornam excelentes áreas de pesquisa para a verificação do impacto das atividades humanas – urbanas e rurais – nos mecanismos físicos da área em que se materializam. O presente trabalho teve como objetivo identificar e analisar as ilhas de calor atuantes em Sinop/MT, por meio da espacialização da temperatura do ar e das intensidades das ilhas de calor superficiais de acordo com os sistemas atmosféricos atuantes e estabelecendo relações com as características paisagísticas urbanas e do entorno rural. Para o atendimento da proposta, fez-se uso da contextualização da área de estudo e seus processos de formação e consolidação que contribuíram para a identificação de classes das propriedades da paisagem baseadas na proposta das *Local Climate Zones* – LCZ (STEWART, 2011); da espacialização e correlação da temperatura superficial em função dos sistemas atmosféricos atuantes e da sazonalidade da distribuição do *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI; da análise da variabilidade diária da ilha de calor atmosférica e sua relação com as condições do tempo; da espacialização da temperatura do ar e a sua correlação com as propriedades paisagísticas; e da análise das influências dos aspectos urbanos e geoambientais na alteração da temperatura do ar na escala local. Os resultados encontrados evidenciaram a produção e consolidação do espaço urbano e das atividades pautadas na produção de *commodities* orientadas por ações governamentais e privadas, que culminaram na intrínseca relação e estruturação da cidade voltada para a produção agrícola, possibilitando a formação de distintas paisagens urbanas e rurais que tendem a manifestar características térmicas diferenciadas. No que condiz às características da ilha de calor superficial, tem-se o padrão geral de maior aquecimento das áreas urbanas no período chuvoso e de produção agrícola, e posterior rearranjo das intensidades mais elevadas para as áreas destinadas aos cultivos, no período de estiagem e vazio sanitário, associadas a sazonal presença de solo exposto. Evidenciou-se também a predominância da fraca magnitude da ilha de calor atmosférica na presença de sistemas atmosféricos instáveis, enquanto os mecanismos de estabilidade possibilitaram a persistência e maior desenvolvimento – horário e mensal – das magnitudes média e forte. No tocante a espacialização da temperatura do ar e intensidade da ilha de calor atmosférica e sua relação com as propriedades paisagísticas, constatou-se a configuração das áreas características de LCZ A como as responsáveis por baixas intensidades e temperaturas, enquanto as LCZs 3, 3_B, 6 e 8 – características das áreas construídas – se apresentaram mais aquecidas em relação à anterior; bem como a manifestação, por parte de porções da LCZ D_F de valores semelhantes a LCZ 6. Por fim, verificou-se também a influência das propriedades e características da paisagem, dos elementos físicos, da organização espacial urbana e da interação da energia solar e materiais da superfície sobre a temperatura do ar, atingindo assim o objetivo proposto.

Palavras-chave: Clima urbano. Ilhas de calor. Modelagem espacial. Sinop/MT.

ABSTRACT

The materialization of social relations in space results in shapes that tend to change the physical properties of the area and consequently the landscape. These alterations can be seasonal or permanent and leave marks in the environmental system that reorganizes itself and manifests new phenomena, especially in the elements of the local climate, given its relationship of proximity to the altered surface. Urban space, derived from the replacement of plant cover by new materials and uses, and the dynamicity given by the socioeconomic activities of the rural environment, are examples of transformations in space and landscape that can result in changes in the climate component of air temperature on the local scale. In this sense, small and medium-sized cities, especially those associated with agro-exporting production, become excellent research areas for verifying the impact of human activities – urban and rural – on the physical mechanisms of the area in which they materialize. The purpose of this study was to identify and analyze the acting heat islands in a Brazilian Region named Sinop /Mato Grosso, by the spatialization of air temperature and the intensities of the superficial heat islands according to the acting atmospheric systems and establishing relations with the urban landscape and rural surroundings. To meet the proposal, it was used the contextualization of the study area and its processes of formation and consolidation that contributed to the identification of classes of landscape properties based on the proposal of the Local Climate Zones - LCZ (STEWART, 2011); the spatialization and correlation of the surface temperature according to the acting atmospheric systems and the distribution seasonality of the Normalized Difference Vegetation Index – NDVI; the analysis of the daily variability of the atmospheric heat island and its relation to weather conditions; the air temperature spatialization and its correlation with landscape properties; and the analysis of the influences of the urban and geo-environmental aspects in the change in air temperature on the local scale. The results evidenced the production and consolidation of urban space and activities based on the production of commodities guided by governmental and private actions, which culminated in the intrinsic relation and structuring of the city focused on agricultural production, enabling the formation of distinct urban and rural landscapes that tend to manifest differentiated thermal characteristics. Regarding the characteristics of the superficial heat island, it has the general pattern of higher heating of urban areas in the periods of rain and agricultural production, and the subsequent rearrangement of the higher intensities for areas intended for cultivation, in the dry season and fallowing period, associated with the seasonal presence of exposed soil. It was also evidenced a predominance of the low magnitude of the island of atmospheric heat in the presence of unstable atmospheric systems, while the stability mechanisms made possible the persistence and greater development – hourly and monthly – of the medium and strong magnitudes. Regarding the air temperature spatialization and the intensity of the island of atmospheric heat and its relationship with landscape properties, it was found the configuration of the LCZ A characteristic areas as those responsible for low intensities and temperatures, while the LCZs 3, 3_B, 6 and 8 – characteristics of the built areas – were more heated in relation to the previous one; as well as the manifestation by portions of the LCZ D_F of values similar to the LCZ 6. Lastly, it was verified also the influence of the landscape properties and characteristics, physical elements, urban space organization and the interaction of solar energy and surface materials on air temperature, thus reaching the purpose of the study.

Keywords: Urban climate. Urban heat island. Spatial modelling. Sinop/MT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da sede municipal de Sinop-MT	12
Figura 2: Esquema dos fluxos no balanço de energia para área rural (a) e para um volume urbano de construções, solo e ar (b)	17
Figura 3: Esquema simplificado do perfil clássico da Ilha de Calor com as áreas de <i>cliff</i> , <i>plateau</i> e <i>peak</i>	18
Figura 4: Regiões climáticas de Londres	27
Figura 5: LCZ - Local Climate Zones	32
Figura 6: Esquema para elaboração de subclasses de LCZ.....	33
Figura 7: Representação da hipsometria, orientação das vertentes e declividade para a área urbana e entorno rural de Sinop.....	37
Figura 8: Transição abrupta da área urbana com uma área de lavoura de milho (pós-colheita)	44
Figura 9: A - Croqui com destaque para as primeiras quadras abertas em Sinop; B - Abertura das quadras em 1973	45
Figura 10: Expansão territorial urbana de Sinop (1984 a 2019)	47
Figura 11: Localização dos pontos fixos na área de estudo	57
Figura 12: Sensor utilizado para a aferição da temperatura do ar nos transectos entre as 21h e as 22h.....	58
Figura 13: Trajeto dos transectos móveis realizados nas datas de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro de 2020, entre as 21h e as 22h em Sinop/MT	59
Figura 14: Variáveis independentes selecionadas, exemplificação de imagem de entrada, data de imageamento e datas dos modelos em que foram utilizados.....	65
Figura 15: Potenciais LCZs em Sinop.....	68
Figura 16: Potencial LCZ 3 em Sinop.....	69
Figura 17: Potencial LCZ 3 _B em Sinop	70
Figura 18: Potencial LCZ 6 em Sinop.....	71
Figura 19: Potencial LCZ 8 em Sinop.....	72
Figura 20: Potencial LCZ 9 em Sinop.....	73
Figura 21: Potencial LCZ A em Sinop.....	74
Figura 22: Potencial LCZ D _F em Sinop	75
Figura 23: Grupos de LCZs percorridas no transecto móvel (zona de influência de 100 m) .	79
Figura 24: Distribuição sazonal e espacial da intensidade da ilha de calor de superfície, NDVI, e composição colorida (RGB – 432) para Sinop (2018)	83
Figura 25: Gráficos de frequência dos intervalos de NDVI para a LCZ D _F (jan./set. 2018)...84	
Figura 26: Distribuição da frequência das intensidades da ilha de calor de superfície para as LCZ 3, LCZ 3 _B , LCZ 8 e LCZ D _F , nos meses de janeiro (chuvoso) e setembro (menos chuvoso)	90
Figura 27: Variabilidade diária da ilha de calor de Sinop, para o 1º quadrimestre de 2018...	94
Figura 28: Variabilidade diária da ilha de calor de Sinop, para o 2º quadrimestre de 2018...	97
Figura 29: Variabilidade diária da ilha de calor de Sinop, para o 3º quadrimestre de 2018.	101
Figura 30: Comparação da variabilidade diária da ilha de calor entre os pontos fixos no período de 27/08/2020 a 27/09/2020	109
Figura 31: Temperaturas aferidas por meio de transectos móveis nos episódios de 27 de agosto e 02, 03 e 05 de setembro de 2020, entre as 21h e as 22h (horário local).....	115
Figura 32: Temperaturas aferidas por meio de transectos móveis nos episódios de 11, 18 e 21 de setembro de 2020, entre as 21h e as 22h (horário local)	118
Figura 33: Espacialização das intensidades da ilha de calor ao longo dos trajetos de transecto móvel em Sinop, às 21h (horário local).....	124

Figura 34: Coeficientes de determinação e correlação para as variáveis preditoras adotadas na modelagem de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro de 2020.....	131
Figura 35: Representação gráfica dos resíduos verificados nos modelos de 27/08 e 02, 03 e 05/09/2020.....	137
Figura 36: Representação gráfica dos resíduos verificados nos modelos de 11, 18 e 21/09/2020.....	140
Figura 37: Espacialização das temperaturas modeladas para as datas de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro, referente às 21h	146
Figura 38: Valores médios, desvio padrão e moda da temperatura modelada para as principais LCZs	148
Figura 39: Espacialização das intensidades da ilha de calor urbana, derivada das temperaturas modeladas para 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro de 2020 – às 21h.....	151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipologia das ilhas de calor e suas características	20
Quadro 2: Classificação simplificada de formas urbanas distinta organizadas em ordem decrescente da capacidade de influenciar no clima local	30
Quadro 3: Magnitudes da ilha de calor de acordo com as intensidades apresentadas	56
Quadro 4: Participação de LCZs na área de influência dos pontos fixos (raio de 200 m), em porcentagem.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre área destinada ao cultivo (em hectares) e a quantidade produzida (em toneladas) de arroz, café, milho e soja, em Sinop (MT)	44
Tabela 2: Caracterização da amplitude térmica dos trajetos dos transectos móveis e sistemas atmosféricos atuantes.....	112
Tabela 3: Valores de F para validação dos modelos gerados.....	133
Tabela 4: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 27/08/2020.....	134
Tabela 5: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 02/09/2020.....	135
Tabela 6: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 03/09/2020.....	135
Tabela 7: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 05/09/2020.....	136
Tabela 8: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 11/09/2020.....	138
Tabela 9: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 18/09/2020.....	139

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. A CONFIGURAÇÃO DO CLIMA URBANO: o fenômeno e seus estudos	15
2.1 As Ilhas de Calor Urbano.....	17
2.2. Estudos e técnicas de análise das ilhas de calor: dos pontos fixos à modelagem estatística.....	21
2.2.1 A classificação do ambiente urbano.....	27
3. SINOP (1972 - 2020): da floresta à “Capital do Nortão”	36
3.1 As características geoambientais da área de estudo.....	36
3.2 Da floresta ao agronegócio: a integração econômica e seus agentes mediadores	40
3.3 A consolidação urbana e as formas dispostas em Sinop.....	45
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
4.1 Cartografia das características urbanas e geoambientais.....	51
4.2 Coleta e processamento dos dados de temperatura de superfície e NDVI	52
4.3 Coleta e processamento dos dados associados a atmosfera	55
4.3.1 Pontos fixos.....	56
4.3.2 Transecto Móvel.....	58
4.4 A modelagem espacial da ilha de calor	60
4.4.1 As variáveis para a obtenção dos modelos estatísticos	62
5. A CLASSIFICAÇÃO DA PAISAGEM URBANA: as potenciais LCZs em Sinop	66
5.1 As <i>Local Climate Zones</i> e os pontos de coleta	76
6. AS MODIFICAÇÕES SAZONAIS NA PAISAGEM E NO CAMPO TÉRMICO	81
6.1 A variabilidade da ilha de calor atmosférica em Sinop	92
7. A ESPACIALIZAÇÃO DA ILHA DE CALOR: os episódios de agosto e setembro de 2020	106
7.1 As medidas itinerantes e o perfil da ilha de calor em Sinop.....	110
7.2 A modelagem espacial da ilha de calor	126
7.2.1 Os parâmetros para a seleção das variáveis independentes e validação dos modelos	127
7.2.2 A representação cartográfica da modelagem da ilha de calor	142
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	153
REFERÊNCIAS	157
APÊNDICES	164

1. INTRODUÇÃO

Ao materializar as relações sociais sobre o espaço e modificar as estruturas do ambiente onde se insere, as atividades humanas possibilitam o surgimento de paisagens similares e diferentes dentro de contextos semelhantes. Entende-se a paisagem como o “domínio do visível, aquilo que a vista abarca. Não é formada apenas de volumes, mas também de cores, movimentos, odores, sons etc” (SANTOS, 1988, p. 21), isto é, a paisagem não se apresenta imutável, mas sim dinâmica, gerida por lógicas, práticas e apreendidas de acordo com a vivência de seu observador.

De acordo com Santos (1988, p. 23), a paisagem é expressa pelo conjunto de formas naturais (vegetação, por exemplo) e artificiais (produtos das atividades humanas), mediada por níveis de produção e seus instrumentos, dentro de um recorte temporal de adições e sucessões, ou seja, historicamente composta dentro de seu contexto e da conexão do local com o global.

As cidades ao abrigarem as complexas relações de produção (trabalho) e vivências, apresentam paisagens mais heterogêneas, que ao se relacionarem com as propriedades físicas do sítio em que se inserem, são capazes de alterar as características dos fenômenos e elementos naturais inerentes da localidade, possibilitando a interferência no cotidiano da população que reside e produz estes espaços. Isso não implica em afirmar que na área rural essa relação se dá de maneira monótona, mas sim que apresenta similaridades e particularidades com outras localidades que apresentam processo de formação e atividades análogas, bem como marcada por um ritmo bem definido, sendo também capaz de alterar a estrutura natural anteriormente vigente.

O clima local é o componente do sistema ambiental que mais sofre alteração devido a ação direta e indireta das atividades humanas, seja na transformação oriunda do processo produtivo do campo, seja pela materialização das relações sociais nas cidades.

No âmbito rural, a intensa modificação do ambiente devido às atividades agropecuárias, pautada num calendário próprio mediante as características atmosféricas ao longo do ano, provocam alterações que vão desde a velocidade dos fluxos de água da chuva no solo, possibilitando processos erosivos, até diferenças térmicas, que podem atingir aproximadamente 8°C a mais nos ambientes de solo exposto e cultivado, quando comparado com área de vegetação natural, no ambiente amazônico (TARIFA, 1994).

Nas cidades, a substituição da cobertura vegetal, a nova rugosidade, a inserção de novos materiais, dentre outros aspectos, permite a configuração de fenômenos como o clima urbano e as ilhas de calor, isto é, a reorganização dos componentes do clima local, sobretudo no campo

térmico, mediante a sua relação com os novos elementos superficiais (MONTEIRO, 1975; OKE, 1987; AMORIM, 2000; 2020a).

No Brasil, especialmente a partir de 1960, as profundas transformações ocorridas no campo contribuíram para o aumento da população urbana. Se por um lado as cidades eram polos de migração dado a oferta de emprego e infraestrutura, por outro a “modernização” e mecanização no campo auxiliaram no movimento populacional do campo para a cidade.

Esses dois movimentos acima mencionados, permitiram a configuração do cenário urbano e econômico nacional que caracterizaram as décadas de 1970 a 2000, marcadas pela expansão das atividades relacionadas à agricultura tecnificada (agronegócio) no país, apoiada no surgimento e crescimento dos processos de urbanização e aglomerados urbanos.

As cidades bases para a expansão deste novo modelo produtivo, foram denominadas de cidades do agronegócio (ELIAS; PEQUENO, 2007, p. 30) e caracterizadas como espaços urbanos que permitem e auxiliam as atividades agroindustriais por meio de sua estrutura ou pela sua configuração, alterando assim a clássica relação cidade-campo.

Do ponto de vista da morfologia e dos elementos que compõem a paisagem destas cidades, em sua maioria, apresentam características de cidades médias e pequenas, onde o entorno rural se apresenta consolidado e próximo às áreas urbanizadas, dotado de um ciclo sazonal que modifica a paisagem rural mediante o período do ano.

Deste modo, as cidades ligadas intrinsecamente com as dinâmicas das atividades agrícolas e/ou de porte médio ou pequeno, tornam-se áreas de estudos tanto para os fenômenos do clima urbano, quanto para questões das atividades agrícolas no modo de produção capitalista, sendo preciso incorporar uma análise pautada numa perspectiva que envolva não apenas uma relação causal entre “clima” e “espaço”, mas também, considerando outros elementos que envolveram e envolvem a estruturação tanto do espaço urbano, como de suas atividades econômicas; estando, então, pautada na Geografia do Clima proposta por Sant’Anna Neto (2008).

Neste sentido, ao não assumir somente a causalidade clima-espaço, mas sim os desdobramentos de fatores que perpassam por lógicas de produção, consumo e modo de vida, inserida no sistema capitalista, faz-se necessário compreender, também, as consequências das relações predatórias na produção do espaço – e seus agentes – com as relações sociedade e natureza mediada pelo pensamento hegemônico do capital, no que Sant’Anna Neto (2008, p. 56) evidencia que:

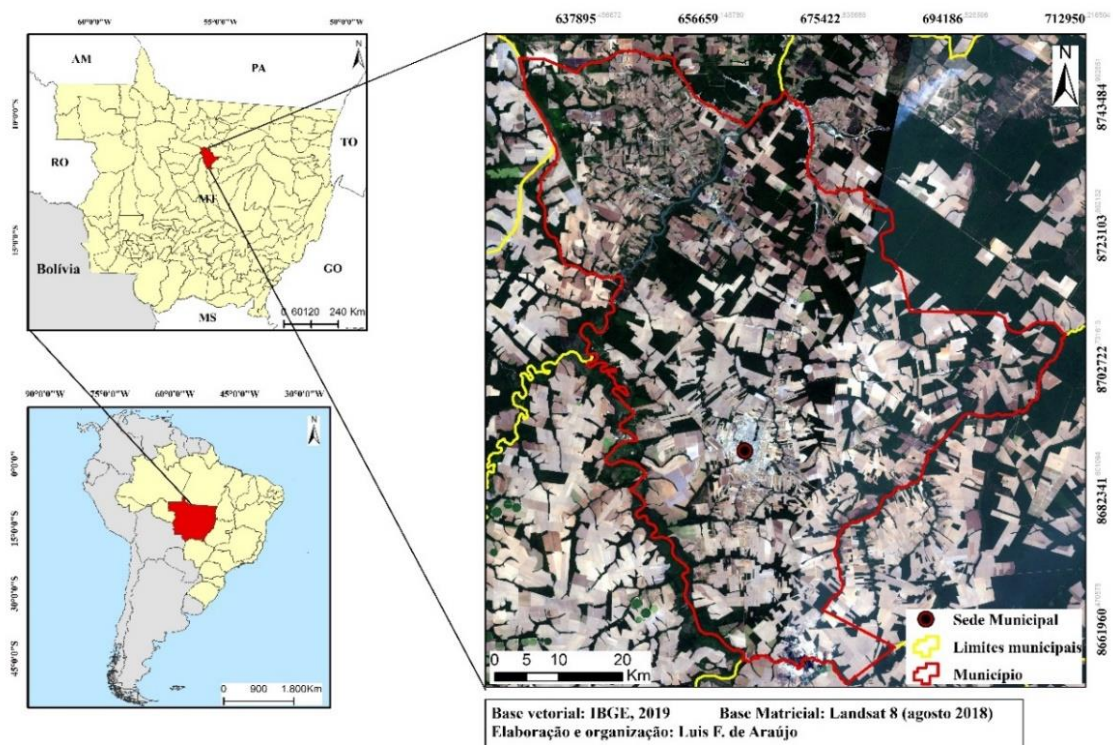
(...) à medida que o modo de produção capitalista avança na conquista e na ocupação do território, primordialmente como substrato para a produção agrícola e criação de

rebanhos e, posteriormente, erguendo cidades, expandindo o comércio, extraindo recursos naturais e instalando indústrias, ou seja, ao se apropriar da superfície terrestre, este se constitui no principal agente produtor do ambiente (SANT'ANNA NETO, 2011, p.56).

O município de Sinop se insere neste contexto de produção e consolidação do espaço urbano aliado ao desenvolvimento e expansão do agronegócio nacional. Sua implantação tem estrita relação com os projetos e programas estatais que visavam a “ocupação” e integração da Amazônia junto à economia nacional, por meio da instalação de infraestrutura, “distribuição” das terras, facilitação para a viabilização e incentivo à agroindústria e aos projetos de colonização particulares.

O município de Sinop localiza-se entre as coordenadas geográficas de 11° e 13° de latitude Sul e 55° e 56° de longitude Oeste (Figura 1), assentado sobre relevo aplainado que facilitou seu planejamento urbano e a inserção da mecanização do campo. Possui área territorial de 3.941,958 km², sendo aproximadamente 1,7% (65 km²) correspondente à área urbana, onde se concentra 146.005 habitantes (população estimada), de acordo com IBGE (2020).

Figura 1: Localização da sede municipal de Sinop-MT



No âmbito climático, a localidade apresenta características de clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno, tendo seu máximo de precipitações entre dezembro, janeiro e fevereiro, e segundo a classificação de Köppen possui o Tipo Aw (DUBREUIL *et al.*, 2018).

Atualmente, a cidade apresenta forte relação com o modelo produtivo pautado na produção de *commodities*, expresso tanto na paisagem quanto nas características econômicas. No âmbito econômico, o PIB municipal de 2014 atingiu cerca de R\$ 4.287.335,00, sendo composto por 63,6% de serviços (com exceção da administração pública), 15,1% da indústria, 15,2% da administração pública e 6,2% da agropecuária, de acordo com a Secretaria de Estado de Planejamento (SEPLAN, 2017).

A elevada porcentagem dos serviços e da indústria se liga ao fato de a cidade abrigar diversas sedes de agroindústrias, bem como de empresas ligadas ao sistema produtivo, que oferecem as bases para a manutenção das atividades, sobretudo agrícolas, que se encontram no município.

Assim, partindo do princípio da existência de um clima específico para as cidades, bem como as alterações no clima local decorrentes das atividades econômicas e constantes modificações na paisagem natural, a presente pesquisa tem por objetivo principal, identificar e analisar as ilhas de calor em Sinop (MT), por meio da espacialização da temperatura do ar e das intensidades das ilhas de calor superficiais de acordo com os sistemas atmosféricos atuantes, estabelecendo relações com as características da paisagem urbana e do entorno rural. Além disso, verificar os aspectos socioeconômicos e ambientais que contribuíram para a formação e consolidação do ambiente urbano e da atividade agrícola característica da área e suas interferências.

Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as características do processo de formação e consolidação do espaço urbano, bem como a sua relação com o modelo produtivo vigente em Sinop/MT;
- Realizar uma classificação das paisagens urbana e rural do entorno da cidade de Sinop/MT;
- Analisar a temperatura de superfície da área urbana e entorno rural em episódios sazonais distintos no ano de 2018, com base em imagens de satélite;
- Analisar o índice de vegetação (NDVI) da área e relacionar com as características de temperatura de superfície;

- Caracterizar a variabilidade diária da ilha de calor atmosférica e sua relação com os sistemas atmosféricos atuantes ao longo do ano de 2018 e episódios de agosto e setembro de 2020;
- Relacionar as características da temperatura do ar com as propriedades paisagísticas urbana e rural, e as situações sinóticas, por meio de transectos móveis, em episódios de agosto e setembro de 2020;
- Analisar em sete episódios de agosto e setembro de 2020, a influência das características geoambientais e urbanas de Sinop na componente climática da temperatura do ar.

Assim sendo, a dissertação foi estruturada em oito capítulos, partindo da introdução do assunto e da apresentação dos objetivos, perpassando pela fundamentação teórica e referencial bibliográfico que deram suporte para o desenvolvimento da pesquisa, bem como a apresentação das ferramentas e técnicas utilizadas para o cumprimento dos objetivos, a apresentação e discussão dos resultados, e as considerações finais acerca das análises realizadas.

2. A CONFIGURAÇÃO DO CLIMA URBANO: o fenômeno e seus estudos

As cidades ao se formarem e consolidarem, dentro da lógica capitalista, possibilitam a aparição de formas e estruturas urbanas distintas, com diversificados usos, densidades, conteúdos e relações. Pautada na superação da natureza (vista como antítese do progresso) por meio da supressão de grande parte da vegetação, retificação e/ou canalização de cursos hídricos, impermeabilização do solo, dentre outros, é capaz de influenciar e alterar fenômenos ambientais locais como o balanço hídrico e o balanço de energia, e consequentemente o sistema de transferência energética superfície-atmosfera.

Essa modificação do espaço tende a alterar também as características do ar que as sobrepõem, como temperatura, umidade e pressão atmosférica, tendo-se a delimitação da camada responsável pelo clima urbano (OKE, 1987). Isto é, a configuração de um clima próprio para as áreas urbanas, em que a cidade exerce influência e é influenciada, na proposição de Monteiro (1975), a relação de um fato social com um fato natural, ou numa definição conceitual “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (MONTEIRO, 1975, p. 116).

Partindo destes preceitos e em conjunto com a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), Monteiro (1975) propõe o Sistema Clima Urbano (SCU), um modelo teórico pautado no pragmatismo, dinamismo, na consistência, empirismo e modelismo suportadas pela TGS, para aplicação em estudos de clima urbano. O autor sugere que, dentro do SCU, a análise das peculiaridades do clima da cidade se dê por meio de canais de percepção humana, que englobam as principais entradas e ocorrências dentro do sistema, apontando os canais do Conforto Térmico, Qualidade do Ar e Meteoros de Impacto, e justifica seu uso, dado que,

O conjunto-produto do S. C. U. pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana (MONTEIRO, 1975, p. 124).

Esses canais, também recebem o nome de Subsistema Termodinâmico, Subsistema Físico – Químico e Subsistema Hidrometeorológico, e podem ser caracterizados, baseado em Monteiro (1975) como segue:

1) Canal I: Conforto Térmico - Subsistema Termodinâmico - em que a reponsabilidade de sua origem se encontra na natureza e nas atividades humanas, dado que sua fonte reside nos elementos naturais como, a radiação solar, circulação horizontal, incluindo a regional, e

vertical, variações temporais (sazonais, mensais, horárias etc.), bem como o balanço térmico, que são transformados dentro do sistema por meio das características locais como o uso do solo, a topografia da área, a estrutura e a função urbana. Essa interação acaba por alterar a estrutura térmica urbana e a ventilação local, gerando fenômenos como ilha de calor, ventilação urbana e aumento das precipitações locais, agindo diretamente sobre o conforto térmico no nível individual (no desempenho humano) e no nível social (problemas sanitários). As formas de intervenção auto-reguladora apontadas pelo autor neste canal dão-se por meio do planejamento urbano (regulamentação do uso solo e adaptação da estrutura urbana) no âmbito coletivo, e desenvolvimento de tecnologia de conforto habitacional na esfera individual.

2) Canal II: A Qualidade do Ar - Subsistema Físico – Químico - apresenta forte relação com o canal anterior, dado que ao alterar a estrutura térmica e a ventilação urbana o Subsistema Termodinâmico possibilita a difusão ou concentração de poluentes atmosféricos. A gênese deste subsistema se dá na concentração e circulação de veículos, que consomem combustíveis fósseis; na emissão de poluentes das concentrações industriais; dentre outras formas de contaminação da atmosfera, que aliadas aos tipos de tempo atmosférico, topografia do sítio e padrões de circulação, propiciam o aumento de nebulosidade e diminuição da visibilidade, desgastes de materiais e problemas sanitários (doenças respiratórias, circulatórias, dérmicas etc). Para este caso, as ações se dão no circuito autorregulador adaptativo por meio de estados de alertas (índice de qualidade do ar – probabilidade de graus nocivos) e ação decisiva (legislação de controle e punição para emissão de poluentes). Essa caracterização justifica a exclusividade das ações humanas na responsabilização pelo subsistema.

3) Canal III: Impacto Meteorológico - Subsistema Hidrometeorológico - como sugerido em seu título, versa sobre a influência dos impactos (tempestades, granizos, aguaceiros etc) e sua associação com a morfologia urbana, na geração de produtos como deslizamentos, inundações, alagamentos, dentre outros. Tendo como circuito autorregulador, as regulamentações de drenagens fluviais e uso do solo, adequação de galerias pluviais, previsão dos estados de alerta e estratégias de emergência. Este Canal apresenta relação com os dois anteriores, uma vez que a alteração da estrutura térmica e ventilação, e a concentração de poluentes, possibilitam a ocorrência de maiores incidências de precipitações em pontos concentrados.

De maneira geral, a caracterização destes filtros de percepção evidencia a integração dos elementos naturais e das ações humanas, a inter-relação entre os subsistemas, bem como a capacidade de autorregulação do SCU, baseada nas decisões humanas, reforçando a característica de sistema adaptativo (MONTEIRO, 1975), e a possibilidade de melhorias nas áreas analisadas, justificando sua ampla aplicação nos estudos brasileiros.

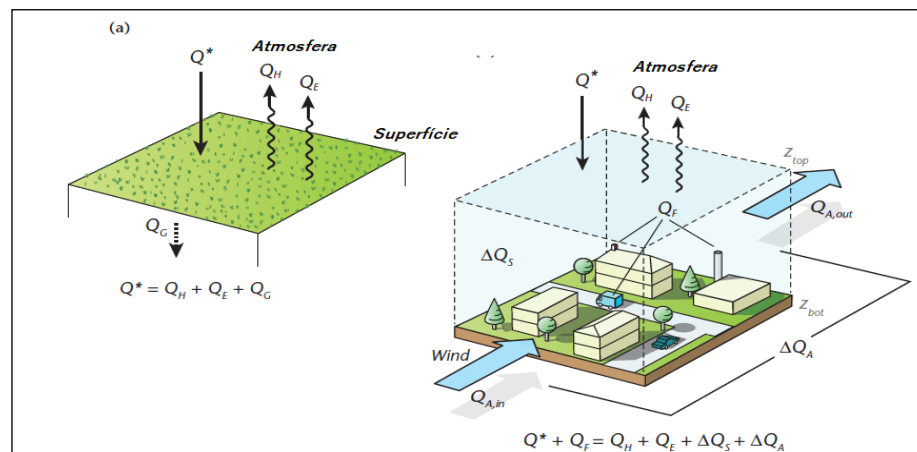
2.1 As Ilhas de Calor Urbano

O Subsistema Termodinâmico (Canal do Conforto Térmico) tem sido amplamente utilizado nos estudos dos climas das cidades, pois ao ser percebido por meio do desconforto térmico estabelece uma relação evidente com a população que convive e interage com os espaços base para este subsistema.

Como já apontado anteriormente, as Ilhas de Calor Urbano (ICU) se encontram inseridas na perspectiva do Subsistema Termodinâmico, sendo definidas por Gartland (2010, p. 9) como “[...] um “oásis inverso”, onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que em áreas rurais circundantes”. Esse aquecimento sobressalente das áreas urbanizadas deriva, dentre outros fatores ambientais, das propriedades físicas dos materiais utilizados na produção das cidades, bem como o modelo urbano adotado e do calor antropogênico que alteram, por exemplo, espaço-temporalmente a energia disponível para o aquecimento da atmosfera (MONTEIRO, 1975; GARTLAND, 2010; OKE *et al.*, 2017).

Num aprofundamento sobre o balanço energético em áreas urbanas, Oke *et al.* (2017), apontam que o mesmo se expressa pela soma do saldo de radiação líquida (Q^* - fonte básica para o aquecimento do ar) com o calor antropogênico (Q_F), se igualando ao somatório do fluxo de calor sensível turbulento (Q_H), fluxo de calor latente turbulento (Q_E), fluxo de calor armazenado (ΔQ_S) e advecção horizontal de calor sensível e latente (ΔQ_A). Em contrapartida, em áreas planas (sem construções) típicas de ambientes rurais, o balanço energético fica expresso pelo saldo de radiação líquida se igualando ao somatório dos fluxos de calor latente e sensível turbulentos e fluxo de calor sensível para o substrato (Q_G), como apresentado na Figura 2.

Figura 2: Esquema dos fluxos no balanço de energia para área rural (a) e para um volume urbano de construções, solo e ar (b)



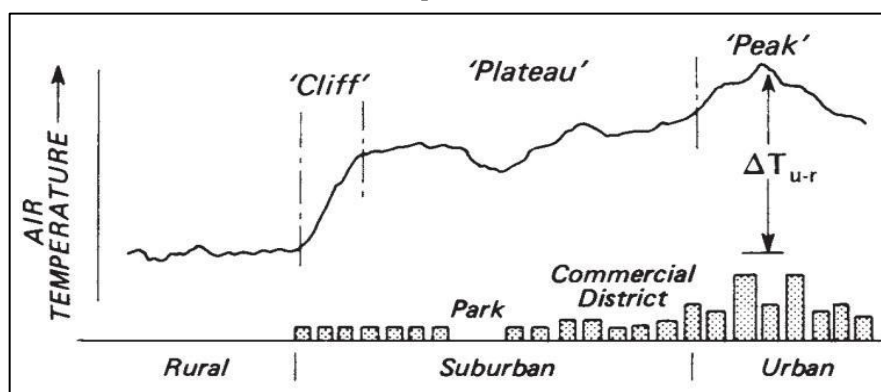
Fonte : Oke *et al.* (2017, p. 157).

O esquema dos fluxos no balanço de energia em áreas urbanizadas, apresentado na Figura 2, não só exprime a complexidade de pontos da cidade, mas também reforça a influência das atividades humanas dentro do sistema, seja na contribuição do calor antropogênico ou na construção de elementos capazes de armazenar energia durante o dia, que são liberadas durante a noite por meio do fluxo de calor sensível. Tem-se aqui duas características clássicas da ilha de calor, o aquecimento do ar da cidade derivado da capacidade de absorção da energia solar pelas superfícies artificiais e maior aquecimento das ilhas de calor após o pôr do sol (GARTLAND, 2010).

Outros aspectos do perfil clássico da ICU, relacionados exclusivamente à temperatura do ar, no deslocamento zona rural - centro da cidade referem-se à configuração das áreas de *cliff*, *plateau* e *peak*, apontadas por Oke (1987) e reapresentadas em Oke *et al.* (2017). As áreas de *Cliff* (escarpa ou penhasco, em tradução literal), condiz ao abrupto aumento da temperatura na transição rural-urbano, onde tinha-se um gradiente relativamente menos elevado (rural) que aumenta rapidamente dado as características de ocupação do solo urbano.

As características urbanas similares apresentam um gradiente de temperatura próximo, não havendo alterações bruscas (salvo exceções). Assim, o tracejado percorrido tende a se manter homogêneo configurando o *plateau* (planalto). Essa característica de *plateau* se altera ao atingir as áreas densamente construídas (geralmente áreas comerciais e/ou centrais), fazendo com que se atinja o ápice do gradiente térmico e o surgimento do *peak* (pico). A Figura 3 ilustra o perfil clássico e as áreas de *cliff*, *plateau* e *peak*.

Figura 3: Esquema simplificado do perfil clássico da Ilha de Calor com as áreas de *cliff*, *plateau* e *peak*



Fonte: Oke (1987, p. 288).

Em complemento ao perfil ilustrado anteriormente (Figura 3), há a distinção de mais duas áreas, as *hills* (colinas), vinculadas à locais com construções densas, altas e/ ou com grande fluxo de calor antropogênico, modelando aumentos no tracejado, e os *valleys* (vales) ou *pools*

(piscinas), associados às áreas pouco construídas, parques, lagos, rios, campos etc, que possibilitam a queda do gradiente térmico dentro do *plateau* e consequentemente provocando quedas no tracejado (OKE *et al.*, 2017).

Na análise do perfil, os *valleys* apontam a importância da vegetação, sobretudo em parques urbanos, para a redução da temperatura nas cidades, mesmo que ao ser comparado com o rural permaneçam elevados, mas que ao serem analisadas com as áreas de características de uso urbano apresentam consideráveis modificações.

No entanto, algumas ressalvas devem ser feitas quanto às características clássicas apresentadas. A primeira, o tracejado e as áreas apontadas anteriormente de *cliff*, *plateau*, *peak*, *hills* e *valleys*, foram elaboradas levando-se em conta, exclusivamente, os atributos de ocupação e uso do solo, excluindo o efeito de marcos do relevo. Segunda, esse delineamento pode não se apresentar em situações atmosféricas instáveis, em que se tem ocorrências de ventos e/ou precipitações. Terceira, como já mencionado por Gartland (2010) as ilhas de calor apresentam padrões distintos, tendo suas temperaturas com maior elevação (na comparação com o rural) após o pôr do sol, isto é, este padrão apresentado pode não se configurar durante o dia e se rearranjar desta maneira no período noturno.

Essas ressalvas aparecem aqui com o intuito de apontar que em outras condições, sejam elas de relevo, atmosféricas e periódicas (matutino ou vespertino), pode haver alterações no perfil, porém, ele ainda ilustra o elevado grau de relação entre as altas temperaturas urbanas e as áreas densamente construídas e com pouca ou nenhuma vegetação.

Até o momento fez-se a caracterização apenas de um tipo de ilha de calor, a relacionada à diferenciação de temperatura do ar entre o ambiente urbano e o rural. No entanto, é necessário analisar o urbano e suas alterações por outras frentes, sobretudo, nas distintas ilhas de calor que ocorrem no plano horizontal (na espacialização do fenômeno sobre a cidade) e no vertical (subterrâneo – superfície – atmosfera).

Assim, partindo da possibilidade de análise dos impactos da produção das cidades sobre a natureza e os fenômenos naturais, sobretudo no clima local, faz-se importante apresentar a tipologia das ilhas de calor apontadas inicialmente por Oke (1995) e reapresentadas em Oke *et al.* (2017), que as classifica em quatro tipos distintos, duas ligadas à superfície e ao subterrâneo a *Subsurface urban heat island* (UHI_{Sub}) – Ilha de Calor Urbana Subsuperficial e a *Surface urban heat island* (UHI_{Surf}) – Ilha de Calor de Superfície Urbana, e duas associadas ao ar, a *Canopy layer urban heat island* (UHI_{UCL}) – Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano e a *Boundary layer heat island* (UHI_{UBL}) – Ilha de Calor da Camada Limite, e as caracteriza conforme consta no Quadro 1.

Quadro 1: Tipologia das ilhas de calor e suas características

Tipo	Característica
Subsurface urban heat island. (Ilha de Calor Subsuperficial)	Consiste na diferença dos padrões de temperatura entre as construções subsuperficiais da cidade e tecido subterrâneo, quando comparado com o rural circundante. Sua gênese está associada com a transferência de calor sensível da superfície urbana e de suas construções (incluindo subterrâneas) para o substrato.
Surface urban heat island. (Ilha de Calor de Superfície Urbana)	Se dá na diferenciação da temperatura da superfície das áreas urbanas e do solo rural. Se origina, principalmente, das características de absorção e emissão de energia dos materiais presentes nas construções urbanas e dos elementos contidos no rural próximo.
Canopy layer urban heat island (Ilha de Calor da Camada do Dossel Urbano)	Consiste na diferenciação da temperatura do ar contido na Camada do Dossel Urbano - UCL (camada entre a superfície urbana e o nível do telhado) com sua correspondente rural. É muito presente nas análises de clima urbano, sobretudo, por ser a camada onde estão inseridos os humanos. Suas características e gênese foram os assuntos trabalhados nos parágrafos anteriores.
Boundary layer heat island. (Ilha de Calor da Camada Limite Urbana)	Diferenciação da temperatura do ar entre o topo da UCL até o topo da Boundary layer (Camada limite) com sua correspondente rural. O aquecimento excedente desta camada se dá pelo fluxo de calor sensível proveniente da área urbana, sobretudo no período noturno, podendo este calor ser transportado pelos ventos para longe das áreas construídas.

Fonte: adaptado de Oke (1995) e Oke *et al.* (2017).

De maneira geral, a especificação das ilhas de calor apresenta duas vantagens. A primeira, dá-se na possibilidade de verificar que a ação humana na transformação do espaço altera as estruturas naturais que chegam a influenciar, para além da superfície, do subterrâneo a centenas de metros da atmosfera. Isto é, possibilitam que os fenômenos naturais se reorganizem, associados as novas características da superfície, permitindo a origem de distintas ilhas de calor, que podem ou não ser encontradas nas mesmas localidades, em períodos alternados ou simultâneos.

Por fim, a segunda vantagem reside na possibilidade de haver melhor planejamento para a execução de análises nos impactos das ações humanas sobre o clima local e o ambiente, uma vez que ao apresentarem gêneses e espacializações diferentes são necessárias técnicas específicas para que possam ser detectadas e, quando possível, analisadas em conjunto. Algumas destas técnicas serão apresentadas no tópico a seguir como meio de fundamentar as ações realizadas neste trabalho.

2.2. Estudos e técnicas de análise das ilhas de calor: dos pontos fixos à modelagem estatística

Os estudos do clima urbano com enfoque nas ilhas de calor são diversificados, com cidades de tamanhos e configurações similares/distintas, métodos e técnicas universais e/ou particulares, analisadas por meio da intensidade e espacialização.

Um dos primeiros trabalhos que versam sobre a diferenciação da temperatura das áreas urbanas com o ambiente rural, é datado de 1818 (primeira edição) e intitulado de *The Climate of London* de autoria de Luke Howard, em que se constatou temperaturas mais elevadas na metrópole do que em pontos não urbanos próximos (MONTEIRO, 1975; AMORIM, 2020a). Em 1862, Emilien Renou publicou resultados de uma investigação de cinco anos em que comparou as diferenças de temperatura entre a cidade de Paris e um Observatório distante a 9,5 km, constatando uma diferença média de 1,2 °C nas mínimas noturnas, associando essa alteração à poluição atmosférica, emissão das chaminés, dentre outros (BROOKS, 1952 *apud* STEWART, 2011).

Ainda no século XIX outras cidades foram analisadas na perspectiva da diferenciação das temperaturas urbanas e rurais, como Munique (1860), Calcutá (1885), Berlim (1890) e Cidade do México (1899). É na primeira metade do século XX que se tem os primeiros registros deste tipo de análise em cidades estadunidenses como Nova York (1919) e japonesas como Tóquio (1931) (STEWART, 2011).

Em termos metodológicos os estudos apresentavam características semelhantes, ao analisarem as temperaturas por meio de duas a três estações (STEWART, 2011; FOISSARD, 2015), comparando em grande parte, o centro da cidade com uma área rural ou não construída, nas proximidades. A primeira cidade analisada por uma outra técnica de aferição da temperatura, considerada como um avanço nos estudos das ilhas de calor, foi Viena em 1927, onde Wilhelm Schimdt se utilizando de um termômetro de mercúrio e um automóvel, registrou a temperatura do ar de um percurso de 20km, passando pela cidade e seus arredores, num total de três horas (STEWART, 2011).

A novidade apontada pela medida itinerante, atualmente também conhecida como transecto móvel, era a possibilidade de aferir a temperatura do ar de pontos onde não se encontravam os equipamentos fixos, permitindo maior detalhamento nas análises quando comparadas com as anteriores. Assim, de acordo com Stewart (2011), não tardou para que

outros trabalhos apresentassem esta metodologia como em Budel e Wolf (1933) para Munique e Berg e Metzler (1934) para Hanover.

A segunda metade do século XX se configura como marco de transição dos estudos do clima urbano, sobretudo aos ligados às ilhas de calor, originado de um aprofundamento teórico-metodológico que reflete nas pesquisas atuais.

Na escala mundial o destaque para esse período reside nos trabalhos de: Sundborg (1951) para a cidade de Uppsala (Suécia), em que se teve a primeira relação estatística entre as condições atmosféricas e a magnitude das ilhas de calor, bem como apresentou estratégias de campo baseadas em seus objetivos, para isso descartando os dados de observatórios em áreas apontadas por ele como não representativas e adotando rotas de medidas móveis que desviassem da influência das áreas vegetadas da cidade (STEWART, 2011); Chandler (1965), que analisou a temperatura e umidade do ar da cidade de Londres por meio de medidas fixas (estações) e por medidas móveis (transectos) em áreas representativas, levando em consideração o tecido urbano e suas características, na configuração de microclimas, como também na relação desses com as situações atmosféricas do período; e os estudos de Oke (1976, 1987), que se dedicaram ao entendimento da formação e dos mecanismos das ilhas de calor, a interação das camadas urbanas (*Canopy* e *Boudary layer urban heat islands*) entre si e com as características construtivas locais, proporcionando uma noção de multiescalaridade, assim como, posteriormente, a proposição de diferentes tipos de ICUs para as cidades (OKE, 1995).

No Brasil, os primeiros estudos de clima urbano surgem na década de 1970, destacando as obras de Monteiro (1975) de cunho teórico-metodológico com a proposição do S. C. U., e de Tarifa (1977) de caráter aplicado com resultados de uma breve análise.

As análises feitas por Tarifa (1977) para São José dos Campos (SP), levou em consideração fatores do sítio da cidade (formas do relevo e orientações de vertentes), distintas coberturas do solo (tanto no urbano, quanto no rural), bem como as situações atmosféricas para os dias de coleta, se utilizando do gráfico de análise rítmica proposto por Monteiro (1971). O autor se utilizou de psicrômetros instalados a aproximadamente 80 cm do solo para a coleta dos dados entre 9h e 17h de oito dias (de 2 a 9 de dezembro de 1974), encontrando intensidades entre -3,5 °C a 3,4 °C, as quais apontou ser um resultado restrito dado ao número de dias e horários, bem como a atuação de sistemas atmosféricos como uma Frente Polar Atlântica. No entanto, assim como apontado pelo autor, o estudo constatou ilha de calor para uma cidade média brasileira, a relação (mesmo que inicial) do relevo e clima e a importância da vegetação em ambiente tropical, em que as cidades são capazes de acentuar o calor ambiental excedente.

Outros trabalhos de suma importância, cada qual com suas características e abordagens, marcaram a trajetória dos estudos do clima urbano nas cidades brasileiras. A análise na capital paulista, feita por Lombardo (1985), por meio de aferição fixa de temperatura e umidade em conjunto com técnicas de sensoriamento remoto (com produtos dos satélites NOAA e *Landsat*), se configurando como um marco da década de 1980 e possibilitando avanços metodológicos imprescindíveis nas pesquisas atuais.

Posteriormente, nos anos de 1994 a 1997, destacamos os trabalhos de Maitelli (1994), Mendonça (1994), Sette (1996) e Pitton (1997). Ao analisar a capital mato-grossense (Cuiabá), que estava em pleno período de expansão, por meio de coleta de dados fixos e móveis, balanço de energia para a área central e análise estatística de dados climáticos (série temporal de 1970-1992), Maitelli (1994), verificou intensidades que variaram de 1,8 °C (na estação chuvosa) a 5 °C (na estação seca) no período noturno, sendo um dos primeiros estudos para o interior do país e o pioneiro para do estado de Mato Grosso.

Mendonça (1994), propôs uma metodologia específica para a análise do clima urbano nas cidades de pequeno e médio portes, apoiada nos aspectos “geo-ecológicos” (relevo, geomorfologia, declividade e orientação das vertentes), direção e velocidade predominante dos ventos, bem como a ocupação do solo, sendo expressos por um minucioso embasamento cartográfico. Assim, a cidade (foco da pesquisa) foi subdividida em áreas homogêneas destinadas a coletas em pontos fixos e transectos, considerando suas formas, estrutura e função e os aspectos apontados anteriormente. O resultado da aplicação dessa metodologia para Londrina (PR) proporcionou a identificação de diferenças térmicas superiores a 10 °C, bem como o uso do sensoriamento remoto possibilitou verificar a influência do entorno rural na formação do clima urbano da cidade.

Em 1996, Sette se utilizando de pontos fixos, com coletas de dados na estação seca e chuvosa, associadas a análise da circulação atmosférica regional e a caracterização dos tipos de tempo, observou os efeitos da urbanização nos elementos climáticos (temperatura e umidade do ar) e na pluviosidade em Rondonópolis (MT). A autora também elaborou um modelo empírico para o SCU da cidade, contribuindo com os estudos da área em âmbito regional e nacional.

Pitton (1997) ao analisar Rio Claro, Araras, Cordeirópolis e Santas Gertrudes (todas pertencentes ao estado de São Paulo), sendo as duas primeiras cidades médias e as duas últimas cidades pequenas, por meio dos aspectos geoecológicos e urbanos para a seleção dos pontos amostrais, constatou que as anomalias térmicas mediadas pelo ambiente urbano independe do tamanho da cidade, isto é, o marco de seu trabalho reside no destaque de que para o clima

urbano a dimensão do urbano não o inibe, o que lhe permite ser presenciado até mesmo em cidades de pequeno porte.

O estudo realizado em Presidente Prudente por Amorim (2000), reforça sua importância ao analisar o clima urbano por meio de dois eixos característicos: a análise temporal dos elementos climáticos e a análise espacial com o intuito de explicitar a repercussão dos sistemas atmosféricos frente às condicionantes geoecológicas e urbanas, possibilitando assim a caracterização a manifestação das ações humanas sobre o clima local de cidade média distante do litoral e próximo ao Trópico de Capricórnio.

No início do século XXI, a análise realizada por Zamparoni (2001) se destaca ao correlacionar as alterações climáticas na Amazônia Mato-Grossense, oriundas dos processos de ocupação territorial não indígena, a partir da década de 1970, mediados por interesses governamentais e econômicos, que culminaram na formação e consolidação de municípios como Sinop, Sorriso e Vera (elencados como amostras para o estudo). Os resultados encontrados por meio da quantificação e mapeamento do desmatamento, análise das tendências de variáveis climáticas entre 1973 e 1998, e análise do processo de urbanização da área, permitiram à autora a verificação de possíveis alterações climáticas derivadas do processo de urbanização do campo, como acréscimos nas tendências anuais da temperatura do ar e das máximas e mínimas, diminuição das médias anuais de chuvas e elevação das médias anuais da umidade relativa do ar e evaporação.

Com o acesso aos produtos de imageamento remoto e suas técnicas de extração de informações, os estudos ligados à identificação e caracterização das ilhas de calor ganham complementação e novas perspectivas, seja na análise, exclusivamente, das ilhas de calor de superfície e até mesmo na incorporação dessas informações na análise “geral” do fenômeno.

Na perspectiva da integração do sensoriamento remoto com as técnicas já utilizadas, apontamos os trabalhos de Amorim *et al.* (2009), Ugeda Júnior (2011), Ortiz Porangaba (2015) e Rampazzo (2015). O primeiro estudo (AMORIM *et al.*, 2009) apresenta uma análise comparativa das características térmicas do clima urbano para as cidades médias de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França), considerando também seus aspectos urbanos e os sistemas atmosféricos vigentes. Os dados foram obtidos por meio de estações fixas, transectos móveis e imagens do satélite Landsat 7 (para obtenção da temperatura de superfície), possibilitando evidenciar fontes de calor (de temperatura de superfície, posteriormente confirmadas nos transectos móveis) e diferenças na temperatura do ar derivadas dos materiais construtivos e distintos usos do solo que compõem as duas cidades.

O clima urbano de Jales (SP) foi analisando por Ugeda Júnior (2011), mediante o uso de estações fixas, medições itinerantes e produtos do Landsat 7, em associação com as características ambientais, urbanas e sistemas atmosféricos atuantes. Os resultados obtidos, permitiram ao autor afirmar o sucesso do uso do sensoriamento remoto nas análises do clima urbano, a configuração de um clima urbano específico com diferenças térmicas que ultrapassam 10°C (em situações de estabilidade), bem como apontar medidas via planejamento urbano, que possibilitem uma minimização do fenômeno encontrado.

Ortiz Porangaba (2015), verificou a modificação do campo térmico e higrométrico de Assis (cidade média), Cândido Mota, Macaraí e Tarumã (cidades pequenas), se utilizando de coleta de dados por estações fixas, transectos móveis e imagens do satélite Landsat 8 (para elaboração da carta de temperatura de superfície e NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*). A autora afirma que a temperatura de superfície e os valores de NDVI, se apresentaram como ferramentas importantes na identificação de interferências das feições urbanas na configuração do clima urbano, e na observação de temperaturas superficiais urbanas mais amenas no inverno. No que diz respeito às diferenças de temperatura do ar, constatou-se intensidades entre 0,3 °C e 6,3 °C sob atuação de sistemas atmosféricos específicos, possibilitando a constatação de efeitos do clima urbano para as áreas estudadas.

Ainda em 2015, Rampazzo analisou e identificou a distribuição espacial e temporal das diferenças termohigrométricas de Marília e São Carlos (SP), levando em consideração as características do urbano. As imagens dos satélites Landsat 7 e 8, permitiram a elaboração das cartas de temperatura de superfície, utilizadas na correlação do uso do solo e temperatura, bem como para um indicador de áreas representativas para instalação de equipamentos fixos e medições móveis. No panorama geral, a autora verificou diferenças térmicas superiores à 10 °C (para São Carlos) e 6 °C (para Marília), sob atuação de sistemas atmosféricos como a Massa Tropical Atlântica e a Massa Polar Alântica, o que evidencia a influência dos atributos físicos e urbanos dos sítios e, consequentemente, o reforço do clima urbano como um produto social capaz de reforçar ou atenuar as desigualdades sociais.

Nos últimos anos, a utilização de técnicas como a análise geoestatística, tem possibilitado avanços e novas abordagens dentro dos estudos do clima urbano, sobretudo ao incorporarem produtos de sensores remotos nas investigações das ilhas de calor. Um exemplo é a modelagem espacial que consiste na estimação estatística, por meio da regressão linear, de valores de temperatura (ou intensidade) para pontos da área de estudo em que não foi possível obter registros, tendo como base os valores aferidos *in situ*.

No trabalho de Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), tem-se a apresentação de procedimentos para estimar os valores de temperatura do ar, considerando as características físicas da área de estudo (vegetação, relevo, uso da terra), por meio da modelagem espacial. Os autores apontaram que os resultados obtidos pelo modelo foram satisfatórios, com coeficiente de correlação igual a 0,81 ($r = 0,81$), relacionando as temperaturas elevadas com alta densidade construtiva e baixo índice de vegetação.

Com a aplicação da modelagem para a área urbana de Ubatuba (SP), Gomes, Amorim e Dubreuil (2017), verificaram a formação de ilha de calor na área central com intensidade máxima de 5 °C. Os autores apontam que 60% das variações de temperatura encontradas, foram explicadas pelo modelo, isto é, apresentaram bons índices de correlação. Para a estimativa foram utilizados os dados de temperatura do ar, características do uso e cobertura da terra, índice de vegetação, relevo e a distância do mar (uma vez que é um fator explicativo das variações térmicas de ambientes costeiros).

Teixeira (2019), ao aplicar a modelagem espacial, para Presidente Venceslau, Álvares Machado e Santo Anastácio, verificou, estatisticamente, que os modelos gerados eram significantes na relação do uso da terra, relevo e temperatura do ar. A autora afirma que os modelos para Presidente Venceslau reafirmaram a presença de ilhas de calor com maiores intensidades nas áreas periféricas e centrais da cidade, bem como evidenciaram a interferência do relevo no clima da cidade, em que áreas com grande densidade construtiva apresentaram menores intensidades devido a localização em fundos de vales. Para Álvares Machado, o modelo correlacionou os maiores valores de intensidade da temperatura do ar com as áreas construídas, enquanto, os menores valores térmicos ficaram associados às áreas com vegetação e/ou fundo de vales. Por fim, em Santo Anastácio, a autora aponta que houve um aquecimento da área central, com as menores intensidades térmicas presentes na periferia, bem como a distribuição da temperatura mediada pelo relevo.

A técnica também consta em Rampazzo (2019), que utilizou a modelagem para identificar a configuração do clima urbano partindo das ilhas de calor de superfície e da atmosfera em Marília, São Carlos e Presidente Prudente, encontrando intensidades superiores a 4 °C sob condições atmosféricas de estabilidade. Os resultados foram analisados em conjunto com índices de vulnerabilidade, permitindo a verificação de correspondência dos impactos climáticos das cidades com os níveis de vulnerabilidade e os espaços urbanos desigualmente construídos.

2.2.1 A classificação do ambiente urbano

Na correlação entre as transformações na superfície e as alterações nos elementos climáticos, sobretudo na escala do local, faz-se necessário evidenciar as áreas que compõem a localidade estudada, isto é, se esforçar no exercício de identificação das distintas características paisagísticas urbanas e rurais que compõem o local pesquisado, e exercem influência e são influenciadas de acordo com seus conteúdos.

Um trabalho pioneiro que apresenta uma classificação climática baseada nas características urbanas se dá na investigação de Chandler (1965) para Londres, de acordo com Stewart (2011). Chandler partiu de aspectos como a morfologia urbana (densidade, altura e materiais construtivos, áreas permeáveis e impermeáveis, presença e tamanho de parques dentre outros), relevo e alterações dos elementos climáticos, para sistematizar Londres nas quatro regiões descritas a seguir e apresentadas graficamente na Figura 4:

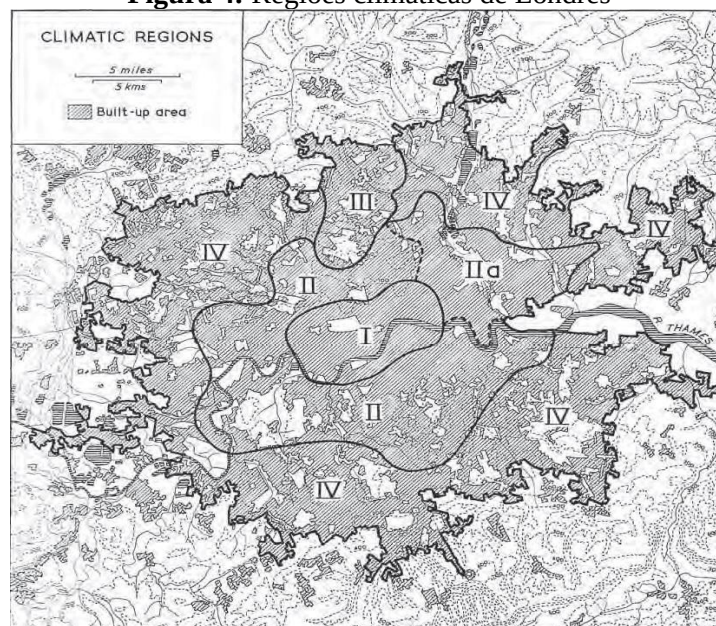
I – *London Central* (de uso comercial, com alta densidade e temperaturas mais elevadas que grande parte das áreas londrinas),

II – *Inner Suburban* (com alta densidade, contando com antigas residências, indústrias e presença de temperaturas elevadas),

III – *North London* (formada por espaços abertos e baixa densidade construtiva, apresentando temperatura mais baixas que as demais áreas) e

IV – *Outer Suburbs* (constituída de uso residencial e comercial de alta e baixa densidade, apresenta temperatura elevada, porém, menor que as regiões I e II).

Figura 4: Regiões climáticas de Londres



Fonte: Chandler (1965, p. 243).

Embora inovadora, a classificação apresentada por Chandler não permitia a comparação de cidades diferentes, dado ao fato de apresentar relações exclusivas com a capital britânica. Um exemplo do afirmado anteriormente dá-se na classe III – *North London*, em que o relevo mais elevado é fundamental na caracterização.

Em 1978, partindo do uso da terra e presença de vegetação em Saint Louis (Missouri – Estados Unidos da América) e visando a correlação destes aspectos com as anomalias meteorológicas, como forma de identificar os usos da terra “meteorologicamente significativos”, Auer (1978) propôs um sistema classificatório com doze classes, perpassando por áreas residenciais (com quatro classes), industriais (duas classes), pouco construídas ou naturais (cinco classes) e comercial (uma classe).

As áreas de uso residencial foram classificadas de R1 a R4 e com as seguintes características: **R1** – *Common residential*: com habitação unifamiliar em único pavimento, com vegetação acima de 70%; **R2** – *Compact residential*: habitações uni e pluri familiares, com vegetação abaixo de 30%; **R3** – *Compact residential*: residências multifamiliares antigas, geralmente dois andares, com vegetação abaixo de 35% e **R4** – *Estate residential*: habitações familiares grandes com terreno de vários acres e vegetação acima de 80%. O uso industrial ficou categorizado em I1 e I2, com as seguintes configurações: **I1** – *Heavy industrial*: indústrias pesadas (siderúrgica, química etc), com vegetação abaixo de 5% e **I2** – *Light-moderate industrial*: geralmente edifícios de 1 a 3 andares associados à pátios ferroviários, armazéns, pequenas fábricas, dentre outras, com o mesmo padrão de vegetação da classe anterior.

A última classe que apresenta muitos elementos construídos dá-se na de uso comercial expressa por **C1** (*Commercial*), abrangendo edifícios de escritórios e apartamentos acima de 10 pavimentos, com vegetação abaixo de 15%. Por fim, as áreas pouco construídas e/ou naturais, foram sequenciadas de A1 a A5 e descritas como segue: **A1** – *Metropolitan natural*: parques, campos de golfe, cemitérios etc, acima de 95% de vegetação; **A2** – *Agricultural*: cultivo local), com vegetação acima de 95%; **A3** – *Undeveloped*: sem construções ou plantio, com vegetação acima de 90%), **A4** – *Undeveloped rural*: vegetação acima de 95% e **A5** – *Water surface*: rios e lagos).

Os resultados encontrados por Auer (1978) foram satisfatórios, as classes de uso da terra por ele propostas coincidiram com locais em que se constatou anomalias, permitindo ao autor estabelecer, com limitações, a interação entre o uso da terra e diferenças nos elementos climáticos; bem como pontua que não é possível a responsabilização de uma classe de uso da terra pelas alterações encontradas, sendo fundamental reconhecer também os processos interativos e de *feedback* entre as classes e as anomalias.

Assim como ocorrido em Chandler (1965) a proposta de Auer apresentou um sistema de classificação satisfatório, no entanto, ao ser reflexo de uma única realidade dificulta sua replicação em outras áreas de estudos dado a heterogeneidade e atividades presentes nas cidades.

Visando um método de inventariação das características das construções urbanas aplicável de maneira ampla, que auxiliasse nos estudos meteorológicos urbanos, Ellefsen (1991), propôs o *Urban Terrain Zone* (UTZ), que consistiu na delimitação de zonas, baseadas na morfologia urbana, características de ventilação, densidade, padrões de arruamentos, dentre outros aspectos.

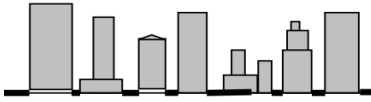
A proposta consistiu na identificação de 19 zonas agrupadas em três grupos, o *Attached Urban Terrain Zones* (com cinco zonas – de A1 a A5), *Detached Buildings (Close-set) Urban Terrain Zones* (de Dc1 a Dc8) e *Detached Buildings (Open-set) Urban Terrain Zones* (Do1 a Do6). No contexto geral, a divisão dos grupos levou em consideração a tipologia das estruturas do ambiente em relação às construções próximas (como casas geminadas) ou distanciadas, no que o autor justifica esse padrão mediante aos investimentos feitos nos terrenos para que sejam lucrativos.

O diferencial da proposta de Ellefsen se deu na identificação dos padrões urbanos para dez cidades estadunidenses (Boston, Filadélfia, Baltimore, Pittsburgh, Cincinnati, Atlanta, Houston, Denver, Seattle e Sacramento) constituídas por diversas paisagens urbanas, distintos edifícios e materiais construtivos, bem como elementos amostrais de similaridades e discrepâncias para o estabelecimento das zonas.

Na análise dos resultados da aplicação da proposta, Ellefsen (1991) encontrou padrões urbanos similares não só entre as cidades amostrais, mas também observadas em outros países, com áreas urbanas “recentes”, construções industriais “modernas”, condomínios etc. Em contrapartida, o autor também pontua a presença de discrepâncias associadas às questões regionais, sobretudo em construções antigas, predominância de certos materiais construtivos, padrões de ocupação distintos nas áreas de maior custo, dentre outros.

Partindo dos sistemas propostos por Auer (1978) e Ellefsen (1991), e incorporando novos elementos como a porcentagem de área construída (associada ao grau de impermeabilização da superfície), Oke (2006) apresentou o *Urban Climate Zones* (UCZ), que varia numericamente de 1 a 7, indo de áreas “urbanas intensamente desenvolvidas” até o “semi-rural” (Quadro 1).

Quadro 2: Classificação simplificada de formas urbanas distinta organizadas em ordem decrescente da capacidade de influenciar no clima local

Urban Climate Zone (UCZ) Zona Climática Urbana	Representação	Rugosidade	Razão H/W	Impermeabilidade (%)
1. Urbano intensamente desenvolvido, com edifícios altos (arranha-céus) e revestidos, em proximidade (ou pouco espaçados), como as grandes torres de centro de cidades.		8	> 2	> 90
2. Urbano de alta densidade, intensamente desenvolvido, com edifícios de 2 a 5 pavimentos anexos ou em proximidade, geralmente de tijolos ou pedra, como o centro histórico da cidade.		7	1.0 – 2.5	> 85
3. Urbano de média densidade, intensamente desenvolvido, com presença de casa geminadas ou pouco espaçadas (enfileiradas), lojas e apartamentos. Ex: habitação urbana (ou bairro residencial).		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4. Urbano altamente desenvolvido, de baixa ou média densidade, apresenta grandes construções de baixa elevação e estacionamento pavimentado, como Shopping Center, armazéns, galpões, dentre outros.		5	0.05 – 0.2	70 -95
5. Urbano (ou subúrbio) com desenvolvimento médio e baixa densidade, com construções de 1 ou 2 pavimentos, características típicas de áreas suburbanas (ou bairro residencial de subúrbio).		6	0.2 – 0.6 até > 1 com árvores	35 – 65
6. Uso misto com grandes construções em áreas abertas, como aeroportos, hospitais, universidades.		5	0.1 – 0.5, dependendo das árvores	< 40
7. Semi-rural (ou periurbano) com presença de construções dispersas em áreas naturais ou agrícolas. Ex: fazendas e outras propriedades rurais.		4	> 0.05, dependendo das árvores	< 10

Fonte: Oke (2006, p. 11, tradução nossa).

O autor pontua que a importância das UCZs não reside na capacidade descritiva dos elementos urbanos, mas sim da possibilidade de classificar e agrupar áreas de um assentamento baseada na sua capacidade de modificar o clima local, obtendo como representação do urbano um mapa com o delineamento das zonas estabelecidas.

Ao analisar as classificações apresentadas anteriormente, Stewart (2011, p. 157) afirma que estas apresentam grandes limitações para sua aplicação nas análises das ilhas de calor por estarem centradas em áreas-chaves e não serem desenvolvidas especificamente para tal.

As áreas, segundo ele, estão associadas à relevância climática, representação do urbano e do rural, a nomenclatura e a origem e escopo. Tendo somente a proposta de Oke (2006) incorporado critérios de um conjunto completo de propriedades da superfície capazes de influenciar o campo térmico na definição de suas classes.

Stewart (2011, p. 158) continua sua análise sobre os sistemas classificatórios alegando a presença de um desequilíbrio na representação entre as paisagens urbanas e rurais, o que intensificaria a inequidade da sua utilização para estudos do clima urbano. Ele continua apontando que entre as classificações apresentadas a de Chandler (1965) não faz nenhuma referência para a representação do rural, a de Auer (1978) conta com 4 classes rurais para 12 tipos de uso e cobertura e a de Oke (2006), embora seja mais abrangente podendo ser adotada em outras cidades, conta com apenas uma zona de “semi-rural” contra 6 zonas voltadas para o meio urbano.

Algumas limitações associadas à nomenclatura das classes também são apontadas, uma vez que em muitos casos o adjetivo utilizado é capaz de confundir os pesquisadores do clima urbano, como os termos “suburbano”, “semi-rural”, “centro da cidade” e a designação de áreas agrícolas sem sua devida qualificação (compacto, esparso, arborizado, aberto etc) (STEWART, 2011, p. 158).

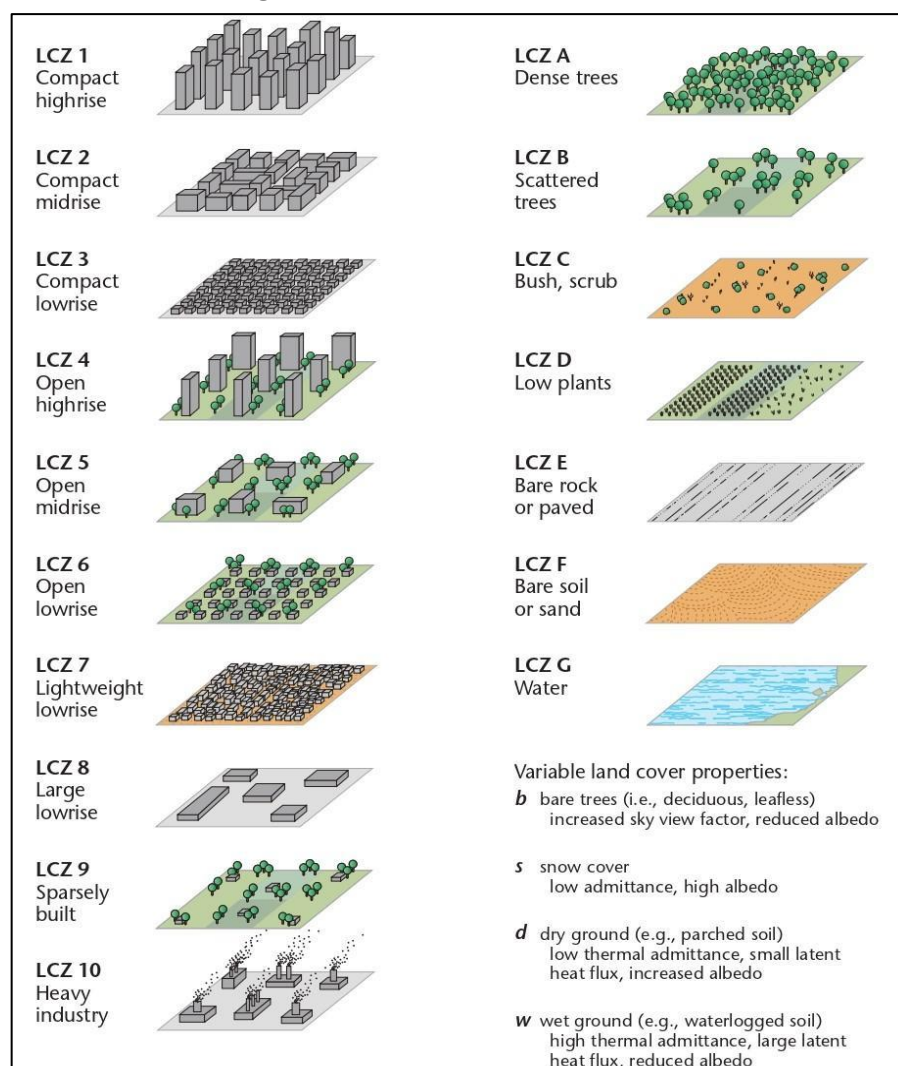
Com o intuito de superar as limitações dos sistemas de classificação, apresentados anteriormente, na aplicação em estudos das ICU, Stewart (2011) propôs um sistema de abrangência mundial, em que os critérios para o agrupamento e adjetivação das formas se relacionam com a capacidade de alterar aspectos do microclima e do clima local, como ventos, temperatura do ar e umidade relativa. O sistema, denominado de *Local Climate Zones* (LCZ) deriva da divisão de uma classe maior (universal), que internamente apresenta um conjunto de subclasses com as mesmas características, possibilitando um sistema nominal para classes com propriedades regulares (STEWART, 2011, p. 161).

O autor afirma que no âmbito das ilhas de calor, a classe universal reside na paisagem – por ele entendida no seu significado mais prático, isto é, uma unidade do visível capaz de ser identificada por seus fatores naturais, sociais e culturais (STEWART; OKE, 2009) – sendo então dividida com base nas propriedades capazes de influenciar o campo térmico na escala da cidade, como a morfologia da superfície (altura de construções e densidade – que interfere nos padrões de circulação e do transporte de calor) e a cobertura da terra (ligada à permeabilidade

ou não – em que se pode ocorrer alterações no albedo, na umidade e no aquecimento/resfriamento do solo).

As zonas propostas por Stewart (2011) recebem a denominação de LCZ, pois são (L) locais na escala, (C) climáticas na distinção das propriedades e (Z) zonais na representação espacial. Tais zonas foram elaboradas, por meio de observações e simulações em modelos atmosféricos da temperatura do ar para as cidades de Uppsala (Suécia), Nagano (Japão) e Vancouver (Canadá), resultando em 17 zonas climáticas em que 10 estão associadas ao ambiente construído e sua tipificação (e representadas por números de 1 a 10) e 7 relacionadas à cobertura da terra (codificadas por letras sequenciais de A a G). Também conta com uma classe especial para edifícios de uso industrial com grande fluxo de calor antropogênico e/ou concentrações de poluentes, e 4 subdivisões referentes a propriedades sazonais da cobertura da terra, como por exemplo cobertura de neve e áreas de vegetação caducifólias (Figura 5).

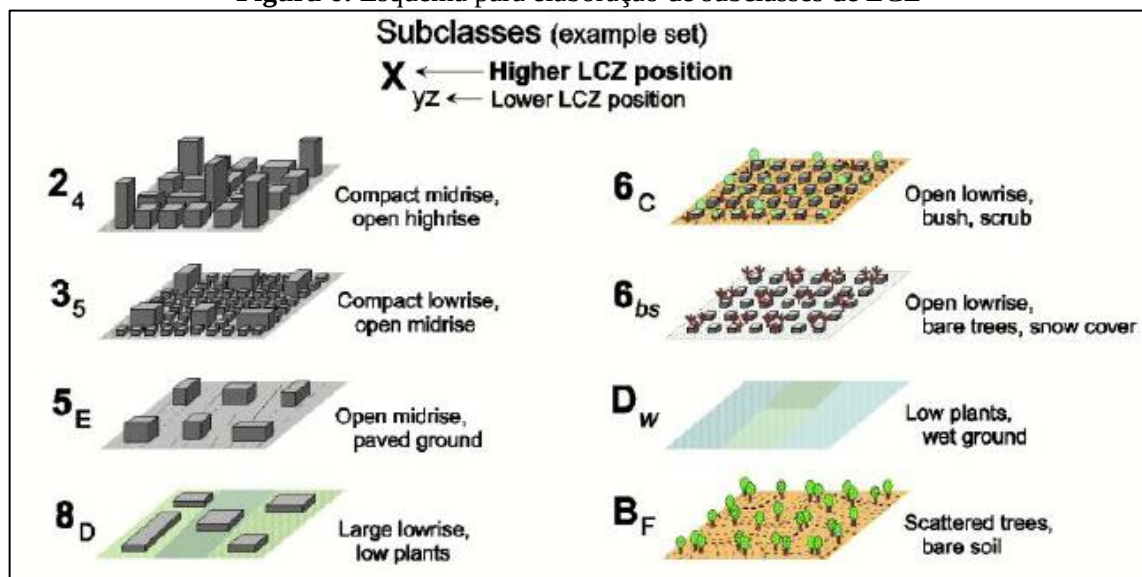
Figura 5: LCZ - Local Climate Zones



Fonte: Stewart (2011, p. 196)

Embora as LCZs apresentem potencialidades de serem aplicadas em distintas cidades, regiões e países, facilitando a comparação de resultados obtidos, faz-se necessário ressaltar que em certos casos, dado aos aspectos culturais e físicos da área de estudo as correspondências com as zonas propostas podem não ocorrer, tendo Stewart (2011) apontado a possibilidade de elaboração de subclasses partindo da junção de LCZ existentes (Figura 6). No entanto, para garantir a manutenção do princípio universal da técnica faz-se primordial a criação de novas classes que de fato representem áreas significativas, uma vez que classes muito similares tendem a não apresentarem diferenças térmicas significantes.

Figura 6: Esquema para elaboração de subclasses de LCZ



Fonte: Stewart (2011, p. 254).

Após a publicação da proposta das LCZs, apareceram diversos estudos que versam sobre o tema, inclusive no âmbito nacional, como disposto em Collischonn e Mattos (2011); Zhongli e Hanqiu (2016); Franco *et al.* (2019); Ferreira e Ugeda Júnior (2020), dentre outros. No entanto, detalharemos três trabalhos que enfocam a utilização das LCZs para análises do clima urbano, sobretudo com a associação às ilhas de calor, pois estes apresentam elementos que contribuem diretamente com esta pesquisa e evidencia as possibilidades da utilização do sistema.

Ao analisar a espacialização da temperatura e umidade relativa do ar, associadas às LCZs para a Área de Urbanização Prioritária (AUP) de Campinas (compreendendo o centro histórico e o centro expandido), Monteiro (2018) identificou padrões de aquecimento e resfriamento horário para cada uma das 7 zonas encontradas na área de estudo. A autora constatou que entre as 17 zonas identificadas na AUP, o horário em que apresentam maiores

indicadores de amplitude térmica e de umidade relativa do ar, se dá no período matutino (9h), sobretudo para as LCZ 3₁ (com maior índice de impermeabilização e densidade construtiva) e LCZ8₆ (com presença de grandes construções de baixa elevação e construções espaçadas, com áreas permeáveis e vegetação).

Às 15h, de acordo com Monteiro (2018), as classes identificadas apresentam uma constância nos valores de amplitude térmica e de umidade relativa, tendo diferenças de temperatura do ar entre 0,1 °C a 0,3 °C. No período noturno (21h) às classes que apresentam as “maiores” diferenças térmicas (0,7 °C) estão associadas a tipologias construtivas que apresentam áreas permeáveis.

Cardoso (2015) elaborou as potenciais LCZs para Presidente Prudente (SP), por meio de uma adaptação da proposta de Stewart (2011). A autora, partindo de imagens do satélite GeoEye-1 e de técnicas de interpretação visual, classificou quadra a quadra da malha urbana mediante as semelhanças apresentadas com as classes de LCZs, resultando em 20 classes – sendo 12 LCZs originais e 8 subclasses.

As classes identificadas foram inseridas no modelo de regressão linear multicritérios, juntamente com dados de temperatura, NDVI e altitude, com o intuito de modelar espacial e temporalmente as ilhas de calor da área de estudo. Os resultados obtidos na modelagem, de acordo com a autora, possibilitaram não só a verificação da correlação das características da superfície com a temperatura, mas também mediu a identificação das LCZs que melhor representaram o campo térmico da cidade (sendo, as subclasses 2₃, 2₄, 3₄ e 3_D e as LCZs 3, 7, A e B).

Em 2019, Dorigon, partindo da cidade de Jundiaí (SP) e visando a modelagem espacial das ilhas de calor, elaborou as LCZs por meio da ferramenta WUDAPT (fruto do projeto *The World Urban Database and Access Portal Tools*), no qual se inicia um treinamento e exercícios cognitivos para a identificação das classes e se associa a produtos de sensoriamento remoto, como imagens do Landsat e do Google Earth. A autora afirma que para sua área de pesquisa, foi necessário um refinamento das LCZs resultantes do WUDAPT, sendo utilizadas nessa etapa imagens do satélite RAPIDEYE (resolução espacial de 5 m).

Assim como em Cardoso (2015), as LCZs foram inseridas no modelo de regressão linear com dados de temperatura do ar (de pontos fixos e móveis), relevo, NDVI e distanciamento do centro da cidade. Os resultados permitiram a elaboração de um mapa síntese do zoneamento térmico, em que se pode verificar que a LCZ 3 se apresentou em três faixas de aquecimento (Área mais aquecida (distante do centro) – com intensidades entre 4 °C e 5 °C; Área sobreaquecida – intensidades de 5 °C a 7 °C e Área superaquecida – entre 7 °C a 9 °C de

intensidade), enquanto a LCZ A se fez presente em duas áreas abaixo do 0 °C de intensidade (Área mais fria (maiores elevações de relevo) – intensidades entre -2,5 °C a -1 °C; Área fria – com -1 °C a 0 °C de intensidade e Ponto 0 (áreas rurais mais distantes do urbano) – associado às intensidades de 0 °C a 1 °C).

Embora apresentada de forma sucinta neste tópico, a utilização das LCZs nos estudos associados ao clima urbano, seja no âmbito das ilhas de calor até a poluição do ar, vem ganhando aceitação e aplicação em distintas cidades, perpassando pelas cidades pequenas e médias, atingindo as grandes áreas metropolitanas, o que reforça o caráter universal da proposta e a possibilidade de maior integração e comparação dos estudos e cidades.

3. SINOP (1972 - 2020): da floresta à “Capital do Nortão”

Decorridos aproximadamente 48 anos da derrubada da floresta e abertura dos primeiros lotes na área, a cidade de Sinop apresenta uma complexidade no seu processo de formação e consolidação, que perpassa pelos aspectos físicos da localidade e por um contexto no qual a economia, a estrutura governamental e os meios de produção, sobretudo no campo, mediaram grandes transformações na escala nacional e na porção norte de Mato Grosso.

Ao entender a cidade como o reflexo das relações sociais, mediadas por interesses, agentes e mecanismos, dentro de um contexto que se sobrepõe a outros, sem, contudo, os excluirmos de vez, faz-se necessário identificar as condições que possibilitaram as formas expressas na atualidade.

Assim, neste tópico, para além da caracterização da área de estudo, pretende-se contextualizar os processos, mecanismos e os cenários, que possibilitaram a produção do espaço urbano de Sinop, bem como a sua relação com as atividades econômicas desenvolvidas no entorno rural, que viabilizaram a atual configuração da cidade.

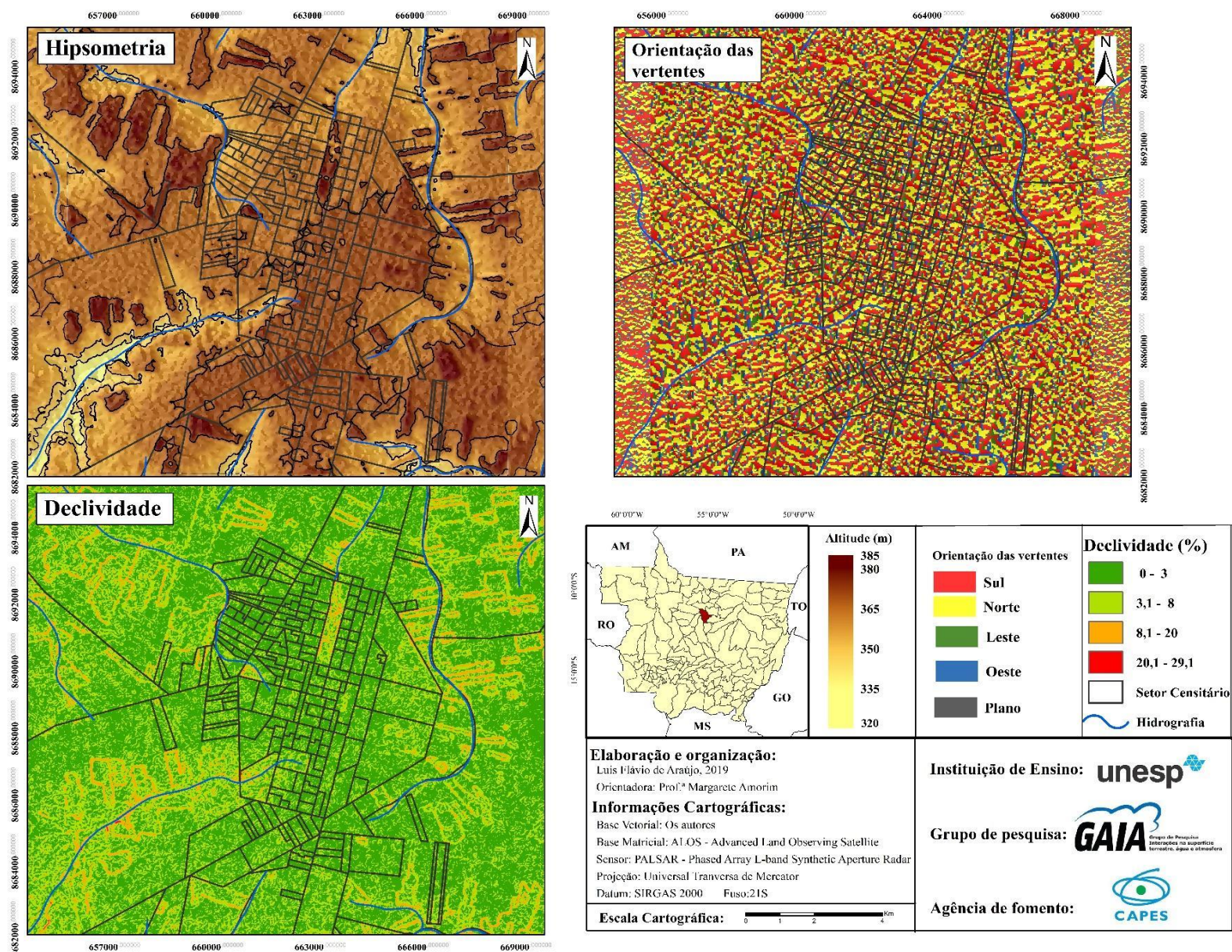
3.1 As características geoambientais da área de estudo

O município de Sinop se assenta sobre o Planalto do Parecis, caracterizado pelo Projeto Radar da Amazônia – RADAMBRASIL (BRASIL, 1980, p.1337), como uma unidade geomorfológica de altimetria homogênea (variando de 350 m a 400 m), com presença de formas tabulares dissecadas, topo aplainado, baixa declividade e considerável rede de drenagem.

A Figura 7, apresenta essas características geomorfológicas da área, em que se observa que grande parte da malha urbana se encontra no intervalo altimétrico de 360 a 370 m, tendo as áreas mais rebaixadas (320 m a 340 m), presentes, sobretudo na porção Sudoeste do mapa, associadas às redes de drenagem pertencentes aos afluentes do Rio Teles Pires (localizado à Oeste da sede municipal). A homogeneidade notada na altimetria da área reflete também na declividade, uma vez que seu intervalo predominante ficou entre 0% e 3%, típicos de topos planos de chapadas com atividades erosivas associadas a infiltração (IBGE, 2009) e excelentes para a utilização de maquinários nas atividades agrícolas característica desta porção do Estado.

No que condiz a orientação das vertentes, nota-se o predomínio dos sentidos Norte e Sul (na carta representados pelas cores amarela e vermelha), não havendo um aspecto contínuo, mas sim intercalando as direções, permeadas por poucas faces voltadas para Leste e Oeste.

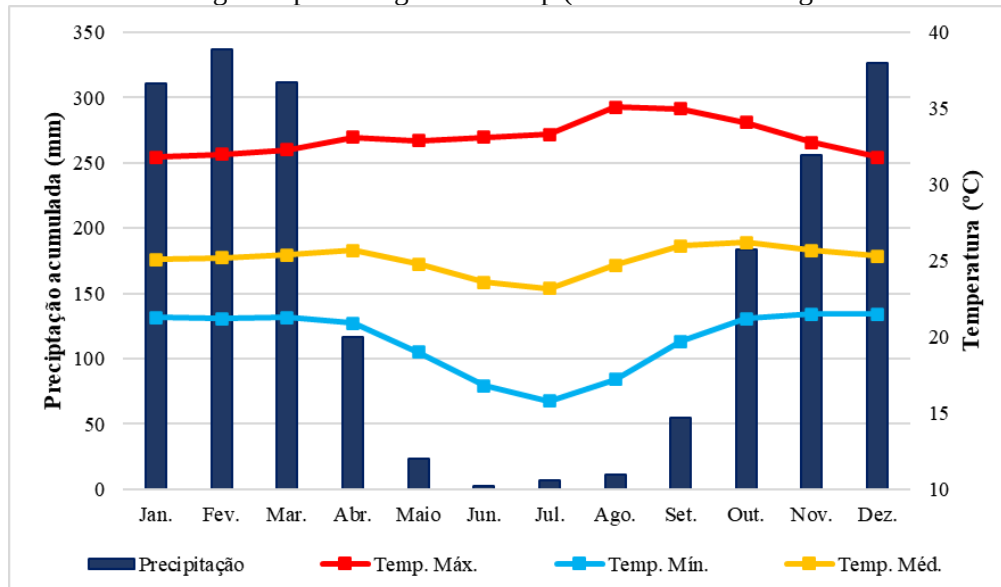
Figura 7: Representação da hipsometria, orientação das vertentes e declividade para a área urbana e entorno rural de Sinop



No âmbito das características associadas ao clima, com base na classificação climática de Köppen para definir os tipos climáticos anuais (TCA) e sua frequência, Dubreuil *et al.* (2018) apontam que na área de estudo predomina o tipo Aw, caracterizado como clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno, tendo seu máximo de precipitações entre dezembro, janeiro e fevereiro, bem como, se encontra na área de “núcleo forte” deste tipo climático, logo, apresentando alta frequência das características do TCA Aw.

O Gráfico 1, apresenta essa caracterização climática de forma visual, tendo em sua elaboração a utilização de dados das Normais Climatológicas (1981-2010), obtidos da estação meteorológica convencional Gleba Celeste (83264) instalada no município de Vera (MT), que indicam uma oscilação da temperatura média entre 23,2 °C e 26,2 °C ao longo do ano. Também indicam que a temperatura máxima mensal ao longo dos meses se concentra entre 31,8 °C e 35,1 °C, tendo os meses de agosto e setembro como os responsáveis pelos maiores valores (35 °C e 35,1 °C, respectivamente). Para a temperatura mínima, observa-se que há uma queda entre os meses de maio e setembro, sendo julho o mês de menores temperaturas mínimas (por volta de 15,8 °C), período em que se concentra a passagem de sistemas atmosféricos como a frente fria, mesmo que já não apresentem a mesma força que exercem na porção Sul do país.

Gráfico 1: Climograma para a região de Sinop (Normais Climatológicas - 1981-2010)



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), organizado pelo autor.

No Gráfico 1 percebe-se também que a precipitação média acumulada anual é de cerca de 1.940 mm com concentração das chuvas entre dezembro e março (total mensal acima de 300 mm), períodos de transição e estiagem entre abril e setembro com diminuição dos totais mensais

de precipitação abaixo de 30 mm e retorno de valores consideráveis em outubro (acima de 100 mm).

Os dois períodos bem demarcados, chuvoso e seco, desencadeiam alterações na paisagem urbana e rural de Sinop, sobretudo quando associados a vegetação. No meio urbano, o período chuvoso permite o melhor desenvolvimento da vegetação arbórea e rasteira presente nos canteiros das vias e residências, enquanto no período de estiagem tem-se a retração da vegetação e coloração amarelada, sobretudo das espécies rasteiras.

No âmbito do rural, o início das chuvas demarca o período da semeadura (setembro a dezembro) de espécies como a soja, que se desenvolve no período de alta disponibilidade hídrica e é colhida entre janeiro e maio, fornecendo à paisagem rural a presença de altos índices de vegetação. No período de transição e estiagem (junho a agosto), com a baixa nos valores de precipitação, as áreas destinadas ao cultivo passam por processos de recuperação e preparo da terra, em que são incorporados os nutrientes necessários e a correção da acidez do solo por meio da calagem, técnica fundamental em latossolos como presentes em Sinop, alterando novamente a dinâmica da paisagem local dentro da sazonalidade produtiva da região.

É válido ressaltar que a relação intrínseca clima – produção e a alteração sazonal da paisagem não se dá de maneira homogênea, dado que em certas áreas tem-se a aplicação de tecnologia para a superação de períodos de estiagem, como a presença de culturas irrigadas. No entanto, as características apontadas anteriormente descrevem a rotina anual de grande porção do município e da região.

Partindo das variáveis físicas (relevo, clima, solos, vegetação, hidrologia, dentre outros), inerentes para a definição dos domínios morfoclimáticos, proposto por Ab'Sáber (2003) e adotados como critérios pelo RADAMBRASIL (1980), tem-se a classificação da vegetação pretérita da área de estudo inserida no domínio das florestas, sobretudo associada a Floresta Amazônica.

De acordo com Schwenk (2005), a Floresta Amazônica é composta pela Floresta Ombrófila Densa e Aberta, sendo esta última recentemente denominada também de “Área de Transição”, que configura a vegetação original de Sinop, bem como a presença de espécies vegetais do Cerrado permitindo uma diversidade vegetal local. Foi a presença desta vegetação florestal (com árvores de grande porte) que permitiu o desenvolvimento da indústria madeireira na Gleba Celeste e a consolidação dos planos colonizadores de integração econômica das áreas recém-abertas.

A consolidação dos polos colonizadores permitiu profunda transformação na paisagem na escala local e regional, sobretudo ao ser inserida a agricultura como principal atividade

econômica. A floresta que outrora ocupava cerca de 3.990,34 km² do território sinopense, hoje se encontra distribuída em fragmentos (muitas vezes desconectados) e acompanhando cursos hídricos, totalizando 1.614,98 km² (SEPLAN, 2017), sendo expressa no núcleo urbano por reservas ambientais e parques urbanos como o Jardim Botânico e Parque Florestal.

3.2 Da floresta ao agronegócio: a integração econômica e seus agentes mediadores

A ocupação não indígena da porção norte do estado de Mato Grosso remonta a uma série de atos governamentais, econômicos e mudanças no meio rural, inseridas num contexto de modernização das técnicas aplicadas ao campo, alteração do modelo governamental (mudança do regime democrático civil para a ditadura militar, sob constante defesa do capital e da “soberania”), urbanização nacional e mudanças no comércio internacional.

Um dos aparatos do Estado que alavancaram esse processo de nova ocupação do território, adveio do Programa de Integração Nacional (PIN), instituído pelo Decreto-Lei nº 1.106 de 1970, fruto do governo de Emílio Médici, sob o lema “Integrar para não entregar”. Este fato não só gerou intensas transformações no espaço, no âmbito ambiental e social, mas também desqualificava a ocupação indígena presente, dado que a área era considerada inabitada e não vinculada ao capital.

A execução do PIN se deu em duas ações estruturantes, enfatizando a contida no Art. 2º, que estabelecia a construção imediata das rodovias Transamazônica e Cuiabá-Santarém, que auxiliaram na interação e circulação dos fluxos do território nacional, bem como, de maneira indireta, atuou na estrutura agrária, uma vez que, como contido no § 1º:

Será reservada, para colonização e reforma agrária, faixa de terra de até dez quilômetros à esquerda e à direita das novas rodovias para, com os recursos do Programa de Integração Nacional, se executar a ocupação da terra e adequada e produtiva exploração econômica (BRASIL, 1970).

Nota-se que o eixo deste programa, estava na criação de infraestrutura, no caso rodoviário, que permitisse não só a ligação entre as áreas do território nacional, mas também auxiliaria no escoamento da produção, que mais tarde se desenvolveria nestes novos espaços integrados. Coube ao Estado a função de executor da infraestrutura que viabilizaria a aplicação do capital e a expansão das empresas capitalistas na Amazônia via organizações públicas como a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM, Banco da Amazônia - BASA, Fundação Nacional do Índio - FUNAI e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (SOUZA, 2006).

Destaca-se também que esta ação inseriu a participação do capital privado, ao estabelecer incentivos fiscais para projetos de colonização, ao aplicar o § 1º, do Art. 2º, que posteriormente possibilitaram o surgimento de municípios, ao norte e ao leste de Mato Grosso, como Sinop, Lucas do Rio Verde e Sorriso (MOURA, 2015; ROMANCINI; MARTINS, 2007), que apresentam, na atualidade, atividades intrinsecamente ligadas ao campo e a sua interação com a indústria à jusante e à montante, também denominado de agronegócio.

De maneira complementar ao PIN e baseado no planejamento de polos de desenvolvimento, tem-se durante o mesmo período do governo militar, a instituição do Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste (PROTERRA), pelo Decreto-Lei nº 1. 179 de 1971, que em seu Art. 1º, versa sobre o objetivo como o de “promover o mais fácil acesso do homem à terra, criar melhores condições de emprego de mão de obra e fomentar a agroindústria nas áreas de atuação da SUDAM e SUDENE” (BRASIL, 1971).

Dentro do PROTERRA os recursos foram destinados a ações que auxiliaram na distribuição da terra e da modernização da agricultura, destacando, essa última, por meio do conteúdo das alíneas c, d, e e f, do Art. 3º, que se seguem:

- c) financiamento de projetos destinados à expansão da agro-indústria, inclusive a açucareira, e da produção de insumos destinados à agricultura;
- d) assistência financeira à organização e modernização de propriedades rurais, à organização ou ampliação de serviços de pesquisa e experimentação agrícola, a sistemas de armazenagem e silos, assim como a meios de comercialização, transporte, energia elétrica e outros;
- e) subsídio ao uso de insumos modernos;
- f) garantia de preços mínimos para os produtos de exportação (BRASIL, 1971).

Outros programas associados aos polos de desenvolvimento caracterizaram o período de 1970 a 1987, sobretudo para o norte mato-grossense, seja via projetos agropecuários ou de “colonização”, destacando o Programa de Desenvolvimento do Centro-Oeste (PRODOESTE) e o Programa de Pólos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA), como debatido em Moreno (2005) e Souza (2006).

No campo das ações privadas, fortemente amparadas pelo poder público (federal e estadual), os projetos de colonização privadas se mostraram importantes ferramentas para a efetivação dos ideais de nova ocupação e integração territorial. Exemplos consistem nos projetos de colonização do Grupo Sinop (Sociedade Imobiliária do Noroeste do Paraná), que em 1970 adquiriram uma área com cerca 645.000 ha, posteriormente denominada de Gleba Celeste e base para os empreendimentos da empresa.

Da área adquirida, surgiram os municípios circunvizinhos de, em ordem cronológica, Vera, Sinop, Santa Carmem e Cláudia, todas com sua ocupação associada de maneira direta ou indireta com a BR-163 Cuiabá – Santarém. No traçado original da rodovia, a cidade de Vera seria beneficiada com a passagem da infraestrutura, no entanto, um rearranjo fez com que Sinop fosse a cidade cortada pela benfeitoria estatal. Essa simples modificação, deslocou consigo o polo de desenvolvimento do projeto de Vera para Sinop, colocando esta última numa localização privilegiada e auxiliando na estrutura econômica instalada nas cidades da Gleba (SOUZA, 2006).

O desmatamento para a abertura da área favoreceu uma das primeiras atividades econômicas e que perdurou por um longo período, pois, a madeira derrubada era trabalhada nas serrarias recém-instaladas e comercializadas, o que se configurou como a base de sustentação para a formação das cidades.

Em conjunto com a implantação dos núcleos urbanos, o projeto original da colonizadora consistia no desenvolvimento de lavouras de café, presente na região Sul do país, principalmente no Paraná, de onde se originaram a maior parte dos migrantes que adquiriam os lotes comercializados. Contudo, de acordo com Teixeira (2006), as técnicas de cultivo utilizadas no Sul, não apresentaram o mesmo rendimento nas lavouras mato-grossenses, sobretudo pelas condições climáticas, tendo muitas vezes qualidade inferior do produto e grandes prejuízos.

Outras espécies de cultivos também foram inseridas, como algodão, milho e arroz, tendo este último se apresentado mais rentável, sem, contudo, gerar muitos lucros aos pequenos produtores, dada a política de compra por preço abaixo do mercado praticado pela Companhia Brasileira de Armazenamento (CIBRAZEM), o que inviabilizava o compromisso com um financiamento para produção (OLIVEIRA, 1988).

É importante ressaltar que as culturas inseridas nas novas áreas acarretaram em prejuízos, neste primeiro momento, devido a utilização de um modo produtivo que não condizia com os solos muito lixiviados do Cerrado/Amazônia, sendo necessário o uso do sistema de calagem para correção do solo (muitas vezes inviabilizada pela distância dos compradores com os produtores), o uso de espécies/técnicas pouco adaptadas à realidade climática, o próprio desconhecimento do clima da região (longo período de estiagem, com chuvas concentradas), dentre outros. Esses fatores, associados às doenças tropicais e a pouca infraestrutura disposta, levou muitos migrantes a abandonarem a área (TEIXEIRA, 2006).

Assim, com a finalidade de fixar os novos moradores a terra, evitando a evasão populacional da área, tem-se a proposição da implantação de um complexo agroindustrial para

a produção de álcool a partir da mandioca, dando origem à SINOP Agroquímica S. A., inaugurada em 1981 e originada de recursos do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL). A produção no primeiro ano de funcionamento (1982), foi de 4,9 milhões de litros/dia de álcool, não superando 10% da capacidade da usina, conforme apontado por Oliveira (1988).

De acordo com Oliveira (1988), a necessidade de grande quantidade de mão de obra para a produção da mandioca, dado que a lavoura não permitia facilmente a mecanização, a perda da qualidade do produto pelo período chuvoso e pelas péssimas condições de transporte, que geravam prejuízos somente aos produtores, a necessidade de descanso da terra e a colheita uma vez a cada dois anos, foram elementos que fundamentaram o insucesso do empreendimento e a recusa de muitos pequenos produtores na manutenção do cultivo.

A esperança para a consolidação da produção agrícola na área, estava nas lavouras de soja, que em 1984 apresentaram sucesso nos municípios vizinhos, dada as condições de relevo que permitiam a mecanização da produção, bem como a implantação de tecnologia desenvolvida pela EMBRAPA Soja (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) para o cultivo da oleaginosa em terras tropicais.

Com a crise de liquidez fiscal presente em território nacional nos idos de 1998, e com suas estratégias voltadas ao âmbito econômico não apresentando resultados, o governo de Fernando Henrique Cardoso (1995 – 2003), relança a alternativa utilizada nos governos da ditadura militar, isto é, a priorização da pauta exportadora a qualquer custo dos gêneros agrícolas para um controle da balança comercial e a geração de divisas.

O contexto do relançamento, segundo Delgado (2012, p. 9), “encontrará um comércio mundial muito receptivo na década de 2000, para meia dúzia de *commodities* em rápida expansão nos ramos de *feedgrains* (soja e milho), açúcar-álcool, (...)” que no período de 2000 a 2010 dominaram a pauta exportadora nacional, viabilizando direta (ou indiretamente), a consolidação e difusão do agronegócio na Pré-Amazônia por meio de incentivos governamentais.

A marca desta consolidação da produção de *commodities* em Sinop fica expressa em duas frentes primordiais, a dos gêneros agrícolas produzidos na área e a drástica alteração no ambiente, bem como as alterações sazonais. No quesito dos gêneros produzidos, o fato se expressa na alteração da área total cultivada e na quantidade produzida de grãos como soja e milho em detrimento ao arroz e a mandioca.

Partindo da Tabela 1, nota-se um aumento no total da área cultivada de soja em cerca de 1.300% entre 1989 e 2018, totalizando uma produção em toneladas de 22.123 (1989) para 515.040 (2018). Em contrapartida, produtos como o arroz, não direcionado para o mercado

externo, apresentaram queda no período (excetuando o ano de 2006, em que a área cultivada foi superior aos demais), que saiu de 5.200 ha cultivados em 1989 para 3.200ha em 2018, isto é, uma redução de cerca de 38,5% nas áreas destinadas ao arroz.

Tabela 1: Comparação entre área destinada ao cultivo (em hectares) e a quantidade produzida (em toneladas) de arroz, café, milho e soja, em Sinop (MT)

	Área Cultivada (ha)				Quantidade produzida (t)			
	1989	2000	2010	2018	1989	2000	2010	2018
Arroz	5.200	24.000	7.500	3.200	8.840	76.800	24.750	12.720
Café	310	50	267	272	208	30	45	S. I.*
Milho	1.300	5.000	45.200	100.000	2.340	14.400	189.960	648.000
Soja	10.500	12.000	112.500	148.000	22. 123	36.000	345.500	515.040

* S. I.= Sem Informação

Fonte: IBGE (1989; 2000; 2010; 2018).

Ainda na Tabela 1, percebe-se a consolidação do agronegócio na área ao verificar a produtividade das lavouras, nas quais são aplicadas tecnologias desde o plantio até a colheita. Enquanto em 1989, a produtividade por hectares de arroz, milho e soja, era respectivamente, 1,7 t/ha, 1,8 t/ha e 2,1 t/ha, em 2018 passaram para 4 t/ha (arroz), 6,5 t/ha (milho) e 3,5 t/ha (soja).

No que se refere as transformações da paisagem, a atividade agrícola exportadora se manifesta em diversas escalas, desde ao nível – local – urbano quanto ao nível regional, sendo expressa por lavouras nas proximidades da cidade, numa abrupta mudança do uso urbano para rural (Figura 8), bem como as alterações cíclicas em grandes áreas associadas ao calendário agrícola da região.

Figura 8: Transição abrupta da área urbana com uma área de lavoura de milho (pós-colheita)



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

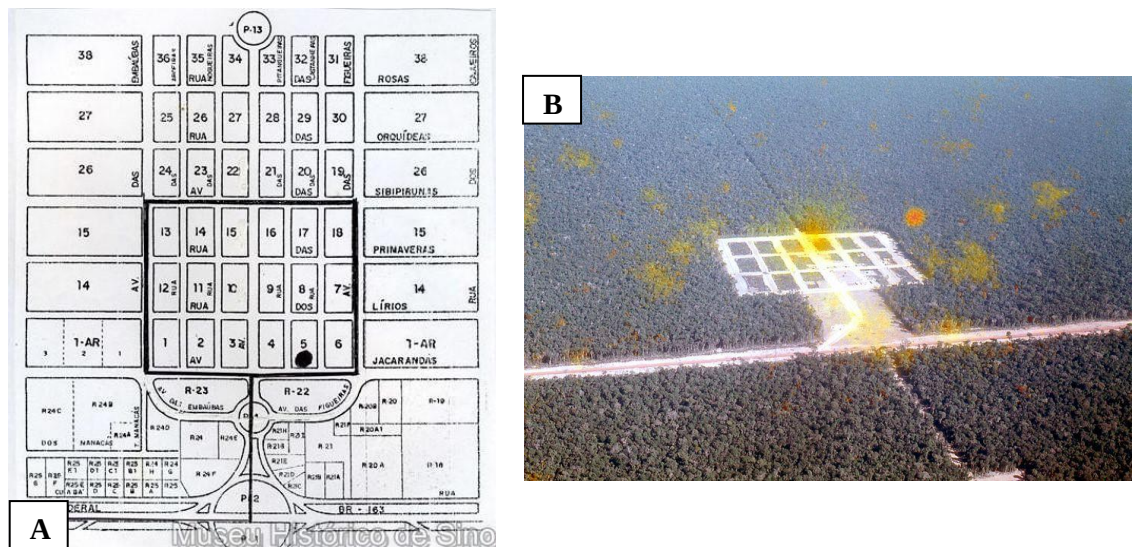
A contextualização presente neste tópico reforça as motivações, os mecanismos e os agentes que viabilizaram as estruturação da atividade econômica vigente em Sinop, permitindo

a compreensão de que, embora houvesse um planejamento por parte da colonizadora, os resultados de fato surgem pela intervenção governamental de distintas formas, diretas ou indiretas, sendo então a cidade e o “sucesso” da região não somente fruto das ações privadas, mas também da realocação de recursos públicos para a integração do território ao capital.

3.3 A consolidação urbana e as formas dispostas em Sinop

A supressão radical da vegetação na Gleba Celeste se iniciou por onde hoje se localiza Vera, em 1971, sendo o ponto de apoio para a abertura e implantação da sede de Sinop. Essa implementação se deu em etapas (Figura 9) e baseada num plano urbanístico funcional, com separação para áreas residenciais, comerciais, industriais, áreas protegidas e áreas de serviços comuns (escolas, bancos, cemitérios), com um padrão cartesiano de ruas e avenidas fazendo a conexão das diversas áreas da futura cidade, e remontando alguns aspectos da cidade de Brasília.

Figura 9: A - Croqui com destaque para as primeiras quadras abertas em Sinop; B - Abertura das quadras em 1973



Fonte: Acervo do Museu Histórico de Sinop.

Ao realizar uma leitura dos processos de consolidação da cidade, Oliveira (1988) aponta que na implantação do plano urbano e na ocupação das terras, os agricultores ao adquirirem um lote rural, recebiam um lote urbano com o prazo de noventa dias para a edificação, orientando assim a ocupação do centro, mantendo as áreas periféricas desocupadas e um grande estoque de terras fora do mercado, como garantia de lucros futuros, para a colonizadora, na comercialização desses lotes.

Oliveira (1988) afirma também, que havia uma seletividade programada na alocação dos compradores dos lotes que chegavam, evitando a venda de áreas do Setor Comercial, Residencial Sul, Residencial Norte e Industrial (consideradas nobres) aos trabalhadores braçais, sendo estes destinados ao Bairro Operário em que os lotes eram vendidos por preços abaixo do mercado e com regras construtivas diferentes das demais áreas.

Esse controle e seletividade citados pela autora se deu ao fato de que inicialmente o papel de gestora da cidade ficou a cargo da Colonizadora Sinop e mesmo após a emancipação política administrativa ocorrida em 14 de setembro de 1978, o grande estoque de terras ainda era prioritariamente do Grupo Sinop.

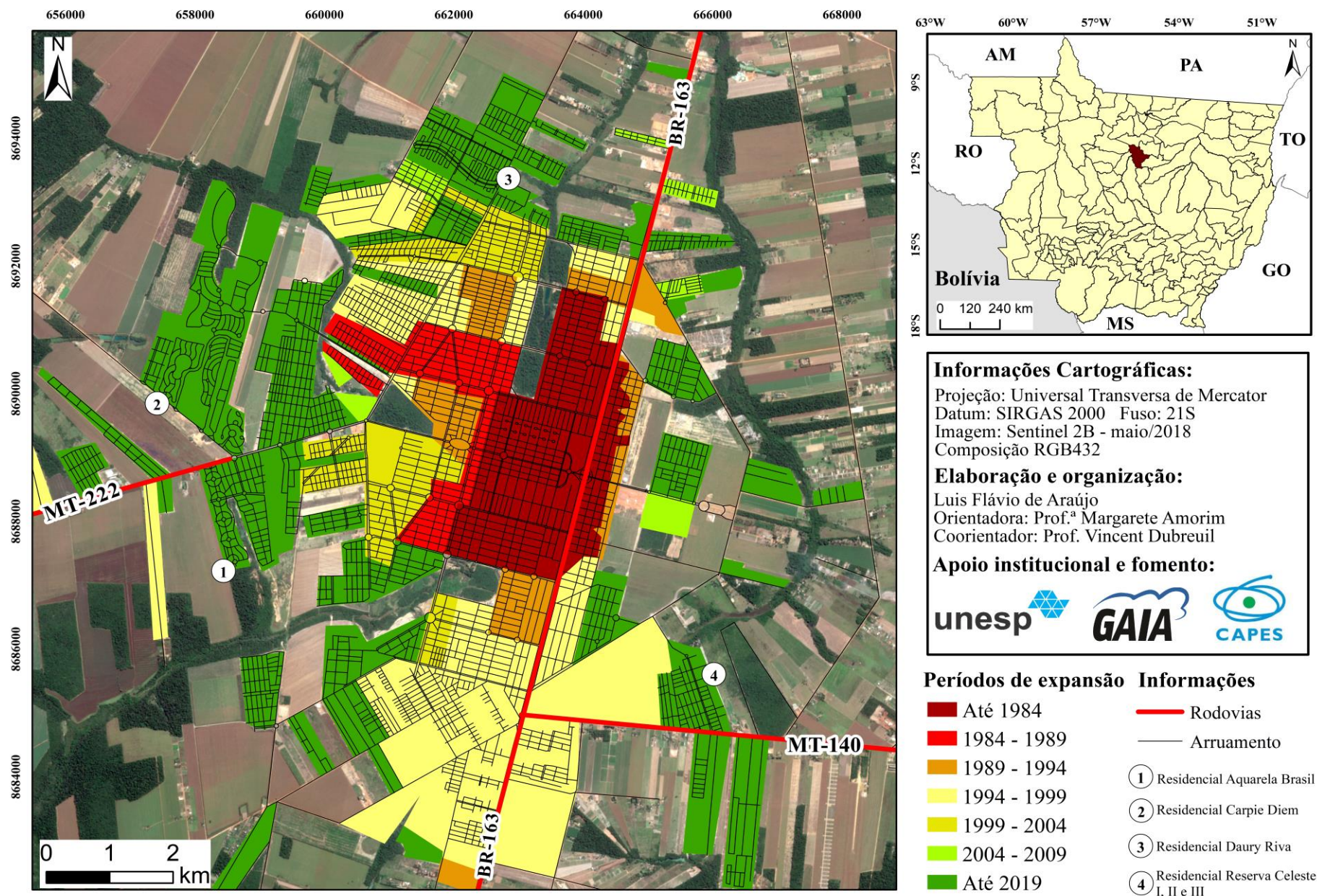
Os fatos apontados anteriormente colaboram com a compreensão do movimento de expansão urbana da cidade, bem como justificam alterações construtivas de áreas que, embora ocupadas no mesmo período, apresentam distintas formas e compõem a diversidade paisagística urbana. Tendo como exemplo, o resultante da comparação entre áreas do Setor Residencial Norte¹ e o Jardim Primavera (antiga Vila Operária), em que quadras com metragem semelhantes (705 m² para o Residencial Norte e 737 m² para o Jardim Primavera), apresentam numericamente um padrão distintos de construções (26 construções no primeiro contra 37 no segundo).

Partindo do mapa de expansão urbana (Figura 10), tem-se a representação dos fatos narrados anteriormente, em que as áreas ocupadas até 1984 se encontram consolidadas no núcleo do plano, precisamente nos setores Comercial, Residenciais Norte e Sul, Industrial, Jardim Primavera (Vila Operária) e Jardim Botânico, sendo, atualmente, localidades densamente construídas com poucos ou nenhum lote vazio. É interessante ressaltar a proximidade destes bairros com a BR-163, dado que todo o processo de formação da cidade se associou a passagem da rodovia.

Entre 1984 e 1989, o eixo de expansão adentra o traçado no sentido Leste, partindo dos bairros já existentes e formando novos como o Jardim das Palmeiras, Jardim Imperial, Residencial Vitória Régia, Jardim Europa e Jardim Paraíso. Ressalta-se que é neste período que a ocupação urbana rompe a área planejada, mesmo que ainda houvesse áreas não construídas dentro do projeto original.

¹ Vide mapa do abairramento disponível no Apêndice A.

Figura 10: Expansão territorial urbana de Sinop (1984 a 2019)



Alves e Bampi (2020) apontam que um impulsionador da produção do espaço urbano durante a década de 1980 foi a construção da Agroquímica Sinop S. A., uma vez que junto a estrutura industrial, surgiram residências destinadas aos trabalhadores do novo empreendimento, desde os operários até os setores de engenharia e administração. Os autores também apontam que a indústria madeireira contribuiu para o crescimento da cidade na década, sobretudo pela necessidade de mão de obra, pela queda na agricultura familiar, sendo a cidade o polo de atração ao trabalho.

Na sequência da expansão, no período de 1989 a 1994, as áreas incorporadas ao urbano já se encontravam no plano urbano proposto pela colonizadora, sendo a expansão do Setor Comercial e Industrial, Jardim Imperial, e formação do Parque das Araras (porção Norte da cidade) e do Jardim Jacarandás (porção Sul). O período seguinte (1994 - 1999) ficou marcado pela intensa expansão da ocupação, sobretudo pela extrapolação do traçado original na porção Sul e Nordeste, consolidação do Jardim Jacarandás, Residencial Jequitibás, Setor Industrial e Parque das Araras, e origem do Jardim Celeste, Jardim Novo Estado, Jardim Boa Esperança, Jardim Paulista I e II, Jardim Ibirapuera, Pequena Londres etc.

De modo geral a década de 1990 foi caracterizada pela inserção de novos agentes na produção do urbano, na promoção de residenciais próximos às áreas rurais com a finalidade de abrigar migrantes oriundos do fim da exploração mineral e de municípios próximos, bem como a valorização da terra tanto urbana, quanto rural, tornando Sinop um mercado fundiário rentável, agora não só para a colonizadora (ALVES; BAMPI, 2020).

No primeiro quadriênio do século XXI, o crescimento urbano se desacelera, quando comparada a períodos anteriores. Contudo, é neste período em que se finaliza a ocupação das áreas previstas no plano urbano, com a criação do Jardim Maringá nas proximidades do Setor Comercial e Jardim Paraíso, Jardim das Oliveira (porção Norte), Jardim São Paulo, Residencial Nossa Senhora Aparecida e Jardim das Nações I e II.

Os anos de 2006 a 2009 não apresentaram grandes alterações na incorporação de novas áreas ao traçado urbano, sugerindo uma ocupação dos espaços anteriormente integrados a cidade e um arranjo urbano consolidado. Pode-se destacar para esta fase a construção do campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), no extremo Leste do plano urbano entre áreas de cultivo, visando a valorização futura das terras do entorno e consequentemente um eixo para a expansão.

Por fim, o período de 2009 a 2019 apresenta novas lógicas da produção do espaço, sobretudo pela presença de distintos agentes que impulsionaram a mancha urbana via espaços residenciais fechados ou abertos, sendo de interesse social ou até mesmo de alto luxo. Aos

espaços residenciais de interesse social, faz-se necessário destacar o papel do programa federal Minha Casa Minha Vida e dos estaduais Meu Lar e Casa Fácil, que não só viabilizaram o acesso à moradia via financiamentos, mas também aplicaram recursos financeiros na infra-estrutura urbana (pavimentação asfáltica, escolas, creches, arborização, espaços de lazer) (ALVES; BAMPI, 2020), possibilitando a presença na cidade do Residencial Daury Riva (porção Noroeste), Residencial São Francisco, Buritis, Reserva Celeste (Setor I e II) (porção Sudeste) e Residencial Chácara (no extremo Norte da mancha urbana).

No tocante aos empreendimentos de alto padrão, destaca-se os espaços fechados ou abertos, em que a estrutura e o padrão construtivo se diferem de outras áreas da cidade, contando com equipamentos urbanos bem elaborados, como quadras, áreas verdes e maior arborização das vias, sendo expressos pelos Residenciais Mondrian, Carpe Diem e Portal da Mata (fechados), e o Aquarela Brasil e Aquarela das Artes (abertos), todos presentes na porção Oeste da cidade, no eixo de expansão crescente rumo ao aeroporto.

Em síntese, os processos narrados anteriormente, culminaram em um plano urbano horizontalizado, com pouca presença de edificações acima de três pavimentos, tendo seu eixo de expansão se dando com auxílios de equipamentos públicos e privados, como as instituições de ensino superior e presença de espaços residenciais abertos e fechados. Tais processos, também possibilitaram a maior consolidação da área urbana, sobretudo nos antigos lotes planejados pela colonizadora, apresentando nos bairros características construtivas semelhantes de acordo com sua funcionalização original.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa teve por base teórica-metodológica a proposta do SCU de Monteiro (1975), fundamentada na Teoria Geral dos Sistemas, e que permite a análise do clima urbano por meio de uma visão integrada e da mútua relação entre o homem e a natureza, perpassando por elementos que possibilitem estratégias de mitigação e até mesmo superação do fenômeno ao apontar o papel das ações humanas dentro do mecanismo, sobretudo o de retroalimentação.

Dentro da proposta de Monteiro (1975), utilizou-se o canal de percepção humana do conforto térmico (Subsistema Termodinâmico), com ênfase na identificação e análise da ilha de calor urbano associada às características geoambientais, urbanas e das atividades econômicas que compõem o perfil da área de estudo. Ressalta-se que em conjunto com esse subsistema, utilizou-se os roteiros metodológicos para estudos de ilha de calor em cidades de pequeno e médio porte propostos por Mendonça (1995) e Amorim (2020a) tendo como justificativa a apresentação e inserção de técnicas que complementam as análises do fenômeno como técnicas de sensoriamento remoto (NDVI, temperatura de superfície, dentre outros) e a modelagem espacial.

Logo, ao compreender a ilha de calor como fruto da relação da modificação dos elementos do clima local (que alteram processos como o balanço energético) e os aspectos urbanos (sendo a materialização das relações sociais desiguais que produzem formas também distintas), optou-se pela utilização do sistema classificatório de Stewart (2011), as *Local Climate Zones* (Zonas Climáticas Locais), que estabelecem classes para a identificação do uso e ocupação da terra, perpassando por suas características como estrutura, cobertura, vegetação, dentre outros. A adoção deste sistema de classificação, justifica-se pela possibilidade de comparação com outras áreas e cidades, permitindo uma discussão mais ampla dos resultados dentro do meio científico.

Para o atendimento dos objetivos propostos a pesquisa foi realizada em cinco etapas principais, sendo elas: o aprofundamento teórico e o levantamento bibliográfico; a cartografia das características geoambientais e urbanas; o processamento e análise de dados de temperatura de superfície e NDVI; a coleta e análise dos dados de temperatura do ar e a modelagem espacial da ilha de calor associada as propriedades da área.

O levantamento bibliográfico se deu em artigos de periódicos, teses, dissertações, livros e documentações oficiais, nacionais e internacionais. A seleção dos trabalhos selecionados se deu pelos temas abordados que se relacionam direta e indiretamente com esta pesquisa, como a climatologia urbana, ilhas de calor, técnicas de análise, consolidação e produção do espaço

urbano e das atividades econômicas vigentes, caracterização dos aspectos socioeconômicos e ambientais, e sistemas de classificações climáticas urbanas.

4.1 Cartografia das características urbanas e geoambientais

Para a elaboração dos produtos de caracterização como o mapa de expansão territorial urbana, hipsometria, declividade, orientação das vertentes e parte da delimitação das LCZs, utilizou-se técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto com o auxílio do software ArcGIS Pro², apoiadas nas informações encontradas nas fontes bibliográficas e tutoriais online.

Visando apontar os eixos de expansão de Sinop desde sua fundação até 2019, utilizou-se as imagens do satélite Landsat 5 (sensor TM – *Thematic Mapper*), para os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2009 e do Landsat 8³ (sensor OLI- *Operational Terra Imager*) para o ano de 2019. O processamento dessas imagens deu-se na composição colorida (Landsat 5 = R3 G2 B1 e Landsat 8 = R4 G3 B2), que permitiu, por meio de elementos de interpretação visual como cor, textura, estrutura, padrão, dentre outros, a identificação da supressão da vegetação e avanço/consolidação do espaço urbano de Sinop. As informações contidas na carta, posteriormente foram validadas em conjunto com trabalhos acadêmicos que abordaram o tema.

As informações referentes ao relevo (hipsometria, declividade e orientação das vertentes) foram obtidas mediante a utilização das ferramentas *Aspect* e *Slope* (respectivamente orientação de vertentes e declividade), encontradas no *ArcToolsBox* do software utilizado, tendo como base o Modelo Digital do Terreno (MDT) do satélite ALOS – *Advanced Land Observing Satellite* (sensor PALSAR- *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*)⁴, que apresenta resolução espacial de 12,5 m e imageamento real do relevo (sem interferência de nebulosidade). Para a carta de hipsometria, somente houve a mudança na escala de cores do MDT baixado e elaboração de curvas de nível para facilitar a leitura da representação.

A última ação desta etapa deu-se no mapeamento das características construtivas e cobertura do solo urbano e do rural próximo, tendo como base a propostas das LCZs de Stewart (2011). Para tanto, utilizou-se de imagens de satélite de alta resolução (Sentinel – 2), banco de imagens do *Google Earth Pro* e visitas *in loco* para a validação das classes atribuídas.

Ressalta-se que a execução da metodologia das LCZs foi adaptada da proposta original, conforme trabalhada e apresentada em Cardoso (2015), em que a identificação das

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

³ Adquiridas gratuitamente em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

⁴ Disponibilizado gratuitamente em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

características se deu de quadra a quadra da cidade, com base em técnicas de interpretação visual e validação em campo. Foram identificadas em Sinop, 9 classes e 2 subclasses de potenciais LCZs que serão apresentadas e detalhadas no capítulo 5.

4.2 Coleta e processamento dos dados de temperatura de superfície e NDVI

A aplicação de técnicas do sensoriamento remoto nos estudos do clima urbano possibilita a análise do fenômeno por outras vias, sobretudo por possibilitar a identificação da manifestação dos materiais que compõem o urbano dentro do balanço energético e sua alteração quando comparada ao rural, configurando assim a ilha de calor de superfície urbana (OKE, 1995; VOOGT; OKE, 2003), bem como contribuem na compreensão do papel da vegetação como contraponto aos usos e cobertura da terra nas áreas urbanas, evidenciando a importância de sua presença como meio de mitigar fenômenos como a ilha de calor.

Seguindo a lógica de que as ilhas de calor derivam da interação da superfície (sobretudo urbana, com materiais com grande potencial de armazenamento de energia durante o dia e emissão durante a noite) e a atmosfera, Amorim (2020a) argumenta que a utilização das imagens termais se configura como o primeiro passo para o diagnóstico das fontes de calor dispostas na superfície, bem como sua espacialização e interação com o uso e cobertura da terra, características do relevo, padrões construtivos etc.

Amorim (2020a) também aponta a necessidade da análise da temperatura de superfície se dar por meio de várias cenas (imagens de satélites) que englobem as distintas sazonalidades climáticas, sobretudo associadas a distribuição de precipitação, dado a complexa espacialização dos elementos da superfície e suas características (construtivas, vegetacionais, de densidade, dentre outras), evitando assim uma análise parcial da realidade.

Assim, visando atender os objetivos dois e três desta pesquisa, utilizou-se de imagens do satélite Landsat 8 (sensor OLI e TIRS - *Thermal Infrared Sensor*) para a elaboração das cartas de temperatura de superfície e NDVI, referentes ao ano de 2018 (19/01, 02/05, 27/05, 28/06, 14/07, 06/08 e 07/09), abarcando uma heterogeneidade do uso e cobertura da terra do entorno rural, bem como a diversidade de tipos de tempo atuantes, e 2020 (05/09/2020), referente ao período em que se realizou os períodos de campo.

O processamento das bandas termais (Banda 10 – Resolução espacial de 100 m), se deu no software ArcGIS Pro com a ferramenta *Raster Calculator*, em que se converteu os níveis de cinza (NC ou *Digital number* – DN) em radiância espectral, sendo esses valores passados pela

correção atmosférica e posteriormente obtidas as temperaturas dos alvos em graus Kelvin (K) e finalmente em graus Celsius (°C)⁵.

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

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

L_λ = Radiância do topo da atmosfera/Radiância espectral (Watts/(m²srum))

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento (0.00033420)

A_L = Fator aditivo de redimensionamento (0.1)

Q_{cal} = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (Banda 10)

Durante a captação da imagem pelos sensores acoplados aos satélites, sobretudo a faixa associada ao infravermelho termal, pode-se ocorrer pequenas distorções nos valores, associadas a interação da energia emitida pelo alvo com a atmosfera e seus componentes (aerossóis, certos gases, dentre outros). Logo, aponta-se como possibilidade de atenuação ou remoção dessas distorções a aplicação da correção de topo da atmosfera (BARSÍ; BAKER; SCHOTT, 2003), com base nos parâmetros disponibilizados pela ferramenta *Atmospheric Correction Parameter Calculator*⁶, mediante a inserção de informações como temperatura e umidade relativa do ar, pressão, altitude (e coordenadas da estação meteorológica), bem como data (DD-MM-AAAA) e horário da captura da imagem.

Para as imagens trabalhadas nesta pesquisa, os valores locais de transmitância (transmittance), radiância ascendente (upwelling) e radiância descendente (downwelling), sendo esses os parâmetros de correção, foram calculados com informações de entrada da estação meteorológica completa disposta no campus do Instituto Federal de Mato Grosso, na área central de Sinop. A equação utilizada nessa etapa foi a apontada por Coll *et al.* (2010) e se encontra adaptada abaixo:

$$L_{\lambda c} = ((L_{\lambda} - L_u) / (\epsilon * t)) - (0.05263 * L_d) \quad (2)$$

⁵ As equações e parâmetros estão disponibilizados em: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>.

⁶ Acessada em: <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>.

Sendo:

$L_{\lambda c}$ = Radiância Espectral corrigida

L_{λ} = Radiância Espectral sem correção (da etapa anterior)

L_u = Upwelling

ε = Emissivity (0.95)

t = Transmittance

0.05263 = Valor fixo que significa $((1 - \varepsilon)/\varepsilon)$

L_d = Downwelling

Posteriormente, seguiu-se o processamento mediante a conversão da radiância espectral em temperatura Kelvin (Equação 3) e a subtração deste resultado com 273,15 para obtenção dos valores em °C.

$$T = K_2 / \ln ((K_1 / L_{\lambda c}) + 1) \quad (3)$$

Sendo:

T = Temperatura em Kelvin

$L_{\lambda c}$ = Radiância Espectral corrigida

K_2 = constante de calibração = 1321.08

K_1 = constante de calibração = 774.89

Com a finalização do processamento e conversão dos valores em °C selecionou-se a área que apresentava constantemente os menores valores de temperatura, independentemente do período do ano, sendo então um fragmento vegetal à SO da área urbana (11° 55' S e 55° 33' O). Assim, para todas as imagens, verificou-se a média de temperatura desta área e seu resultado elegido como o parâmetro para subtração das temperaturas dos *pixels* da cena, obtendo assim a intensidade da ilha de calor superficial referente ao ponto 0 (valor da média encontrada).

Para analisar a vegetação das cenas, utilizou-se o *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI, que resulta em valores que variam de -1 a 1, indicando a densidade, o vigor e a atividade fotossintética da vegetação (SANTOS; NEGRINI, 1997), sendo os índices próximos a 1 representantes das melhores condições elencadas. As bandas utilizadas neste processo correspondem as bandas 4 (Red) e 5 (Near Infrared) do Landsat 8 (sensor OLI), com as quais foi aplicada a equação disposta a seguir.

$$\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

Sendo:

NIR = Near-Infrared Band (Banda 5)

RED = Red Band (Banda 4)

Os resultados obtidos com as ações descritas anteriormente se encontram representados em cartas comparativas de forma a demonstrar visualmente as mudanças sazonais, sua padronização e associação mútua com os elementos e com as características dos sistemas atuantes. No intuito de qualificar os resultados observacionais, foram aplicadas análises estatísticas, com ênfase em medidas de tendência central (média, mediana, moda), dispersão (desvio padrão), frequência e coeficiente de correlação de Pearson (r), para os dados de intensidade e NDVI, e sua relação com as características do uso e cobertura da terra (partindo das potenciais LCZs identificadas).

4.3 Coleta e processamento dos dados associados a atmosfera

As alterações nos elementos do clima local podem se expressar de maneiras distintas em relação as características dos sistemas atmosféricos atuantes e das propriedades da paisagem que compõe a área de estudo. Logo, faz-se necessário caminhos analíticos e informações que permitam a compreensão dessas alterações tanto na sua espacialização (isto é, na manifestação horizontal associada as propriedades de uso e cobertura da terra), quanto na sua periodicidade (diária, mensal, anual e sazonal).

Amorim (2000) aponta que a análise da ilha de calor urbana pode ser realizada por duas perspectivas, a temporal e espacial, sendo a primeira perspectiva, associada a um conjunto de registros históricos que permitam a interpretação da interferência do urbano nas características climáticas locais, sobretudo associada a expansão urbana e a identificação de padrões e tendências.

No entanto, a autora também aponta que dado a insuficiência de registros históricos (e de uma ampla rede de monitoramento) em escala nacional, tem-se a predominância dos estudos voltados para a perspectiva espacial, em que se analisa os efeitos da urbanização (e suas características) nos elementos climáticos (sobretudo na temperatura do ar) dentro de um período de tempo “curto” (diário, mensal, sazonal e anual), mediante a utilização de técnicas de registros como pontos fixos, transectos móveis e sensoriamento remoto (este último tratado no item 4.2).

Neste sentido e visando englobar informações que auxiliem na interpretação e repercussão do urbano nos elementos climáticos, faz-se necessário a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes no período analisado, por meio de ferramentas como os gráficos de análise rítmica (MONTEIRO, 1971). Nesta pesquisa, elaborados por meio de dados coletados

da estação meteorológica instalada no campus do IFMT, imagens do satélite GOES - 16⁷, boletins técnicos e cartas sinóticas disponibilizadas pelo CPTEC/INPE⁸ (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Faz-se necessário ressaltar que, dado a identificação da ilha de calor se pautar na diferença da temperatura do ar urbano com o rural, tem-se na intensidade importantes resultados e característica do fenômeno. Assim, as análises referentes a ilha de calor atmosférica se basearam nas magnitudes propostas por Fernández García (1996), que agrupa as intensidades em grupos que expressam a ICU em Fraca, Média (Moderada), Forte e Muito Forte magnitudes, como disposto no Quadro 4.

Quadro 3: Magnitudes da ilha de calor de acordo com as intensidades apresentadas

Magnitude	Intensidades
Fraca	Entre 0 °C e 2 °C
Média (Moderada)	Entre 2 °C e 4 °C
Forte	Entre 4 °C e 6 °C
Muito Forte	Superior a 6 °C

Fonte: Adaptado de Fernández García (1996, p. 264).

Mendonça (1994) e Amorim (2000; 2020), apontam que quando os valores de intensidades se encontram abaixo de 0 °C, tem-se a configuração do fenômeno oposto a ilha de calor, isto é, a ilha de frescor, que designa uma porção do espaço urbano que se apresenta menos aquecida que o rural por diversos fatores, como relevo, sombreamento, precipitação, vegetação, dentre outros.

4.3.1 Pontos fixos

A metodologia dos pontos fixos consiste na instalação de instrumentos que registrem as características climáticas desejadas, em áreas com propriedades de uso e cobertura da terra significativas, tendo como fundamental a seleção de um ponto representativo no urbano (ou múltiplos pontos) e outro no rural (no mínimo um ponto).

Para esta pesquisa os equipamentos utilizados consistiram em duas estações meteorológicas da marca Davis, do tipo Vantage Pro2⁹, que registraram os dados a nível horário

⁷ Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>.

⁸ Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?tipo=Superficie> e <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>.

⁹ Pertencentes a rede de monitoramento do Prof. Dr. Vincent Dubreuil.

para o ano de 2018 e agosto/setembro de 2020, e dois sensores *data logger* (U32-002) – HOBO, protegidos da incidência direta do sol por abrigo multiplacas da mesma marca, que registraram os dados referentes ao período de 27/08/20 a 28/09/2020, novamente no nível horário de coleta (Figura 11).

A disposição dos equipamentos sobre a área delimitada para estudo ficou assim sistematizada: uma estação meteorológica em área de uso rural e próximo a fragmento florestal (SO – 11° 52,5' S e 55° 33' O), uma estação meteorológica no campus do IFMT (centro da cidade – 11° 50,9' S e 55° 30,3' O), um *data logger* em residência no centro da cidade (11° 51' S e 55° 30' O) e um *data logger* em um espaço residencial fechado de considerável densidade construtiva e nas proximidades de área vegetada (SE – 11° 53' S e 55° 28' O) (Figura 11).

Figura 11: Localização dos pontos fixos na área de estudo



Aponta-se que para fins de cálculo da intensidade de temperatura do ar (ΔT_{u-r}), a estação instalada na área rural foi parametrizada como o ponto de referência (P – R), sendo os valores dos demais pontos subtraídos dos coletados pelo equipamento. Assim, para analisar a distribuição dos valores de intensidade ao longo de 2018 e as datas de 2020, foi utilizada a ferramenta tabela dinâmica do software *Excel* (um produto *Microsoft*), apresentada em Amorim e Dubreuil (2017) e Dorigon (2019), para elaboração de representação visual dos resultados

num estilo semelhante a um gráfico, em que no eixo das abscissas (x) se apresentam as horas e no eixo das ordenadas (y) os dias do mês. Em conjunto com a representação visual, aplicou-se técnicas de estatística descritiva a fim de se obter uma caracterização dos valores, mediante o sistema atmosférico atuante.

4.3.2 Transecto Móvel

Como já apontado em tópicos anteriores, o registro da temperatura por pontos fixos apresenta um resultado significativo ao se relacionar com a quantidade de dados disponível (isto é, ao permitir um acompanhamento ao nível horário e o desenvolvimento dos fenômenos), no entanto, representam somente as propriedades de uso e cobertura da terra da qual se encontra fixada.

Logo, a coleta de dados por meio de equipamentos em deslocamento permite um melhor detalhamento da espacialização da temperatura associada as características da superfície, tendo como ponto negativo ser correspondente de apenas um horário. De acordo com Amorim (2005) o percurso percorrido nesta metodologia não deve ultrapassar uma hora de execução para que se resguarde e analise a diferença térmica mediante os aspetos da superfície e não a variação natural da temperatura, e prioritariamente no período noturno.

A justificativa para a execução deste procedimento durante a noite, reside no fato de que as temperaturas do ar não exprimem mudanças rápidas durante este período, permitindo a coleta do primeiro e do último valor dentro da mesma faixa térmica (PITTON, 1997; AMORIM, 2005; 2020).

Nesta pesquisa, utilizou-se sensores digitais da marca *Incoterm* (Figura 12), fixados em uma haste de PVC a uma distância superior a 1,5 m do solo e acoplado na lateral de um veículo, atendendo as orientações contidas em Amorim (2005). Dada as questões operacionais de campo, os trajetos foram realizados com um único veículo e sensor, em velocidade média de 25 km/h, com coleta dos valores a cada 200 m e tempo de execução entre 50 e 55min.

Figura 12: Sensor utilizado para a aferição da temperatura do ar nos transectos entre as 21h e as 22h

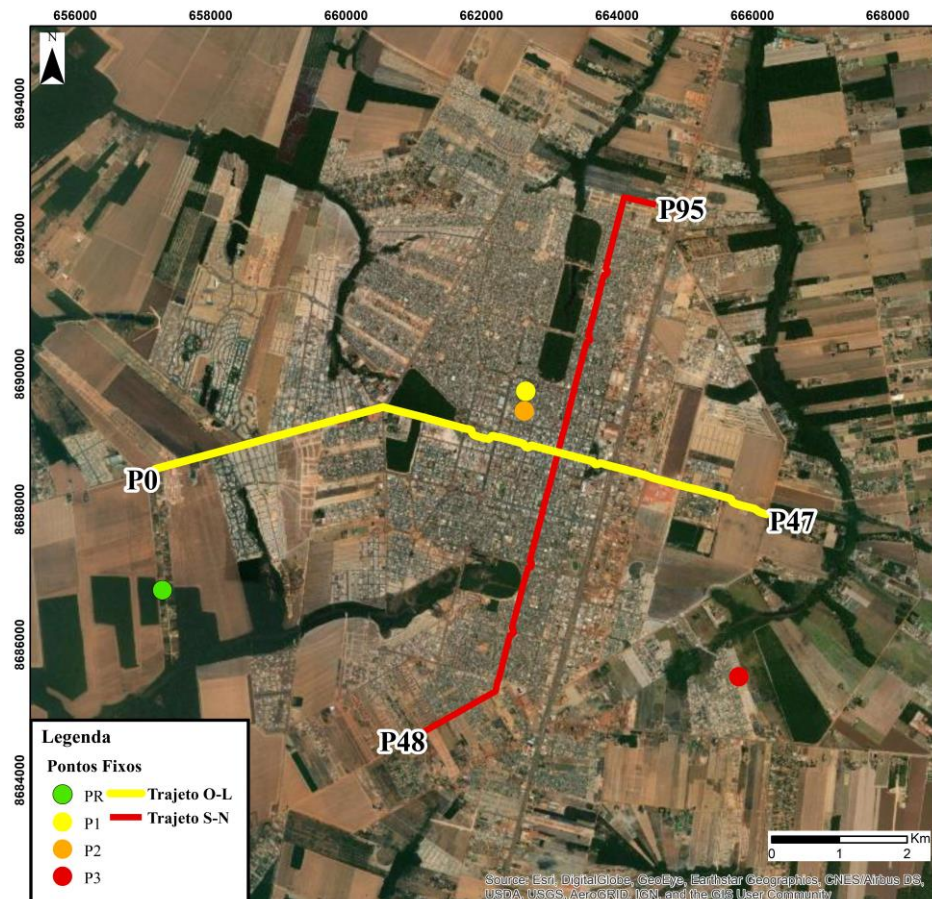


Fonte: Acervo próprio (2021).

As rotas realizadas nesta ação foram selecionadas com o intuito de abarcar uma diversidade de LCZs identificadas (Figura 13), partindo de um ponto rural (ligado a produção de grãos) a oeste da cidade, perpassando por áreas de expansão urbana (consolidação de novos loteamentos e bairros), área central e comercial, área “industrial” e de consolidação urbana, até finalizar no ponto referente a uso rural (vegetação e produção), a leste.

O segundo trajeto, partiu de um ponto rural (vegetação rasteira) e de expansão urbana, na porção Sul da cidade, perpassando por características construtivas semelhantes com presença de vegetação ou não, até atingir outra área de expansão e próxima a vegetação rasteira, ao norte da cidade.

Figura 13: Trajeto dos transectos móveis realizados nas datas de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro de 2020, entre as 21h e as 22h em Sinop/MT



Os dados foram coletados no intervalo temporal das 21h às 22h - horário local (GMT - 4) para as datas de 27/08, 02/09, 03/09, 05/09, 11/09, 18/09 do ano de 2020, em que as condições atmosféricas se apresentaram estáveis, com baixa velocidade do vento e sem cobertura de nuvens. Salienta-se que nas datas de 11/09 e 18/09, dado a circulação regional e

os focos de incêndio que incidiram sobre grande parte do estado de Mato Grosso, apresentou-se na área grande quantidade de fumaça que perduraram ao longo do dia, sem, contudo, modificar o padrão de distribuição dos valores analisados nos episódios anteriores.

Para analisar os resultados dessa ação, foram elaborados gráficos com o software *Excel*, em que os valores das abcissas estão associados a temperatura coletada e o eixo das ordenadas expressam os pontos em que se coletou a informação. Também foram elaborados mapas (mediante *ArcGIS Pro-Esri*), que representam a espacialização da intensidade da ilha de calor atmosférica ao longo dos trajetos, tendo como ponto de referência (temperatura padrão) a estação meteorológica instalada na área rural apresentada no subitem “Pontos fixos”.

4.4 A modelagem espacial da ilha de calor

As técnicas investigativas utilizadas para o atendimento dos objetivos desta pesquisa, sobretudo às relacionadas com a aferição de temperatura do ar, apresentam fatores técnicos que lhes impõem limites de abrangência. Exemplos da afirmação apresentada anteriormente, reside no fato da “pouca” abrangência espacial dos pontos fixos e da baixa abrangência temporal dos transectos móveis – este último limitado a aproximadamente uma hora.

Como apresentado no Capítulo 2, no âmbito das investigações do clima urbano – com ênfase nas ilhas de calor – a superação de certos limites técnicos, pode se dar pela adoção de ações complementares, que propiciam as bases necessárias para a proposição de modelos estatísticos e a extrapolação, racional, dos dados e conexões averiguados em pontos amostrais, no intuito de descrever, o mais fiel possível, a realidade da área de estudada.

A modelagem das ilhas de calor urbano por meio da regressão linear multicriterial, isto é, a elaboração de mapas/informações baseados na relação dos diversos fatores que influenciam nas características da temperatura do ar na escala local, encontra respaldos e validação de sua aplicação em estudos como os de Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), Foissard (2015), Gomes (2017), Rampazzo (2019), Teixeira (2019), Amorim (2020a) dentre outros, detalhados no subcapítulo 2.2.

A justificativa para a utilização da análise de regressão linear múltipla se centra na possibilidade de prever valores de uma dada variável em função do conhecimento dos valores de outras variáveis, desde que elas apresentem qualidades correlacionáveis (LEVIN, 1977, p. 220). No caso do fenômeno das ilhas de calor, é possível “prever” a variável Y (variável resposta – temperatura do ar) a partir da correlação com as variáveis X (variáveis explicativas

ou preditoras – características e propriedades paisagísticas/superficiais, relevo) que possibilitam a sua variação.

Essas variáveis ficam dispostas em um diagrama de dispersão com base na sua correlação, sendo possível calcular a reta de regressão, isto é, “uma reta interpolatriz obtida a partir da nuvem de pontos do diagrama de dispersão” (LEVIN, 1977, p. 221) que resume a relação entre os dados e se torna a base para previsões a partir das amostras.

Como cada variável independente (variável preditora) exerce, parcialmente, influência sobre a variável dependente (variável resposta), elas apresentam valores de mudança/dependência que, são informadas pela reta de regressão e pelo coeficiente de regressão (r), sendo também o coeficiente de determinação (r^2) um bom parâmetro analítico, dado que representa a proximidade dos dados com a reta de regressão (LANDIM, 1998; FERREIRA, 2014).

Com os valores de correlação r e de determinação r^2 parciais, isto é, de cada variável independente em relação a dependente, pode-se selecionar as características significativas para a geração do modelo estatístico e a previsão da variável resposta (temperatura do ar modelada). Sendo aplicada então, a regressão linear múltipla que apresenta coeficiente de determinação global (R^2 ajustado) como parâmetro de análise da qualidade do modelo, pois indica a porcentagem da variação dos dados explicados pelo modelo obtido.

A regressão resulta em uma fórmula que descreve matematicamente, as relações entre as variáveis independentes que resultam na variação da temperatura – variável dependente –, sendo sistematizada como se apresenta na fórmula 5.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (5)$$

Em que:

y = variável resposta (dependente)

β_0 = intercepto (valor da variável dependente, quando todas as variáveis independentes são iguais a zero)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_k$ = coeficientes de regressão parciais

x_1, x_2, x_3, x_k = variáveis preditoras (independentes)

ε = erro aleatório

Os passos apresentados anteriormente, foram aplicados no desenvolvimento desta pesquisa para todas as datas em que se realizou os transectos móveis (27/08, 02/09, 03/09,

05/09, 11/09, 18/09 e 21/09/2020), no *software* IDRISI – um produto TerrSet, se utilizando de diferentes variáveis independentes – elementos justificados na literatura que influenciam na geração das ilhas de calor – com base nos parâmetros analíticos (r^2 , por exemplo) e em testes que apresentassem representações cartográficas significativas e padrões estatísticos de confiança.

As equações¹⁰ explicativas geradas para os modelos de cada data, foram utilizadas para elaborar os mapas de espacialização da temperatura do ar entre as 21h e as 22h, baseadas nos valores aferidos nos transectos e nos pontos fixos, e a espacialização das intensidades das ilhas de calor, considerando, sempre, a significância dos modelos e os resíduos gerados.

4.4.1 As variáveis para a obtenção dos modelos estatísticos

Pautadas nos estudos que versam sobre a influência dos elementos superficiais no clima local, como os apresentados no Capítulo 2, e nos que tratam especificadamente sobre as metodologias de análise do clima urbano, com ênfase na aplicação da modelagem das ilhas de calor, como Foissard (2015), Cardoso (2015), Amorim (2020a), Dorigon (2019), Teixeira (2019), dentre outros, bem como nos resultados parciais das técnicas apontadas anteriormente, as variáveis preditoras selecionadas apontam as propriedades e características paisagísticas do recorte analítico (as potenciais LCZs e NDVI), a organização espacial urbana (distância do centro, distância de vegetação e distância de cursos hídricos), os elementos físicos (hipsometria) e a interação da energia com os materiais (temperatura de superfície).

A Figura 14 apresenta as variáveis independentes selecionadas, a representação de entrada das variáveis no *software*, a data do imageamento (dos dados gerados por meio de imagens de satélite) e as datas dos modelos em que cada variável foi aplicada.

Para fins de aplicação da regressão linear múltipla, as potenciais LCZs foram inseridas em classes, sendo a C1 (LCZ 3), C2 (LCZ 3_B), C3 (LCZ 6), C4 (LCZ 8), C5 (junção das LCZs A e B), C6 (LCZ D), C7 (LCZ D_F) e C8 (LCZ 9). Ressalta-se que os modelos apresentaram variações quanto a influência das classes das propriedades paisagísticas, sendo poucas classes presentes em todas as datas, como a C1 – LCZ 3 e a C3 – LCZ 6, isto é, as classes predominantes no espaço urbano foram as que apresentaram maior correlação com a temperatura do ar, considerando a influência de cada ponto, como apresentado no Capítulo 7.

¹⁰ Apresentadas no Apêndice B

Aponta-se também que, para a identificação da relação entre as propriedades paisagísticas dadas pelas P-LCZ – nesta etapa representadas pelas classes de C1 a C8 – e os valores de temperatura do ar, calculou-se a quantia de *pixels* no entorno de cada ponto de aferição (transecto móvel) por meio de janelas de tamanhos distintos, como 3x3 *pixels* (90 m x 90 m), 5x5 (150 m x 150 m), 7x7 (210 m x 210 m), até que se encontrassem os parâmetros necessários para a validação da relação por meios estatísticos. Esta etapa é justificada por Amorim *et al.* (2015, p. 38) “porque não se sabe inicialmente qual a área de influência do uso da terra sobre as medidas de temperatura para cada ponto”, sendo então necessários os testes em diversas janelas.

O NDVI, apresentou correlação significativa em grande parte dos modelos, com exceção do dia 02/09/2020. O levantamento dos índices se deu com as bandas 4 e 5 do Landsat 8, para as datas de 27/08, 05/09 e 12/09/2020, sendo eles aplicados para as datas próximas e que apresentavam condições atmosféricas semelhantes.

Outro elemento utilizado para a análise foi a hipsometria, que apresentou boas relações estatísticas, principalmente, para os modelos em que se utilizou os valores de temperatura de superfície, pois, explicam as temperaturas próximas aos cursos hídricos.

Ao analisar a organização e disposição dos elementos urbanos e naturais mais influentes no clima local, optou-se por utilizar a distância geométrica entre elementos como o centro, vegetação e corpos hídricos, e os pontos amostrais. A justificativa para o emprego da variável distância do centro se encontra no pressuposto de que o centro da cidade se apresenta como um dos pontos com elevados valores de temperatura, devido a suas características superficiais, assim, a medida em que se distancia do centro, rumo ao entorno rural, os valores de temperaturas apresentariam tendência de queda, derivados da baixa densidade construtiva.

Já a utilização das distâncias de vegetação e corpos hídrico, se baseiam no padrão de distribuição da temperatura e intensidade da ilha de calor, observados com a realização dos transectos móveis, isto é, partindo da base teórica e atividade empírica, o que se mostrou fundamental na explicação de certos modelos.

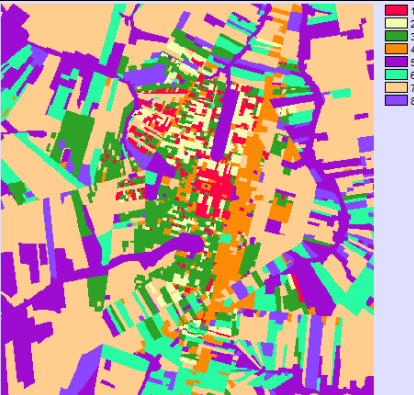
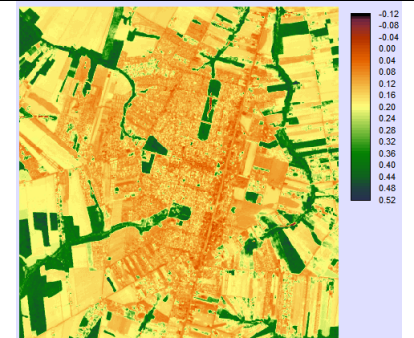
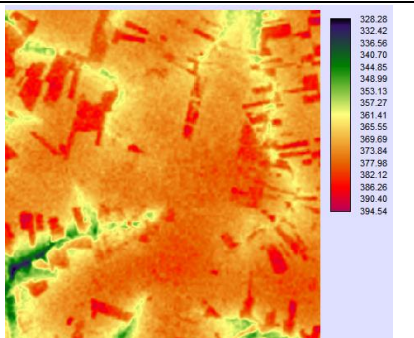
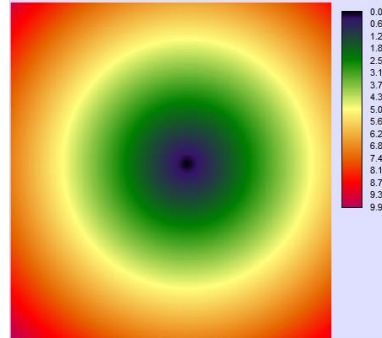
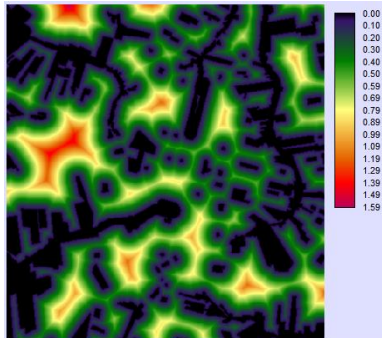
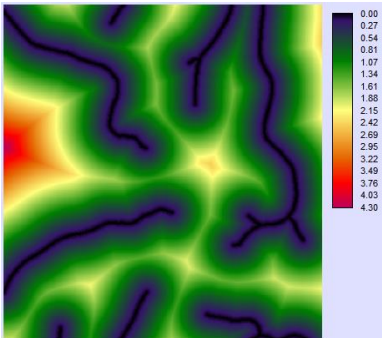
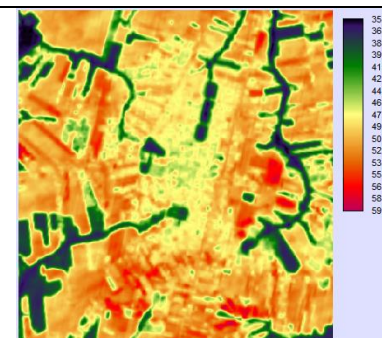
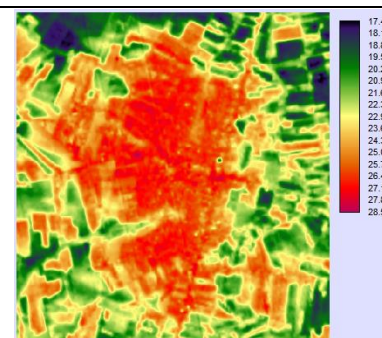
Para a obtenção dos valores das distâncias em quilômetros, foram gerados *buffers* a partir de um elemento central, os próprios cursos hídricos e as classes referentes a vegetação arbórea – para as variáveis de distância de curso hídricos e vegetação – e um ponto selecionado na área central da cidade, partindo dos pontos de coletas dos transectos móveis, para a variável distância do centro. Na sequência, foram extraídos os valores de distância para cada ponto de aferição e verificada, se havia ou não, relação com a variação da temperatura para posterior aplicação nos modelos.

A última variável independente foi a temperatura de superfície, que se mostrou aplicável em casos restritos, como as datas de 27/08, 02/09, 03/09 e 05/09/2020, sendo as datas que apresentaram um padrão semelhante, pois, as demais estavam sob a influência de plumas de fumaça ou mecanismos instáveis. É importante ressaltar que, diferentemente das demais datas, a imagem utilizada para a temperatura de superfície do dia 05/09 se refere ao período noturno, com imageamento realizado próximo às 22h (horário local), demonstrando valores significativos para explicação da distribuição da temperatura do ar no espaço urbano.

Para a verificação da correlação das variáveis independentes com a temperatura do ar, bem como os parâmetros estatísticos necessários para a validação dos modelos e “extrapolação” das informações, foram utilizados os dados coletados com os transectos móveis. Novamente, foi fundamental os padrões encontrados em cada medida itinerante, pois, a partir deles selecionou-se os pontos de maior representatividade na variação da temperatura do ar em função das propriedades paisagísticas dos trajetos.

Posteriormente, para analisar os resíduos/diferenças gerados pelos modelos e as temperaturas aferidas, comparou-se os valores de todos os pontos dos transectos e dos pontos fixos, permitindo inferir a validade dos modelos e dos produtos gerados a partir deles, como a espacialização da temperatura do ar modelada e as intensidades das ilhas de calor, como disposto e detalhado no Capítulo 7.

Figura 14: Variáveis independentes selecionadas, exemplificação de imagem de entrada, data de imageamento e datas dos modelos em que foram utilizados

Classes das propriedades paisagísticas - LCZs	Exemplo de mapa de entrada	Correspondências com as LCZs	Datas em que foram aplicadas
		C1: LCZ 3 C2: LCZ 3 _B C3: LCZ 6 C4: LCZ 8 C5: LCZ A/LCZ B C6: LCZ D C7: LCZ D _F C8: LCZ 9	27/08/2020 02/09/2020 03/09/2020 05/09/2020 11/09/2020 18/09/2020 21/09/2020
NDVI	Exemplo de mapa de entrada	Datas do imageamento	Datas em que foram aplicadas
		27/08/2020 05/09/2020 12/09/2020	27/08/2020 03/09/2020 05/09/2020 11/09/2020 18/09/2020 21/09/2020
Hipsometria	Exemplo de mapa de entrada	Data do imageamento	Datas em que foram aplicadas
		18/06/2015	27/08/2020 03/09/2020 11/09/2020
Distanciamento geométrico	Distância do centro	Distância de vegetação	Distância de cursos hídricos
			
Temperatura de superfície	Temperatura de superfície diurna	Temperatura de superfície noturna	
			
Data do imageamento	27/08/2020 05/09/2020 12/09/2020	05/09/2020	
Datas em que foram aplicadas	27/08/2020 02/09/2020 03/09/2020	05/09/2020	

5. A CLASSIFICAÇÃO DA PAISAGEM URBANA: as potenciais LCZs em Sinop

Como apontado nos capítulos anteriores, o sistema das *Local Climate Zones* consiste na classificação da paisagem urbana por meio de suas características que afetam a estrutura do clima local, isto é, “regiões de cobertura de superfície uniforme, material e atividade humana que se estendem por centenas de metros a vários quilômetros no plano horizontal” (STEWART; OKE, 2012) e possibilita a presença de fenômenos como a ilha de calor.

As principais vantagens da proposta consistem na padronização da nomenclatura e das propriedades apresentadas pela área para sua devida classificação, possibilitando assim a fácil comunicação e comparação de estudos em diversas escalas e localidades. No entanto, faz-se necessário ressaltar que, como todo sistema classificatório que visa a universalidade, o sistema da LCZ apresenta limitações como a generalização dos complexos usos de uma mesma porção da cidade, como a encontrada nas cidades brasileiras médias e pequenas, sendo necessária a implementação de novas classes e subclasses.

Para o caso desta pesquisa adotou-se o adjetivo “potenciais” (P) - LCZs, dado ao fato de que para a classificação da área estudada, levou-se em consideração somente as propriedades da superfície (uso e cobertura da terra) e posteriormente sua interação com o campo térmico, pois faz-se necessário a incorporação de análises de outros elementos para a identificação, de fato, da LCZ, como o fluxo de vento, balanço de energia, umidade do ar, radiação e concentração de CO₂ (STEWART, 2011), não estando disponíveis no decorrer desta pesquisa.

O resultado do mapeamento via técnicas de interpretação de imagens e visitas *in loco*, se encontra na Figura 15, permitindo a identificação das classes e subclasses presentes em Sinop, bem como sua espacialização dentro do recorte estabelecido na pesquisa. Numa análise prévia, constata-se que dentro das classes estabelecidas para as áreas construídas, tem-se, potencialmente, presente em Sinop quatro classes e uma subclasse, sendo as LCZ 3 (compacta de baixa elevação), LCZ 6 (aberta de baixa elevação), LCZ 8 (grandes construções de baixa elevação) e LCZ 9 (construções esparsas com presença de vegetação) e LCZ 3_B (compacta de baixa elevação com presença de vegetação arbórea esparsa).

No que condiz aos tipos de uso e cobertura associados ao rural, natural e de transição, aponta-se as LCZ A (vegetação arbórea densa), LCZ B (vegetação arbórea esparsa), LCZ D (vegetação rasteira), LCZ D_F (subclasse, área de vegetação rasteira, sazonalmente ocupada por solo exposto) e LCZ F (solo exposto). Ressalta-se aqui outra vantagem deste sistema classificatório, que diz respeito a qualificação dos usos rurais que vão interagir de formas

distintas com a estrutura do clima local, evitando a análise parcial de uma única presença de uso e cobertura nestes ambientes.

Em relação a espacialização das classes, percebeu-se que no espaço urbano tem-se a predominância das LCZ 3 e LCZ 3_B na porção norte da malha urbana, sobretudo nas áreas de atividades comerciais e residenciais de renda mais baixa (antiga Vila Operária e Daury Riva), LCZ 6 na porção sul, associada às áreas de expansão urbana e loteamentos/residenciais de padrão mais elevado e LCZ 8 distribuída, principalmente, ao longo do Setor Industrial (I, II e III) e de grandes avenidas de conexão dos setores sul e norte.

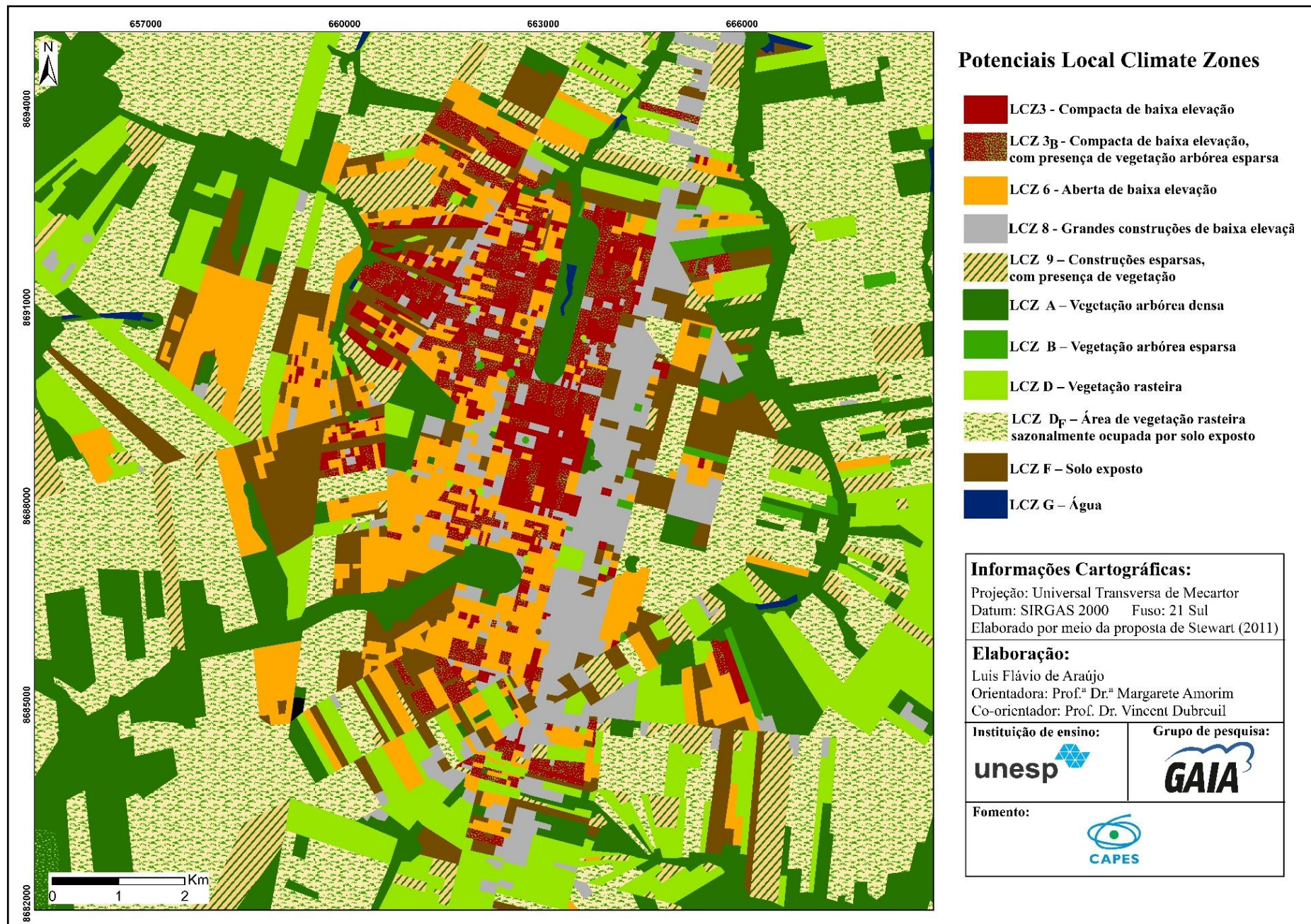
No entorno da malha urbana, tem-se como destaque a LCZ D_F que reforça a característica das atividades econômicas agrícolas presente na cidade, bem como permite a visualização da intensa relação do meio urbano com o rural, dentro da lógica das cidades do agronegócio, onde muitas vezes a transição entre os dois meios se dá de maneira brusca. Também há a LCZ D (uso rural) e a LCZ A, que se encontram concentradas em pontos específicos ou ao longo de cursos d'água, pouco presentes no interior da malha urbana.

As demais classes identificadas não apresentam grande expressão espacial, estando localizadas em pontos específicos dentro do recorte adotado, tendo como característica principal a descontinuidade e até mesmo a intercalação.

De modo geral, a identificação das classes presentes na cidade e em seu entorno rural, ilustram o planejamento urbano desempenhado nos primeiros anos da década de 1970, sobretudo ao propor uma funcionalização das quadras, seguida pelos tomadores de decisões, resultando assim numa homogeneização da paisagem urbana e dos elementos que os caracterizam. Assim, ao se ocupar os lotes pré-estabelecidos (em grande parte do período), o entorno possibilitou o desenvolvimento de atividades agrícolas dada a disponibilização das terras para esta finalidade.

Adiante, serão apresentadas as propriedades das principais potenciais LCZs e sua localização, como apontado por Stewart (2011), bem como os padrões visuais utilizados para a identificação de cada classe e/ou subclasse, tanto por meio do sensoriamento remoto quanto pelas visitas em campo.

Figura 15: Potenciais LCZs em Sinop



A potencial LCZ 3 (Figura 16) de Sinop se caracteriza por áreas densamente construídas, em que o predomínio da cobertura da terra se dá em pavimentações com escassas áreas permeáveis e vegetação. De modo geral, as construções se dão em materiais típicos de alvenaria (tijolo, cimento, pedra) com telhados que variam conforme a função do edifício e das condições econômicas de seus construtores.

Essa classe ficou associada com a área comercial da cidade e algumas quadras residenciais, sobretudo no centro da cidade e em bairros originários de programas sociais (em que predomina lotes reduzidos com grande parte construída ou pavimentada/coberta). Uma outra justificativa para a presença desta potencial LCZ se encontra no projeto de instalação da cidade, dado que esta porção já estava destinada para o uso de atividades comerciais e teve sua ocupação orientada por meio de mecanismos da colonizadora, para que houvesse sua ocupação primária, sendo, por exemplo, as primeiras quadras abertas em 1973.

Dado a sua função e localização esta área apresenta grande circulação de veículos durante o dia, contando com a estrutura de largas avenidas e ruas, com canteiros centrais (onde podem apresentar algumas espécies arbóreas) e vagas para estacionamento.

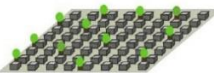
Figura 16: Potencial LCZ 3 em Sinop

LCZ		COMPACTA DE BAIXA ELEVÇÃO		3
DEFINIÇÃO				
Forma: Densamente construída, com edifícios baixos e pequenos (inferior a 4 pavimentos). Predomínio de materiais construtivos pesados (cimento, pedra, tijolo) e telhados cerâmicos, fibrocimento e zinco. Apresenta cobertura da terra pavimentada, salvo exceções, com pouca presença de vegetação arbórea ou nenhuma. Função: Comercial e residencial. Localização: Concentrada na área central da cidade, sendo também o local das primeiras construções do núcleo urbano.				
ILUSTRAÇÃO				
Vista oblíqua 				
Vista lateral 				
Padrão visual de representação				
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa): baixa Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa): alta Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): alto Temperatura média modelada (inverno): 28,4 °C				

Fonte: Imagem da vista oblíqua: Google Earth – Imagem da vista lateral: Autor (2020). Elaborado pelo autor. Adaptado de Stewart (2011).

Por se tratar de uma subclasse, a Potencial (P) - LCZ 3_B (Figura 17) apresenta aspectos construtivos semelhantes a classe anterior, tendo como diferencial, maior a presença de vegetação arbórea e/ou áreas permeáveis (quintais e jardins) com cobertura vegetal sazonal (que se modifica ao longo do ano por conta da presença ou ausência de precipitação).

Figura 17: Potencial LCZ 3_B em Sinop

LCZ		COMPACTA DE BAIXA ELEVÇÃO COM VEGETAÇÃO ARBÓREA ESPARSA			3B
DEFINIÇÃO					
Forma: Densamente construída, com edifícios baixos e pequenos (inferior a 4 pavimentos). Predomínio de materiais construtivos pesados (cimento, pedra, tijolo) e telhados cerâmicos, fibrocimento e zinco. Apresenta cobertura da terra pavimentada, bem como áreas permeáveis (quintais e jardins), com presença de vegetação arbórea espaçada. Função: Residencial. Localização: Distribuída na porção norte da malha urbana e pouca presença ao sul, sendo mais presente que a classe anterior.					
ILUSTRAÇÃO					
Vista oblíqua 					
Vista lateral 					
Padrão visual de representação					
PROPRIEDADES					
Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa): baixa Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa): alta Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): médio Temperatura média modelada (inverno): 27,9 °C					

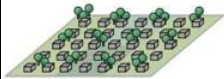
Fonte: Imagem da vista oblíqua: Google Earth – Imagem da vista lateral: Autor (2020). Elaborado pelo autor.
Adaptado de Stewart (2011).

A grande presença das classes citadas anteriormente se associa fortemente com a lógica da produção do espaço urbano adotada em Sinop, em que se priorizou a ocupação horizontal da área aberta para que se consolidasse o núcleo urbano do projeto da colonizadora, servindo de base e apoio para as atividades desenvolvidas no rural próximo. Também tinha como propósito a garantia de possíveis lucros com a comercialização da terra e impedir quaisquer movimentos de ocupação “ilegal” dos lotes temporariamente vagos.

Essa estratégia culminou numa certa homogeneização da paisagem urbana, sobretudo do setor norte, sendo também onde se encontram a maior parte dos bairros populares como a antiga Vila Operária, que como sua própria toponímia expressa foi onde se instalou a mão de obra para o funcionamento da lógica produtiva.

Em oposição as classes do tipo 3, a P – LCZ 6 (Figura 18), se caracteriza por edifícios mais espaçados, em lotes maiores que permitem a presença de consideráveis áreas permeáveis com presença ou não de vegetação arbórea, muitas vezes visando a estética das construções e não a sua função de sombreamento.

Figura 18: Potencial LCZ 6 em Sinop

LCZ		ABERTA DE BAIXA ELEVÇÃO		6
DEFINIÇÃO				
Forma: Construções espaçadas, com média densidade construtiva. Edifícios baixos (não atingindo 4 pavimentos), de materiais pesados (tijolo, pedra, cimento) e telhados cerâmicos. Árvores dispersas e áreas permeáveis (quintais, jardins e áreas não construídas). Função: Residencial. Localização: Distribuída nas porções sul, norte e oeste (área de expansão de espaços residenciais fechados de alto padrão).				
ILUSTRAÇÃO				
Vista oblíqua 				
Vista lateral 				
Padrão visual de representação				
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa): baixa Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa): média Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): baixo Temperatura média modelada (inverno): 28,4 °C				

Fonte: Imagem da vista oblíqua: Google Earth – Imagem da vista lateral: Autor (2020). Elaborado pelo autor. Adaptado de Stewart (2011).

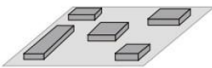
No tocante ao padrão construtivo, percebeu-se que esta classe se associou a dois contextos principais, sendo o primeiro a espaços residenciais fechados (ou abertos) de médio a alto padrão, com construções em alvenaria e acabamentos com estéticas mais elaboradas, e a lotes com métricas distintas das quadras dos setores do norte, mas com materiais construtivos de alvenaria e em alguns casos de madeira (que remontam as construções do período 1970 – 1980). Isso explica a categorização de bairros como o Jardim Maringá, Jardim Botânico e Jardim Jacarandás do setor sul e o bairro Aquarela Brasil do setor oeste, dentro desta tipologia.

Nesta pesquisa optou-se por classificar áreas pouco consolidadas dentro desta categoria, devido ao fato de apresentar características de extensos espaços permeáveis que apresentam vegetação rasteira no período chuvoso e pouca vegetação na estiagem, como também verificado nas localidades anteriormente citadas. No entanto, ressalta-se que o “pouco consolidado” se destinou a loteamentos com infraestrutura (pavimentação asfáltica, instalação de sistemas de

energia elétrica, iluminação e saneamento) e que continham em seu interior a presença de residências prontas e em construção, justificando sua espacialização nos eixos de expansão urbana a noroeste, leste e sul.

A classe associada as grandes construções de baixa elevação (P – LCZ 8), caracterizada na Figura 19, se vinculou aos galpões que se distribuem, sobretudo, ao longo da BR – 163, nos setores destinados a função de uso “industrial”. Este fato é justificado pela presença de pontos comerciais destinados a prestação de serviços, como oficinas mecânicas de automóveis de grande porte (caminhões, carretas e tratores), concessionárias de tratores e caminhões, lojas de peças automobilísticas, transportadoras e postos de gasolina, isto é, empresas que auxiliam as atividades agroexportadoras que caracterizam a área.

Figura 19: Potencial LCZ 8 em Sinop

LCZ		GRANDES CONSTRUÇÕES DE BAIXA ELEVÇÃO			8
DEFINIÇÃO					
Forma: Construções alongadas, neste caso com certo espaçamento entre elas. Edifícios baixos (não atingindo 4 pavimentos), de materiais pesados (tijolo, blocos, pedra, cimento) e telhados com estruturas metálicas e folhas de zinco ou fibrocimento. Pode apresentar áreas permeáveis e árvores, no entanto predomina a pavimentação. Função: Comercial e industrial. Localização: Predominantemente distribuída ao longo da BR-163 (Setores Industriais I, II e III) e eixos viários conectores no interior da malha urbana.					
ILUSTRAÇÃO					
Vista oblíqua 					
Vista lateral 					
Padrão visual de representação:					
PROPRIEDADES					
Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa): baixa Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa): média ou baixa Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): médio ou alto Temperatura média modelada (inverno): 27.9 °C					

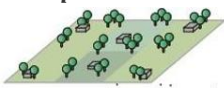
Fonte: Imagem da vista oblíqua: Google Earth – Imagem da vista lateral: Autor (2020). Elaborado pelo autor.
Adaptado de Stewart (2011).

Quando encontrada no intraurbano essa tipologia estava vinculada a construções destinadas a supermercados, lojas de materiais de construções, quadras poliesportivas, instituições de ensino e religiosas, dentre outras. Os edifícios foram construídos com materiais pesados (tijolo, cimento, blocos) com ou sem acabamento e predomínio de telhados com estruturas metálicas e folhas de zinco ou fibrocimento.

No tocante a cobertura do solo, as áreas classificadas nesta categoria se apresentaram em grande parte, pavimentadas (cimento ou asfalto), havendo também pontos de solo exposto, com presença ou não de vegetação rasteira e arbórea, de acordo com a função da construção e sua estruturação para o atendimento das atividades exercidas em seu interior.

A última categoria referente ao ambiente construído foi a P - LCZ 9 (Figura 20), que se expressa sobretudo pelo longo espaçamento entre as construções, com vastas áreas permeáveis e presença abundante de vegetação. Os materiais construtivos presentes nestas áreas variam de alvenaria a madeira ou mesclado, sendo pouco expressivas dado ao tamanho dos “lotes” que ocupam.

Figura 20: Potencial LCZ 9 em Sinop

LCZ		CONSTRUÇÕES ESPAÇADAS		9
DEFINIÇÃO				
Forma: Construções espaçadas com grandes áreas permeáveis, com presença de vegetação rasteira e/ou arbórea. Edifícios baixos (não atingindo 4 pavimentos), de materiais pesados ou leves (tijolo, blocos, pedra, cimento, madeira) e telhados cerâmicos ou de fibrocimento. Pouca presença de pavimentação. Função: Residencial. Localização: Distribuída entre a área urbana e o espaço rural, associada as chácaras designadas no planejamento da cidade.				
ILUSTRAÇÃO				
<i>Vista oblíqua</i> 				
<i>Vista lateral</i> 				
Padrão visual de representação				
PROPRIEDADES				
<i>Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa):</i> baixa <i>Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa):</i> baixa <i>Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto):</i> baixo <i>Temperatura média moelada (inverno):</i> 26,1 °C				

Fonte: Imagem da vista oblíqua e lateral: Google Earth. Elaborado pelo autor. Adaptado de Stewart (2011).

Na espacialização dentro da área selecionada para a pesquisa, a P – LCZ 9 figurou nos ambientes de transição entre o rural e o urbano, sendo muitas vezes vinculadas a chácaras e bairros antigos de baixa consolidação (resquícios do cinturão verde planejado pela colonizadora Sinop), contando com pomares e hortas, bem como para espaços de lazer.

Observou-se também que dado ao avanço da infraestrutura urbana e da instalação de novos empreendimentos e loteamentos, a presença dessa classe tende ao desaparecimento (dado

ao parcelamento do solo para fins de comercialização) nas proximidades da malha urbana, sobretudo no eixo de expansão no sentido oeste.

A Figura 21 apresenta as particularidades da P – LCZ A, sendo a primeira associada a natureza. Como consta na sua denominação, esta categoria abarca a paisagem vegetal de porte arbóreo e fechado, podendo haver pequenos espaços para vegetação rasteira, com poucas ou nenhuma construções.

No caso de Sinop, a categoria está vinculada aos fragmentos vegetais da outrora floresta que ocupava todo o território municipal e norte do estado, estando agora restrita às áreas de preservação ambiental, reservas e parques urbanos, numa espécie de colcha de retalhos podendo haver ligação entre elas ou não.

Figura 21: Potencial LCZ A em Sinop

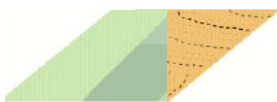
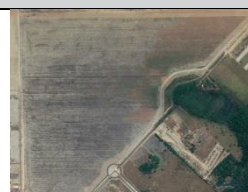
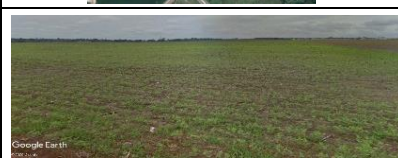
LCZ		VEGETAÇÃO ARBÓREA DENSE		A
DEFINIÇÃO				
Forma: Densamente arborizado. Área permeável com presença ou não de vegetação rasteira. Função: Áreas de proteção ambiental e recreacional. Localização: Fragmentos dispersos no intraurbano e rural, associada muitas vezes ao longo de cursos d'água.				
ILUSTRAÇÃO				
Vista oblíqua 				
Vista lateral 				
Padrão visual de representação				
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa): média Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa): baixa Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): nulo ou baixo Temperatura média modelada (inverno): 23,5 °C				

Fonte: Imagem da vista oblíqua: *Google Earth* – Imagem da vista lateral: Autor (2020). Elaborado pelo autor.
Adaptado de Stewart (2011).

No âmbito rural, houve o predomínio da subclasse LCZ D_F (Figura 22), isto é a junção da classe D (vegetação rasteira) com a F (solo exposto). Trata-se de grandes áreas permeáveis com pequenas áreas construídas ou pavimentadas (ou não), com pequenos armazéns e eixos viários para a logística da produção desenvolvida sob si. Logo, seu fluxo de tráfego se dá nos períodos de colheita e preparação da terra, sobretudo por grandes maquinários como colheitadeiras e tratores.

A justificativa para a proposição desta subclasse, se dá na ocorrência da sazonalidade da produção agroexportadora que rege as principais atividades econômicas da cidade, pautada sobretudo no cultivo de culturas temporárias como a soja, o milho e o algodão. Assim, no decorrer do ano estas áreas alteram sua cobertura do solo e passam a interagir de maneira diferente com os elementos climáticos, sobretudo no período de vazio sanitário e de preparação para o cultivo, que coincide com índices mensais de precipitação iguais a zero, alterando, mesmo que temporariamente, o balanço energético local.

Figura 22: Potencial LCZ D_F em Sinop

LCZ		VEGETAÇÃO RASTEIRA OU SOLO EXPOSTO DE ACORDO COM A SAZONALIDADE		D _F
DEFINIÇÃO				
Forma: Área sazonalmente ocupada por vegetação rasteira ou solo exposto. Não apresenta pavimentação em grande extensão, assim como construções. Função: Agricultura. Localização: Predominante no entorno rural de Sinop, com manchas dentro das áreas de expansão urbana.				
ILUSTRAÇÃO				
Vista oblíqua 				
Vista lateral 				
Padrão visual de representação				
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (alta-média-baixa): baixa Fração de superfície impermeável (alta-média-baixa): baixa Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): nulo ou baixo Temperatura média modelada (inverno): 24,8 °C				

Fonte: Imagem da vista oblíqua: *Google Earth* – Imagem da vista lateral: *Google Earth* e Autor (2020).
Elaborado pelo autor. Adaptado de Stewart (2011).

Do ponto de vista espacial, a intercalação desta classe com a P – LCZ A é comum, dado a rede de drenagem contida na superfície, tendo a LCZ A como um delimitador de sua presença. Semelhanças deste fato ocorrem também com as P – LCZ 6, 3_B e 9, pois, o acelerado processo de expansão urbana vigente, possibilita a proximidade destas categorias.

A P – LCZ B, se caracteriza pela presença de vegetação arbórea esparsa com vegetação rasteira ou não, estando associada a áreas ocupadas por atividades humanas como praças e canteiros, sendo nesta pesquisa, pouco expressiva e pontual, não havendo grandes dificuldades para sua identificação.

As P – LCZ D e F, se associam a cobertura do solo, tendo a primeira a presença de vegetação rasteira como gramíneas ou áreas cultivadas, e a segunda se caracteriza pela falta de cobertura do solo. Para Sinop, a classe D ficou vinculada a áreas de pastagem ou sem uso, no entorno da cidade, muitas vezes intercalada com a classe D_F. Já a classe F representa os loteamentos urbanos que não apresentam, ainda, construções residenciais, podendo conter vias pavimentadas ou não.

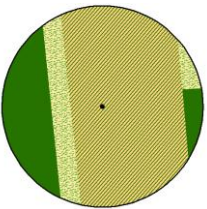
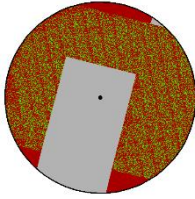
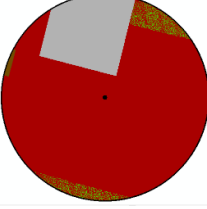
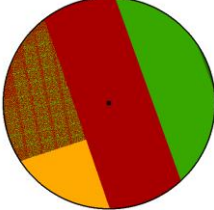
Por fim, a P – LCZ G referente a corpos hídricos, foi pouca expressiva para o recorte adotado nesta pesquisa, estando presente, predominantemente, no Parque Florestal no Setor Norte da cidade, e em área vegetada próximo ao espaço residencial fechado Reserva Celeste II. A justificativa para a pouca presença desta classe, reside no fato da escala utilizada na identificação das propriedades paisagísticas possibilitar a generalização de detalhes como os cursos hídricos, priorizando assim, locais com presença de represamentos artificiais ou naturais.

5.1 As *Local Climate Zones* e os pontos de coleta

A identificação das classes de LCZ presente na área de estudo se fez necessária não apenas para compreender a espacialização dos elementos que caracterizam o uso e cobertura da terra, mas também para a verificação da representatividade dos pontos em que foram instalados os sensores e dos pontos que compuseram os trajetos dos transectos móveis.

Como apresentado no tópico “Procedimentos Metodológicos”, durante a pesquisa foram utilizados dados de 4 pontos, um no meio rural, dois no centro da cidade e um em espaço residencial fechado na zona de expansão urbana e próximo a área de vegetação. O Quadro 4, apresenta as porcentagens das categorias que se encontram dentro de um raio de 200 m dos aparelhos instalados.

Quadro 4: Participação de LCZs na área de influência dos pontos fixos (raio de 200 m), em porcentagem

Pontos	Realidade (raio de 200m)	LCZ no raio de 200 m	Porcentagem da LCZ (raio de 200 m)	Período de registro
R			LCZ 9 = 65% LCZ A = 22% LCZ D _F = 13%	Início: 01/01/2018 Término: 31/12/2018 Início: 27/08/2020 Término: 27/09/2020
1			LCZ 3 _B = 63% LCZ 8 = 32% LCZ 3 = 5%	Início: 01/01/2018 Término: 31/12/2018 Início: 27/08/2020 Término: 27/09/2020
2			LCZ 3 = 77% LCZ 8 = 17% LCZ 3 _B = 5%	Início: 27/08/2020 Término: 27/09/2020
3			LCZ 3 = 44% LCZ B = 26% LCZ 3 _B = 20% LCZ 6 = 10%	Início: 27/08/2020 Término: 27/09/2020

Com a análise do quadro anterior, percebeu-se que as LCZs presentes no raio de 200 m, do Ponto R (Ponto de Referência), correspondem a usos rurais como (LCZ D_F e A), bem como a faixa de transição entre rural urbano expresso pela LCZ 9, sendo esta representativa do entorno rural da área de pesquisa, do ponto de vista do uso e cobertura da terra.

O Ponto 1 (campus do IFMT), apresenta o predomínio da LCZ 3_B, com participação de classes tipicamente urbanas (dado a sua localização no intrurbano) como a LCZ 8 (neste caso associada ao edifício da instituição e quadra poliesportiva próxima) e LCZ 3 (sendo essa pouco expressiva). Tendo por base a distribuição das LCZs ao longo do recorte da pesquisa (como apresentado na Figura 15), verifica-se que este ponto se torna representativo da cobertura da terra que envolve certas características muito presentes na área urbana.

Dado a proximidade com o ponto anterior, o Ponto 2, também apresenta uma caracterização tipicamente urbana, englobando em sua área de influência elevado percentual da

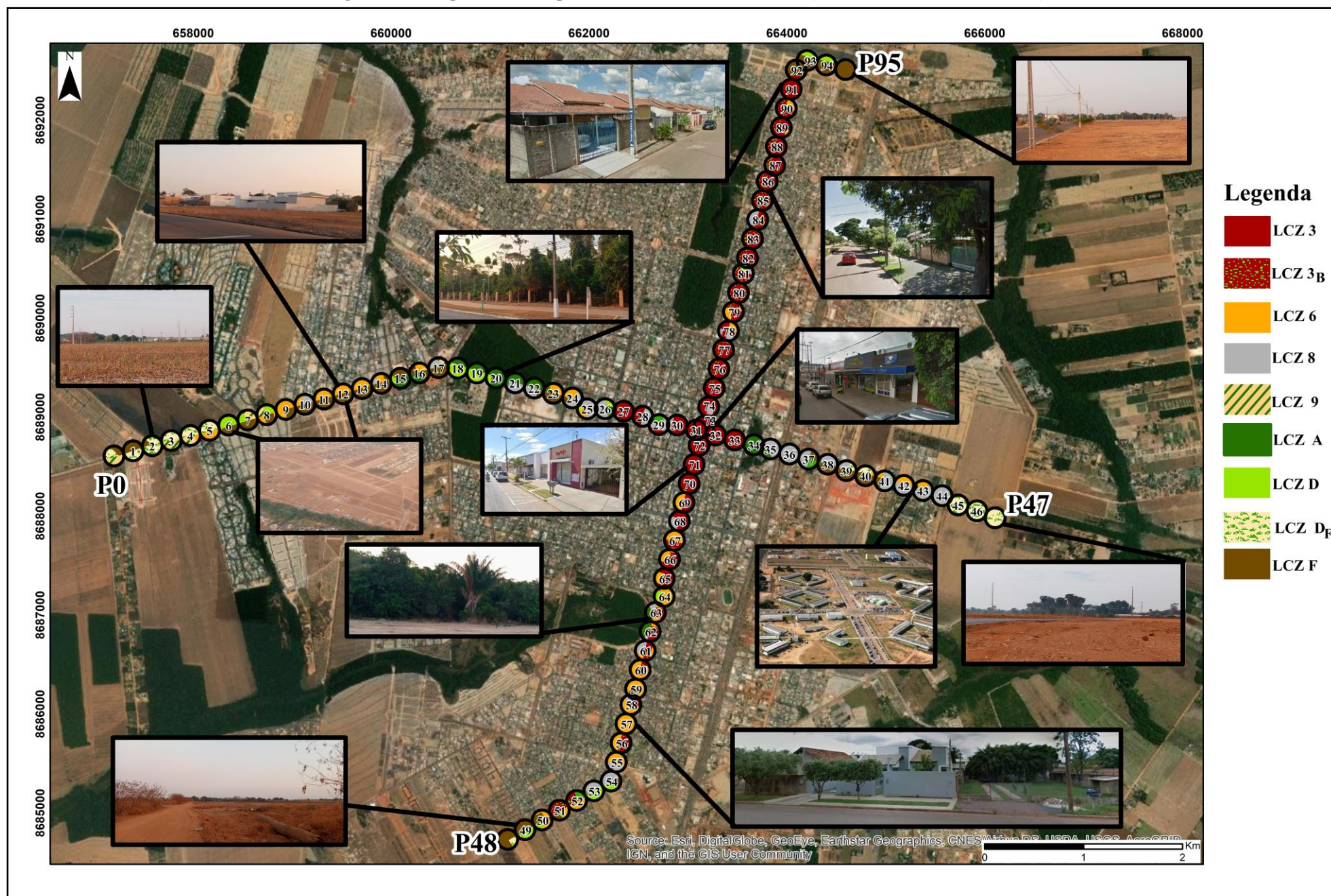
LCZ 3 com baixas taxas de participação das LCZ 8 e 3_B. Representa, portanto, características do intraurbano, com propriedades próximas com as encontradas na área central.

Os três pontos citados anteriormente partilham uma semelhança, a junção de classes com propriedades de mesma cobertura, isto é, as LCZs encontradas no raio de influência dos pontos contidos no intraurbano são prioritariamente urbanos e o ponto do entorno rural é condizente com usos típicos dessas áreas, sobretudo do ponto de vista da vegetação.

No entanto, o fato expresso acima não se faz presente no Ponto 3, uma vez que sua localização, num dos eixos de expansão da cidade, permitiu a junção de classes densamente construídas (LCZ 3 e 3_B) com as de média densidade e até mesmo com a vegetação arbórea esparsa, tornando-o como representativo de uma das zonas de expansão urbana. Logo, ao analisar os dados que serão apresentados mais a frente, faz-se necessário compreender o contexto, sobretudo deste ponto, dado que a complexa cobertura da terra pode ter sua influência nos elementos climáticos representada de maneira alternada na escala diária.

Em complemento aos dados coletados por pontos fixos, realizou-se a aferição de temperatura do ar itinerante, como forma de verificar a relação entre a distribuição térmica e os elementos da superfície. Foram definidos dois trajetos que abarcassem a maior diversidade de classes de LCZ, sendo também áreas representativas. A Figura 23 apresenta os 96 pontos de coleta nesta ação, bem como as LCZs contidas num raio de influência de 100m a partir da coordenada exata do local em que os registros foram realizados.

Figura 23: Grupos de LCZs percorridas no transecto móvel (zona de influência de 100 m)



Partindo da rota realizada no eixo de Oeste para Leste (P0 a P47), percebe-se que dada a organização espacial da cidade, os primeiros 17 pontos de registro apresentam classes de uso e cobertura da terra típicas do meio rural como a LCZ D_F e LCZ D, bem como características da transição urbano-rural (LCZ 9) e de expansão urbana (LCZs 6 e F), pois estes pontos coincidem com áreas de características de eixo expansão, mediadas por aberturas de novos loteamentos e espaços residenciais fechados de médio a alto padrão.

A medida em que se avança para o intraurbano verifica-se a ocorrência de categorias de cobertura da terra referente a presença de vegetação, associada a reserva ambiental nas proximidades do campus da UNEMAT, assim como a presença do cemitério que contém vegetação rasteira na sua composição. Assim, os pontos de 18 a 22 expressam propriedades das LCZs A e D, assim como uma baixa participação da LCZ 8 vinculada a construções comerciais.

Os pontos de 23 a 26 apresentam elementos representativos das LCZs F, 6 e 8, com pequenas parcelas de vegetação rasteira e arbórea referentes a equipamentos públicos como praças e canteiros. É a partir destes pontos que se passa a adentrar a área central da cidade, que projetada para exercer tal função, conta com largas avenidas para circulação e construções esteticamente comerciais. Nos pontos de 24 a 33 predominam as classes densamente construídas, sobretudo a LCZ 3, acarretando numa certa homogeneização do trecho do trajeto.

O ponto 34 é o último em que se encontra a LCZ A para este eixo, dado que ao avançar para o Setor Industrial e outro eixo de expansão urbana as classes predominantes voltam a ser as LCZs 8, F, D_F e 6 (P35 – 47). A justificativa para a abundância da LCZ 8, não reside unicamente nas edificações comerciais, mas também na presença de órgãos governamentais como Justiça Federal e o campus da UFMT.

Para o trajeto Sul-Norte se iniciando no ponto 48, tem-se inicialmente a predominância da LCZ F e 3_B (P48 – P52), associada a um antigo eixo de expansão (quando comparado com o eixo Oeste – Leste) que apresentam loteamentos com vastas extensões de terra desocupada e quando ocupados contém elevada densidade construtiva.

Ao adentrar as áreas de ocupação consolidada, as características passam para a LCZ 8 dado os estabelecimentos comerciais (P53 e P54), ficando homogêneas entre os pontos 55 a 61, com a classe de LCZ 6, até o encontro da reserva do Jardim Botânico (P62 – P63).

À medida que se avança para a área central, a intercalação das LCZs 6 e 3 (P64 -P69) é substituída por uma homogeneização das LCZ 3 e LCZ 3_B (P70 a P91) até atingir a reta final do percurso, num loteamento sem construções e próximo a área de vegetação rasteira (P92 a 95). Assim tem-se a finalização dos pontos de coleta de temperatura do ar e a abrangência de distintas características de superfícies e que representam o contexto da área.

6. AS MODIFICAÇÕES SAZONAIS NA PAISAGEM E NO CAMPO TÉRMICO

As atividades humanas materializadas na produção do espaço urbano e rural, como já debatido em diversos estudos como Oke (1995; 2017), Amorim *et al.* (2009) e Amorim (2020a), são capazes de alterar as características físicas naturais das áreas onde se encontram, como o uso e cobertura da terra que refletem em fenômenos como o balanço energético e seus desdobramentos.

No âmbito urbano, as transformações do ambiente natural tendem a ser duradouras, pouco se alterando na escala anual, excetuando aqui as áreas em consolidação e quaisquer projetos de planejamento urbano que visem a melhoria da qualidade ambiental. O que se nota, de modo geral, são as pequenas modificações no intraurbano como a inserção ou retirada de espécies vegetais – arbóreas ou rasteiras –, a expressão física das plantas dada a sua fenologia (maior densidade de folhagem ou a sua queda, por exemplo) e a expansão ou retração de vegetação rasteira em lotes não construídos.

Já na área rural, a configuração da paisagem pode se dar de maneira complexa, sobretudo quando comparada ao meio urbano, e relacionada intrinsecamente com as atividades socioeconômicas desenvolvidas nestas localidades. Tomando como base as atividades de cunho recreativos ou predominantemente destinada a pecuária, tem-se na escala anual a presença de grandes porções com vegetação rasteira, arbustiva e até mesmo arbórea, que se alteram temporariamente devido a suas características fenológicas e as condições atmosféricas vigentes no período.

Por outro lado, ao ser base para a produção de culturas sazonais, como milho, soja, algodão, cana de açúcar, dentro outros, o terreno passa a apresentar coberturas cíclicas associadas a períodos com presença ou ausência de vegetação, mediadas pelo calendário agrícola e legislações que moldam tal atividade. Isto é, em áreas rurais com presença de soja, por exemplo, no período do desenvolvimento até a colheita da espécie cultivada tem-se a presença da vegetação desenvolvida e com elevada atividade fotossintética (bem como o tráfego de maquinários pesados), e após a colheita das safras e entressafras, as áreas passam por um período de vazio sanitário, em que a paisagem da outrora vegetação rasteira se configura pelo solo exposto, se mantendo assim até o período de preparo e plantio da próxima safra.

Esse ritmo da paisagem de uso agrícola se mantém ao longo de vários anos, até que por questões de localização e rentabilidade, são incorporadas na lógica da produção do urbano e sucessivamente alteradas até atingir a sua consolidação, passando a conter as propriedades da paisagem urbana e sua pouca alteração sazonal.

Ao associar o contexto mencionado anteriormente com a dinâmica de troca de energia e capacidade térmica dos materiais, tem-se a adição de outro elemento que evidencia a influência das atividades humanas na paisagem e na estrutura ambiental, sendo este, a temperatura da superfície.

Como já evidenciado em estudos como Ugeda Júnior (2011), Amorim (2020a), dentre outros, toda cobertura da superfície, de origem natural ou não, interage com a energia proveniente do Sol e dado as suas características de absorção, emissividade e situação atmosférica atuante, altera a sua temperatura. Logo, áreas de vegetação tendem a apresentar os menores valores de temperatura, sobretudo as que contêm espécies de porte arbóreo, próximas a cursos hídricos e/ou mais distantes de áreas construídas – bem como sua densidade –, enquanto as áreas construídas, com ênfase nas densamente edificadas, tendem a apresentar maiores valores de temperatura superficial.

Em Sinop, devido as suas características morfológicas provenientes do processo de produção e consolidação do urbano e das atividades agrícolas presentes no entorno, tem-se os cenários mencionados anteriormente que apresentam mudanças sazonais relacionadas a cobertura da terra e das características climáticas regionais.

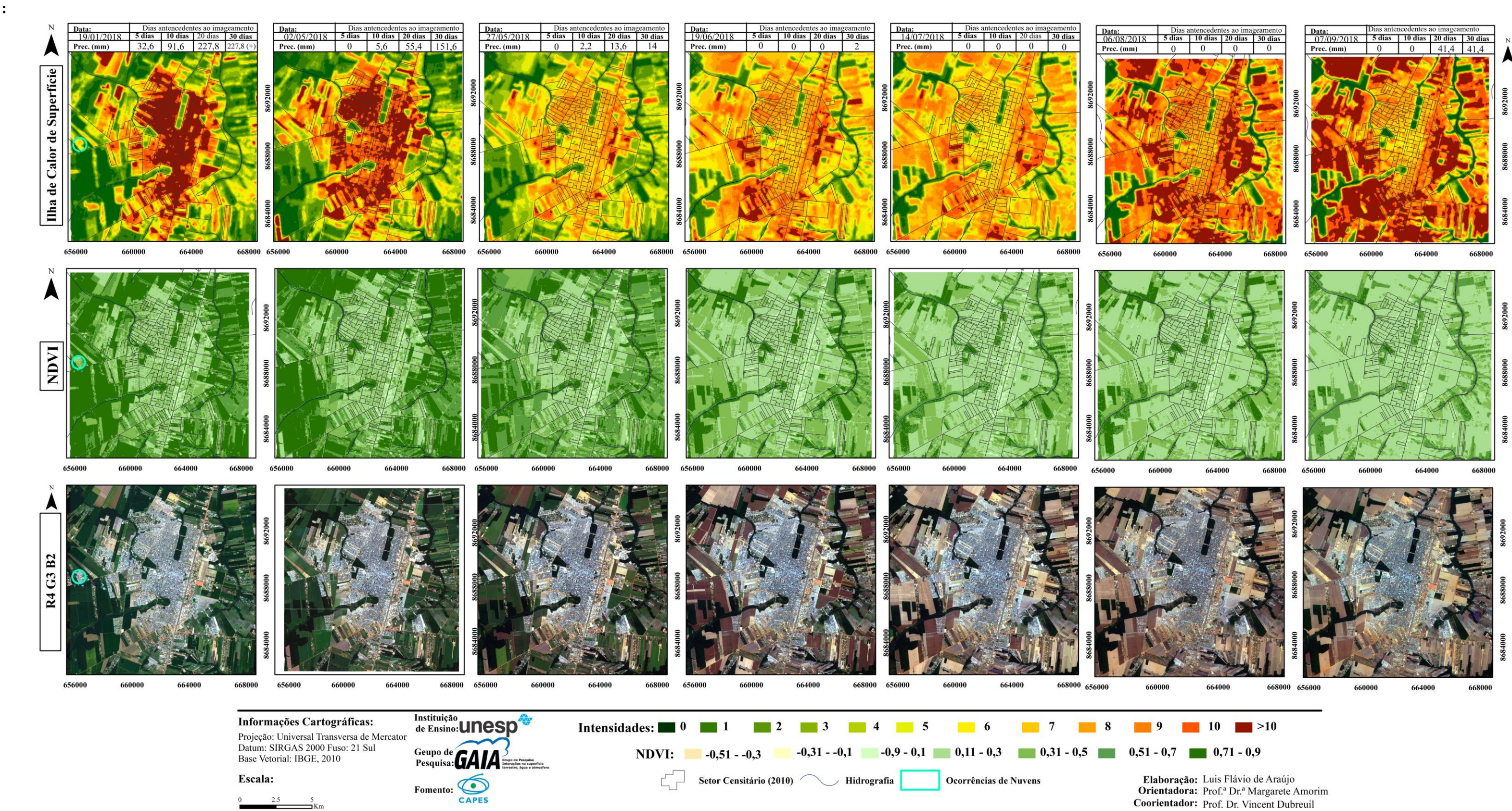
Tomando por base o ano de 2018, com imagens de janeiro, maio, junho julho, agosto e setembro, que abarcam situações atmosféricas diferentes, bem como distintas etapas do calendário agrícola, tem-se a proposição da Figura 24 que apresenta a intensidade da ilha de calor de superfície, NDVI e composição colorida para o recorte selecionado na pesquisa.

A Figura 24 sintetiza as mudanças decorridas em episódios sazonais, se tornando representativa ao englobar distintos períodos da sazonalidade climática (período chuvoso, transição e de estiagem), bem como das fases produtivas vigentes na região – do preparo da terra a colheita. Os três primeiros quadros apresentam os dados referentes a janeiro e dois episódios de maio, que se caracterizam por situações atmosféricas que condicionam grande quantia de umidade e precipitação, bem como pelo período de finalização, em grande parte, da colheita de soja e a semeadura, desenvolvimento e colheita da 2ª Safra do Milho (safrinha) e do algodão, esse último que podendo se estender até o mês de agosto.

O contexto mencionado acima justifica a concentração de elevados valores de NDVI para os meses de janeiro (19/01) e maio (02/05), sobretudo na porção oeste das imagens e pontualmente na porção leste, onde se identificou a predominância dos usos e cobertura da terra característicos da LCZ D_F e confirmada com a representação visual da composição RGB 432¹¹.

¹¹ Sendo as bandas 4, 3 e 2 do Landsat 8 organizadas para a elaboração de imagem colorida em tons reais.

Figura 24: Distribuição sazonal e espacial da intensidade da ilha de calor de superfície, NDVI, e composição colorida (RGB – 432) para Sinop (2018)

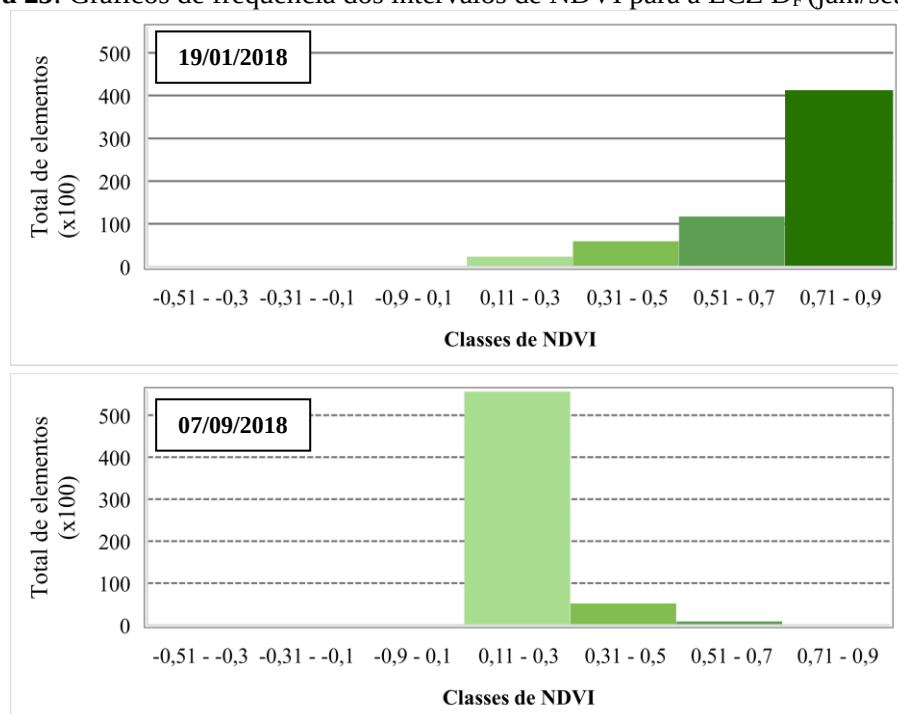


Nota-se que a tonalidade que representa os maiores índices de vegetação das áreas cultivadas se encontra na mesma classe associada as localidades de LCZ A, sobretudo nas reservas ambientais e nos parques urbanos. Isso indica que neste período (janeiro e maio) a vegetação disposta na cobertura da superfície rural apresenta grande atividade fotossintética que proporciona o seu desenvolvimento e “permanência” na paisagem.

Com o avanço da colheita e a aproximação do vazio sanitário da soja em Mato Grosso, entre junho e setembro, percebe-se a mudança gradual nas tonalidades das classes de NDVI, como, por exemplo, no quadro datado de 27/05, em que os maiores valores (entre 0,71 e 0,9) vão se fixando apenas nas áreas de vegetação natural enquanto as áreas cultivadas começam a decair para a classe de 0,51 a 0,7. Essa queda se acentua em 28/06, quando se percebe a predominância do solo exposto no entorno rural e a tonalidade associada ao intervalo de 0,31 a 0,5, até atingir seu ápice, em setembro, com predomínio do intervalo de 0,11 a 0,3.

Em termos quantitativos, a LCZ D_F apresenta, em janeiro, 67,2% dos dados no intervalo de NDVI entre 0,71 e 0,9 (com a moda deste intervalo incidente no valor de 0,84) e 19,2% entre 0,51 e 0,7 (com a moda = 0,67). Enquanto para o mês de setembro, 90% dos dados encontram-se distribuídos no intervalo de 0,11 a 0,3, com a moda destes valores incidente em 0,24, configurando-se como um dos menores intervalos encontrados para esta classe de LCZ. Os gráficos contidos na Figura 25 ilustram esta mudança na distribuição das frequências dos valores de NDVI para janeiro (19/01) e setembro (07/09).

Figura 25: Gráficos de frequência dos intervalos de NDVI para a LCZ D_F (jan./set. 2018)



Ao centrar a análise para a malha urbana e seus componentes, verificou-se que, para as classes de NDVI, predomina a estabilidade mencionada no início deste capítulo, uma vez que ao longo dos sete quadros contidos na Figura 24, a área urbana (incluindo as áreas pouco consolidadas e dos eixos de expansão) abrigou índices entre -0,9 a 0,3, com exceções pontuais onde se apresentava vegetação rasteira e arbórea, tendo a delimitação entre as LCZs 3, 3_B e 6.

As LCZs 8 e 3, devido as suas características de elevada densidade construtiva e pouca presença de vegetação, sobretudo arbórea, ficaram representadas, principalmente, pelo intervalo de -0,9 a 0,1. Este fato justifica a presença da tonalidade de verde mais claro, independente do período do ano, ao longo do Setor Industrial (I, II e III) e no eixo central-comercial da cidade.

Se por um lado as alterações na vegetação apresentam um ritmo bem definido, por outro, a intensidade da ilha de calor superficial se manifesta de maneira complexa, sendo necessária a inclusão de novos elementos para sua interpretação, como a distribuição da precipitação antes da tomada das imagens, as condições atmosféricas e a correlação entre os elementos da cobertura da terra e sua manifestação por meio da temperatura.

Pontua-se que, assim como apontado no tópico “Procedimentos Metodológicos”, o valor de referência para cada mês se deu na extração da média dos valores de temperatura associados a uma área de vegetação a SO da malha urbana, em ambiente rural próximo (categorizado como pertencente a LCZ A), para o cálculo da intensidade.

Os resultados contidos no primeiro quadro, representante do dia 19/01, demonstram que a variação da diferença térmica se deu da classe 0 a classe > 10 (que para este caso indica um aumento de até 16 °C no valor da temperatura, quando comparado ao valor de referência) e apresentou um padrão clássico na espacialização dos valores da intensidade, em que na malha urbana predominou as classes de maiores diferenças térmicas indo de 9 (até 9 °C de acréscimo) a > 10 °C, enquanto no entorno rural vegetado o destaque foi para as classes 0 e 1 (até 1 °C de acréscimo), com presenças de áreas de classe 3 (até 3 °C de acréscimo).

A justificativa para tal distribuição se concentra em dois fatores principais, o primeiro, dado ao elevado NDVI contido no entorno rural (LCZs A, D_F e D) que como já discutido em Ugeda Júnior (2011), Amorim (2020a), Rampazzo (2019), dentre outros, tendem a se constituir como reduto de menores valores de temperatura dada as suas características e interação com a energia solar. O segundo consiste nos sistemas atmosféricos atuantes anteriormente e na tomada da imagem, uma vez que predominaram os sistemas instáveis que contribuíram para o total pluviométrico de 227,8 mm nos 20 dias que antecederam a passagem do satélite e a atuação da

Massa Tropical Atlântica (mTa) nos 3 dias precedentes, que possibilitou a dispersão de aglomerados de nuvens que comprometeriam o imageamento.

A respeito da relação entre a distribuição das diferenças térmicas superficiais com as propriedades de uso e cobertura da terra percebe-se uma intrínseca relação das áreas com alta densidade construtiva e a classe de $> 10^{\circ}\text{C}$, o que justifica a presença da tonalidade de vermelho mais escuro ao longo dos eixos do Setor Industrial e das quadras categorizadas como LCZs 3 e 3_B. Também foram observadas a associação das maiores diferenças de temperatura de superfície com a presença de solo exposto (LCZ F), dado que esta cobertura no período diurno apresenta a característica de maior absorção de energia e consequente aumento de temperatura superficial, se apresentando para janeiro em pontos isolados no entorno rural.

Para o primeiro quadro de maio (02/05), a situação atmosférica predominante dos 20 dias antecedentes da passagem do satélite foi a atuação da mTa – em muitos casos com suas propriedades alteradas, configurando sua continentalização – que impediu o acúmulo de grandes totais de precipitação, bem como a presença de extensas bandas de nebulosidade.

A grande alteração na distribuição da intensidade da ilha de calor superficial para este episódio se dá no recuo da classe > 10 (aqui também indicando acréscimo de temperatura de até 16°C), que passa a se concentrar ao longo do Setor Industrial (porção leste da malha urbana) e quadras pertencentes às LCZs 3 e 3_B, podendo ser encontrada também em pequenas porções de LCZ 6, sobretudo, quando incidente nas áreas de expansão. Quando presente no entorno rural, novamente indica pontos sem nenhuma cobertura na superfície, dado as localidades em que se finalizou a colheita.

As quadras da malha urbana que apresentaram propriedades da LCZ 6, manifestaram valores de intensidade dentro de três classes, desde a classe 8 (até 8°C de acréscimo) até a classe de > 10 , fato em comum com os valores encontrados em janeiro. Essa característica se deu pela heterogeneidade da cobertura da superfície, grande parte permeável com presença ou não de vegetação, e sua localização no contexto urbano.

Como também encontrado em janeiro, para este episódio, as localidades que se associaram as características da LCZ 9, foram também as que apresentaram as menores classes de diferença térmica para uso e cobertura com presença de construções. Esta característica decorre da grande presença de vegetação arbórea e áreas permeáveis, que associadas as condições sinóticas, expressaram valores entre as classes 4, 5 e 6°C , com manchas pontuais da classe 3 (incremento de até 3°C).

O menor intervalo de intensidade, classe 0°C , ficou associado a vegetação arbórea densa que se encontrava, principalmente, fora da malha urbana, em áreas mais extensas e/ou ao longo

dos cursos hídricos. À medida que este tipo de cobertura avançava para o intraurbano ou que apresentavam pequenas descontinuidades, os valores de diferença tenderam a aumentar para as classes de 1, 2 e 3 °C, sendo também os mesmos valores presentes nas áreas cultivadas.

Com o avanço da colheita e consequentemente a mudança na densidade vegetal das áreas de LCZ D_F, tem-se em 27/05, uma mudança gradual na resposta térmica destas localidades, mas ainda semelhantes ao quadro dois. O menor intervalo passou a se concentrar em grandes áreas de cobertura vegetal, não havendo necessariamente uma continuidade na sua espacialização e majoritariamente no entorno rural, com exceção de uma pequena porção no fragmento florestal próximo ao campus da UNEMAT.

No interior da malha urbana três classes de intensidades predominaram, sendo elas a 7, 8 e a 9 °C. O setor comercial, grande parte da porção sul e bolsões localizados em O, NO e solo exposto próximo a cidade, manifestaram valores enquadrados na classe 7 °C e relação com partes das LCZs 3, 3_B, 6 e F.

Os intervalos de 8 a 9 °C se associaram as características densamente construídas com presença de vegetação, grandes construções de baixa elevação e solo exposto, justificando sua representação ao longo das quadras de função “industrial”, áreas de expansão urbana à leste e sudoeste, e nas superfícies em que se finalizou a colheita. As classes 10 e > 10 °C foram menos expressivas neste quadro, sobretudo, quando comparadas com os dois anteriores, e correlacionadas com o interior de grandes extensões de solo exposto já identificados como os maiores valores nos episódios anteriores.

De maneira geral, as principais alterações contidas nesta data se dão nos intervalos predominantes na malha urbana, não superiores a 9 °C, e o avanço gradual das classes de maior diferença térmica partindo da malha urbana rumo ao entorno rural, esta última justificada pelas alterações nos valores de NDVI e no estágio do calendário agrícola.

As informações referentes aos dias 19/06, 14/07, 06/08 e 07/09, apresentam semelhanças nas situações atmosféricas atuantes, com predominância da mTa (e sua derivação mTac), e a massa polar (mPa e mPt), garantindo baixos ou nenhum índice de precipitação acumulada, bem como na padronização das distribuições da intensidade da ilha de calor superficial no meio urbano e rural.

No conjunto dos quatro quadros, a LCZ A englobou as seis primeiras classes das intensidades da ilha de calor superficial, indo de 0 °C – temperatura de referência – a 5 °C e indicando um incremento de duas classes, já que no período chuvoso, janeiro e maio, os maiores valores encontrados para este tipo de cobertura da terra se concentravam em acréscimo de até 3 °C.

Para 19/06, grande parte da malha urbana e alguns pontos de solo exposto se associaram aos intervalos 8 e 9 °C, enquanto a classe 7 esteve vinculada a características, sobretudo das LCZ 3, 3_B e algumas frações da LCZ 6. Ainda para esta data, os maiores valores de intensidade ficaram distribuídos em pequenas porções de transição entre solo exposto e uso urbano, classe 10 °C, e exclusivamente para grandes extensões de solo exposto – classe > 10 °C, com valor máximo igual a 13 °C.

O quadro referente a 14/07 apresenta semelhanças e sutis diferenças quanto a espacialização dos intervalos, quando comparado com a imagem do dia 19/06/2018. Percebeu-se que os valores contidos entre as classes 9 a > 10 °C (tendo como máximo 13 °C) ficaram concentrados nas áreas de solo exposto de uso rural – que neste período cumprem o vazio sanitário – e urbano, abertura de novos loteamentos, sobretudo nos eixos de expansão urbana. As características da LCZ 8, porções de solo exposto e quadras da malha urbana na porção noroeste manifestaram indicadores de diferenças condizentes com o intervalo de até 8 °C de acréscimo, sendo seguidas por grande parte da malha urbana e porções de solo exposto expressando a classe 7 e presença do intervalo de até 6 °C de acréscimo, principalmente, para as áreas mais próximas ao centro da malha urbana.

Com o decorrer do tempo foi possível verificar que os maiores intervalos foram se expandido ao longo das áreas cultiváveis, sendo muitas vezes superiores aos valores contidos no intraurbano. Em 06/08, a classe acima de 10 °C, que continha intensidades que atingiam até 16 °C, em conjunto com a classe 10 englobaram as áreas predominantes de solo exposto (urbano e rural), bem como de uso e cobertura da terra associados a LCZ 8. Os demais intervalos (7, 8 e 9 °C), ficaram associados a malha urbana e porções de solo exposto rural, tendo os valores de até 7 °C de acréscimos, majoritariamente vinculados as áreas consolidadas no processo de implantação da cidade.

O último quadro (07/09) apresenta o máximo da expansão do intervalo > 10 °C (com valor máximo de 16 °C) para o recorte delineado nesta pesquisa e sendo predominante nas áreas de solo exposto urbano e rural. As classes 9 e 10 °C ficaram associadas a pequenas faixas de transição entre o ambiente rural e urbano, bem como demarcou as quadras pertencentes ao setor industrial, LCZ 8, enquanto a malha urbana ficou representada por valores contidos nos intervalos 7 e 8 °C, excetuando a área central que se associou em grande parte a classe de até 6 °C de acréscimo.

Caminhando por uma análise linear no intuito de se chegar a uma síntese, verificou-se que as alterações na espacialização das intensidades da ilha de calor de superfície apresentam duas características principais para o período e a localidade estudada. A primeira, se dá na

expansão dos maiores valores de diferença térmica, saindo de áreas compactas até predominar todo o recorte da carta, enquanto a segunda dá-se na inversão do padrão de aquecimento urbano-rural, ambas mediadas principalmente pelo uso e cobertura da terra, presença/ausência de vegetação densa e características do regime climático anual da região.

Essas características podem ser observadas também na Figura 26, que apresenta a distribuição da frequência das intensidades da ilha de calor superficial para as LCZs predominantes na malha urbana (LCZ 3, LCZ 3_B, LCZ 6 e LCZ 8) e no meio rural (LCZ D_F), para o período chuvoso (janeiro) e pouco chuvoso (setembro).

Inicialmente nota-se que a LCZ 3 apresenta distribuição de frequência semelhante a LCZ 3_B para cada data, com predominância da classe > 10 °C em 19/01 e entre 7 e 8 °C em 07/09. Essa proximidade por data, se dá devido ambas possuírem características semelhantes, com grande parte de impermeabilização, alta densidade construtiva e materiais construtivos similares que interagem com a energia solar e se manifestam de maneira parecida.

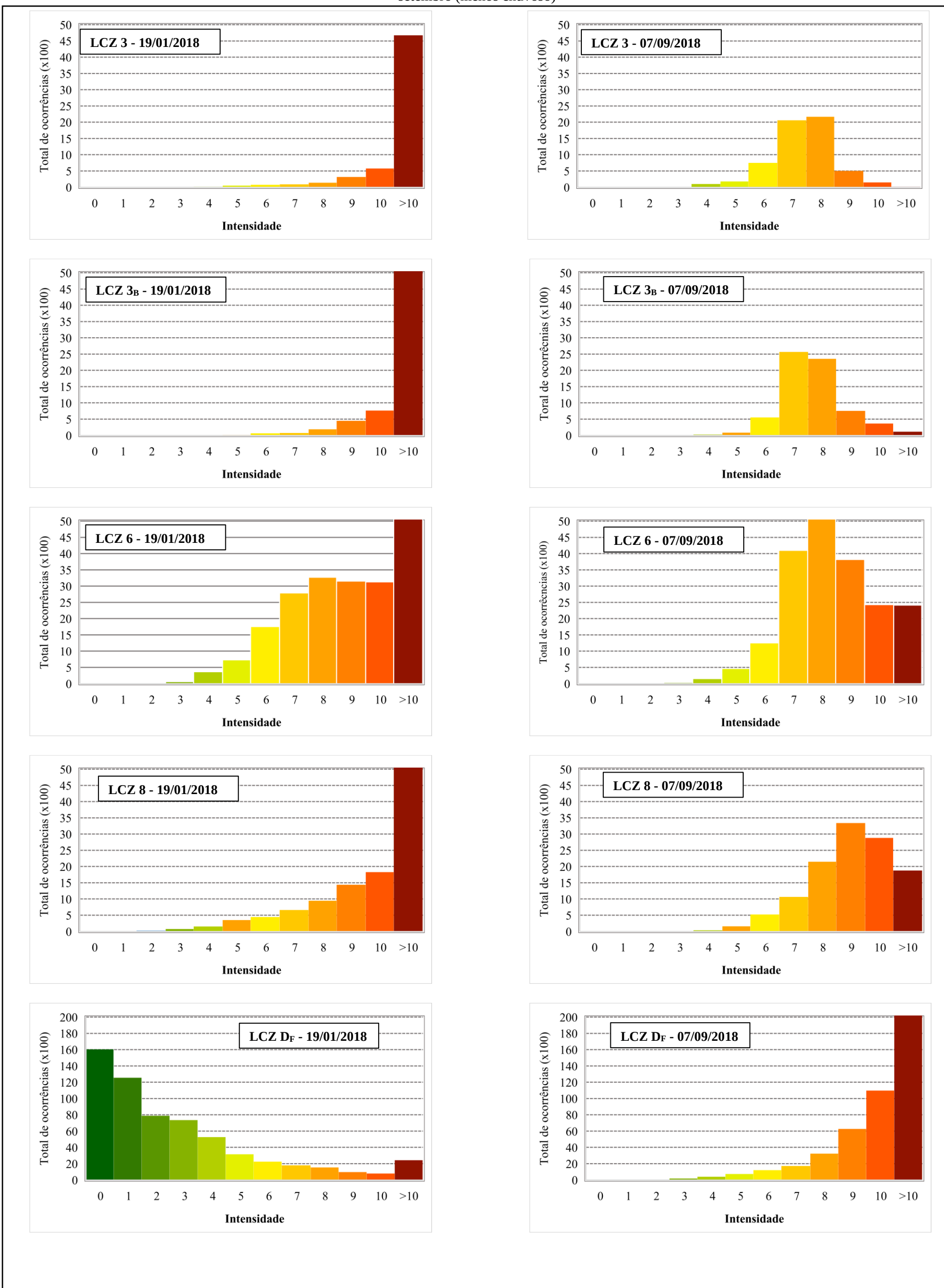
No entanto, ao comparar as duas datas tem-se uma reorganização da distribuição das intensidades que refletem bem as características do regime climático anual. Em janeiro, com o grande volume pluviométrico a vegetação se torna vigorosa, com alta atividade fotossintética e melhor desenvolvimento, fazendo com que não apresente grandes valores de temperatura superficial o que a torna o oposto das áreas construídas (devido os materiais que as compõem), mesmo com presença de umidade no sistema como um todo.

Já para setembro, em que a área passou por um longo período de estiagem (mais de 60 dias), tendo um total de precipitação de 41,4 mm registrada em até 20 dias antes da tomada da imagem, a vegetação natural apresenta os impactos causados pelo estresse hídrico (do solo e até mesmo do ar) com diminuição na densidade e no seu desenvolvimento, aumentando assim o seu intervalo entre a maior e a menor temperatura, podendo atingir valores próximos da área urbana, logo diminuindo as classes de intensidades para este episódio.

Esse cenário também se encontra no contexto das pequenas alterações presentes nas LCZs 6 e 8, aliado a suas características de uso e cobertura da terra. No caso da LCZ 6, tem-se as classes que tendem aos valores mais elevados, devido a presença de construções, no entanto a distribuição da frequência se dá de maneira diversificada dado a sua morfologia (edificações mais espaçadas com presença de áreas permeáveis (vegetadas ou não) e presença de vegetação arbórea), havendo o deslocamento da predominância do intervalo de > 10 °C (18/01) para o 8 °C (07/09).

A LCZ 8 também apresenta valores elevados, independente do período do ano, dado as suas propriedades físicas com amplas construções cobertas por telha de zinco ou fibrocimento,

Figura 26: Distribuição da frequência das intensidades da ilha de calor de superfície para as LCZ 3, LCZ 3_B, LCZ 8 e LCZ D_F, nos meses de janeiro (chuvoso) e setembro (menos chuvoso)



com terreno pavimentado ou de solo exposto. Apresentando apenas uma redistribuição da frequência das classes, que saem da predominância de acima de 10 °C acrescidos, indo para as classes 9 e 10 °C.

A LCZ D_F, como já constatado ao longo da análise, se configura como a classe de uso e cobertura da terra que apresenta as mudanças mais intensas no índice de vegetação e consequentemente na distribuição das intensidades no decorrer do ano. Essa mudança apresenta um caráter de oposição, uma vez que se sai de uma área com vegetação densa e alta atividade fotossintética (mesmo que rasteira), para uma paisagem dominada pelo solo exposto, tendo também como mediador a diferença de precipitação e seus mecanismos.

Assim, o que se percebeu em 19/01 foi a presença de aproximadamente 80% dos valores da intensidade das ilhas de calor superficiais entre as classes de 0 a 4 °C, tendo como predominante a classe dos menores valores possíveis para a data. Aponta-se também, que entre as LCZs comentadas nesta análise, foi esta a que apresentou a maior diversidade dentro da distribuição da frequência, dado que, embora o que predominava neste período fosse terrenos cultivados, havia áreas em que o estágio da produção estava mais avançado (colheita) ou até mesmo finalizados. Enquanto para 07/09 o predomínio se deu na classe > 10 °C e expressivas entre o intervalo de 8 a 10 °C, oriundas não só da falta de cobertura do solo, mas também da baixa umidade do ar e do solo, e da capacidade térmica e do calor específico do solo exposto, que permite seu rápido aquecimento quando interage com a energia solar.

Em síntese, as informações trabalhadas neste item reafirmam características identificadas em outros estudos, bem como apresentam novos cenários de acordo com as particularidades da área estudada. Uma das reafirmações dá-se na intrínseca relação do NDVI com a distribuição da temperatura da superfície, sobretudo nas áreas de uso agrícola, uma vez que a correlação entre essas duas variáveis apresentou coeficiente de correlação (r) igual a -0,8, isto é, uma relação de inversão, em que enquanto uma variável (NDVI ou Intensidade) decrescia a outro crescia.

Outro ponto se dá na importância da contextualização climática (incluindo a distribuição da precipitação antes da tomada da imagem) e da análise em série, já que apenas uma imagem isolada não representaria a complexidade das alterações pelas quais passa a paisagem rural de Sinop, podendo obter resultados parciais que não explicariam, o suficiente, da relação dos elementos naturais com as atividades humanas.

Por fim, do ponto de vista de um padrão, o campo térmico superficial de Sinop se relaciona fortemente com a atividade econômica presente no seu entorno rural e com as características climáticas, gerando no período chuvoso (e de produção) um perfil clássico, em

que a área urbana se mostra mais aquecida que o entorno rural. No período de estiagem e vazio sanitário há mudança radical, sendo que o rural passa a apresentar valores semelhantes ao meio urbano ou, até mesmo, mais elevados.

É válido ressaltar que nessas alterações, o padrão e as distribuições das intensidades das ilhas de calor de superfície, referem-se as propriedades dos materiais (naturais ou não) que se encontram na superfície e se relacionam com a energia solar e com a atmosfera próxima, indicando a interferência humana no nível horizontal e um excelente indicador das transformações na estrutura natural. No entanto, algumas mudanças podem ser encontradas quando analisada a temperatura do ar em conjunto com os demais elementos que configuram a ilha de calor de urbana, bem como semelhanças também possam ser encontradas.

6.1 A variabilidade da ilha de calor atmosférica em Sinop

A identificação da manifestação da produção do espaço urbano sobre os elementos climáticos em Sinop, encontram seu pioneirismo em trabalhos como o de Zamparoni (2001) e Dubreuil *et al.* (2003), que por meio de técnicas distintas encontram resultados que confirmaram, já naquele período, a configuração da ilha de calor urbano na localidade.

Logo, o intuito deste tópico reside na possibilidade de analisar a variabilidade horária da ICU, bem como sua relação com a sazonalidade da distribuição da precipitação e com os sistemas atmosféricos atuantes na escala anual. Para tanto, partiu-se dos dados coletados ao longo do ano de 2018, das estações meteorológicas instaladas em ambiente rural – Ponto R (o Ponto de Referência) e no meio urbano – Ponto 1 (campus do IFMT), já descritos nos capítulos anteriores.

A ferramenta utilizada para esta análise se baseia na elaboração de “tabelas dinâmicas”, apresentadas nos estudos de Amorim e Dubreuil (2017), Dorigon (2019) e Teixeira (2019), na qual tem-se a organização da intensidade da ilha de calor atmosférica (ΔT = temperatura do urbano - temperatura do rural) em função da data e hora desejadas. Salienta-se que os valores de intensidade foram agrupados em classes que expressam a magnitude das ilhas de calor, propostas por Fernández García (1996), em que a ICU pode ser fraca (ΔT entre 0 °C e 2 °C), média (ΔT entre 2 °C e 4 °C), forte (ΔT entre 4 °C e 6 °C) e de magnitude muito forte ($\Delta T > 6$ °C), ou se apresentar como ilha de frescor quando seus valores estão abaixo de 0 °C (MENDONÇA, 1994; AMORIM, 2000; 2020).

Para fins de validação dos resultados aqui apresentados, aponta-se que a análise dos dados climáticos anuais, tiveram valores condizentes com os contidos nas Normais

Climatológicas (1981 – 2010), elaboradas pelo INMET, tendo somente uma pequena variação no total pluviométrico sem que afetasse o padrão de distribuição ao longo dos meses.

A Figura 27 apresenta as tabelas dinâmicas, complementadas com o total de precipitação, direção e velocidade predominantes dos ventos e sistemas atmosféricos atuantes, diariamente, para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril.

Em janeiro o total pluviométrico se apresentou próximo aos valores contidos nas Normais Climatológicas para a área, totalizando 228,8 mm distribuídos em vinte e seis dias. A gênese desse fato se deu na predominância da atuação de sistemas atmosféricos instáveis, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a atuação da Massa Equatorial Continental (mEc).

Em relação a característica térmica mensal, verificou-se a proximidade das temperaturas mínimas diárias ao longo dos dias, não sendo inferiores a 20,9 °C e superiores a 23,5 °C. Os valores de temperatura máxima estiveram, predominantemente, acima de 30 °C, com o maior valor registrado de 35,6 °C. Em termos médios, a temperatura máxima - $T_{máx}$, mínima – $T_{mín}$, e média – $T_{méd}$ – mensal foram, respectivamente, 30,6 °C, 21,9 °C e média de 25,5 °C.

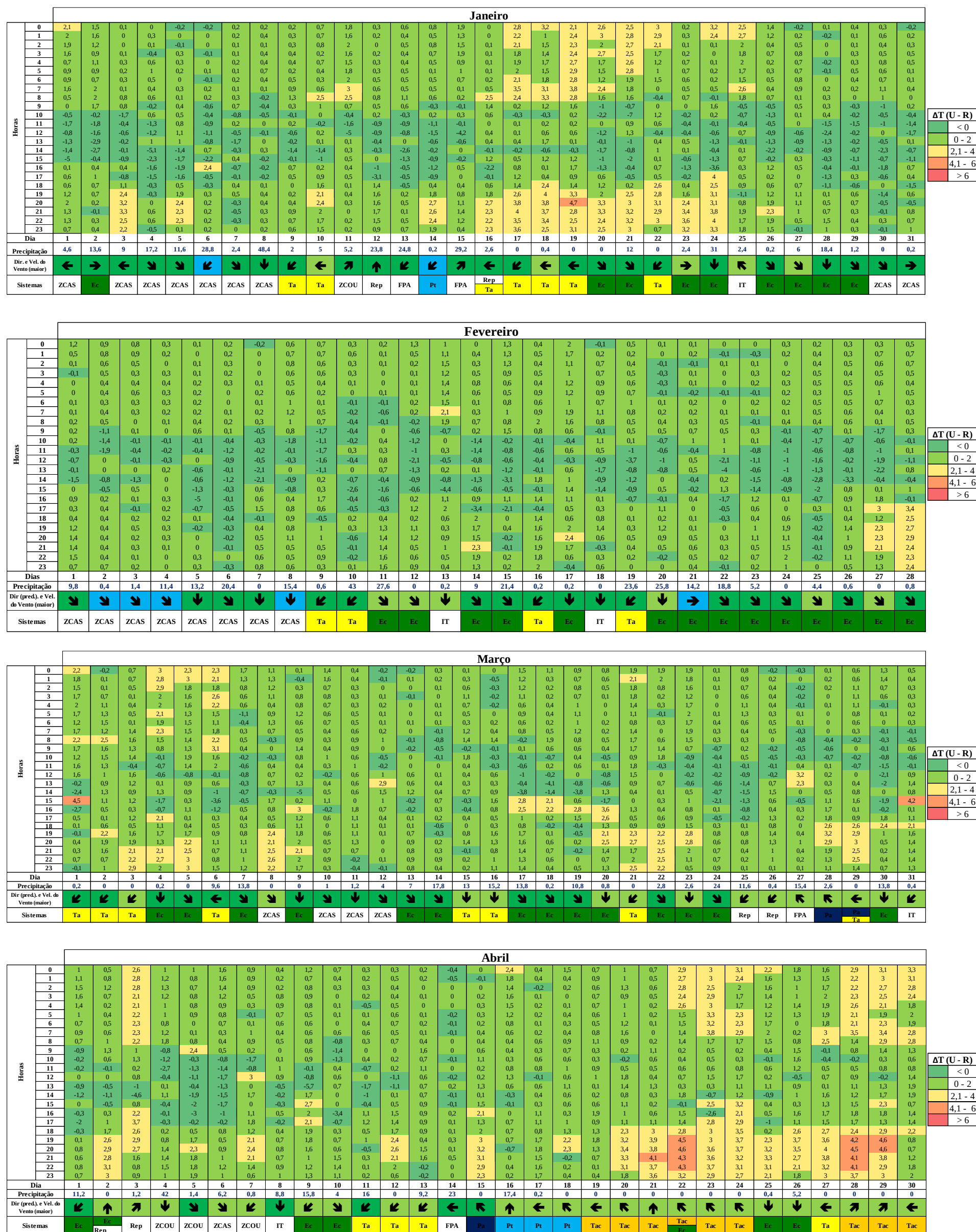
Na distribuição diária das intensidades foi possível observar que, em grande parte dos dias, os valores abaixo de 0 °C, que totalizaram 196 episódios, se concentraram das 10h às 17h, com exceção dos dias 17 a 19 e o dia 21. Houve a predominância mensal de valores que caracterizam a ICU de fraca magnitude entre as 18h e as 9h.

A magnitude média se fez presente em aproximadamente onze dias observados, sendo mais expressiva entre as datas de 16 a 22 e no dia 24. No geral, a presença desta magnitude se deu entre as 20h e as 3h, havendo casos em que o horário final se estendeu, em dias de pouca precipitação e atuação da mTa.

Para fevereiro, a caracterização térmica mensal se deu por valores de temperatura máxima entre 26,6 °C e 33,9 °C, tendo predominância dos valores acima de 28 °C. Os valores de temperatura mínima mensal apresentaram baixa variação, estando entre 21,2 °C e 23,8 °C, com predomínio dos registros acima de 22 °C. Em termos médios, a $T_{máx}$, a $T_{mín}$ e a $T_{méd}$ foram, respectivamente, 30 °C, 22,4 °C e 25,1°C, sendo próximos dos analisados para o mês anterior.

Com a atuação constante de sistemas atmosféricos como a ZCAS e a mEC, fato também observado para o mês de janeiro, o total pluviométrico foi de 267,6 mm (38,8 mm maior que o mês anterior), distribuídos em vinte e dois dias.

Figura 27: Variabilidade diária da ilha de calor de Sinop, para o 1º quadrimestre de 2018



No total dos horários dispostos para o mês de fevereiro, 193 apresentaram valores abaixo de 0 °C com concentração entre as 10h e as 17h, mesmo padrão de janeiro. No entanto, a distribuição das intensidades ao longo do mês apresentou-se mais homogênea, com a persistência da magnitude fraca e somente dois dias com presença expressiva da média magnitude – dias 27 e 28, se iniciando às 17h.

Em março foi observado o início da queda do total pluviométrico, quando comparado com os meses anteriores, registrando 182,2 mm, distribuídos de maneira heterogênea ao longo de vinte e quatro dias. Esse fato se justifica com a atuação predominante da mEc com episódios da mTa, ZCAS e FPA (Frente Polar Atlântica) com seus desdobramentos – repercussão e atuação da mPa.

No que diz respeito ao campo térmico, os valores característicos para o mês foram de 35,1 °C de T_{máx}, com predominância de registros acima de 30 °C, e T_{mín} entre 21,4 °C e 24,9 °C. Em termos médios as temperaturas máxima, mínima e média foram, respectivamente, 31 °C, 22,7 °C e 25,8 °C.

Os episódios com intensidades abaixo de 0°C totalizaram 137 ocorrências, geralmente distribuídos entre as 9h e as 17h, e concentrados em dias com índices de precipitação expressivos, entre 9 mm e 24 mm. Enquanto, novamente, a magnitude fraca se sobressaiu ao longo dos dias, ocupando não só o horário padrão das 18h às 9h, mas também o intervalo em que se verificou os menores valores em janeiro e fevereiro, das 10h às 17h.

Constatou-se também a presença de intensidades associadas à média magnitude da ilha de calor, sendo sucessivas entre as datas de 3 a 6, 20 a 22 e 28 a 29 de março, e isoladas no dia 8. Caracterizada por seu início após o pôr do Sol (18h) e, em poucos dias, persistente até os primeiros horários da madrugada, configurada, principalmente, em dias com pouca precipitação registrada.

Finalizando esse primeiro quadrimestre, caracterizado pela atuação dos sistemas instáveis que proporcionam nebulosidade, umidade e altos índices de precipitação, tem-se as informações do mês de abril, que apresentou predominância de valores de temperatura máxima acima de 30 °C, tendo sido o maior valor igual a 33,3 °C. As temperaturas mínimas diárias estiveram próximas, não sendo inferiores a 20,6 °C e superiores a 23,7°C. Em termos médios, o mês de abril ficou representado pelos registros de 31,3 °C de T_{máx}, 22,7 °C de T_{mín} e 25,9 °C de T_{méd}.

O total pluviométrico apresentou a tendência de queda iniciada em março, totalizando 162,8 mm, tendo sua distribuição concentrada nos dezesseis primeiros dias do mês, igual a 157 mm. A concentração mencionada anteriormente deu-se em episódios de atuação dos sistemas

atmosféricos instáveis de ZCAS, Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Instabilidade Tropical (IT), FPA (e seus desdobramentos) e atuação da mEc, enquanto nos demais dias (sem registro de chuvas) predominou a mTa e situações de sua continentalização (mTac).

Partindo das características apontadas, percebeu-se que a distribuição das intensidades apresentou certa dinamização, sobretudo, na segunda quinzena do mês. No entanto, os valores associados a magnitude fraca persistiram em grande parte dos dias, seguindo o padrão de concentração entre as 18h e as 9h, na primeira quinzena, ocupando até mesmo os horários, entre as 10h e as 17h entre os dias 15 e 30 de abril.

Os valores abaixo de 0 °C se concentraram entre os dias 1 e 11, totalizando 90 episódios e distribuídos nos mesmos horários dos meses anteriores, com exceção do dia 14 em que essa classe de intensidade teve duração nas primeiras horas do dia. No fim do mês se percebeu a caracterização da ilha de calor de magnitude média, inicialmente, presente no primeiro horário após o pôr do sol (18h) e se estendendo a partir do dia 21 para horários da manhã (6h e 7h), geralmente sob a atuação da massa tropical atlântica continentalizada – com redução de umidade – e por sucessivos dias sem precipitação.

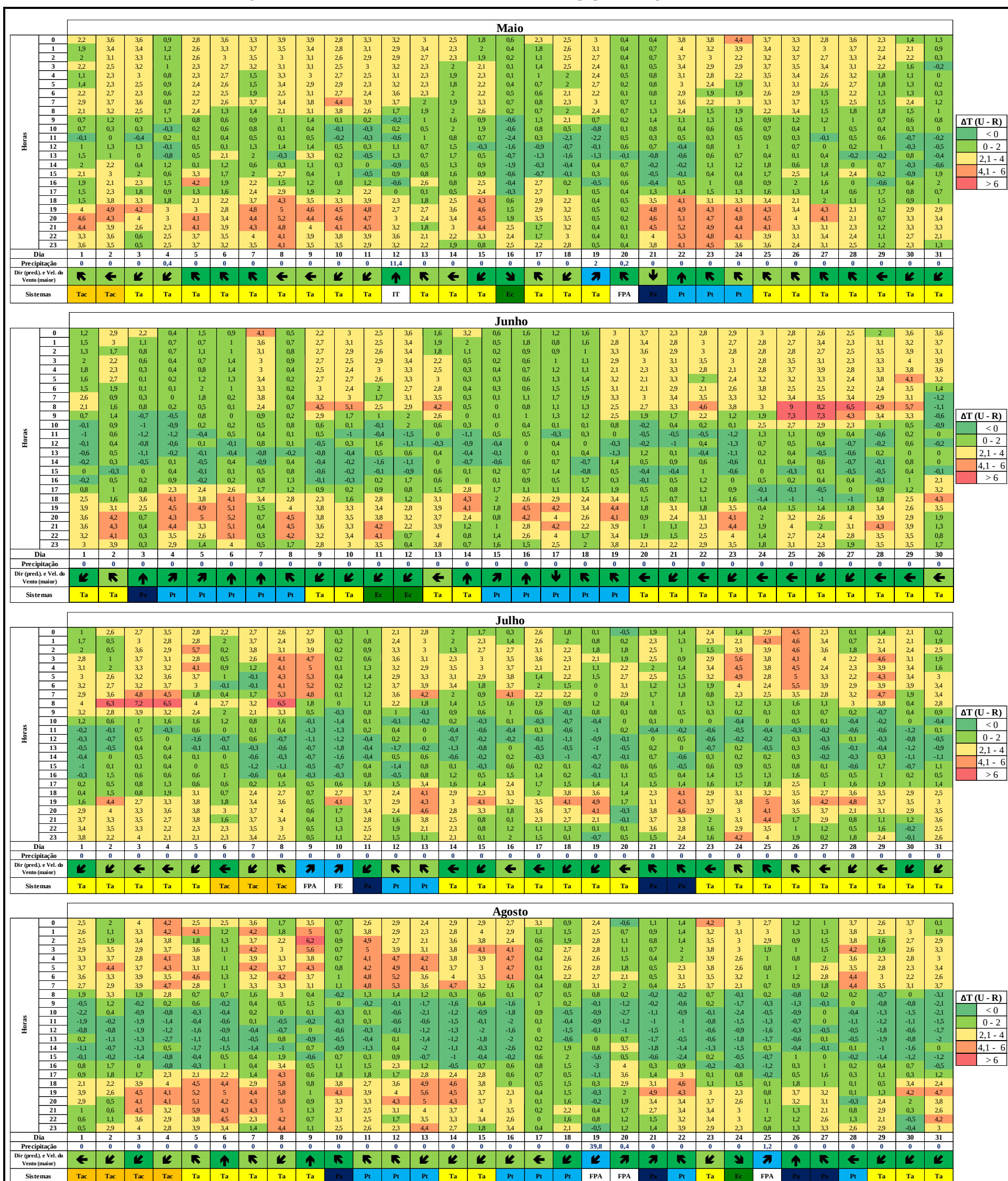
Também foi possível constatar que nos dias 22, 28 e 29, no intervalo entre as 19h e as 22h – e até às 20h para a última data – houve a tipificação da ilha de calor de magnitude forte, associada a dias sem precipitação e atuação da mTac, sendo o mês em que essa magnitude foi mais frequente, para o intervalo de janeiro a abril.

O segundo quadrimestre (Figura 28) foi marcado pela passagem do outono e predomínio do inverno, de junho a agosto, e caracterizado pelo declínio dos índices de precipitação, podendo chegar a 0 mm, e da temperatura mínima diária. Houve maior atuação do sistema frontal, massa polar, massa polar tropicalizada (mPt) e sistemas que proporcionaram a estabilidade e contribuíram para a diminuição da umidade do ar, como a mTa e a mTac.

Em maio o total pluviométrico permaneceu em queda como é típico para a sazonalidade da área de estudo, totalizando 14 mm, sendo 11,4 mm registrado em apenas um dia. Esse cenário se justifica pela intensa atuação da mTa, sem a presença de espessas camadas de nebulosidade, em muitos casos responsável pela estabilidade atmosférica, e episódios da FPA, mPa, mPt e IT – principal responsável pela chuva no mês.

A caracterização térmica mensal, em termos médios, foi de 32,5 °C para a T_{máx}, 21,8 °C para a T_{mín} e 26,9 °C para a T_{méd}. Em valores absolutos, os registros das máximas diárias ficaram, predominantemente, acima de 31 °C, com o maior valor igual a 33,7 °C. As temperaturas mínimas ao longo do mês estiveram concentradas entre 20 °C e 23,9 °C com exceção em três dias, em que registraram 17,9 °C, 19 °C e 19,2 °C.

Figura 28: Variabilidade diária da ilha de calor de Sinop, para o 2º quadrimestre de 2018



Logo, em conjunto com as características apresentadas anteriormente, foi possível constatar que os valores abaixo de 0 °C se apresentaram num intervalo diferente dos encontrados anteriormente, estando concentrados entre as 12h e as 15h e totalizando 62 episódios. Sua maior manifestação se deu no dia 16 sob a atuação da mEc e céu completamente coberto pela nebulosidade.

As intensidades associadas a fraca e média magnitudes da ICU, apresentaram certo “equilíbrio” no decorrer dos dias, totalizando, respectivamente, 327 e 319 episódios. A magnitude fraca se deu, prioritariamente, entre as 9h e as 17h, com exceções pontuais associadas a precipitação (e consequente nebulosidade) e sistemas de instabilidade como a FPA.

A distribuição da magnitude média acompanhou o padrão apresentado no final de abril, com início às 18h e persistência, na maior parte dos casos, até as 8h. No entanto, foi observado também, que sob a presença de precipitação, nebulosidade e atuação da FPA e da mPa, houve alteração neste padrão, que permitiu a substituição desses valores de intensidade pelos característicos da fraca magnitude – de 0 °C a 2 °C –, como observados nos dias 04, 19, 20 e 21 de maio.

O destaque de maio em comparação com o período de janeiro a abril, se deu pela manifestação de episódios consideráveis de ilhas de calor de forte magnitude, registradas entre as 19h e as 23h, mesmo com a presença da mPa e mPt, sendo observados em quinze dias, geralmente sucessivos, com exceção do dia 15.

Em junho, acompanhando as características climáticas sazonais, verificou-se que os principais sistemas atmosféricos atuantes foram a mPt e mTa, que não possibilitaram o registro de precipitação para o período, sobretudo porque em grande parte dos episódios a condição era de céu aberto, permitindo a estabilidade das condições atmosféricas locais.

No que diz respeito aos dados termais característicos, aponta-se que o mês de junho apresentou valores de temperatura máxima acima de 30 °C ao longo dos dias, com exceção do dia 02 em que a máxima registrada foi de 29,7 °C. As temperaturas mínimas registradas não foram inferiores a 16,7 °C e superiores a 22,7 °C, tendo a concentração dos valores abaixo de 19,8 °C. Em termos médios, a T_{máx}, a T_{mín} e a T_{méd} foram de 32,4 °C, 19 °C e 25,5 °C, respectivamente.

Os valores abaixo de 0 °C de intensidade se concentraram entre as 9h e as 16h, e se fizeram presentes em grande parte dos dias, independentemente do sistema atuante. A magnitude fraca persistiu em 320 episódios e intercalando com valores de intensidades superiores a 2 °C nos horários das 0h às 8h, quando se fazia presente a mPa e mPt.

O mesmo padrão de magnitudes média e forte apresentado no mês anterior, se fez presente para este mês (junho), em que a primeira, se estendeu das 18h às 8h, e a segunda se concentrou entre as 18h e as 20h, havendo a sua presença em horários isolados de seis dias. Novamente, houve a mudança no padrão de distribuição da média magnitude nos primeiros horários do dia, mediada pela atuação da mPa e mPt entre os dias 3 e 8, e 15 e 18 de junho. Derivada, da queda da temperatura e consequente diminuição do valor de intensidade nos horários citados, ocasionada pelos sistemas atuantes.

Para julho, seguindo as características climáticas sazonais, não se constatou registros de precipitação, tendo esse fato ocorrido devido a predominância da atuação de sistemas atmosféricos que reforçaram os mecanismos de estabilidade, como a atuação da mTa e mTac, que dificultaram a presença de nebulosidade e garantiram condições de céu ao longo dos dias. Em oito episódios, verificou-se a atuação da FPA, mPa e mPt, acompanhadas apenas pela queda da temperatura.

A caracterização térmica mensal se deu em temperaturas máximas diárias acima de 32°C, com exceção em três dias, tendo o maior registro de 35,6 °C. Os valores de temperatura mínima estiveram distribuídos entre 12,4 °C e 21,3 °C, com concentração dos dados abaixo de 20 °C. Em termos médios, a T_{máx} foi de 33,7 °C, a T_{mín} foi 19,6 °C e a T_{méd} fechou em 26,4 °C.

O total de episódios com intensidades abaixo de 0 °C foi de 125, estando distribuídos entre as 10h e as 16h. Como verificado em todos os meses anteriores, a magnitude fraca foi predominante, com 307 ocorrências, e verificada, principalmente, durante o dia com episódios durante a noite.

A magnitude média se manifestou entre as 18h e as 8h, com exceções nos dias de atuação da FPA, da Frente Estacionária (FE) e mPa, nos dias 9, 10, 11 e 22. Também se verificou intensidades características da ICU de magnitude forte, no entanto a grande diferença se deu na sua presença persistente, nos primeiros horários do dia – entre as 0h e as 8h.

Finalizando o quadrimestre, o mês de agosto apresentou características semelhantes aos três meses anteriores, tanto na distribuição das intensidades, sistemas atmosféricos atuantes, nos valores de temperatura mensais e na queda da umidade relativa do ar.

O mês de agosto marca a fase inicial da retomada da precipitação para a área, tendo sido registrado um total pluviométrico de 41,4 mm, do quais 39,8 mm foram identificados em apenas um dia, dado a atuação da FPA. Também notou-se a atuação de sistemas como a mPa, mPt, mTa e mTac, tendo os dois últimos como a gênese de condições de estabilidade atmosférica.

No que diz respeito as características térmicas do mês, verificou-se que a temperatura mínima diária esteve concentrada em valores abaixo de 22 °C, mas não sendo superiores a 23,3 °C e inferiores a 16,3 °C. Os valores de temperatura máxima estiveram, predominantemente, acima de 33 °C, sendo o maior registro igual a 37,3 °C. As temperaturas em valores médios da máxima, mínima e média mensais, foram iguais a 35,5 °C, 21 °C e 27,8 °C, respectivamente.

Os dados apontam a persistência da magnitude média no período entre as 18h e as 8h, com exceção dos dias em que houve a atuação da mPa (dias 10, 21, 26 e 27), mPt (dias 17 e 18) e da FPA (dias 19, 20 e 25). Percebeu-se também a acentuação dos valores característicos da ICU de magnitude forte, não só após o pôr do sol, mas inclusive nos primeiros horários da manhã (entre as 3h e as 8h).

Ademais, obteve-se o mesmo padrão observado anteriormente, com predomínio dos episódios de ilha de calor de fraca magnitude, sobretudo com a atuação dos mecanismos de instabilidade. A distribuição dos valores abaixo de 0 °C, foi concentrada entre as 9h e as 15h, e mais expandida na data em que ocorreu a maior precipitação (19/08).

De modo geral, o quadrimestre apresentou alguns episódios de magnitude muito forte, sendo pouco expressivo para o período e principalmente encontrados nos horários da manhã após a exposição da energia solar com predominância de céu aberto, poucas nuvens e baixa velocidade dos ventos.

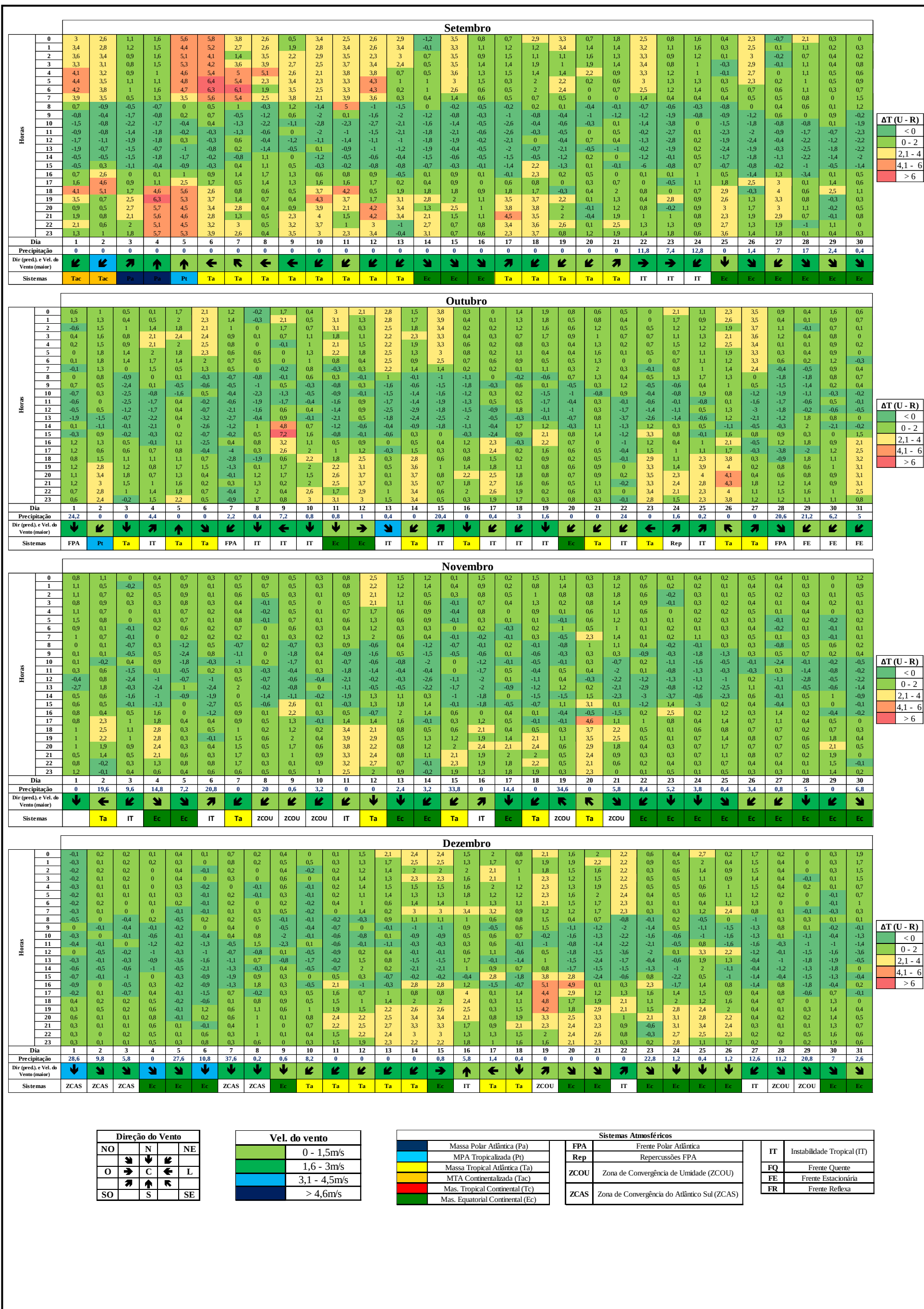
O último quadrimestre (Figura 29) marca a retomada dos elevados totais pluviométricos, aumento da umidade relativa do ar e queda na amplitude térmica diária, com a transição bem demarcada em setembro e a presença de sistemas atmosféricos instáveis como a ZCAS, ZCOU e mEc.

Em setembro, percebeu-se o aumento do total pluviométrico na comparação com o mês de agosto, tendo sido registrado 60,2 mm distribuídos em oito dias (da segunda quinzena do mês) com concentração de 17mm no dia 28. A justificativa para esse cenário de retomada da precipitação se dá por meio da presença de sistemas como a Instabilidade Tropical e a atuação da mEc, após o predomínio da mTa.

A caracterização térmica mensal se deu em valores de temperatura máxima predominantemente acima de 33 °C, com maior registro igual a 37,8 °C. Os valores representativos de temperatura mínima estiveram distribuídos entre 15,2 °C e 24,9 °C, com concentração de episódios acima dos 20 °C. Em termos médios, a temperatura máxima, mínima e média, foram, respectivamente, 35,4 °C, 21,9 °C e 27,9 °C.

A distribuição das intensidades demarca este período de transição, apresentando o padrão bem definido dos dias sem precipitação, bem como o dos dias com consideráveis

Figura 29: Variabilidade diária da ilha de calor de Sinop, para o 3º quadrimestre de 2018



ocorrências de chuvas. Entre os dias 1 e 14, verificou-se que no período noturno e nas primeiras horas do dia, a ICU manteve as características das magnitudes média e forte, com episódios isolados de forte magnitude, se reorganizando, principalmente, para valores abaixo de 0 °C e de magnitude fraca entre as 8h e as 17h, como verificado no quadrimestre anterior.

Com a elevação da umidade relativa do ar, oriunda da atuação da mEc intercalada com a mTa, entre os dias 15 e 21, percebeu-se a alteração do cenário descrito no parágrafo acima, tendo grande parte dos horários caracterizados pela magnitude fraca, com os valores abaixo de 0 °C concentrados entre as 8h e as 16h. Esse padrão se manteve nos últimos dias do mês, em que predominou a atuação de mecanismos de IT e a mEc, mas ainda apresentando em episódios específicos a magnitude média.

Em outubro o total pluviométrico apresentou a tendência de aumento iniciada em setembro, registrando 145,6 mm distribuídos em vinte dias. A causa desse fato se deu pela constante atuação de sistemas atmosféricos instáveis como a FPA, FE e IT e em alguns episódios de presença da mEc.

Na caracterização térmica mensal, observou-se que as temperaturas mínimas diárias estiveram próximas ao longo dos dias, não sendo inferiores a 21 °C e superiores a 24,1 °C. Os valores de temperatura máxima estiveram, predominantemente, acima de 30 °C, tendo seu maior registro em 36 °C. Em termos médios, as temperaturas máxima, mínima e média, foram 33,3 °C, 23 °C e 27,1 °C, respectivamente.

No que tange a caracterização da ICU para este período, notou-se a concentração dos valores abaixo de 0 °C no intervalo das 8h às 16h, como encontrado em grande parte do ano, e a identificação da magnitude fraca nos horários noturnos e nas primeiras horas do dia, garantindo assim esta classe como a dominante ao longo do mês. No entanto, em episódios específicos associados a baixa precipitação, ocorreu a presença da média magnitude oscilando entre horários da manhã e da noite, não sendo superior a cinco dias consecutivos.

Os dois últimos meses do quadrimestre apresentaram características semelhantes tanto no acumulado de precipitação, quanto na distribuição das intensidades de temperatura e diversidade dos sistemas atmosféricos.

O mês de novembro apresentou um total de precipitação igual a 223,8 mm disposto em vinte e dois dias, com predomínio da atuação da mEc. Dado o aumento da umidade relativa e dos sistemas instáveis, os valores da temperatura máxima e mínima diárias se encontraram bem representadas nos valores médios, sendo 31,4 °C (Tmáx), 22,8 °C (Tmín) e 25,9 °C de média. Enquanto para dezembro, o total pluviométrico foi de 217,4 mm, também distribuídos em vinte e dois dias, sob atuação persistente da ZCAS, mEc e episódios de mTa. As temperaturas

máxima, mínima e média, foram iguais a 31,7 °C, 22,2 °C, 25,3 °C, em termos médios, sendo representativas aos dias, dado as condições de instabilidade atmosférica para o período.

No que condiz às intensidades diárias, percebeu-se a predominância da fraca magnitude, sobretudo quando foi registrada precipitação. As intensidades abaixo de 0°C estiveram concentradas das 8h às 16h, mesmo em episódios em que não apresentaram as características predominantes do mês.

Como verificado no primeiro quadrimestre, também caracterizado por elevados totais de precipitação, a presença da magnitude média se deu de forma alternada (oscilando entre manhã e noite), em episódios com pouca ou nenhuma precipitação (salvo algumas exceções) não se estendendo por vários dias como no período de estiagem.

De modo geral, a análise da variabilidade diária e mensal da ilha de calor atmosférica em Sinop permite o encontro de similaridades e diferenças com outros estudos, bem como possibilita o traçar de características que venham a auxiliar no contexto das demais ações realizadas nesta pesquisa.

O primeiro apontamento a ser realizado, consta na permanência de diferenças térmicas entre o urbano e o rural que atestam a presença da ilha de calor urbano em Sinop ao longo do ano, sobretudo entre os horários da manhã – das 0h às 8h – e da noite – das 19h às 23h –, mesmo que sendo de fraca magnitude.

O segundo ponto, consiste na diferença da distribuição dos valores de intensidade entre o período com maior acúmulo de precipitação e o de menor ou nenhum registro desse fenômeno. O principal contraste entre esses meses se dá na intensificação e maior duração das magnitudes mais altas, média e forte, para os dias seguidos de baixa ou nenhuma precipitação, e a predominância da magnitude fraca e da expansão da ilha frescor quando se fazia presente episódios de chuvas.

Possíveis justificativas para este fato podem ser encontradas ao associar os valores da temperatura com as condições atmosféricas do período. Em situações com intensa nebulosidade há a ocorrência de dois fatores principais, o primeiro, consiste na diminuição da radiação solar direta que chega na superfície, dificultando assim o acúmulo de grande quantidade de energia pelos materiais do meio urbano, que será posteriormente liberada para a atmosfera. O segundo, dá-se na retenção, pela barreira de nuvens, de grande parte da radiação de ondas longas provenientes da Terra, bem como a intensificação da contraradiação que auxilia a diminuição da amplitude térmica de dado local (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Associados aos dias de nebulosidade e precipitação, tem-se a presença de mecanismos que estimulam a circulação dos ventos e conseqüentemente a mistura do ar sobrejacente as

superfícies de características distintas, que permite a homogeneização da temperatura do ar da cidade e do rural, e a diminuição dos valores de intensidade.

É preciso apontar também o papel do vapor d'água dentro deste processo de distribuição diferenciada de intensidade da ICU, pois, como verificado em Amorim (2020a), no período chuvoso a presença da água na atmosfera, sobretudo no meio rural, dificulta a ascensão do calor para longe da superfície fazendo com que a temperatura do ar urbano e rural, na madrugada, estejam próximos, alterando assim o padrão da ilha de calor.

Já para os períodos de estiagem, a baixa concentração de umidade e/ou condições de céu aberto (ou com poucas nuvens), dificulta a manutenção do calor próximo a superfície, permitindo que o ambiente rural se resfrie mais rapidamente dado a capacidade térmica dos elementos que o compõe, isto é, com a ausência da barreira de nuvens boa parte da energia de ondas longas emitidas pela superfície é perdida para as camadas superiores da atmosfera, permitindo o resfriamento da camada de ar sobrejacente e o aumento da amplitude térmica diária.

O terceiro ponto dá-se na caracterização dos horários das 9h às 16h, em grande parte dos dias, como sendo o período em que o fenômeno urbano pouco influencia na caracterização da ilha de calor, uma vez que a temperatura da cidade se apresenta ligeiramente abaixo dos valores registrados no rural, sobretudo no período chuvoso. Configuração semelhante foi observada em Teixeira (2019) para a cidade de Santo Anastácio, de março a dezembro, entre as 8h e as 11h, e em Amorim (2020b) para Presidente Prudente, no mês de julho de 2019, predominantemente no intervalo das 10h às 14h.

O quarto apontamento deriva da relação dos valores da intensidade de temperatura com os sistemas atmosféricos atuantes que possibilitam a identificação de mecanismos que acentuam ou descaracterizam a ilha de calor urbano. Notou-se que a predominância dos sistemas característicos de instabilidade – ZCAS, ZCOU, IT, FPA e FE –, possibilitam, de modo geral, a presença da magnitude fraca ao longo dia, mediada pelos elementos citados anteriormente (nebulosidade, ventos e precipitação).

Já a persistência das condições atmosféricas estáveis, oriundas da atuação da mTa, mTac, mPa e mPt (esses últimos com algumas exceções), permitiram o maior desenvolvimento das magnitudes média e forte (tanto na escala diária, quanto na mensal), sobretudo no segundo quadrimestre do período analisado.

Algumas exceções ao ponto anterior devem ser ressaltadas, como exemplo a alteração no padrão das magnitudes mais elevadas (média e forte) no período chuvoso e alguns episódios do período seco, em função da atuação da mPt e mPa. Esse fato decorre das características com

as quais a massa chega na localidade, assim, quando mais “fria” tende a uma homogeneização inicial da temperatura e quando mais veloz há a ocorrência de processos turbulentos no ar sobrejacente nos meios urbano e rural modificando o padrão das intensidades.

Em síntese, os resultados aqui apresentados permitem afirmar que a ilha de calor urbano em Sinop, é mais intensa no período noturno e em condições de estabilidade; bem como apresenta um ritmo anual derivado da circulação sazonal da atmosfera, correlacionada intrinsecamente com os níveis de precipitação acumulada, que em muitos casos anula até mesmo a expressão do urbano na camada atmosférica próxima a superfície.

Por fim, ressalta-se que ao partir da análise clássica da ilha de calor, isto é, da comparação de apenas dois pontos e suas características, os resultados apresentam uma generalização da realidade que podem se manifestar de maneira diferente ao longo do espaço urbano e sua morfologia. No entanto, permanecem representativos para a diferença urbano-rural no geral, bem como na relação da produção da cidade com a alteração dos elementos climáticos na escala local, permitindo a identificação de sua variabilidade anual.

7. A ESPACIALIZAÇÃO DA ILHA DE CALOR: os episódios de agosto e setembro de 2020

Como discutido e apresentado no tópico anterior, o fenômeno da ilha de calor em Sinop apresenta um padrão de distribuição temporal bem definido, sobretudo quando associado as situações atmosféricas atuantes, caracterizando-o na escala horária e mensal. No entanto, como os pontos fixos se restringiram em apenas dois, não se pôde averiguar se esse padrão se manifesta também na escala horizontal – em demais pontos da área estudada.

O intuito deste tópico reside em analisar e caracterizar a espacialização da ilha de calor presente em Sinop, relacionando-a com as condições atmosféricas diárias e as propriedades que compõem a paisagem urbana e rural. Para tanto, trataremos do assunto por meio de três vias, sendo a primeira por meio da comparação da variabilidade diária da ilha de calor entre os quatro pontos fixos; a segunda, mediante a análise das campanhas de aferição itinerante da temperatura do ar e sua relação com as propriedades paisagísticas dos trajetos; e, por fim, a terceira se dando na espacialização dos dados coletados com a utilização da modelagem espacial (estatística).

Ressalta-se que todos os dados aqui trabalhados foram coletados no período de 27/08/2020 a 27/09/2020, isto é, na transição entre o inverno e início da primavera, que apresentaram características sazonais como pouca precipitação, elevada temperatura máxima do ar e significativa queda na umidade relativa do ar. No que diz respeito a paisagem rural, ficou marcada pelo vazio sanitário, mantendo assim grande parte das áreas cultiváveis em solo exposto.

A Figura 30 apresenta a comparação da variabilidade diária da ilha de calor entre os pontos fixos de coleta P1 (campus do IFMT), P2 (Residência próxima ao centro da cidade) e P3 (espaço residencial fechado Reserva Celeste II, na faixa de expansão urbana), bem como as situações atmosféricas atuantes, uma síntese da frequência mensal da direção e velocidade dos ventos e a composição da área de influência, raio de 200 m, com a participação das LCZs.

Como tratado no item 5.1 (p. 74), o ponto de referência (PR) se encontra na porção rural a sudoeste da malha urbana e representa, no raio de 200m, características da LCZ 9 (65% - áreas com construções esparsas e presença de vegetação), LCZ A (22% - vegetação arbórea densa) e LCZ D_F (13% - área de vegetação rasteira, sazonalmente ocupada por solo exposto, associada a áreas cultiváveis). O P1 - Campus do IFMT - apresenta características paisagísticas associadas, principalmente, à LCZ 3_B (63% - construções compactas de baixa elevação e presença de vegetação arbórea esparsa), assim como das LCZs 8 (32% - grandes construções de baixa elevação) e LCZ 3 (construções compactas de baixa elevação).

Embora se encontrem espacialmente próximos, o P1 e o P2 (residência nas proximidades do centro), representam propriedades construtivas diferentes, sendo o P2 associado com as LCZs 3_B (63%), 8 (32%) e 3 (5%), o que indica a diversidade da paisagem urbana, mesmo em um curto espaço. Já o P3 (Residencial Reserva Celeste II), apresenta a maior diversidade paisagística, dado se inserir em área de expansão urbana, sendo seu raio de influência (200m) composto pelas LCZs 3 (44%), B (26% - vegetação arbórea esparsa), 3_B (20%) e 6 (10% - construções espaçadas e de baixa elevação).

Na caracterização climática do período (27/08 a 27/09/2020), contida na Figura 30, verificou-se que o total pluviométrico registrado foi de 11,2 mm, sendo 11mm concentrados em apenas um dia, dado a atuação da mEc que antecedeu episódios de IT, FPA e seus desdobramentos (mPa e mPt). Também notou-se a predominância de sistemas atmosféricos que reforçaram os mecanismos de estabilidade como a mTa e mTac, possibilitando condições de céu claro (sem nebulosidade) e consequente ausência de precipitação.

Em relação a caracterização térmica, observou-se que as temperaturas mínimas diárias estiveram próximas na sucessão dos dias, não sendo inferiores a 20,9°C e superiores a 24,9°C. Os valores de temperatura máxima estiveram, predominantemente, acima de 36°C, tendo seu maior registro em 38,1 °C. Em termos médios, as temperaturas máxima, mínima e média, foram 36,1 °C, 22,7 °C e 29,5 °C, respectivamente.

Traçando um diálogo entre as informações citadas anteriormente e dos dados contidos no primeiro quadro (referente ao P1) da Figura 30, com os observados para o mesmo período no ano de 2018, constata-se algumas diferenças e semelhanças que se apresentam detalhadas a seguir.

A primeira diferença consiste no total pluviométrico que para o período de 27/08/2018 a 27/09/2018 foi de 40,4 mm; a segunda diz respeito aos valores de temperatura mínima, que em 2018, para o período aqui analisado, registrou T_{mín} igual a 15,2 °C, apresentando ainda dois valores abaixo de 20 °C, já em 2020, a menor T_{mín} foi 20,9 °C sendo encontrada somente uma vez, estando todos os outros dias acima de 21 °C; a terceira se deu no total de episódios que apresentaram características associadas a ICU de média magnitude, sendo 49 casos em 2018 e 30 em 2020; a quarta, por fim, se apresenta com a alteração do padrão de distribuição dos valores abaixo de 0°C, que em 2018 se estendiam, predominantemente, das 8h às 15h, enquanto para 2020 passaram a se concentrar entre as 7h e as 13h.

As semelhanças se iniciam com o predomínio das condições atmosféricas estáveis (com atuação da mTa e mTac), com algumas exceções pontuais que acarretaram em episódios de precipitação (sob atuação da IT ou FPA ou mEc), perpassando pela persistência de valores

característicos da ICU de fraca e média magnitudes; concentração de episódios de média magnitude após às 17h até às 6h (predominantemente após o pôr e antes do nascer do sol); e alterações no padrão da distribuição dos valores quando sob a atuação de sistemas como mPa, mEc e alguns episódios de mTa (ou mTac), sobretudo no período noturno.

De modo geral, as informações apresentadas na comparação dos dois anos reforçam a característica da variabilidade temporal (diária e mensal) identificada no tópico anterior (Figura 29) para o P1, bem como possibilitam a validação e a comparação direta dos resultados obtidos entre o período analisado e as propriedades da ICU sob a atuação de sistemas atmosféricos sazonais.

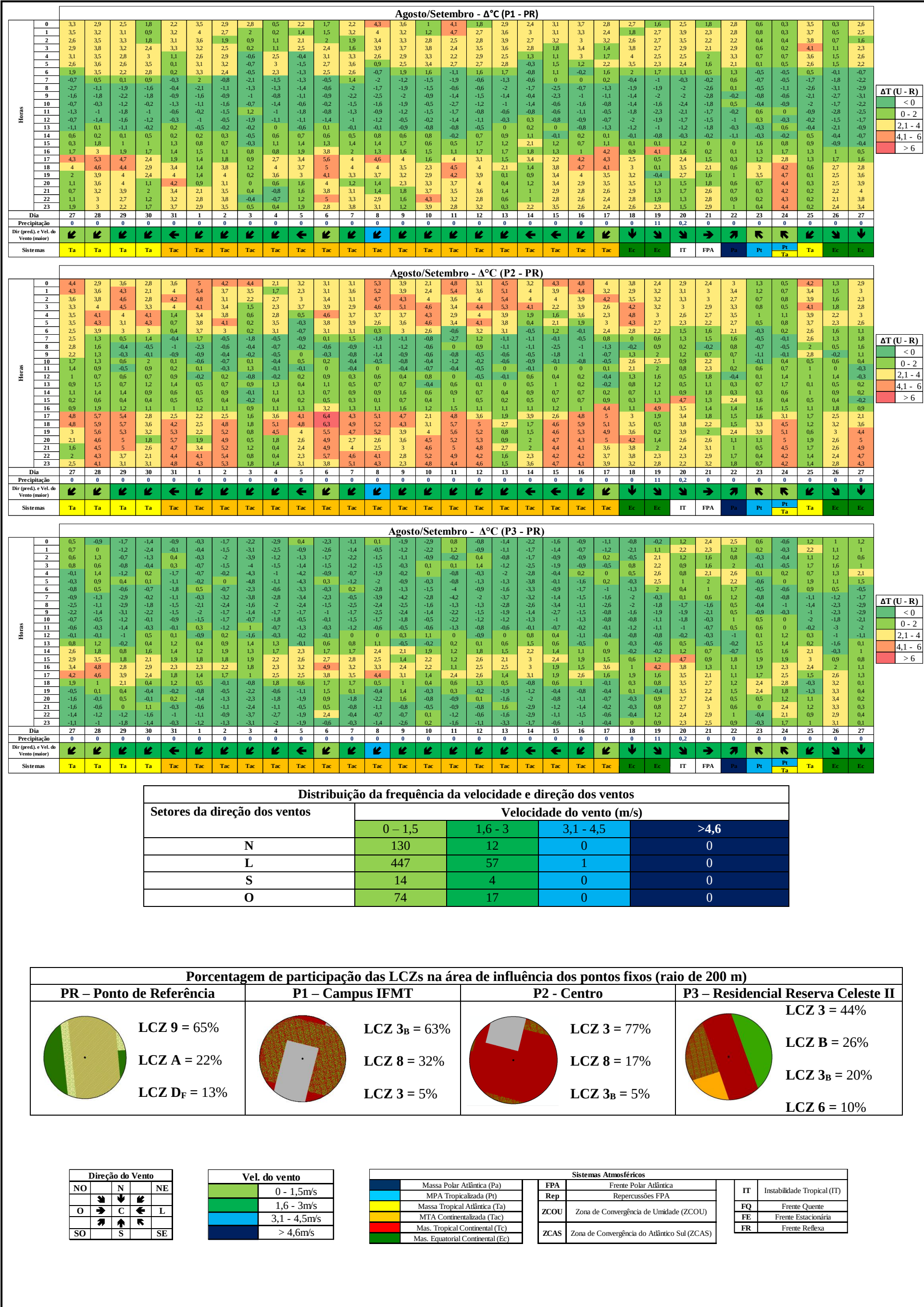
A distribuição dos valores de intensidade da ilha de calor para o P2, apresenta o padrão geral verificado para o P1 em 2018 e 2020, como o expressivo número de episódios com características de fraca magnitude, sobretudo no intervalo das 10h às 16h, e características de magnitudes mais elevadas (média e forte) entre o pôr do sol e as primeiras horas da manhã (entorno das 8h).

No detalhamento desta distribuição, nota-se uma mudança na disposição dos valores abaixo de 0°C (que configuram situações de ilha de frescor), que para o P2 apresenta uma retração no total de episódios, quando comparados ao P1, no entanto se dão no intervalo horário semelhante, das primeiras horas da manhã (às 8h) até às 11h.

Outra diferença se deu no total de episódios com características de forte magnitude, sobretudo em condições atmosféricas estáveis e após o pôr do sol, enquanto o P1 registrou apenas 30 valores iguais ou acima de 4,1 °C de intensidade, o P2 apresentou 144 episódios, estando grande parte concentrados entre as 17h e as 23h, com exceção em dias de atuação da IT, FPA, mPa, mEc e algumas particularidades da atuação da mTa e mTac.

Essas alterações, embora sutis, revelam outra característica da ilha de calor atuante em Sinop, a qual se faz tema deste tópico, isto é, a variação espacial em função das propriedades paisagísticas dos pontos. Justifica-se esta afirmação em razão de o P1 e o P2 se localizarem próximos e inseridos no contexto da área central da cidade, no entanto, representam características construtivas imediatas distintas, uma vez que o P1 se encontra numa área influenciada, principalmente, por propriedades urbanas típicas da LCZ 3_B, estando o sensor instalado em uma área aberta e sujeito à circulação urbana, mesmo que baixa. O mesmo não acontece com o P2 que é influenciado, predominantemente, por características construtivas da

Figura 30: Comparação da variabilidade diária da ilha de calor entre os pontos fixos no período de 27/08/2020 a 27/09/2020



LCZ 3, em uma residência com terreno quase todo construído e/ou pavimentado, que acaba por dificultar a circulação do ar quando em velocidade reduzida.

Essa dinamicidade em função das propriedades construtivas ganha reforço com a análise dos valores e sua distribuição para o P3. Como já apontado no item 5.1, o sensor se encontra instalado em um espaço residencial fechado com característica da LCZ 3, no entanto, numa leitura zonal, verifica-se que o local se configura como uma área de expansão urbana, caracterizada por áreas urbanas em consolidação em contato com vegetação, uso rural e próximo a corpos hídricos.

Diferentemente dos pontos P1 e P2, o P3 apresenta predomínio de intensidades abaixo de 0 °C, tendo como limite o valor de -4,8 °C em relação ao PR, estando distribuídas entre as 19h e as 12h, com exceção dos dias 20 a 27/09, sob a atuação de sistemas atmosféricos como a IT, FPA, mPa, mPt, mTa e mEc. Esse fato aponta que, embora a localidade – o ponto de instalação – se caracterize por construções e pavimentações, o fenômeno urbano, ainda não possui expressão o suficiente para descaracterizar as propriedades do entorno, sobretudo em condições de estabilidade e no período noturno.

Outra característica encontrada para este ponto que destoa dos demais, reside na presença constante de valores de intensidade que caracterizam a média magnitude da ICU no período diurno, especificadamente entre as 14h e as 17h. Ressalta-se que em alguns episódios o P1 (em 2018) e o P2 (2020), também apresentaram a média magnitude durante o dia, no entanto, o diferencial para o P3 se deu na frequência horária e diária em que esse fato ocorreu.

De modo a sintetizar o P3, pode-se afirmar que ele caracteriza um ponto frequente de ilha de frescor para o período analisado, sobretudo no período noturno, madrugada e primeiros horários da manhã. Novamente, ressalta-se que essa característica advém das propriedades do entorno do ponto que tendem a se sobrepôr na manifestação das poucas áreas construídas.

Por fim, a comparação destes três pontos (P1, P2 e P3) em função da sua disparidade com o ponto de referência, responde, em um primeiro momento, a questão da diferenciação da variabilidade da ICU no plano horizontal associada às propriedades que compõem as paisagens analisadas, bem como fundamentam a necessidade de metodologias que visem o detalhamento dessas características, como as realizadas e apresentadas nos próximos itens.

7.1 As medidas itinerantes e o perfil da ilha de calor em Sinop

Como já tratado no item 2.2 deste trabalho, a aferição da temperatura do ar por meio de transectos móveis, possibilita um maior detalhamento, no nível horizontal, da manifestação das

características construtivas/paisagísticas por sobre os elementos climáticos, possibilitando assim a análise e qualificação da espacialização de fenômenos como a ilha de calor.

Em Sinop, a técnica foi utilizada em estudos como o de Dubreuil *et al.* (2003), Dubreuil, Delahaye e Le Strat (2010), Zavitoski (2018), dentre outros. Dubreuil *et al.* (2003), analisaram a distribuição da temperatura do ar com ênfase no eixo de intensa expansão urbana (sentido S-N) e a comparação com rural próximo, para os dias 22 e 23 de junho de 2003, encontrando diferenças térmicas superiores a 5 °C (entre as 21:53h e 22:12h – 22/06/2003), 3 °C (verificados no percurso das 22:22h às 22:47h – 22/06/2003) e 3 °C (em percurso realizado entre as 5:19h e as 6:15h – 23/06/2003).

Em aferições realizadas em 12 de julho de 2009, das 22:11h às 23:53h, Dubreuil, Delahaye e Le Strat (2010), verificaram diferenças de temperatura entre o centro da cidade e as áreas circundantes na ordem de 6°C, tendo sido verificado também, temperaturas mais elevadas no setor Sul, quando comparadas com áreas de mesmas características construtivas do setor Norte, sendo apontado como uma possível justificativa para este fenômeno, o fluxo sinótico N-NE que deslocaria o calor da cidade em direção ao sul.

Zavitoski (2018), coletou os dados por meio de transectos móveis, entre as 20h e as 21h, ao longo do ano de 2017, com o intuito de abarcar a mudança na distribuição da temperatura do ar em função do uso e cobertura da terra e da estação do ano. Apresentados em termos médios, os resultados apontam a tendência de temperaturas mais elevadas no período de estiagem, redução dos valores quando próximos a corpos hídricos e/ou vegetação e o reforço do maior aquecimento nas proximidades do centro da cidade.

A principal distinção entre os dois primeiros trabalhos apresentados com o de Zavitoski (2018), se encontra no tecido urbano analisado, uma vez que no intervalo temporal que os separam, o meio urbano de Sinop passou por modificações e expansões significativas, como a inserção de áreas outrora de uso rural e/ou vegetadas, o surgimento de novos loteamentos e a intensificação da lógica de produção do espaço baseada nos espaços residenciais fechados de alto, médio e baixo padrões. No entanto, os estudos partilham resultados que reforçam as características clássicas da ilha de calor (maior aquecimento da área central, o papel indispensável da vegetação na redução da temperatura intraurbana e a tendência de maior diferença térmica no período noturno), bem como instigam a necessidade de se aprofundar nas características do fenômeno, tanto no nível horizontal quanto horário/mensal/anual.

Dito isso e visando o aprofundamento e detalhamento da relação das propriedades paisagísticas, sistemas atmosféricos e alterações nos elementos climáticos, optou-se por registrar a temperatura do ar em pontos pré-estabelecidos e equidistantes em 200 m, distribuídos

em dois trajetos que possibilitaram a aferição em pontos representativos da área, perpassando por usos rurais, urbanos consolidados e em consolidação, e com presença ou não de vegetação.

Ao total foram registrados os dados no intervalo das 21h às 22h, horário local, de 7 episódios, sendo o primeiro sob a atuação da mTa (27/08), o segundo (02/09), o terceiro (03/09) e o quarto (05/09) sob influência da mTac, o quinto (11/09) também sob a influência da mTac. No entanto, dado as intensas queimadas que assolaram diversas áreas do Estado, a cidade ficou imersa em fumaça e fuligem que persistiram até a primeira precipitação registrada no período de coletas *in loco*, o sexto (18/09) se deu com a atuação da mEc e, por fim, o sétimo (21/09), sob condições características da FPA e em dias posteriores à registros de precipitação.

A Tabela 2 sintetiza os maiores e menores valores encontrados durante a realização dos transectos, com duração de uma hora, e a amplitude térmica encontrada para cada episódio. Nota-se que para os quatro primeiros episódios (27/08, 02/09, 03/09 e 05/09) a amplitude térmica total dos trajetos não ultrapassaram 6 °C e não foram inferiores a 4,6 °C, no entanto, os maiores valores de amplitudes foram verificados nos dias 11 e 18/09 (dias que havia presença de fumaça), respectivamente, 7,2 °C e 6,3 °C. Como esperado, o último episódio (21/09) apresentou a menor variação térmica, dado a situação sinótica atuante que favoreceu mecanismos de instabilidade e a sucessão de dias de registros de precipitação.

Tabela 2: Caracterização da amplitude térmica dos trajetos dos transectos móveis e sistemas atmosféricos atuantes

Data	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Amplitude térmica (°C)	Sistema Atmosférico
27/08	30,9	25,5	5,4	mTa
02/09	29,7	25,1	4,6	mTac
03/09	29,8	24,9	4,9	mTac
05/09	30,4	24,8	5,6	mTac
11/09	30,5	23,3	7,2	mTac
18/09	31,6	25,3	6,3	mEc
21/09	29,4	25,7	3,7	FPA

As Figuras 31 e 32 apresentam as espacializações das temperaturas do ar aferidas para cada ponto dos trajetos, os ícones das LCZs mais expressivas para cada localidade e as condições de umidade relativa e temperatura do ar entre as 21h e as 22h, para o PR e P1 com o intuito de demonstrar a variação horária da temperatura entre o meio urbano e o rural.

Os valores registrados para o dia 27/08 apresentam características comuns nos dois trajetos, isto é, indicam uma homogeneização da distribuição da temperatura do ar, sobretudo as associadas ao trajeto S-N (em que grande parte das propriedades paisagísticas são

características das LCZs 3 e 3_B). Detalhando os resultados verificados para o trajeto O-L (pontos enumerados de 0 a 47), notou-se que no intervalo entre os pontos 0 (P0) ao 17 (P17) a temperatura do ar pouco variou, estando entre 30 °C e 30,9 °C e associadas a propriedades paisagísticas similares e/ou próximas, como presença de áreas cultiváveis, vegetação rasteira, solo exposto e construções espaçadas com áreas permeáveis, representativas das LCZs D_F, D, F e 6, respectivamente.

Ao atingir a área de influência da reserva florestal do campus da UNEMAT (P18 ao P22 – LCZ A), pôde-se observar no gráfico uma pequena variação na temperatura aferida, estando estas entre 28,4 °C (P21) e aumentando até 29,7 °C na medida em que se caminhava para o centro da cidade. Entre os pontos 24 a 32 (associados a LCZ 3) a temperatura voltou a se enquadrar na ordem dos 30 °C (tendo o maior valor igual a 30,7 °C), passando por queda contínua a medida em que se avançava para o leste até atingir o P47, em termos numéricos, o intervalo P33-P47 (predominantemente LCZs 8 e D_F) ficou associado a valores de 27 °C a 29,6 °C.

Como já apontado no item 5.1, o trajeto S-N se caracteriza por propriedades paisagísticas urbanas (típicas das LCZs 3, 3_B e 6) e pequenas extensões de solo exposto (LCZ F), vegetação (LCZs A e D) e área cultivável (LCZ D_F). Faz-se necessário ressaltar que devido a problemas técnicos, para esta data, a aferição das temperaturas se iniciou no P54.

Os valores registrados entre os pontos 54 e 77 estiveram distribuídos no intervalo de 29 °C a 30 °C, com exceção do P62 (que coincide com a reserva do Jardim Botânico) em que se encontrou o valor de 28,7 °C, sendo o responsável pela sutil queda do traçado no gráfico. Ao prosseguir o caminho rumo ao norte e perpassando por áreas caracterizadas pela LCZ 3_B, o gradiente térmico apresentou uma pequena redução entre os pontos 78 a 93, estando distribuído entre 28,1 °C e 29 °C, e uma queda considerável nos pontos 94 (27,4 °C) e 95 (25,5 °C), sendo este último o menor valor registrado nos trajetos.

Nos percursos realizados em 02/09 observou-se uma dinamicidade na distribuição dos valores, principalmente no eixo O-L. O referido trajeto se iniciou com uma redução da temperatura do ar entre o P0 e o P5, partindo de 27,4 °C até atingir 25,1 °C (sendo associados a área de influência da LCZ D_F). Ao atingir o P6, o gradiente térmico tendeu ao aumento até registrar 28,8 °C (P11) e novamente demonstrou queda na medida em que se aproximou da reserva da UNEMAT, tendo como divisor o P17 em que se aferiu 26,7 °C.

O intervalo P18 a P23, reserva da UNEMAT, apresentou consideráveis reduções nos valores, ficando entorno de 24,2 °C a 25,4 °C, sendo este cenário alterado com a entrada no meio urbano, sobretudo nas áreas da LCZ 3, em que o gradiente térmico novamente se elevou

dentro dos limites de 27,6 °C e 29,4 °C para os pontos de 24 a 33. Com o avanço do traçado sobre a área de uso industrial/expansão da cidade (P34 a P43) as temperaturas oscilaram entre 28,3 °C e 25,9 °C reduzindo ainda mais o gradiente ao alcançar os pontos 44 a 47 (LCZ D_F) em que se registrou valores entre 21 °C e 24,5 °C.

O percurso S-N também apresentou nítida segmentação¹² da distribuição dos dados aferidos, tendo início com o intervalo térmico de 26,2 °C a 27,1 °C para os pontos de 48 a 61 (sob influência das LCZs F, 6 e 8). A segunda segmentação se deu nas proximidades e na área da reserva do Jardim Botânico (P62, 63 e 64) com intervalo entre 24,3 °C e 25 °C, sendo seguida pela terceira que se estendeu, predominantemente, por sobre locais de influência da LCZ 3 e limitada pelos pontos 65 e 79 e pelos valores de temperatura iguais a 25,4 °C e 27,9 °C.

Entre o P80 e P91 (LCZ 3_B), identificou-se a quarta segmentação da distribuição da temperatura para o eixo S-N, tendo os valores se mantido na ordem de 24,8 °C a 25,4 °C até atingir o P92 e P95 que demarcam o último segmento do tracejado no gráfico, com registros entre 21,4 °C e 23,8 °C e sob influência das LCZs D_F e F.

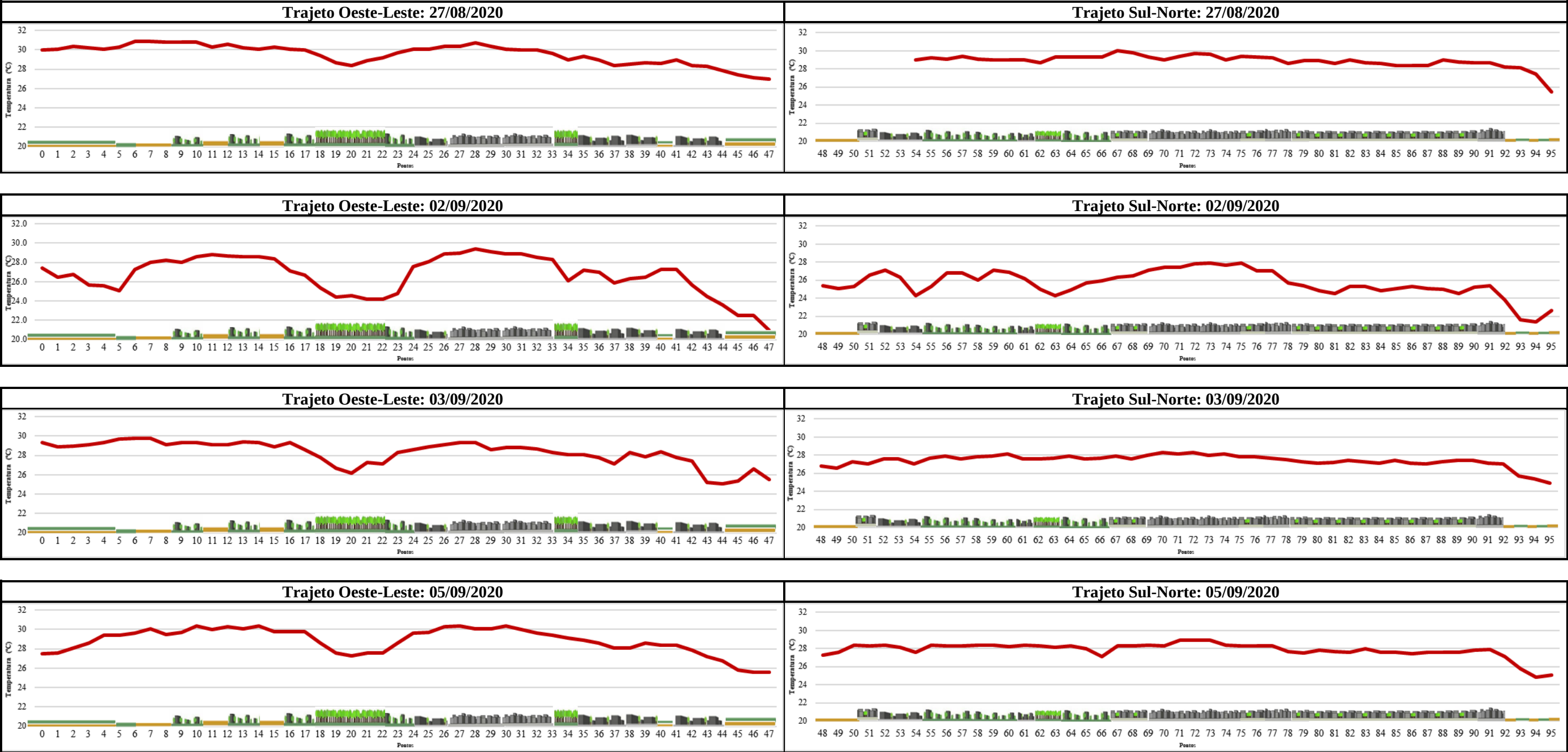
Os dados encontrados nos trajetos realizados em 03/09, não apresentaram a mesma dinamicidade do dia anterior, tendo o eixo S-N a mesma característica de homogeneização observada em 27/08. Assim, no percurso O-L identificou-se quatro segmentações com valores próximos, sendo a primeira referente aos pontos de 0 a 17 e com temperaturas do ar distribuídas entre 28,6 °C e 29,8 °C; a segunda associada a LCZ A (P18 a P22), com registros reduzidos entre 26,2 °C e 27,8 °C, possibilitando a formação do terceiro segmento entre os pontos 23 a 42 com gradiente térmico igual a 27,4 °C e 29,3 °C. Por fim, o quarto se configurou pelos últimos cinco pontos do trajeto (P43 a P47) com intervalo de 25,1 °C a 26,6 °C.

No que diz respeito aos dados aferidos para o eixo S-N, constatou-se a divisão do traçado no gráfico em dois segmentos, sendo o primeiro o mais abrangente (P47 – P92) e com valores distribuídos entre 27 °C e 28,3 °C (com os maiores numeradores associados aos pontos 70, 71 e 72 -LCZ3). Já o segundo segmento, se deu nos três últimos pontos do trajeto (P93 a P95) com intervalo térmico de 24,9 °C a 25,7 °C.

Com as aferições realizadas nos transectos móveis de 05/09 e uma preliminar comparação com as anteriores, observou-se o esboço de uma característica do trajeto O-L que consiste na maior dinamicidade da temperatura do ar, com o traçado apresentando extremidades e pontos recorrentes com tendência de redução dos valores.

¹² Divisão do traçado em grupos por classes de temperatura que apresentam a característica visual de descontinuidade no traçado dos gráficos.

Figura 31: Temperaturas aferidas por meio de transectos móveis nos episódios de 27 de agosto e 02, 03 e 05 de setembro de 2020, entre as 21h e as 22h (horário local)



Representação	Potenciais Local Climate Zones
	3 – Compacta de baixa elevação
	3B – Compacta de baixa elevação com presença de vegetação arbórea esparsa
	6 – Aberta de baixa elevação
	8 – Grandes construções de baixa elevação
	A – Vegetação arbórea densa
	D – Vegetação rasteira
	F – Solo exposto
	D _F – Área de vegetação rasteira, sazonalmente ocupada por solo exposto

	27/08	Estação Chácara (PR)					Estação IFMT (P1)			
		27/08	02/09	03/09	05/09		27/08	02/09	03/09	05/09
Temperatura às 21h (°C)		27,6	21,7	26,2	25,7		28,3	25,2	26,6	27,3
Temperatura às 22h (°C)		26,5	20,8	26,1	25,1		27,6	24,6	25,7	26,3
Umidade Relativa (%)		57	56	51	50		55	45	51	45
Vel. do vento (m/s)		C	C	C	C		C	C	C	C
Dir. do vento		--	--	--	--		--	--	--	--
Sistema atmosférico		Ta	Tac	Tac	Tac		Ta	Tac	Tac	Tac

Deste modo, para a presente data, constatou-se a possibilidade de agrupamento das temperaturas, do percurso O-L, em cinco segmentos principais. O primeiro se deu entre o P0 e P3 com registros de 27,5 °C a 28,6 °C, sendo seguido pelo segundo, especialmente mais abrangente (P4 a P17) e com gradiente térmico entre 29,4 °C e 30,4 °C. O terceiro segmento se deu em pontos recorrentes dos dias anteriores, P18 a P23, e associado a reserva da UNEMAT, em que as temperaturas aferidas ficaram entre 27,3 °C e 28,6 °C – intervalo próximo ao do primeiro segmento.

Os valores encontrados para o quarto segmento – P24 a P42 –, se distribuíram entre 28,1 °C e 30,4 °C, tendo sido as menores temperaturas encontradas nos pontos mais ao leste, LCZ 8 com transição para D_F. O último segmento do trajeto, novamente foi o que apresentou forte queda na temperatura, indo de 27,2 °C (P43) para 25,6 °C (P47), isto é, uma redução de 1,6 °C em 800 m.

Em contraponto ao discorrido acima e similar ao verificado em 03/09, o percurso S-N foi dividido em dois segmentos, um com quarenta e cinco pontos (P48 a P92) e gradiente térmico de 27,1 °C a 28,9 °C (com os maiores valores associados a LCZ 3), e outro com três pontos (P93-P95) e intervalo térmico de 24,8 °C a 25,8 °C.

Como já relatado anteriormente, os registros realizados em 11, 18 e 21 de setembro (Figura 32) representam peculiaridades ocorridas em uma sequência de dias, como a concentração de fuligem e fumaça de queimadas nas proximidades e de outras partes do Estado, sobretudo para o dia 18, e a atuação de mecanismos característicos da sazonalidade (mTac, mEc e FPA).

Os dados encontrados em 11/09 apresentaram certa dinamicidade tanto para o trajeto O-L (também verificado em 02, 03 e 05/09), quanto para o trajeto S-N, demarcando nitidamente os pontos de vegetação e sua influência nesta rota.

No percurso O-L, identificou-se a segmentação dos dados em seis grupos principais, tendo o primeiro entre o P0 e P4, com certa estabilidade na variação da temperatura, entre 28,4 °C e 28,8 °C. O segundo segmento se estendeu do ponto 5 ao ponto 17, com gradiente térmico entre 29,1 °C e 30,4 °C e identificação dos maiores valores associados a LCZ F (P10 e P11).

Novamente, percebeu-se a queda da temperatura na medida em que o traçado encontrou os pontos ligados a LCZ A – reserva da UNEMAT –, entre os pontos 18 e 22, com valores da temperatura do ar variando entre 26,2 °C e 27,9 °C. Esse cenário se alterou ao atingir a área urbana, representada neste percurso pela LCZ 3, em que foi possível verificar o aumento acelerado da temperatura, tendo como limite superior o valor de 30,4 °C, e 29 °C como limite inferior.

Com o avanço do trajeto rumo ao Leste (áreas de uso industrial e agrícola, e zona de expansão da cidade), o traçado adquiriu tendência de queda de temperatura e possibilitou o agrupamento dos dados em mais dois segmentos, um deles entre os pontos 35 e 43, com valores, predominantemente, entre 27,2 °C e 28,5 °C, com exceção de um ponto com registro de 29,1 °C. Já o último segmento, se caracterizou pelas menores temperaturas do trajeto – 23,3 °C a 26,5 °C e intervalo espacial entre o P44 e o P47.

Comparado com as datas anteriores, o percurso S-N apresentou características semelhantes às verificadas com o dia 02/09, principalmente no que se refere à variação da temperatura ao longo da rota. No início das aferições P48 e P49, encontrou-se valores iguais a 27,7 °C e 28,3 °C, que se elevaram e estiveram contidos no gradiente de 28 °C a 29,3 °C no intervalo espacial do P50 ao P61.

O traçado apresentou queda sutil ao chegar nos pontos associados a reserva do Jardim Botânico e proximidades (P62-64), expressando valores entre 26,9 °C e 27,6 °C, que tenderam ao aumento entre os pontos 65 e 80, predominantemente LCZ 3, estando distribuídos entre 28,1 °C e 30,5 °C. Entre os pontos 81 e 91 (LCZ 3_B), a temperatura anteriormente elevada, começou a oscilar para a queda, estando distribuídas no intervalo de 27,2 °C a 28 °C, com redução ainda maior para os pontos de 92 a 95, em que ficou no gradiente de 23,4 °C a 25,8 °C.

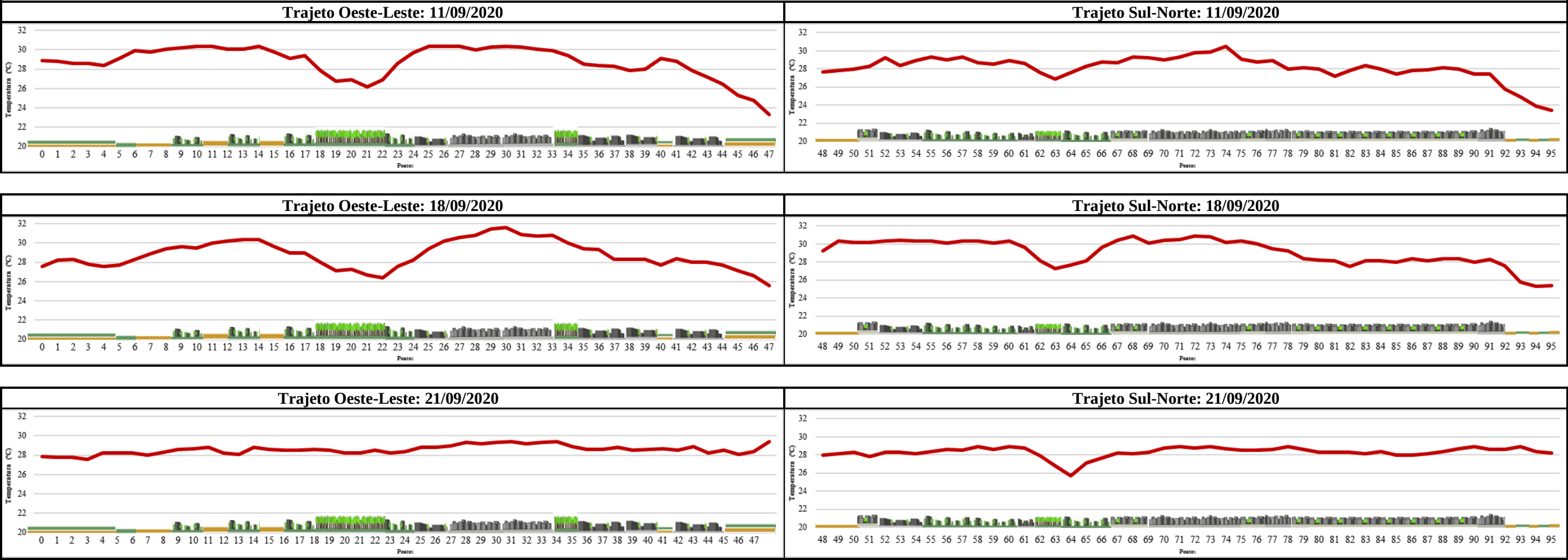
O percurso O-L de 18/09, apresentou características similares com o do dia anterior, sobretudo na diferenciação das áreas com vegetação abundante. Nos seis primeiros pontos deste trajeto (P0 a P5), a temperatura do ar aferida pouco variou, estando entre 27,6 °C e 28,3 °C, o que forneceu certa estabilidade inicial para o traçado do gráfico, no entanto, ao avançar para as áreas em que predominavam o solo exposto e as construções mais espaçadas (P6 a P18) o gradiente térmico tendeu ao aumento tendo como limite os valores iguais a 28,9 °C e 30,4 °C.

A terceira segmentação do traçado se deu coincidente com os pontos 19 a 23, representantes de área de vegetação de porte arbóreo, em que se verificou temperaturas entre 26,4 °C e 27,6 °C, sendo seguida pelo quarto segmento (P24 – P36, LCZ 3), que figurou na maioria das datas, tendo o gradiente térmico de 29,3 °C a 31,6 °C – maior valor absoluto encontrado na comparação dos trajetos.

A área de múltiplos usos, industrial, agrícola e expansão urbana, representadas pelos pontos de 37 a 45, configuraram o quinto segmento do trajeto com intervalo térmico entre 27,1 °C e 28,4 °C, que decaiu para 26,6 °C e 25,6 °C nos pontos 46 e 47.

Os dados do trajeto S-N para 18/09, apresentaram certa estabilidade ao longo dos pontos 48 a 61, com variação térmica entre 29,2 °C e 30,6 °C e predominância dos valores acima de

Figura 32: Temperaturas aferidas por meio de transectos móveis nos episódios de 11, 18 e 21 de setembro de 2020, entre as 21h e as 22h (horário local)



Representação	Potenciais Local Climate Zones
	3 – Compacta de baixa elevação
	3B – Compacta de baixa elevação com presença de vegetação arbórea esparsa
	6 – Aberta de baixa elevação
	8 – Grandes construções de baixa elevação
	A – Vegetação arbórea densa
	D – Vegetação rasteira
	F – Solo exposto
	D _F – Área de vegetação rasteira, sazonalmente ocupada por solo exposto

Data	Estação Chácara (PR)			Estação IFMT (P1)		
	11/09	18/09	21/09	11/09	18/09	21/09
Temperatura às 21h (°C)	23,7	25,5	25,5	27,2	28,4	28,1
Temperatura às 22h (°C)	23,1	24,8	24,8	26,3	27,6	27,6
Umidade Relativa (%)	59	72	72	49	61	61
Vel. do vento (m/s)	C	C	0,4	C	C	0,4
Dir. do vento	--	--	SW	--	--	SW
Sistema atmosférico	Tac	Ec	FPA	Tac	Ec	FPA

30 °C. A reserva do Jardim Botânico (P62 – P65), novamente, possibilitou a redução da temperatura e a queda do tracejado, sendo caracterizada pelo gradiente de 27,3 °C a 28,1 °C.

Ao indicar os valores referentes as áreas mais urbanizadas, o centro da cidade e seu entorno – P66 ao P78, o traçado do gráfico tendeu ao aumento e a uma certa estabilidade, em que a temperatura se manteve entre 29,2 °C e 30,9 °C. Esse cenário se alterou quando os dados passaram a representar a LCZ 3_B – no setor Norte da cidade –, havendo o declínio da temperatura do ar para 28 °C a 28,4 °C, que mantiveram a tendência de queda ao se aproximar do fim do trajeto (P92 a P95), com gradiente térmico de 25,3 °C a 27,6 °C.

Ressalta-se que para as datas de 11 e 18/09 em que se teve a peculiaridade da concentração de fumaça e fuligem, foi constatado a intensificação das maiores e menores temperaturas do ar, o que acabou por evidenciar a segmentação dos usos urbanos, rurais e naturais dispostos ao longo da cidade, bem como possibilitou a ocorrência das elevadas amplitudes térmicas dos trajetos.

Diferentemente dos demais dias, os trajetos O-L e S-N do dia 21/09, apresentaram intervalos térmicos próximos, com exceções pontuais, que culminaram em traçados mais retilíneos e com poucas variações. Em termos numéricos, para a rota O-L, a temperatura registrada variou entre 27,6 °C e 29,4°C, com predomínio dos valores na casa dos 28 °C (os maiores e menores valores se deram de forma pontual, sendo os primeiros associados aos pontos de 27 a P34 (LCZ 3) e os últimos entre o P0 e o P3).

Já para a rota S-N, os dados estiveram distribuídos, predominantemente, entre 28 °C e 28,9 °C, com exceção entre os pontos P62 a P66 (área de vegetação arbórea e proximidades) em que o gradiente térmico foi de 25,7 °C a 27,7 °C.

Uma possível justificativa para o padrão de distribuição da temperatura do ar verificado para o dia 21, reside no fato comentado no item 6.1, que disserta sobre a mistura do ar sobrejacente motivado pelos mecanismos estimuladores da circulação dos ventos, típicos de dias com presença de nebulosidade e/ou precipitação, como os característicos da atuação da FPA.

Buscando sintetizar as observações e a qualificação de um padrão abrangente da distribuição espacial da temperatura do ar e sua associação com as propriedades paisagísticas para os trajetos, definiu-se as sete características a seguir:

- 1) Sob a atuação de sistemas atmosféricos que estimulam os mecanismos de estabilidade, o trajeto Oeste-Leste possibilita a maior variação da temperatura do ar, devido a maior diversidade de paisagens urbanas, rurais e de transição;

- 2) Os pontos associados a vegetação arbórea e áreas próximas (O-L = P18 a P22 e S-N = P62 e P63), possibilitaram a redução da temperatura aferida, demarcando principalmente a transição da área de expansão urbana/uso agrícola para a área central da cidade, se configurando como as áreas de *valleys* (OKE, 1987);
- 3) Os pontos finais dos trajetos (P45 – P47, para o percurso O-L e P91 a P95, para a rota S-N) caracterizados por área cultivável, solo exposto e vegetação rasteira, e que se encontram “próximos” a cursos d’água, tendem a se configurar como as áreas menos aquecidas, com temperaturas do ar menores até mesmo que as verificadas nos pontos de vegetação arbórea, possibilitando amplitudes térmicas totais entre 4,6 °C e 7,2 °C;
- 4) A LCZ 3_B representada no trajeto S-N, apresentou temperatura diferente das aferidas nas áreas de LCZ 3 em 57% dos casos observados, variando entre 1 °C e 3 °C quando comparadas;
- 5) Os valores aferidos nas áreas da LCZ 3 (centro da cidade), foram os maiores encontrados em ambos os trajetos, mesmo em condições atmosféricas de instabilidade;
- 6) A LCZ 8, presente na rota O-L, se caracterizou por temperaturas elevadas (quando comparadas com as áreas vegetadas), mas com valores menores do que as registradas na área urbanizada;
- 7) Os pontos referentes a “Praça da Bíblia” (P33 e P34), apresentaram tendência de queda, sem, contudo, possibilitarem a queda brusca do traçado nos gráficos como verificado na reserva da UNEMAT.

Faz-se necessário apontar que até este ponto, as análises e características apresentadas são referentes às temperaturas do ar aferidas nos trajetos, não se discutindo ainda a espacialização da ilha de calor por meio da intensidade. Assim, partindo dos dados contidos nos transectos móveis e as informações climáticas do Ponto de Referência, elaborou-se a Figura 33 que apresenta a espacialização da magnitude da ilha de calor e sua associação às propriedades paisagísticas, possibilitando a identificação do perfil da ilha de calor atuante em Sinop.

De modo geral, o que se verifica primeiramente entre as informações contidas na Figura 33 e o apresentado nas páginas anteriores, é a pouca dinamicidade para os dados contidos no trajeto S-N, principalmente nas datas de 27/08, 03/09 e 05/09. Em segundo lugar, nota-se que a reserva da UNEMAT, embora apresente redução da temperatura, se mantém mais aquecida que os pontos finais dos trajetos.

Detalhando a espacialização das intensidades e das magnitudes, observou-se que para o dia 27/08, no intervalo espacial entre o P0 e o P32, as características térmicas expressas se associaram às propriedades da ICU de média magnitude, no entanto, constatou-se também a constituição de um bolsão de alívio térmico – quando comparado com os pontos citados no intervalo – de magnitude fraca, possibilitado pela presença da reserva da UNEMAT (P18 a P22).

Os pontos de 23 a 44 manifestaram intensidades térmicas, no intervalo de 0 °C a 2 °C, se associando à fraca magnitude da ilha de calor, sendo antecessores da identificação da área de ilha de frescor (valores abaixo de 0 °C) entre os pontos 45 e 47. A fraca magnitude apresentou predominância espacial nos pontos componentes do trajeto S-N, estando expressa do P54 ao P93, com rupturas pontuais no P67, P68 e 72 caracterizados pela magnitude média, e sendo, novamente, antecessora de áreas de ilha de frescor, como a dos pontos 94 e 95.

Diferentemente da data anterior, para o dia 02/09 observou-se a nítida demarcação das magnitudes em função das propriedades paisagísticas associadas aos pontos, apontando como exemplo a presença da magnitude média para as áreas em que se constatou vegetação, como a LCZ A e suas proximidades (P18-23, P62-P65) e LCZ 3_B (predominante entre o P78 e P92).

Para esta data, a magnitude forte esteve em contato com áreas de muito forte e médias magnitudes, se associando, principalmente, com características construtivas típicas da LCZ 8 (com ênfase naquelas que possuem pouca ou nenhuma vegetação, e solo exposto), LCZ 6 (com solo exposto em quintais) e em áreas cultiváveis (LCZ D_F). Já as intensidades que caracterizam a magnitude muito forte, foram observadas em pontos que representaram contextos de solo exposto (sobretudo na área de expansão urbana – P8 a P15) e o centro da cidade (LCZ 3 – P24 a P34 e P73-76).

As fracas magnitudes e as ilhas de frescor, se manifestaram nos finais das rotas, em áreas de usos múltiplos, típicos de expansão urbana, como LCZ D e F (P93-P95) e áreas cultiváveis (P44-P47), tendo como elemento em comum, certa proximidade com cursos hídricos.

O padrão de espacialização encontrado em 27/08 se repetiu em 03/09, tendo a predominância da magnitude fraca, sobretudo para os pontos do trajeto S-N. A média magnitude ficou expressa nos intervalos espaciais de P0 a P17 e P24 ao P33, e de forma pontual em P38, P40, P70 e P72.

A fraca magnitude se deu para além das áreas de vegetação arbórea (P17-P22 e P62 e P63), sendo identificadas entre os pontos P48 a P93 e P34 a P42 (tendo rupturas sutis de média magnitude espacializadas nos pontos mencionados anteriormente). As ilhas de frescor estavam

mais abrangentes nos pontos P42 a P47, e novamente presentes no P94 e P95 (pontos finais dos trajetos).

As espacializações verificadas para 27/08 e 03/09, que apresentaram certa homogeneização e predomínio da magnitude fraca nas áreas construídas, encontram suporte explicativo nos dados da variabilidade horária da ilha de calor para os pontos fixos P1 e P2. Isto é, por representarem espaços construídos com características próximas e representativas do contexto urbano de Sinop, as intensidades contidas na Figura 30 já anunciavam um possível padrão de distribuição homogêneo, que veio a ser validado com os transectos.

Na comparação visual entre os dias 02 e 05/09, percebeu-se um padrão de distribuição semelhante para o eixo O-L, no entanto, tendo a atenuação das magnitudes. Detalhando o cenário do dia 05/09, notou-se a manifestação da ICU de magnitude forte entre os pontos predominantes de solo exposto e expansão urbana (P10-P17) e densamente construídos do centro da cidade (LCZ 3 – P26-P31), dispostos no trajeto O-L.

A predominância dos casos se deu com a média magnitude, que abrangeu as áreas representativas de LCZ 6, LCZ 8, LCZ D_F e partes da LCZ 3 (eixo S-N), e associadas aos intervalos P2-P9, P23-P25, P32-P42, P50-P77 e aos pontos isolados P80, P93, P90 e P91.

A transição de uma magnitude para outra se deu de forma linear, isto é, não se encontrou rupturas abruptas, mas sim a relação entre os valores. Dito isso, verificou-se a fraca magnitude nas proximidades dos pontos citados no parágrafo anterior, relacionada a reserva da UNEMAT (LCZ A), grande parte da LCZ 3_B (na porção norte da cidade – P78 a P93, com oscilações pontuais), início da rota O-L (LCZ D_F) e LCZ 8 (contidas nos extremos dos trajetos e com características de maior permeabilidade). Tendo na sequência os pontos que se caracterizaram como ilhas de frescor (P94, P95, P46 e P47), com certas semelhanças com as datas anteriores.

No que diz respeito à distribuição das intensidades para o dia 11/09, percebeu-se que o trajeto O-L e grande parte do S-N, estiveram semelhantes ao padrão encontrado para 02/09, incluindo a manifestação de magnitudes mais altas para as áreas de solo exposto (nas zonas de expansão urbana) e densamente construídas. Para esta data, a predominância se deu pela forte magnitude que abrangeu os seguintes intervalos pontuais P0-P5, P15-P18, P34-P42, P50-P61, P65-P72, P75-P80, P87-P89, além de manifestações concentradas.

A magnitude muito forte, se deu nos pontos P8-P14 (área de expansão urbana e predomínio de construções espaçadas), P25-P33 e P28-29 (os dois últimos intervalos, representantes da área central/comercial da cidade). Já a média magnitude, novamente caracterizou os pontos de vegetação arbórea (LCZ A e 3_B) e os extremos dos transectos, sendo assim espacializadas nos pontos P19-P22, P43-P44, P48-P49, P62-P64, P81-P82, P85-P86 e

P90-P91. Por fim, a fraca magnitude esteve restrita aos pontos finais dos trajetos (P45-P46 e P92-P94) e antecedendo as duas ocorrências de ilha de frescor (P45 e P95).

O dia 18/09 se configurou como o último em que os trajetos apresentaram dinamicidade na distribuição das intensidades, com padrão de áreas mais e menos aquecidas similares a outras datas analisadas. O que se constatou na análise, foi a redução do total de pontos associados à magnitude muito forte, estando restrita ao núcleo da área central e comercial da cidade, e a diferenciação das localidades com vegetação arbórea, tendo a reserva da UNEMAT (P19-P22) propriedades de fraca magnitude da ICU e a reserva do Jardim Botânico (P62-P64) características de média magnitude.

Do ponto de vista dos valores predominantes, o intervalo característico da magnitude forte (4,1 °C a 6 °C) foi o mais abrangente espacialmente, sendo verificado nos intervalos de P11-P15, P26-P34, P49-P61 e P66-P76, representantes de áreas urbanas em consolidação e já consolidadas. Na sequência, a média magnitude se associou aos pontos das áreas cultiváveis, solo exposto, grandes construções com predomínio de permeabilidade, e em pontos isolados densamente construídos com presença de vegetação/permeabilidade, garantindo a espacialização entre os pontos P0-P8, P16-P18, P23-P25, P35-P44 e P77-92.

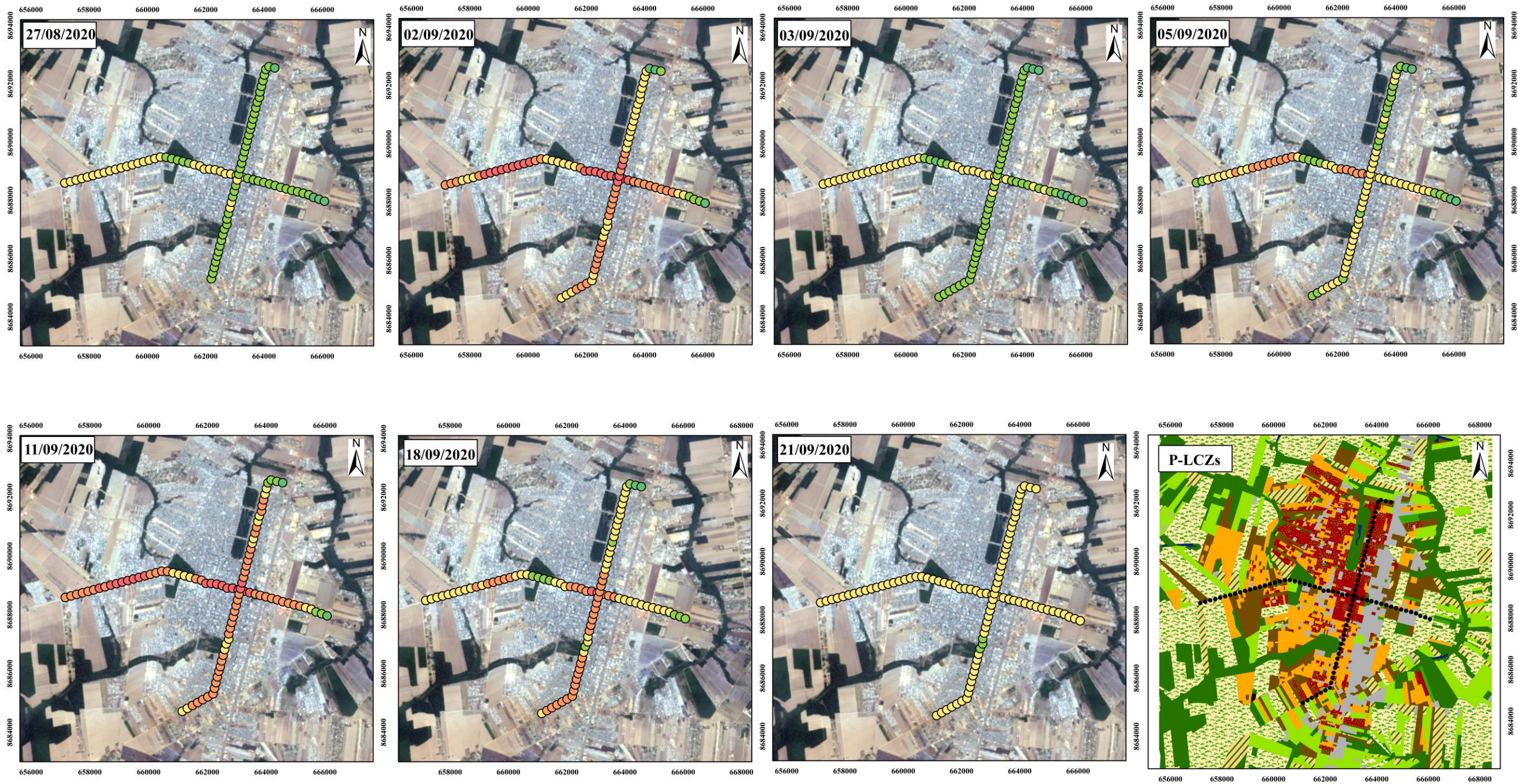
A fraca magnitude pouco se fez presente nesta data, estando vinculada a vegetação arbórea e aos finais dos trajetos, antecedendo a ilha de frescor do P95 (sendo a primeira vez que este fenômeno foi verificado em somente um dos trajetos).

Por fim, os dados referentes ao dia 21 se destacam quando resgatamos a distribuição da temperatura apresentada nas páginas anteriores. Embora tenha sido registrado a homogeneização da temperatura e a atuação de ventos entorno de 0,4 m/s, os pontos expressaram propriedades da média magnitude, inclusive nas áreas com vegetação arbórea (com exceção da reserva do Jardim Botânico).

De modo geral, a análise da distribuição da temperatura do ar e das intensidades/magnitudes permite a verificação de elementos que validam a utilização desses dados na etapa final da pesquisa, bem como possibilita o estabelecimento de um padrão que representa a realidade e fundamenta a necessidade de futuras pesquisas em períodos diferentes.

Neste sentido, o primeiro apontamento consiste na relação da variabilidade horária da ilha de calor e sua espacialização, com os transectos móveis. Os dados possibilitaram a verificação de que nos dias em que os pontos fixos P1 e P2 apresentaram intensidades características de fraca magnitude (27/08 e 03/09), nos transectos móveis, os pontos associados às propriedades paisagísticas semelhantes aos pontos fixos, ostentaram o mesmo cenário, imprimindo uma certa homogeneização nas representações. Já para as datas em que os pontos

Figura 33: Espacialização das intensidades da ilha de calor ao longo dos trajetos de transecto móvel em Sinop, às 21h (horário local)



Intensidade ($\Delta T_{\text{aferida}} - T_{\text{rural padrão}}$)		< 0	0 - 2	2.1 - 4	4.1 - 6	6.1 - 8	Pontos de coleta dos transectos							
P-LCZs	3	3B	6	8	9	A	B	D	Df	D	G	Elementos gráficos:	Setor Censitário	Hidrografia
Escala:	0 2 4 KM	Informações Cartográficas: Projeção Universal Transversa de Mercator Datum: SIRGAS 2000 Fuso: 21S		Fontes: Dados: Coletados em campo Matricial: Base ArcGIS		Elaboração e Organização: Luis Flávio de Araújo Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Margarete Amorim Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil		Instituição de Ensino: unesp		Grupo de Pesquisa: GAIA		Fomento: CAPES		

fixos manifestaram magnitudes entre média e forte, valores similares foram registrados nos pontos dos trajetos.

O mesmo princípio apresentado acima, se deu com o P3 e os pontos associados ao contexto zonal de áreas de expansão urbana ou uso agrícola próximos a cursos hídricos e vegetação, sendo as localidades finais dos trajetos. Na medida em que se registrou valores abaixo de 0 °C, típicos de ilhas de frescor, o mesmo ocorreu para os pontos P45-P47 e P93-P95, se alterando quando, sob a atuação da FPA, passaram a expressar características da média magnitude.

Essa característica de relação, permite a validação de ambas as técnicas, pois mostram que as propriedades paisagísticas influenciam as localidades com um padrão que pode ser analisado por diferentes vias, desde que se utilize as localidades representativas do contexto da área estudada. Também legitimam, inicialmente, a utilização desses dados para a espacialização da ilha de calor por meio da modelagem espacial (regressão linear multicritérios).

O segundo ponto reside no desempenho da análise das intensidades ao se utilizar de um ponto padrão de referência da temperatura do ar rural. Esse elemento não só permitiu a comparação e validação dos dados em escalas temporais diferentes, mas também a análise de fato da ilha de calor, uma vez que ao se utilizar da amplitude térmica dos trajetos, tendemos a comparar os espaços intraurbanos, o que para o caso desta pesquisa, culminaria na exclusão dos pontos de ilha de frescor e de variações térmicas de até 7,7 °C, tendo como exemplo a amplitude térmica dos trajetos do dia 02/09 que foi de 4,6°C, no entanto, com a verificação das intensidades, o maior valor observado foi de 7,7 °C.

O terceiro apontamento consiste no esforço de sintetizar as similaridades encontradas na espacialização das intensidades que venham a caracterizar o perfil da ilha de calor para o período de coleta dos dados, por meio das seguintes colocações:

- 1) Em situações atmosféricas estáveis, a LCZ A (vegetação arbórea) contida nas reservas florestais inseridas no meio urbano, tendem a apresentar intensidades menores quando comparada com as áreas construídas, no entanto, ainda se encontram mais aquecidas do que o ponto rural padrão;
- 2) Embora a reserva do Jardim Botânico apresente temperaturas do ar diferentes da reserva da UNEMAT, na maioria dos casos, ambas manifestam intensidades semelhantes;
- 3) A presença da ilha de frescor, em caráter preliminar, ficou mais associada ao contexto de proximidade de curso hídrico, do que a própria característica paisagística imediata;

- 4) As áreas urbanas em consolidação (caracterizadas por aberturas de loteamentos, abundância de solo exposto, edifícios em processo de construção ou espaçados com solo exposto), sobretudo na porção leste da cidade, tendem a apresentar características térmicas semelhantes ao centro da cidade (LCZ 3);
- 5) A LCZ 3_B (do setor Norte da cidade e dentro do contexto de proximidade ao Parque Florestal), na maioria dos casos observados, apresenta intensidades diferentes das demais áreas urbanas, principalmente das verificadas na área central e comercial da cidade;
- 6) A LCZ D_F a oeste da malha urbana, tende a registrar intensidades elevadas, em muitos casos, similares com as áreas construídas de baixa densidade.

Afirma-se que as características apontadas acima encontram respaldo nos trabalhos anteriores – Dubreuil *et al.* (2003); Dubreuil, Delahaye e Le Strat (2010); Zavitoski (2018) –, bem como fundamenta a relação da temperatura local com as propriedades paisagísticas distribuídas ao longo da cidade, o que viabiliza a representação da realidade pela modelagem espacial, tema do próximo tópico.

Por fim, ressalta-se que os valores e as características mencionados neste tópico se referem ao período sazonal de sua coleta, isto é, condições climáticas estáveis, com pouca ou nenhuma precipitação e sob condições paisagísticas rurais de vazio sanitário, podendo se alterar em outros períodos do ano e até mesmo em horários diferentes.

7.2 A modelagem espacial da ilha de calor

A modelagem estatística, por meio da aplicação da regressão linear multicriterial, possibilita o maior detalhamento da espacialização dos valores de temperatura e intensidade das ilhas de calor urbano, considerando as características paisagísticas e construtivas da área de estudo e os valores de temperatura do ar aferida *in loco*. Assim, visando responder ao sétimo objetivo específico que norteou esta pesquisa, foi utilizada a modelagem multicriterial, que possibilitou a extrapolação racional da interação das propriedades da paisagem e da temperatura do ar, para áreas em que não foi possível aferir os dados térmicos, partindo dos pontos amostrais e suas características, que tiveram sua correlação avaliada estatisticamente.

A variável dependente – variável resposta –, neste caso, é a temperatura do ar modelada, tendo como variáveis independentes (variáveis preditoras, que “explicam” a variação da temperatura do ar) as propriedades e características da paisagem (P-LCZs e NDVI), os

elementos físicos (hipsometria), organização espacial urbana (distâncias dos pontos em relação ao centro da cidade, vegetação e recursos hídricos) e a interação da energia solar e os materiais da superfície (temperatura de superfície).

A seleção das variáveis explicativas foi baseada em estudos como o de Foissard (2015), Gomes (2017), Rampazzo (2019), Dorigon (2019), Teixeira (2019), dentre outros; em atividades e análises empíricas, e por meio de parâmetros estatísticos analíticos como os coeficientes de regressão e coeficientes de determinação parciais. Posteriormente, como forma de validação dos modelos gerados a partir das variáveis selecionadas, analisou-se o coeficiente de determinação global e os resíduos gerados.

Os parâmetros de seleção e validação, bem como a representação cartográfica da espacialização dos resultados dos modelos, serão apresentados e discutidos ao longo deste subcapítulo.

7.2.1 Os parâmetros para a seleção das variáveis independentes e validação dos modelos

Para determinar as variáveis que comporiam cada modelo estatístico, referentes aos episódios de aferição itinerantes da temperatura do ar, foram verificados os coeficientes de determinação parciais de cada característica em função da temperatura do ar – por meio da regressão linear simples – e os valores de correlação das variáveis com a temperatura do ar e entre si. A observação destes parâmetros, apresentou similaridades e diferenças das variáveis preditoras que auxiliaram na explicação matemática do fenômeno e estão apresentados na Figura 34.

Partindo dos coeficientes de correlação (r) parciais, referentes a data de 27/08 e apresentados para as variáveis preditoras, em função da temperatura do ar, notou-se que as variáveis TS (temperatura de superfície), NDVI e hipsometria, possuem correlação bem fraca, acarretando coeficientes de determinação (R^2), também, baixos, respectivamente, 0,8%, 1,4% e 0,002% - dado que o R^2 é resultante da elevação ao quadrado dos valores de r . No entanto, a justificativa para a manutenção destas variáveis no modelo, se dá na correlação destas com outros elementos – como certas classes de propriedades paisagísticas e distâncias de certas localidades -, em que os índices de correlação apresentaram força moderada (entre 0,40 a 0,69, positivo ou negativo) e possibilitaram bons resultados nas representações gráficas e na redução dos resíduos do modelo.

Os demais elementos, apresentaram valores de r referentes a fraca correlação, distribuídos em -0,36, -0,33, -0,32, 0,25, 0,28 e 0,34, culminando em valores de R^2 contidos

entre 6% e 12,8%. Tendo as classes das propriedades paisagísticas associadas a vegetação arbórea e rateira (C5 e C6) e as áreas de cultivo (C7), com os maiores índices explicativos da variabilidade, quando associadas as áreas urbanas (C1 e C3).

No que condiz com as variáveis fruto da organização do espaço urbano, os melhores coeficientes de determinação se deram para as distâncias do centro (10%) e da vegetação (11,5%).

Para o modelo de 02/09, a variável preditora que apresentou o maior coeficiente de determinação parcial foi a distância do centro, explicando a variação de y (variável dependente) em x (variável independente) em 25%. As propriedades da paisagem com os maiores valores de R^2 foram duas classes associadas às propriedades da paisagem – C1 e C5 – com 17,7% e 16,7%, respectivamente, e uma associada com as áreas de cultivo (C7), com $R^2 = 15,5\%$.

As variáveis distância da vegetação e C3_{17x17}, expressaram coeficientes de determinação menores que os citados anteriormente, sendo iguais a 9,7% e 4,5%, mas, ainda assim, superiores aos do C2_{17x17}, hipsometria e TS. Novamente, a justificativa para a utilização dos elementos que apresentaram valores baixos, tanto de r quanto de R^2 , se deu na sua correlação com as demais variáveis, e com os resultados residuais do modelo e, conseqüentemente, com a representação cartográfica do fenômeno.

As variáveis adotadas na regressão linear multicriterial de 03/09, apresentaram coeficientes de fraca correlação, predominantemente, tendo dois elementos com valor de r de bem fraca correlação. Essa distribuição se deu de maneira similar com o modelo de 27/08, logo, os coeficientes de determinação, também foram mais brandos.

Dentre as classes representativas das propriedades paisagísticas, somente a C5_{97x97} obteve R^2 superior a 9%, enquanto a C1_{153x153}, C3_{13x13}, C6_{3x3} e C7_{3x3} apresentaram valores distribuídos entre 5,2% e 8,2%. É válido ressaltar, que esta influência da C5 (junção das LCZs A e B) é validada quando retomada a discussão do papel da vegetação na redução dos valores de temperatura do ar aferidas no transecto móvel e discutida nos subcapítulos anteriores.

Outras duas variáveis de peso considerável para esta data, foi a distância dos cursos hídricos que apontou R^2 igual a 12,9% e a distância de vegetação com 11,2% de R^2 , com coeficientes de correlação consideráveis não só com a temperatura do ar, mas também, com outras variáveis.

As menores correlações entre a temperatura e as variáveis, se deram para a temperatura de superfície e NDVI, 1,1% e 2,2%, respectivamente. Mas, no conjunto das correlações, se fizeram expressivas com as variáveis C5_{97x97}, distância da vegetação e C1_{153x153}, com força de moderada correlação.

A variável que apresentou o maior coeficiente de determinação entre todos os elementos que compuseram os modelos, foi a variável temperatura de superfície noturna, com valor de 47,4%, contida no modelo de 05/09, expressando também, correlações moderadas com a temperatura do ar, $C7_{3 \times 3}$ e distância do centro.

Ainda para 05/09, verificou-se que a distância do centro obteve o segundo maior valor de R^2 para esta data, sendo igual a 21,3%, enquanto as variáveis distância de vegetação, $C2_{33 \times 33}$ e NDVI, estiveram com coeficientes de determinação iguais a 1,7% e 3,3%, se configurando como os menores parâmetros para a geração do modelo.

As classes de propriedades paisagísticas com valores de R^2 , também, significativos foi a $C1_{197 \times 197}$, com 11,5%, e a $C7_{3 \times 3}$, com 17,2%, se estabelecendo como os valores intermediários quando analisados no contexto dos maiores numeradores. Enquanto, as demais classes – $C6_{3 \times 3}$, $C4_{13 \times 13}$ e $C3_{33 \times 33}$ – ficaram com valores entre 5% e 6,8%.

Para as variáveis preditoras referentes a 11/09, nota-se que quatro delas apresentaram coeficiente de determinação acima de 10%, sendo a distância do centro com R^2 igual a 24,9%, a $C7_{3 \times 3}$ ($R^2=21,4\%$), a $C1_{137 \times 137}$ ($R^2=16,1\%$) e a $C5_{69 \times 69}$ ($R^2=12,4\%$). Este fato exprime que os fatores com melhores condições explicativas da variável resposta, foram a organização espacial associada ao distanciamento e alteração da paisagem em relação ao centro da cidade, as propriedades paisagísticas associadas a área densamente construída (LCZ 3) e a presença de vegetação arbórea ($C5/LCZs$ A e B) ou área destinadas aos cultivos, reforçando a influência das atividades humanas nas características do clima local.

As demais variáveis apresentaram valores de R^2 distribuídos entre 3,6% e 10%, com a hipsometria denotando o valor mais baixo do coeficiente. No entanto, como as variáveis apresentaram correlações, não só com a temperatura do ar, sua utilização para a geração do modelo foi primordial, pois auxiliaram na redução dos resíduos gerados e na representação cartográfica mais refinada.

Os dados apresentados para 18/09, manifestaram certas semelhanças com os verificados para a data anterior (11/09), como as maiores influências da distância do centro, $C7_{3 \times 3}$ e das propriedades das áreas densamente construídas – C1, com a diferença da janela de abrangência para 97×97 –, com valores de coeficiente de determinação iguais a 29%, 25,6% e 27,6%, respectivamente.

As variáveis associadas as características da vegetação – NDVI e C5 – também apresentaram relação explicativas significativas para esta data, tendo o NDVI, coeficiente de determinação igual a 20,3% (maior valor encontrado entre as datas em que se fez presente) e a

C5_{97x97} com R^2 igual a 17,9%, sendo um fato similar com o verificado nas análises dos dados da temperatura do ar, presentes no subcapítulo 7.1.

As demais variáveis adotadas para o modelo de 18/09, C2_{97x97}, distância de vegetação e C3_{97x97}, apresentaram coeficientes de determinação iguais a 1,7%, 2,9% e 7,7%, bem como relações com as demais variáveis que justifica a sua presença para a geração do modelo.

Assim como o padrão verificado na análise da temperatura do ar aferida por meio de transectos móveis, as características das variáveis explicativas adotadas para 21/09 apresentam similaridades e discrepâncias com as demais datas. A principal diferença consiste na presença, pela primeira vez, da classe C8 (representante da LCZ 9), que obteve coeficiente de determinação igual a 33,4%, sendo um dos maiores valores para uma classe das propriedades paisagísticas.

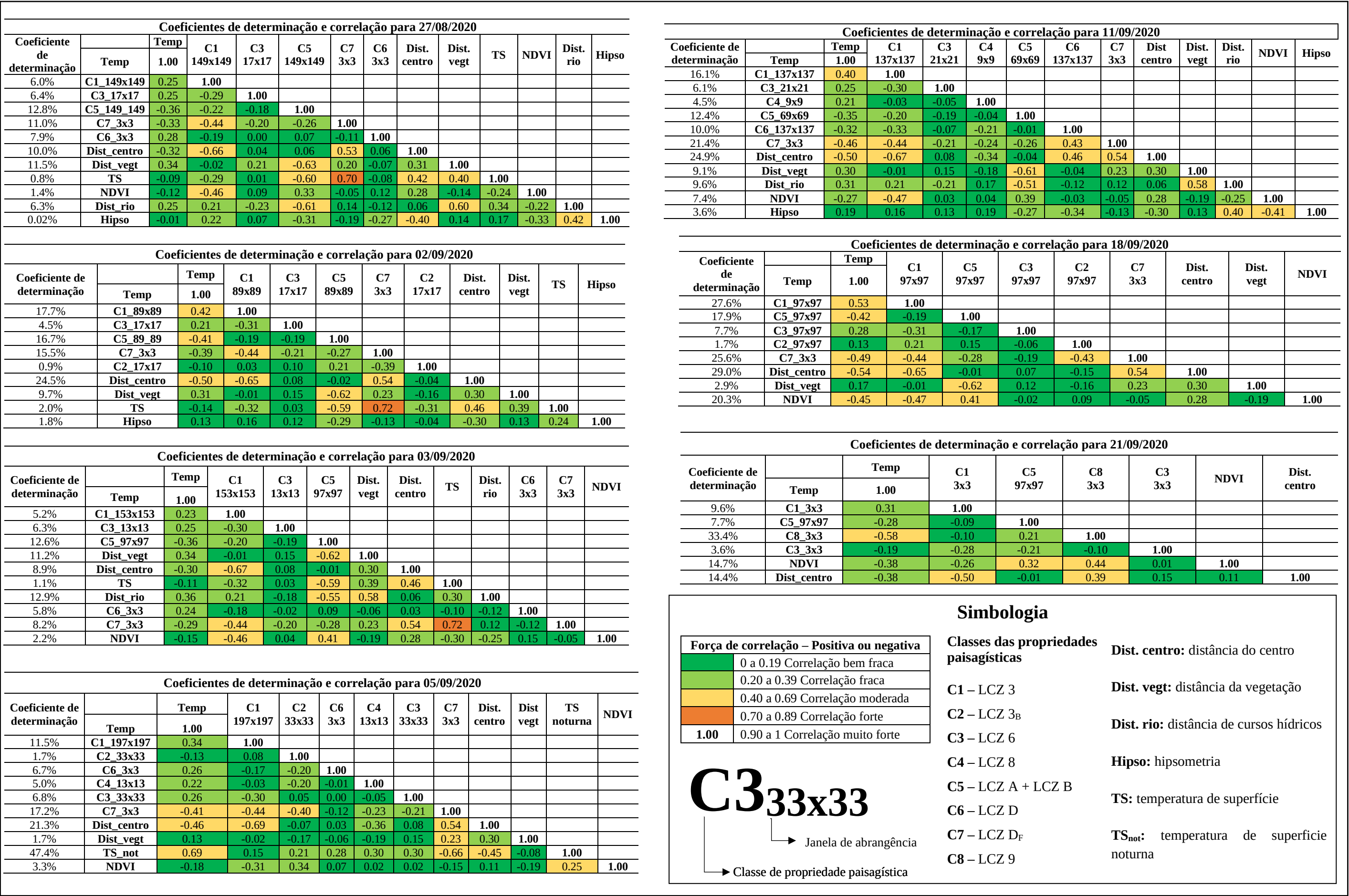
As similaridades se fazem pela presença de variáveis como o NDVI, distância do centro e das classes das propriedades paisagísticas (C1, C5 e C3), com R^2 distribuídos entre 3,6% e 14,7%, bem como correlações significativas entre os fatores que auxiliaram na predição do modelo.

De modo geral, a verificação dos parâmetros das variáveis preditoras significativas para explicar a variação da temperatura do ar, permitiram uma ilustração matemática para a validação de relações apontadas no subcapítulo 7.1, sobretudo no que condiz às propriedades paisagísticas associadas a vegetação e a alta densidade construtiva.

Outro ponto a ser destacado, refere-se à diversidade de elementos que se constituem como variáveis preditoras, podendo se repetir nas demais datas ou não, imprimindo certas similaridades – como a presença constante da distância do centro como elemento explicativo – e discrepâncias entre os episódios analisados, como os discutidos nos diversos resultados desta pesquisa, permitindo assim, verificar ainda mais a integração das técnicas aqui utilizadas.

Por fim, ao analisar não somente a participação individual dos elementos na influência da variação da temperatura do ar, mas também a interrelação dos fatores, houve a possibilidade da identificação da característica de complexidade, típica das ilhas de calor urbano, em que a modificação e composição da paisagem em conjunto com as condições atmosféricas, influem nas características térmicas na escala local, reafirmando a necessidade da aplicação de técnicas analíticas como a modelagem espacial para a melhor interpretação do fenômeno.

Figura 34: Coeficientes de determinação e correlação para as variáveis preditoras adotadas na modelagem de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro de 2020



Com a seleção das variáveis preditoras baseadas nos parâmetros apresentados anteriormente, aplicou-se a regressão linear múltipla, obtendo assim as fórmulas que descrevem matematicamente a variação da temperatura do ar em função dos elementos inseridos para cada episódio¹³. Para analisar a confiabilidade do modelo gerado, adotou-se parâmetros analíticos como a Análise de Variância (ANOVA) e o Teste F, o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) e a análise dos resíduos, que estão melhor detalhados a seguir.

A Análise de Variância, dentre outros fatores, possibilita inferir se as médias entre duas ou mais amostras apresentam diferenças estatísticas significativas e se há a influência de um ou mais fatores em certa variável dependente. Para tanto, é gerado a estatística F, em que se considera a razão da variação entre os grupos e a variação dentro dos grupos (LEVIN, 1977, p. 172), observando a significância do valor em intervalo de confiança de 5% ($\alpha = 0,05$) para refutar ou confirmar a **hipótese nula** (H_0 = a média de todas as populações são iguais, tendo as variações ocorridas ao acaso) ou a **hipótese alternativa** (H_1 = nem todas as médias são iguais), isto é, a negação da hipótese nula afirma que ao menos uma variável preditora contribui significativamente para explicar a variável resposta. Assim, faz-se uso também do F de significação, que quando menor que $\alpha = 0,05$ confirma a significância estatística do modelo gerado.

Em conjunto com os parâmetros obtidos por meio da ANOVA – com ênfase na estatística F –, observou-se também os valores dos coeficientes de determinação global ajustado de todos os modelos gerados, isto é, o $R^2_{ajustado}$. A justificativa para adoção deste parâmetro como indicador da efetividade do modelo estatístico consiste na robustez de sua obtenção, uma vez que o coeficiente não aumenta em função da adição de variáveis – como acontece com o R múltiplo e alguns casos do R^2 –, mas, somente quando a nova variável ajusta o modelo para além do esperado, indicando assim, a porcentagem da variável resposta explicada pelo modelo¹⁴.

Baseado nos apontamentos anteriores, tem-se a apresentação da Tabela 3, na qual está disposta uma síntese dos valores de F gerados a partir da ANOVA e os valores do coeficiente de determinação ajustado, para os modelos gerados a partir da aferição itinerante da temperatura do ar e das demais características selecionadas.

Com a análise da referida tabela, nota-se os valores de F e de F de significação – este último abaixo de $\alpha = 0,05$ –, indicam a possibilidade de se refutar a hipótese nula para todos os

¹³ Dispostas integralmente nos apêndices deste trabalho.

¹⁴ Baseado no disposto em: <https://blog.minitab.com/pt/analise-de-regressao-multipla-use-o-r-quadrado-ajustado-e-o-r-quadrado-predito-para-incluir-o-numero-correto-de-variaveis>. Acesso em: 01 maio 2021.

modelos, validando a relação de ao menos uma variável preditora com a variável resposta, bem como a significância dos modelos em um intervalo de 95%. Ao se considerar, também, os valores de R^2 , nota-se que somente os modelos de 03/09 e 21/09 explicaram, respectivamente, 39% e 41% da variação da temperatura do ar em função dos aspectos urbanos e geoambientais, enquanto os demais modelos foram capazes de justificar a variação entre 50% e 64%, tendo nas datas de 05/09 e 18/09 os melhores parâmetros.

Tabela 3: Valores de F para validação dos modelos gerados

Data	F	F de significação	$R^2_{ajustado}$
27/08/2020	5,92	0,000010	0,50
02/09/2020	8,70	0,000001	0,55
03/09/2020	4,61	0,000151	0,39
05/09/2020	10,81	0,000000	0,64
11/09/2020	8,19	0,000000	0,58
18/09/2020	12,66	0,000000	0,62
21/09/2020	7,50	0,000009	0,41

Com o intuito de se refinar a validação dos modelos, dado que a validação global foi atestada pelos parâmetros elencados anteriormente, fez-se a análise dos resíduos, isto é, a verificação de que a temperatura ajustada (modelada) coincidiu com a temperatura aferida ou se ocorreu o distanciamento entre elas. Para tanto, os desvios foram calculados pela subtração dos valores da temperatura modelada com os valores da temperatura aferida e posteriormente dispostos em gráficos de dispersão como constam nas Figuras 35 e 36.

Ressalta-se que, para a análise e representação dos resíduos, foram utilizados os 96 pontos dos trajetos dos transectos móveis (P0 a P95) e três pontos fixos, sendo eles o PR (Ponto de Referência), o P2 (residência na área central) e o P3 (Residencial Reserva Celeste), totalizando 99 pontos de verificação.

Os resíduos do modelo de 27/08 (Figura 35) apresentaram valores distribuídos entre 2,8 °C e -1,8 °C, tendo a maior variação positiva associada ao P95, último ponto do trajeto O-L, e o menor vinculado ao P15 – este característico do eixo de expansão ao Oeste. Nota-se que grande parte dos valores pontuais estiveram próximos de 0 °C, isto é, os valores modelados apresentaram aproximação com a temperatura aferida, o que garante certa confiança para a espacialização dos resultados modelados.

Os pontos P2-P3 (característico da LCZ D_F), P7-P12-P13-P16-P17 (com propriedades paisagísticas associadas a área de expansão da cidade), P28 e P61-P63 (sendo os últimos próximos de vegetação arbórea densa), constaram temperaturas estimadas inferior às aferidas,

estando entre $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Enquanto os P42-P43 (LCZ 8) e P96 (de área densamente construída com proximidade de vegetação e curso hídrico), superestimaram os valores entre $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A fim de qualificar a análise residual, tem-se na Tabela 4 a disponibilização do total de pontos e porcentagem que representam intervalos de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ que indicam, respectivamente, as classes de subestimação, igualdade/aproximação e superestimação, dos valores modelados em relação aos aferidos – assim como contido em Dorigon (2019). O que se verifica com a referida tabela é que 84% dos 99 pontos analisados, apresentaram resultados próximos ou iguais aos aferidos, enquanto 12% subestimaram e 4% superestimaram, garantindo assim a eficácia do modelo e a validade dos valores para o prosseguimento das análises da ICU.

Tabela 4: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 27/08/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$	11	12	Subestimou (12%)
Entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1\text{ }^{\circ}\text{C}$	78	84	Igualou ou se aproximou (84%)
Entre $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $2\text{ }^{\circ}\text{C}$	3	3	Superestimou (4%)
Entre $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $3\text{ }^{\circ}\text{C}$	1	1	

O gráfico de 02/09 (Figura 35), apresenta predominância de valores negativos (subestimação) entre os pontos P0 e P62, e valores positivos (superestimação) entre o P63 e o P98, com a distribuição dos resultados entre $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O intervalo com os maiores valores negativos, $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, esteve associado com os pontos P12 a P15 (presente no eixo Leste de expansão), P33 (transição da LCZ 3 para LCZs A e 8) e P51-P52 (típicos das LCZs 3_B e 6). Já as maiores variações positivas, de $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, foram notadas nos P23 (LCZ 6), P42-P43 (LCZ 8), P93-P94 (LCZ F).

Com o conteúdo da Tabela 5, afirma-se que este modelo apresentou resultados consideráveis, mesmo que distante do anterior, mesmo assim, viabiliza a espacialização e análise das ilhas de calor neste episódio. Tendo 51% dos pontos apresentados características de proximidade ou igualdade, 25% de subestimação e 24% de superestimação.

Tabela 5: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 02/09/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre -3°C e -4°C	1	1	Subestimou (25%)
Entre -2°C e -3°C	6	6	
Entre -1°C e -2°C	18	18	
Entre -1°C e 1°C	50	51	Igualou ou se aproximou (51%)
Entre 1° C e 2° C	16	16	Superestimou (24%)
Entre 2° C e 3° C	8	8	

Os resíduos gerados em 03/09 apresentaram a característica de predominância dos valores próximos a reta – proximidade entre a temperatura modelada e aferida – e valores negativos, tendo sido distribuídos entre -2,2 °C e 2,6 °C.

Neste modelo, os resíduos acima de 2 °C, positivos ou negativos, ocorreram em apenas cinco pontos, sendo eles os P13-P15-P16, com valores entre -2,3 °C e -2,5 °C, e os P43 e P96, com 2° C e 2,3 °C, respectivamente. As variações entre -1 °C e -1,4 °C, se fizeram presentes nos P0-P3 (LCZ D_F), P7-P10-P12-P14-P17 (características da área de expansão), P25 a P28 (transição para a área central) e o P62 (LCZ A); enquanto, o P19(LCZ A), P44-P45 (transição da LCZ 8 para LCZ D_F), P57-P67-P69 (LCZ 6), P75 (LCZ 3_B) e P95 (LCZ D), manifestaram resíduos entre 1 °C e 1,8 °C.

Partindo da análise da Tabela 6, constata-se que do total de resíduos observados, 14% subestimaram e 7% superestimaram os valores de temperatura modelada. Ainda assim, o total de valores próximos ou iguais a temperatura aferida indicou o desempenho satisfatório do modelo, sendo, em termos percentuais, igual a 79%.

Tabela 6: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 03/09/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre -2°C e -3°C	3	3	Subestimou (14%)
Entre -1°C e -2°C	11	11	
Entre -1°C e 1°C	78	79	Igualou ou se aproximou (79%)
Entre 1° C e 2° C	6	6	Superestimou (7%)
Entre 2° C e 3° C	1	1	

Partindo de uma análise visual, o gráfico de resíduos de 05/09 (Figura 35), apresenta semelhanças com os demais tratados até o momento, sobretudo por apresentar, predominantemente, valores próximos a reta, com exceções localizadas nos pontos iniciais. Os resíduos ficaram distribuídos entre -2 °C e 1,5 °C, sendo estes valores presentes em apenas dois pontos, o P7 (-2 °C) e o P95 (1,5 °C).

Nos pontos P2-P3, caracterizados pela LCZ D_F; P10-P11-P12, representantes das LCZs 6 e F; P25-P27, com as LCZs 6 e 8; P30-P31-P33, maior representante da LCZ 3, foi verificado a subestimação da temperatura modelada com a distribuição entre -1,1 °C e -1,7 °C, enquanto, as variações positivas se deu entre 1 °C e 1,4 °C, para os P49-P66-P68, com predominância da LCZ 6; P70-P74-P75, associados a LCZ 3; P94, com presença da LCZ F e o P96, ponto associado ao espaço residencial fechado Reserva Celeste.

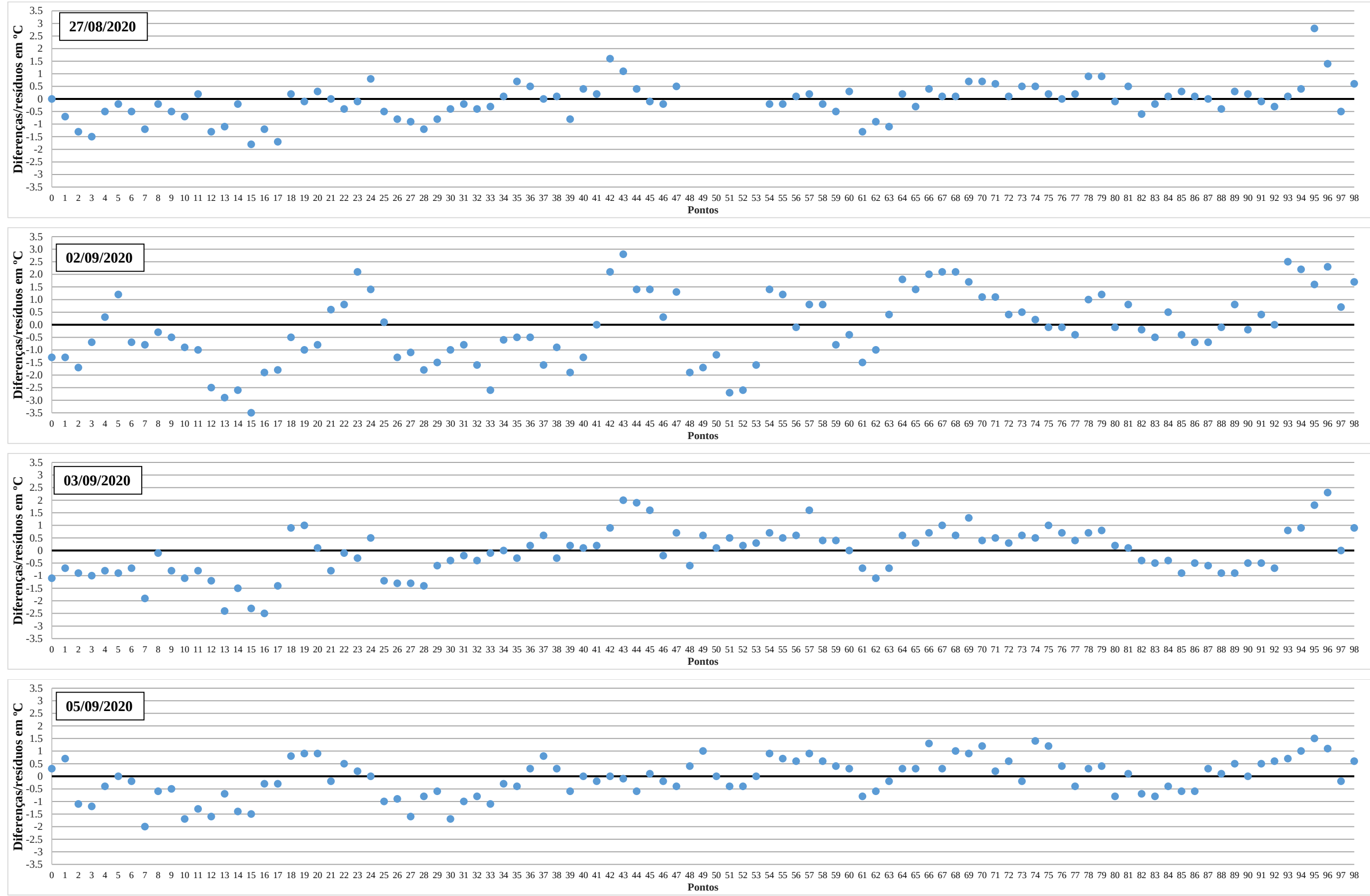
Na síntese qualitativa, apresentada na Tabela 7, verifica-se o bom desempenho do modelo gerado, pois, do total de pontos analisados nesta validação, 83% dos valores modelados ficaram próximos ou incidiram sobre a reta, enquanto 11% e 6%, subestimaram e superestimaram os valores, respectivamente.

Tabela 7: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 05/09/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre -1°C e -2°C	11	11	Subestimou (11%)
Entre -1°C e 1°C	82	83	Igualou ou se aproximou (83%)
Entre 1° C e 2° C	6	6	Superestimou (6%)

Ao partir para os gráficos de dispersão referentes aos dias 11, 18 e 21 de setembro e dispostos na Figura 36, percebe-se diferenças nos padrões visuais – em relação aos gráficos apresentados até aqui – que encontram base na distribuição da temperatura do ar, condições atmosféricas e eventos adversos, também verificados na espacialização das medidas itinerantes e discutidos no subcapítulo 7.1.

Figura 35: Representação gráfica dos resíduos verificados nos modelos de 27/08 e 02, 03 e 05/09/2020



O gráfico de 11/09 (Figura 36), apresenta um padrão de distribuição com maiores oscilações, sobretudo entre os pontos intermediários (P37 a P64). Os resíduos foram expressos por valores contidos entre -2,7 °C e 2,9 °C, estando estes limites observados nos pontos P15, com características da área de expansão urbana; P48, característico de solo exposto; e P95, com propriedades da LCZ F.

Os pontos P13 a P15 e P17, caracterizados pelas LCZs 6 e F, e o P61, próximo a vegetação arbórea densa, manifestaram os valores residuais negativos, dispostos entre -2,3 °C e -2,6 °C, enquanto o intervalo de -1,1 °C e -1,8 °C, representou a distribuição dos valores contidos nos P1 – LCZ D_F; P10-P12-P16, representantes do eixo de expansão urbana; P25-P28-P29, localizados na transição da área de expansão para a área central; P39, composto pelas LCZs 8 e F; P49 a P54, caracterizados pela área de expansão da porção Sul da malha urbana; P74, localizado no centro da cidade e o P87, inserido no contexto da LCZ 3_B.

As variações positivas de 2 °C e 2,7 °C, ficaram associadas, nesta ordem, aos pontos P47, composto pela LCZ D_F e P96, referente ao residencial fechado Reserva Celeste. Nos pontos P21-P35-P36, compostos pelas LCZs A e 8; P42-P43, referente a LCZ 8; P64-P66-P67, caracterizados pela LCZ 6; P71, contido na LCZ 3; P77 a P79-P81, localizado na transição da LCZ 3 para a LCZ 3_B; P93-P94, com propriedades das LCZs F e D, e P98, referente a LCZ 3_B, observou-se a variação dos resíduos entre 1 °C e 1,7 °C.

Com a análise da Tabela 8, pôde-se perceber que este modelo resultou em valores satisfatórios para as estimativas da temperatura, sobretudo ao aproximar ou igualar 65% dos dados com os dispostos na reta e apresentar porcentagens relativamente baixas, para valores super (15%) e subestimados (20%).

Tabela 8: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 11/09/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre -2°C e -3°C	6	6	Subestimou (20%)
Entre -1°C e -2°C	14	14	
Entre -1°C e 1°C	64	65	Igualou ou se aproximou (65%)
Entre 1° C e 2° C	13	13	Superestimou (15%)
Entre 2° C e 3° C	2	2	

No que condiz com o padrão visual, o gráfico referente a 18/09 (Figura 36), apresenta similaridades com o gráfico anterior, principalmente nas variações contidas nos pontos iniciais

e intermediários. Sendo necessário ressaltar que nesta data havia a presença de uma pluma de fumaça que recobria a cidade, assim como ocorrido em 11/09.

Os resíduos para esta data estiveram distribuídos entre -2,2 °C e 2,2 °C, tendo os valores acima de 2 °C, positivos ou negativos, dispostos nos pontos P14, característico da área de expansão urbana a Leste; P49 localizado na área de expansão urbana ao Sul, e P96, localizado no espaço residencial fechado Reserva Celeste.

Os pontos P23-P24, próximos a reserva da UNEMAT e na transição para a área urbana; P42-43, caracterizado pela LCZ 8; P63 a P65, próximo a vegetação arbórea densa e com LCZ 6; P93 a P95, contido nas LCZs F e D; e o P98, localizado na área de LCZ 3_B, apresentaram valores residuais que variaram de 1 °C a 1,9 °C. De maneira coincidente e oposta, nos pontos P1-P2, com propriedades de LCZ D_F; P12-P13-P15 a P17, caracterizados por elementos da área de expansão urbana e predominância das LCZs 6 e F; P20-P34, contidos na LCZ A; P33, referente a área densamente construída; P39, composto pelas LCZs 8 e F; P48-P50 a P53, caracterizados pela predominância das LCZs F e 3_B; e P61, próximo a vegetação arbórea densa e LCZ 8 preeminente, observou-se a distribuição dos resíduos entre -1 °C e -1,9 °C.

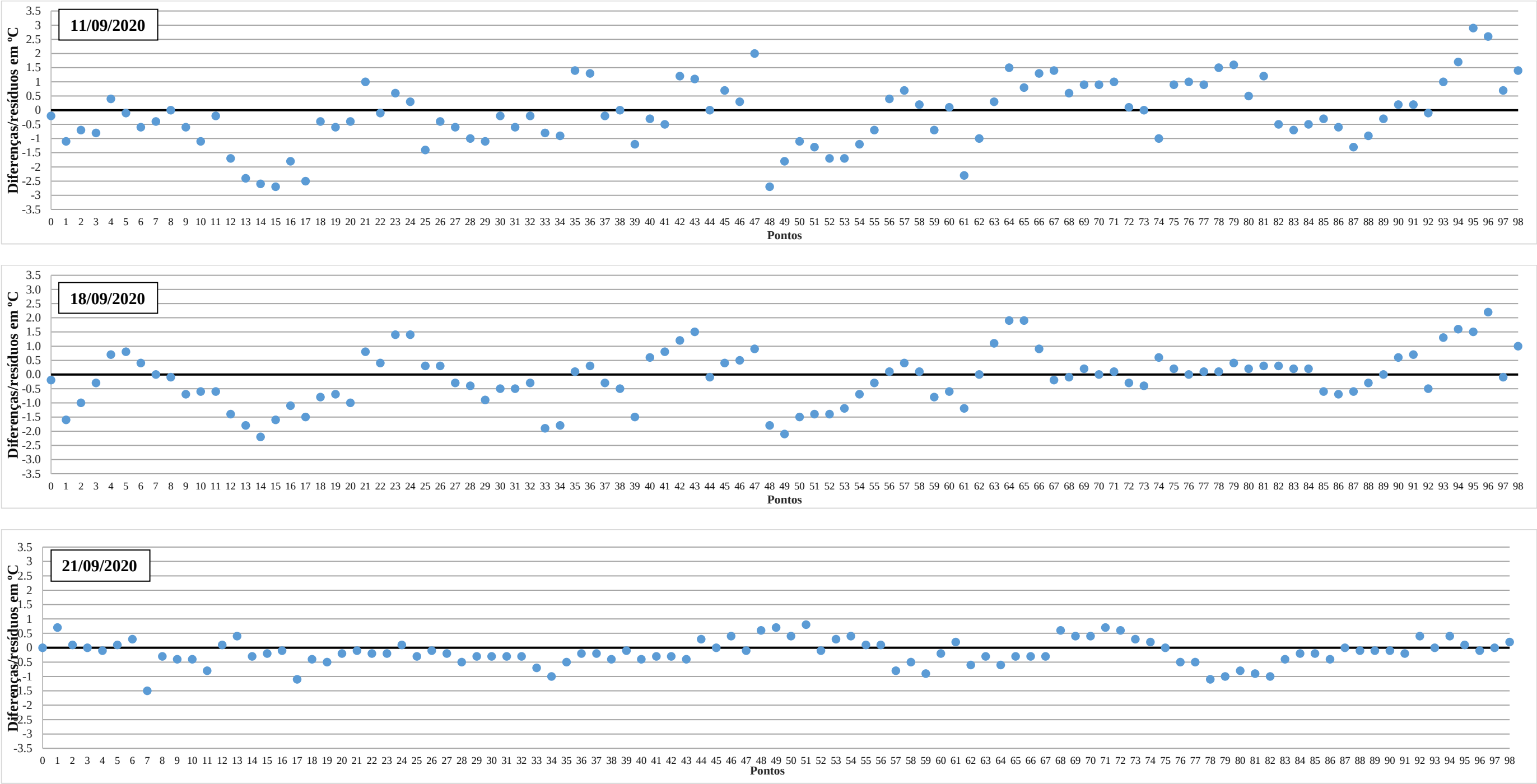
Com base no exposto na Tabela 9, dos 99 pontos analisados para a validação, 72% obtiveram valores aproximados ou iguais aos aferidos, 17% foram subestimados e 11% superestimado, o que, assim como nos modelos anteriores, confere desempenho satisfatório à modelagem.

Tabela 9: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 18/09/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre -2°C e -3°C	2	2	Subestimou (17%)
Entre -1°C e -2°C	15	15	
Entre -1°C e 1°C	71	72	Igualou ou se aproximou (72%)
Entre 1° C e 2° C	10	10	Superestimou (11%)
Entre 2° C e 3° C	1	1	

O último gráfico, correspondente a 21/09, permite inferir que o modelo gerado para esta data, se constitui como o de melhor desempenho dentre todos os analisados. No entanto, faz-se necessário apontar que esta característica deriva da homogeneização da temperatura do ar, justificada pela atuação de mecanismos atmosféricos instáveis, que são capazes de camuflar a influência das propriedades da paisagem no clima local.

Figura 36: Representação gráfica dos resíduos verificados nos modelos de 11, 18 e 21/09/2020



Diante do exposto, aponta-se que a variação dos resíduos para o modelo de 21/09 se deu em um reduzido intervalo térmico, entre -1 °C e -1,5 °C, tendo sido os valores encontrados nos pontos P7-P17, caracterizados por elementos das áreas de expansão urbana; P34, associado a LCZ A; P78-P79, compostos pelas LCZs 3_B e 6, e P82, localizado na LCZ 3_B.

A síntese contida na Tabela 10, exprime a condição satisfatória do modelo, pois aponta que 97% dos pontos analisados apresentaram valores residuais próximos ou iguais a reta, enquanto apenas 3% foram subestimados.

Tabela 10: Classificação dos resíduos gerados para o modelo de 21/09/2020

Classes de diferenças da temperatura do ar aferida e modelada	Quantidade de pontos	Porcentagem dos pontos	Resultados do modelo
Entre -1°C e -2°C	3	3	Subestimou (3%)
Entre -1°C e 1°C	96	97	Igualou ou se aproximou (97%)

De modo geral, os parâmetros apresentados ao longo deste subcapítulo atestam a significância estatística dos modelos gerados nesta pesquisa, bem como a validação refinada possibilitada pela análise dos resíduos, permite identificar os pontos que se configuraram como resíduos permanentes, isto é, pontos nos quais, independentemente dos fatores, o modelo não consegue explicar, identificando assim os limites da aplicação e a confiabilidade dos resultados.

A fim de se exemplificar os pontos de resíduos permanentes, cita-se os pontos P13-P14-P16, caracterizado pelas LCZs F e 6 e P14, os quais apresentaram consideráveis variações em cinco, dos sete modelos gerados, sempre subestimando a temperatura modelada; P17, referente a área de expansão urbana do eixo Leste – LCZs 8 e F, que subestimou a temperatura modelada em seis modelos, inclusive para o de 21/09 – caracterizado pela homogeneização da temperatura do ar; P95, composto pela LCZ F e com proximidade de corpos hídricos/vegetação, no qual a temperatura foi superestimada em seis modelos; e, por fim, o P96, referente ao ponto fixo incidente no espaço residencial fechado Reserva Celeste, em que nos seis primeiros modelos, superestimou a temperatura do ar. É válido ressaltar que o P96 já apresentava características particulares nos dados analisados por meio das tabelas dinâmicas, o que já indicava a sua condição de “fora do padrão” verificado para as suas características construtivas.

Assim, destaca-se que as representações cartográficas dispostas no próximo subcapítulo encontram validade, sobretudo, ao ser considerado as limitações apresentadas, dado a complexidade da influência das características e propriedades da paisagem, organização espacial e situações atmosféricas.

7.2.2 A representação cartográfica da modelagem da ilha de calor

Com a validação dos modelos, por meio dos parâmetros apresentados anteriormente, decidiu-se pela espacialização dos resultados com ênfase na temperatura do ar absoluta, para melhor acompanhamento dos resultados com o apoio dos resíduos, e na intensidade e magnitude da ilha de calor, qualificando as diferenças térmicas, tendo como intuito geral, corroborar com a análise da relação das características paisagísticas e a componente climática da temperatura do ar.

A Figura 37 apresenta a espacialização das temperaturas modeladas, para as sete datas em que se realizou a aferição itinerante da temperatura do ar e, conseqüentemente, os episódios sobre os quais foram gerados os modelos. Ressaltando, que as características térmicas apresentadas são referentes ao período noturno, podendo se modificar em outros períodos do dia/sazonalidade anual.

Partindo da imagem referente a 27/08 - episódio caracterizado pela atuação da mTa, com temperaturas do ar diária iguais a 37,4 °C, para a máxima, e 23,9 °C, para a mínima, e umidade relativa do ar distribuída entre 32% e 76% - nota-se diferenças nos valores associados as localidades construídas e não construídas, bem como a predominância dos valores mais elevados para a malha urbana e partes da área de expansão a oeste.

Em termos quantitativos, observou-se a predominância dos intervalos térmicos de 24,1 °C a 25,5 °C, de 25,6 °C a 27 °C e de 27,1 °C a 28,6 °C, para o entorno rural, sobretudo nas áreas cultiváveis consolidadas na LCZ D_F. Na malha urbana e nas áreas de expansão ao Oeste e em manchas na área rural, tendo como característica as LCZs 3, 3_B, 6, 8 e F, obteve-se os valores distribuídos entre 28,6 °C e 30 °C, enquanto os resultados acima de 30 °C, se concentraram nas áreas de LCZ 6 na porção centro-oeste da malha urbana e LCZ 3_B na porção noroeste.

Os dois menores intervalos térmicos para esta data, 21,1 °C a 22,5 °C e 22,6 °C a 24 °C, foram observados, pontualmente, nas áreas com presença de vegetação arbórea densa (LCZ A) e distantes da malha urbana.

O segundo episódio, 02/09, foi marcado pela atuação da mTac, possibilitando condições de amplitudes termo-higrométricas elevadas, como temperatura máxima e mínima iguais a 36,8

°C e 21,1 °C, respectivamente e umidade relativa do ar entre 17% e 59%. Nota-se na imagem, que a variação geral dos resultados se deu, principalmente, abaixo de 20 °C e até 30 °C, tendo presença pontual e diminuta de valores acima de 30 °C.

As áreas de vegetação arbórea, afastadas da malha urbana, e um restrito segmento de áreas cultiváveis, manifestaram os menores valores de temperatura, enquanto o maior intervalo térmico para data, 28,5 °C e 30 °C, esteve associado a porções das LCZs 6 e 3_B, verificadas na parte centro-oeste e noroeste da malha urbana.

No intraurbano, os valores de temperatura prevalecentes se deram entre os intervalos de 27,1 °C a 28,5 °C e de 25,6 °C a 27 °C. Tendo o primeiro intervalo, com maior associação a localidades das LCZs 3, 6 e 8, e o segundo intervalo, vinculado em locais de LCZ 3_B, nas proximidades do Parque Florestal.

As áreas de transição entre o espaço urbano e o rural, áreas cultiváveis próximas e locais de vegetação arbórea urbana, apresentaram temperaturas contidas entre 22,6 °C e 27 °C, demarcando a mudança gradual dos valores a medida em que se caminhava rumo a malha urbana ou se avançava para o entorno rural. As reservas vegetais, contidas na malha urbana, apresentaram no seu interior “mais distante” das construções, temperaturas distribuídas entre 21,1 °C e 22,5 °C.

Embora tenha apresentado características semelhantes com a data anterior, como temperatura máxima e mínima iguais a 36,1 °C e 22,4 °C, umidade relativa do ar variando entre 27% e 59% e atuação da mT_{ac}; os resultados verificados para o episódio de 03/09 apresentam certas diferenças. A principal delas reside no intervalo térmico que vai de 24,1 °C a 28,5 °C, predominantemente.

Na distribuição dos valores, constatou-se que as temperaturas mais elevadas – 28,1 °C a 30 °C, estiveram associadas, prioritariamente, com a LCZ 3 encontrada na área central/comercial da cidade e em manchas nas LCZs 8, 3_B e D_F. O intervalo predominante na carta, contemplando as áreas vegetadas – arbórea ou rasteira –, de solo exposto, construções espaçadas, densamente construídas com ou sem presença de vegetação, dentre outras características, foi o de 26,1 °C a 28 °C; tendo sido, esse caráter de homogeneidade verificado, também, nos transectos móveis e na variabilidade da ilha de calor – apresentados no início do capítulo 7 e subcapítulo 7.

Os menores valores dispostos para esta data, 24,1 °C a 26 °C, se fizeram presentes nas áreas de LCZs A, D e D_F, que se distanciavam da malha urbana, sendo dispostas nos quadrantes NO, SO, NE e SE da carta de temperatura contida na Figura 37.

O episódio de 05/09, ficou caracterizado, também, pela atuação da mTac e seus mecanismos que viabilizaram variações consideráveis no campo termo-higrométrico, como umidade relativa do ar entre 25% e 55% e temperatura do ar entre 22,6 °C e 36,8 °C.

Do ponto de vista da espacialização dos valores modelados, nota-se que para esta data, tem-se a retomada dos intervalos térmicos abaixo de 24,1 °C – 21,1 °C a 22,5 °C e 22,6 °C a 24 °C – para as áreas de vegetação arbórea associadas aos cursos hídricos e distanciadas da malha urbana, o que garante o contraste da paisagem vegetada e construída.

No intraurbano, foi observada a predominância de valores distribuídos entre 28,6 °C e 30 °C, nas localidades características das LCZs 3 e 8, dispostas na área central e na porção nordeste da malha urbana. Enquanto o intervalo térmico de 27,1 °C a 28,5 °C se estendeu sob as LCZs 3_B, 6, F e grande parte da 8, sendo muitas vezes correspondentes as áreas de expansão urbana.

No entorno rural, caracterizado pelas propriedades da LCZ D_F, e nas áreas de LCZ A – sobretudo nas inseridas no intraurbano –, verificou-se a distribuição térmica entre 24,1 °C e 27 °C, sendo um pouco mais elevadas que os dois menores intervalos, mas, ainda sim, menores do que a área construída.

As condições atmosféricas verificadas em 11/09, foram derivadas da atuação da mTac, com variação térmica diária entre 24 °C e 37,4 °C, e higrométrica entre 21% e 61%. No entanto, a principal diferença entre esse episódio e os demais em que se constatou a atuação da mTac, foi a presença de plumas de fumaça oriundas das queimadas que ocorriam no contexto regional da área de estudo.

No que diz respeito a espacialização da temperatura modelada, observou-se que esta data foi a que apresentou, em proporções consideráveis, todos os intervalos térmicos contidos na legenda da Figura 37. Tendo os valores abaixo de 20 °C, associados a vegetação arbórea do entorno rural e em pontos dos fragmentos florestais intraurbano, e os acima de 30 °C, correspondentes a porção centro-leste e noroeste da malha urbana e incidida nas LCZs 6, 3, 8 e 3_B.

Os intervalos térmicos de 21,1 °C a 22,5 °C e 22,6 °C a 24 °C, caracterizaram as localidades com propriedades da LCZ A, sendo no espaço rural ou urbano, e da LCZ D_F mais distantes das áreas construídas e próximas a vegetação. Enquanto as áreas da LCZ D_F próximas a malha urbana, manifestaram valores distribuídos entre 24,1 °C e 27 °C.

No interior da malha urbana, incluindo as áreas de expansão a Oeste, constatou-se a primazia das temperaturas modeladas dispostas entre 28,6 °C e 30 °C, caracterizando grande

parte das LCZs 8, 3_B, 3 e porções da LCZ 6. Já as áreas de transição entre o espaço urbano e o rural, apresentaram valores contidos entre 27,1 °C e 28,5 °C.

Para o episódio de 18/09, a caracterização das condições atmosféricas se deu pela atuação da mEc e de seus mecanismos que possibilitaram a verificação de valores de temperatura máxima e mínima iguais a 37 °C e 22,8 °C, e de umidade relativa entre 36% e 67%, ressaltando que também houve a influência de plumas de fumaça como verificado em 11/09.

Os intervalos térmicos de < 20 °C, 21,1 °C a 22,5 °C e 22,6 °C a 24 °C, ficaram restritos para as áreas de vegetação arbórea (LCZ A) e pequenas porções da LCZ D_F próxima de vegetação concentradas na porção SO da carta de temperatura. Enquanto os valores entre 24,1 °C e 27 °C se associaram as áreas características da LCZ D_F.

A transição rural-urbano apresentou valores distribuídos entre 27,1 °C e 28,5 °C, indicando temperaturas mais elevadas no intraurbano. Assim, na malha urbana, houve o predomínio do intervalo térmico de 28,6 °C a 30 °C, para as LCZs 3_B e 8, e de valores acima de 30 °C para as LCZs 3 e 6 na porção centro-oeste.

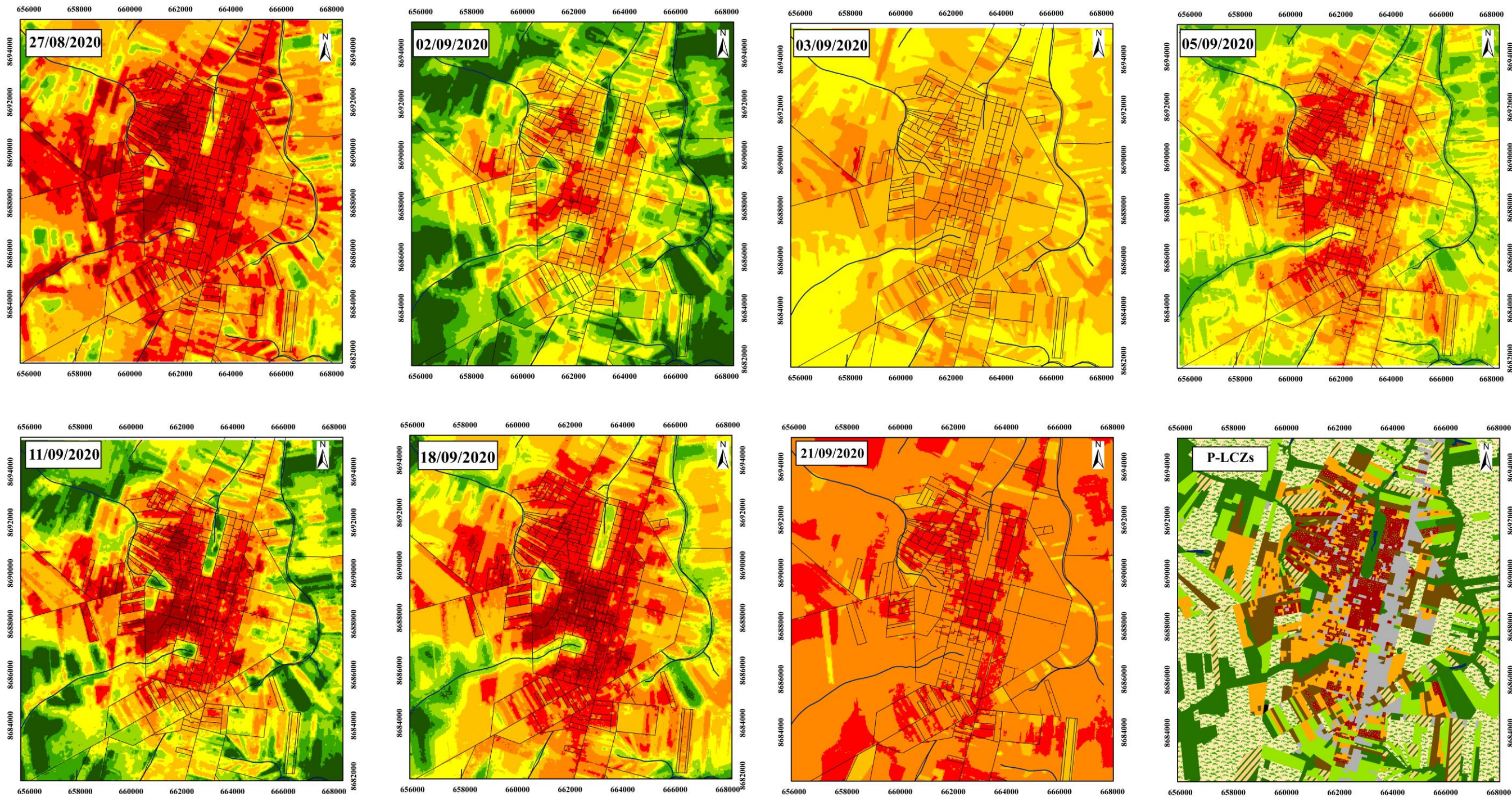
Por fim, o episódio de 21/09, caracterizado por situações atmosférica de instabilidade, como a FPA e posterior a registro de precipitação – dois dias de intervalo –, apresentou variação térmica diária entre 22,8 °C e 37 °C, e umidade relativa do ar entre 45% e 84%.

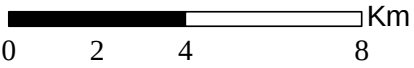
No que condiz a espacialização da temperatura modelada, a principal característica desta data reside na homogeneização, sobretudo, para a malha urbana e entorno rural. O intervalo de 28,6 °C a 30°, sendo o mais elevado para o episódio, ficou concentrado na LCZ 3 localizada na área central da cidade, na LCZ 3_B nos quadrantes Norte e Noroeste de malha urbana, na LCZ 8 e áreas da LCZ D_F de forma pontual.

A LCZ 9, apresentou característica marcante para esta data, sendo responsável pela presença de valores entre 25,6 °C e 27 °C, enquanto as demais áreas ficaram associadas com o intervalo térmico de 27,1 °C a 28,5 °C.

De modo geral, observa-se a dinamicidade da distribuição térmica em função das propriedades paisagísticas que repercutem e reorganizam os fenômenos físicos vigentes, condicionando, mesmo que temporariamente, as características do clima local. Bem como percebe-se certas similaridades entre os episódios, mesmo que em situações atmosféricas semelhantes, com exceção do dia 21/09.

Figura 37: Espacialização das temperaturas modeladas para as datas de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro, referente às 21h



Classes de temperatura (°C)		 < 21	 21.1 – 22.5	 22.6 – 24	 24.1 – 25.5	 25.6 – 27	 27.1 – 28.5	 28.6 – 30	 > 30				
P-LCZs	 3	 3B	 6	 8	 9	 A	 B	 D	 Df	 F	 G	Elementos gráficos:  Setor Censitário  Hidrografia	
Escala:  Km		Informações Cartográficas: Projeção Universal Transversa de Mercator Datum: SIRGAS 2000 Fuso: 21S		Fontes: Base Vetorial: IBGE, 2010 Dados: Coleta em campo		Elaboração e Organização: Luis Flávio de Araújo Orientadora: Prof.ª Dr.ª Margarete Amorim Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil		Instituição de Ensino:  Grupo de Pesquisa:  Fomento: 					

A fim de sintetizar e qualificar os resultados em função das características da paisagem, e exemplificar o que foi discutido anteriormente, tem-se a proposição da Figura 38 que apresenta os valores médios, desvio padrão e moda, da temperatura modelada para as principais LCZs observadas em Sinop.

Em geral, a análise da referida Figura, reafirma a presença dos valores de temperatura modelada mais elevadas para as áreas construídas, quando comparadas com as propriedades paisagísticas do entorno rural, com exceção do episódio de 21/09, que dado as suas condições de instabilidade atmosférica – gênese de fluxos turbulentos –, possibilitou a homogeneização da temperatura do ar e sua espacialização por sobre a área de estudo.

Na pormenorização do observado, afirma-se que as áreas cultiváveis, exemplificadas pela LCZ D_F, apresentou médias e moda inferiores às LCZs 3, 3_B, 6 e 8, para os episódios de 27 de agosto e 02, 03, 05, 11 e 18 de setembro, sendo significativa para a confirmação da maior alteração nos fluxos energéticos e outros, nos ambientes construídos. No entanto, ao centrar a análise entre a LCZ D_F e LCZ A, percebe-se que os valores contidos na tabela do primeiro, são ligeiramente menores, denotando que as atividades socioeconômicas também modificam a estrutura do clima local, mesmo que em menor proporção se comparada com a produção do espaço urbano.

Nas áreas construídas, percebe-se que a distribuição dos valores apresenta certas particularidades, mesmo que ainda se encontrem próximos, tendo como expoentes das temperaturas mais elevadas, as LCZs 3 e 6. As áreas densamente construídas – LCZ 3 – tenderam a sobressair quando comparadas com as áreas de construções espaçadas – LCZ 6 –, tanto em termos médios, mesmo que por diferenças pequenas, quanto pelos valores da Moda – este de maneira mais significativa.

A proximidade da temperatura entre as duas áreas mencionadas anteriormente, aponta a importância de se analisar todo o contexto em que se insere a área de estudo e seus componentes, pois, ambas apresentam características construtivas distintas, mas quando inseridas na complexidade da malha urbana essas diferenças podem repercutir de maneira tímida nos resultados.

Aponta-se também a proximidade da temperatura modelada das LCZs 3_B e 8, em todos os episódios, se dando não só em termos médios, mas também nos indicadores da Moda. Sendo uma possível justificativa para este fato, a presença de vegetação arbórea e as grandes áreas impermeáveis dos edifícios que compõem a LCZ 8.

Figura 38: Valores médios, desvio padrão e moda da temperatura modelada para as principais LCZs

LCZ 3- Compacta de baixa elevação			
Data	Média	Desvio Padrão	Moda (°C)
27/08	29,4	0,8	28,6
02/09	26,9	1,7	27,5
03/09	27,6	0,9	26,7
05/09	28,3	1,1	27,6
11/09	28,8	1,5	29,3
18/09	29,3	1,3	28,8
21/09	28,6	0,4	28,2

LCZ 3B- Compacta de baixa elevação e vegetação arbórea esparsa			
Data	Média (°C)	Desvio Padrão	Moda (°C)
27/08	29,0	0,9	27,3
02/09	26,0	1,5	23,6
03/09	27,5	0,7	26,3
05/09	27,7	0,8	26,6
11/09	28,6	1,3	26,1
18/09	29,1	0,8	28,6
21/09	28,5	0,4	28,2

LCZ 6- Aberta de baixa elevação			
Data	Média (°C)	Desvio Padrão	Moda (°C)
27/08	29,4	1,0	28,8
02/09	26,5	1,5	24,1
03/09	28,3	0,8	26,8
05/09	28,1	1,0	28,4
11/09	28,7	1,5	26,8
18/09	29,2	0,9	28
21/09	27,8	0,2	27,8

LCZ 8- Grandes construções de baixa elevação			
Data	Média (°C)	Desvio Padrão	Moda (°C)
27/08	29,0	1,1	29,3
02/09	26,5	1,7	23,9
03/09	27,3	0,9	25,8
05/09	27,6	1,2	25,8
11/09	27,9	1,9	25,9
18/09	29,1	1,0	26,8
21/09	28,5	0,2	28,5

LCZ A- Vegetação arbórea densa			
Data	Média (°C)	Desvio Padrão	Moda (°C)
27/08	25,7	2,0	24,9
02/09	20,4	2,5	14,8
03/09	26,0	0,8	25,8
05/09	24,0	1,3	24,3
11/09	21,4	2,8	16,7
18/09	23,5	1,8	20,2
21/09	28,0	0,2	27,7

LCZ Dr- Vegetação rasteira ocupada sazonalmente por solo exposto			
Data	Média (°C)	Desvio Padrão	Moda (°C)
27/08	27,0	1,3	26,2
02/09	22,2	1,8	18,9
03/09	26,1	0,8	26,4
05/09	24,4	1,4	22,7
11/09	23,6	1,9	23,4
18/09	25,5	1,1	24,7
21/09	28,4	0,2	28,5

Por fim, pautado nos resultados debatidos ao longo desta pesquisa, apresenta-se a Figura 39 que contém a espacialização das intensidades das ilhas de calor às 21h, baseada nos valores obtidos por meio da modelagem estatística – aplicada pela regressão linear múltipla –. Faz-se necessário apontar que, a temperatura utilizada como referência foi a verificada no pixel que coincide com o Ponto de Referência (localizado no entorno rural à SO da malha urbana, como apresentado na Figura 11), adotado na análise por pontos fixos, pois, possibilitou a manutenção da análise dentro das mesmas características anteriores, bem como a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura modelada foi inferior a 1 °C.

Para a data de 27/08, verificou-se a predominância das intensidades abaixo de 0 °C – que indicam áreas de ilha de frescor – para o entorno rural, sobretudo o mais distanciado da malha urbana, se associando também a presença de vegetação arbórea densa. Sendo seguidas pela presença de valores que caracterizam a ICU de magnitude fraca (0 °C a 2 °C), em grande parte das áreas cultiváveis, de solo exposto e construções com presença de vegetação.

A magnitude média, neste episódio, se associou em partes das construções amplas de baixa elevação – de uso comercial/industrial –, porções da área central, centro-oeste e noroeste da malha urbana, onde se concentram características construtivas das LCZs 8, 3, e 3_B.

O episódio de 02/09, assim como em 27/08, apresentou intensidades abaixo de 0 °C para as áreas características das LCZs A e D_F, principalmente quando afastadas das áreas construídas. A vegetação arbórea inserida na malha urbana e as áreas cultiváveis próximas ao núcleo urbano, foram as responsáveis pelo comparecimento dos valores característicos da fraca magnitude da ilha de calor.

A média magnitude da ICU, ficou associada em pequenas machas da LCZ D_F – sobretudo as localizadas na transição rural-urbano –, bem como em manchas de solo exposto e pontualmente nas áreas densamente construídas com presença de vegetação arbórea, no entorno do Parque Florestal. Enquanto a forte magnitude, predominante na malha urbana e caracterizada pelas intensidades de 4,1 °C a 6 °C, ficou associada a grande parte das áreas de LCZs 8, 3, 6 e 3_B.

Para esta data, constatou-se também a presença da magnitude de ICU muito forte, sendo espacializada em porções de LCZs 6, 3 e 8, principalmente, no centro-oeste e noroeste da malha urbana.

A espacialização das intensidades contidas na imagem de 03/09 apresentou-se pouco dinâmica quando comparada a 02/09 e com redução territorial da média magnitude quando relacionada com o episódio de 27/08. Nota-se também, a predominância da fraca magnitude vinculada a grande parte do entorno rural e da malha urbana, expressas nas LCZs D_F, 8, 3_B e F.

As maiores intensidades, típicas da média magnitude, ficaram associadas a LCZ 6, contidas nas porções centro-oeste e noroeste da malha urbana, e a LCZ 3 presente na área central/comercial da cidade. Já as ilhas de frescor, verificadas em intensidades abaixo de 0 °C, novamente se associaram as áreas de vegetação arbórea densa e cultiváveis que se encontram distanciadas da malha urbana.

Em relação ao episódio anterior, a espacialização de 05/09 apresentou maior expansão territorial da média magnitude da ICU, assim como verificado em 27/08. Observou-se também a maior abrangência espacial das intensidades típicas das ilhas de frescor, estando associadas as LCZs A e D_F.

A fraca magnitude foi representativa para as LCZs 3, 6, 8 e F, e para a LCZ 3_B contida na porção noroeste da malha urbana. Enquanto a forte magnitude da ICU foi verificada de forma pontual nas LCZs 3, 6 e F, que se encontravam mais adentradas na malha urbana.

A forma apresentada pela distribuição das intensidades para o episódio de 11/09, esteve semelhante à verificada em 02/09, assim como as magnitudes expressas para estas datas. Logo, constatou-se as ilhas de frescor associadas as LCZs A e D_F, sobretudo as que se distavam das áreas construídas.

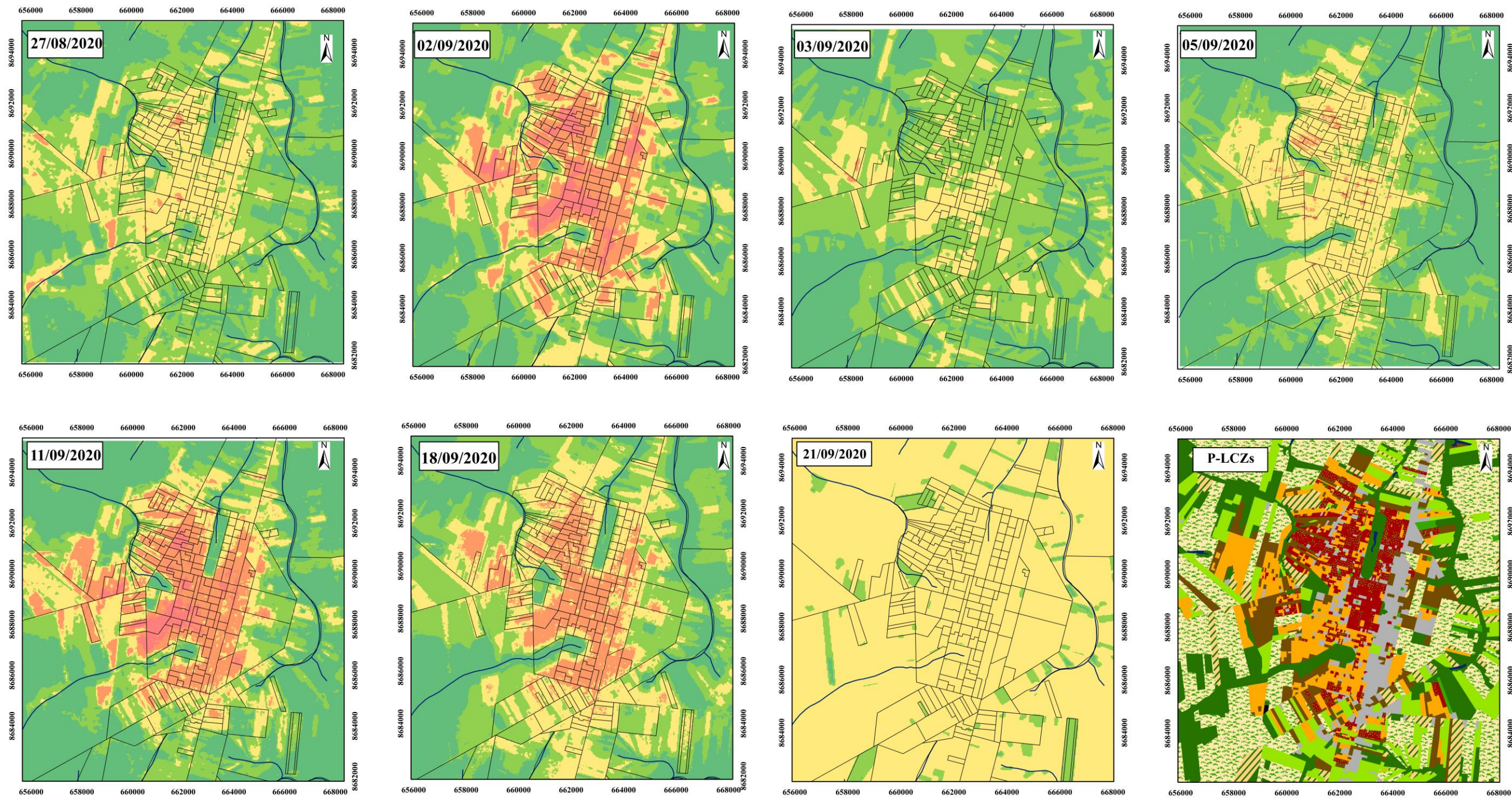
As intensidades característica da ICU de fraca magnitude, ficaram vinculadas com as áreas cultiváveis que se aproximavam da malha urbana e com pequenas porções de solo exposto, sendo pouco abrangentes no âmbito espacial. De maneira similar, a média magnitude foi pouco abrangente espacialmente, ficando associada a porções das LCZs D_F, 9 e F na transição rural-urbano, e a LCZ 3_B no entorno do Parque Florestal.

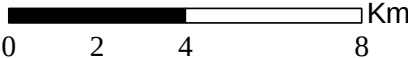
Na malha urbana, as intensidades predominantes foram as inerentes das magnitudes forte e muito forte da ilha de calor, estando a primeira associada com as LCZs 3, 3_B, 6 e 8; e a segunda, principalmente, vinculada com a LCZ 6 contida na porção centro-oeste da cidade.

O último episódio em que se verificou certa dinamicidade na distribuição das intensidades foi 18/09, que ao ser relacionado com a data de 11/09, possibilita identificar a “retração” espacial da média magnitude da ICU e a ausência da forte magnitude.

As LCZs 6, 8, 3 e 3_B, contidas nas porções noroeste e centro-oeste da malha urbana, manifestaram intensidades características de forte magnitude da ilha de calor, justificando o predomínio desta magnitude no intraurbano. Já a fraca magnitude da ICU, ficou associada as LCZs 9 e 6 nas áreas de transição urbano-rural e a LCZ 3_B presente no entorno do Parque Florestal e em partes dos bairros na porção noroeste da malha urbana.

Figura 39: Espacialização das intensidades da ilha de calor urbana, derivada das temperaturas modeladas para 27 de agosto e 02, 03, 05, 11, 18 e 21 de setembro de 2020 – às 21h



Intensidade ($\Delta T_{\text{modelada}} - T_{\text{rural}}$)		 < 0	 0 - 2	 2.1 - 4	 4.1 - 6	 6.1 - 8								
P-LCZs		 3	 3B	 6	 8	 9	 A	 B	 D	 D _F	 F	 G	Elementos gráficos:  Setor Censitário  Hidrografia	
Escala:  Km		Informações Cartográficas: Projeção Universal Transversa de Mercator Datum: SIRGAS 2000 Fuso: 21S		Fontes: Base Vetorial: IBGE, 2010 Dados: Coleta em campo		Elaboração e Organização: Luis Flávio de Araújo Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Margarete Amorim Coorientador: Prof. Dr. Vincent Dubreuil		Instituição de Ensino: 		Grupo de Pesquisa: 		Fomento: 		

As LCZs D_F e F, distantes das áreas construídas, foram as responsáveis pela presença da fraca magnitude da ICU, sendo seguida pelas ilhas de frescor associadas as áreas de vegetação arbórea densa e partes das áreas cultiváveis, principalmente quando distantes de construções.

O último episódio, dada as condições atmosféricas atuantes em 21/09, obteve-se uma distribuição homogênea das intensidades da ilha de calor, associada à média magnitude com exceções pontuais na LCZ 9, tendo nestas áreas, a manifestação da ilha de calor de fraca magnitude.

Em suma, os resultados quantitativos e as espacializações, tanto da temperatura modelada absoluta quanto das intensidades da ilha de calor, confirmam as modificações na escala climática local em função das propriedades e características paisagísticas e dos aspectos físicos de Sinop, destacando as áreas construídas como as de maior influência na componente climática da temperatura do ar.

Aponta-se também que as atividades agrícolas, pauta primordial da economia da área de estudo, são capazes de influenciar nos mecanismos físicos – como no fluxo de energia –, possibilitando a identificação de modificações quando comparados os resultados destas áreas com a vegetação arbórea densa, por exemplo. Apresentando as áreas destinadas a estes usos, características térmicas entre a vegetação arbórea densa e as áreas construídas.

Afirma-se também o papel de importância desempenhado pela vegetação arbórea no controle da distribuição da temperatura do ar/modelada, não só no entorno rural, mas também nos fragmentos florestais e certos bairros do intraurbano.

Por último, ressalta-se que os resultados verificados neste subcapítulo são corroborados por estudos como o de Dorigon (2019) em que se verificou maior aquecimento das LCZs características das áreas urbanas – LCZ 3 e LCZ 3_B – e menores para as LCZs rurais ou pouco edificadas – LCZ 9, LCZ A, dentre outras. Assim como encontram bases em Cardoso (2015), Amorim (2020a), Teixeira (2019), Rampazzo (2019), dentre outros, que observaram maior aquecimento das áreas construídas em função de suas características e do papel da vegetação como mitigador de potenciais problemas como as ilhas de calor urbano.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações humanas ao se materializarem na produção do espaço urbano e na composição dos espaços rurais de diversos usos, proporcionam a alteração nos mecanismos físicos, como os balanços energético e hídrico, que podem se manifestar nos elementos do clima local como a temperatura. Tal característica proporciona ao espaço urbano a configuração de um clima próprio, tendo como principal elemento de investigação a ilha de calor, que se faz presente independentemente do porte da cidade, mas que apresenta particularidades e similaridades em função dos aspectos geoambientais e urbanos das áreas em que se encontram, como verificados em Ugeda Júnior (2011), Cardoso (2015), Ortiz Porangaba (2015), Amorim (2020a), Dorigon (2019), Rampazzo (2019), dentre outros estudos de grande relevância.

Os dados e análises apresentados neste trabalho contribuíram para o alcance do objetivo geral da pesquisa, que se centrou na identificação e análise da ilha de calor em Sinop, considerando os sistemas atmosféricos atuantes e a relação com as características das paisagens urbana e rural, estando essa contribuição apresentada nos desdobramentos dos objetivos específicos.

Ao analisar os processos e agentes que possibilitaram a formação e consolidação do espaço urbano de Sinop, percebeu-se que não só a atividade econômica vigente atualmente, mas também as formas urbanas e consequentemente as propriedades paisagísticas urbanas e rurais, seguiram uma lógica orientada pelos atos administrativos e particulares que visavam a integração de novos espaços a economia nacional, se utilizando da instalação de infraestrutura, fomento da colonização privada e incentivos à agroindústria – via financiamentos e desenvolvimento tecnológico.

Tais atos e orientações possibilitaram a consolidação de um núcleo urbano com relações intrínsecas às atividades econômicas desenvolvidas em seu entorno rural, que marcam por meio das formas espaciais, o tecido urbano e as propriedades paisagísticas que ao se relacionarem com a componente climática manifesta alterações consideráveis. Isto é, as características urbanas e rurais são fruto das relações sociais de poder contidas no contexto da expansão capitalista brasileira, que ao se materializarem modificam as dinâmicas físicas das áreas em que se inserem, produzindo assim fenômenos como a ilha de calor urbano.

Os resultados encontrados no objetivo anterior, auxiliaram também na classificação das paisagens urbana e rural, pois, por meio dos contextos de produção do espaço e consolidação da atividade agroexportadora, conseguiu-se traçar um panorama das ações que orientaram e justificam os padrões observados, bem como os seus agentes produtores que, posteriormente,

enfrentarão os desdobramentos destas alterações, cada qual a seu modo. Aponta-se também a importância desta classificação em dois fatores principais, sendo o primeiro associado a linguagem geral utilizada na identificação das propriedades que constituem cada classe e sua nomenclatura, possibilitando a comparação entre os resultados deste trabalho com futuros ou de outras áreas, e a relação dos resultados obtidos pelas diferentes técnicas com os mesmos pontos trabalhados, a fim de se verificar a influência das atividades humanas em diversas escalas e períodos.

O segundo fator reside na qualificação dos componentes urbano e rural da área de estudo, pois, o espaço urbano apresenta particularidades derivadas da sua produção que interage de maneira distinta com os elementos físicos e se manifesta de forma particular também, sendo este mesmo princípio aplicável ao espaço rural, pois, este é composto por diversos usos e coberturas que podem variar sazonalmente, alterando de maneira singular o fluxo climático local nas escalas espaciais e temporais.

A utilização de dados obtidos por processamento das imagens de satélite, possibilitaram a identificação de um padrão de distribuição das intensidades das ilhas de calor superficiais e sua relação com a sazonalidade da produção agrícola e das condições climáticas, que também se expressam nas características físicas das plantas, sendo primordial a análise junto às potenciais LCZs para a qualificação dos resultados. Assim, percebeu-se que as intensidades das ilhas de calor de superfície, em Sinop, tendem a se apresentarem mais elevadas no espaço urbano no período associado às condições atmosféricas instáveis com registros de precipitação e nos quais a produção agrícola está vigente; sendo este cenário modificado sob situações atmosféricas estáveis e períodos de vazão sanitário, tendo então, os maiores valores de intensidades associados às áreas cultiváveis – temporariamente representadas por solo exposto.

Outro padrão analisado na distribuição da intensidade da ilha de calor superficial consistiu na verificação de que as mudanças nos valores entre o período chuvoso/produção agrícola e o período de estiagem/vazão sanitário, para as LCZs 3 e 3_B se dão de maneira significativa, enquanto a transição das LCZs 6 e 8 são mais brandas, mesmo que todas estas classes apresentem propriedades construtivas nas quais os valores de NDVI pouco oscilam. No entanto, a LCZ D_F se constitui como a classe em que a variação das intensidades e de NDVI sofrem abruptas alterações, evidenciando assim a intrínseca relação vegetação-temperatura de superfície.

O processamento dos dados de temperatura do ar, aferidos por pontos fixos e transectos móveis, também possibilitaram a identificação de padrões característicos das ilhas de calor vigentes em Sinop. Tendo por uma das vias, a análise da variabilidade diária nas ilhas de calor

referente ao ano de 2018 e ao período de 27 de agosto a 27 de setembro de 2020, que, de modo geral, possibilitou verificar que sob a atuação de sistemas atmosféricos instáveis, como ZCAS, ZCOU, IT, FPA e FE, tem-se a predominância das intensidades características da ilha de calor de fraca magnitude, derivada da presença de nebulosidade, turbulências do ar atmosférico e precipitação. Já em condições sinóticas estáveis, com atuação da mTa, mTac, mPa e mPt – esses últimos com exceções –, verificou-se a persistência das magnitudes média e forte na escala diária e mensal, sobretudo no segundo quadrimestre de 2018.

Outras características observadas a partir dos dados da temperatura do ar e de fundamental importância, residem no fato de que as maiores intensidades das ilhas de calor urbano de Sinop ocorrem no período noturno sob condições atmosféricas de estabilidade, e no fato de que a variabilidade da ICU apresenta um ritmo anual associado a circulação sazonal da atmosfera e ao total de precipitação acumulada, sendo este último capaz de anular até mesmo a expressão do urbano na camada atmosférica próxima a superfície.

Ao analisar a espacialização da temperatura do ar e da intensidade da ilha de calor, por meio dos transectos móveis realizados entre as 21h e as 22h, constatou-se que: em situações atmosféricas estáveis a LCZ A – representada pelas reservas florestais no intraurbano – tenderam a apresentar valores de temperatura menos elevados do que as áreas construídas, mas ainda mais elevadas do que os contidos no ponto de referência; a identificação da ilha de frescor ficou associada ao contexto do entorno do ponto do que a sua própria configuração, sobretudo quando próximo de corpos hídricos; a LCZ 3 e a LCZ 6 tenderam a apresentar características térmicas semelhantes, enquanto a LCZ 3_B se mostrou como área de características particulares dentre as classes construídas; e a LCZ D_F, contida a oeste da malha urbana, tende a manifestar intensidades similares com as áreas de LCZ 6.

Assim, os fatos apontados anteriormente respondem os objetivos específicos 5 e 6 deste trabalho, bem como viabilizaram a análise das ilhas de calor por meio da modelagem espacial com a aplicação da regressão linear múltipla, constatando a influência das propriedades e características da paisagem (P-LCZs e NDVI), dos elementos físicos (hipsometria), da organização espacial urbana (distância dos pontos em relação ao centro da cidade, vegetação arbórea e cursos hídricos) e da interação da energia solar e materiais da superfície (temperatura de superfície) sobre a temperatura do ar.

A espacialização, baseada na modelagem, reforçou os padrões verificados nas etapas anteriores, tendo as áreas de vegetação arbórea densa como os locais de menores intensidades e valores de temperatura, sobretudo quando distantes das áreas construídas, e prioritária para a

identificação das ilhas de frescor; enquanto a malha urbana se configurou como local constante das magnitudes média, forte e muito forte.

As áreas destinadas as culturas sazonais, caracterizadas pela LCZ D_F, se consolidaram como locais menos aquecidos do que a malha urbana, no entanto, com valores mais elevados quando comparadas com as áreas de vegetação arbórea, indicando a influência das atividades socioeconômicas na reorganização dos elementos climáticos locais.

Em suma, as técnicas e metodologias aplicadas na pesquisa, gênese deste trabalho, foram satisfatórias, pois são complementares e possibilitaram uma análise ampla da complexa realidade observada, em muitos casos possibilitando a superação de limites metodológicos e validando certos apontamentos. Assim, afirma-se que o objetivo geral foi atendido, pois permitiu identificar, analisar e caracterizar as ilhas de calor urbano em Sinop e a sua relação com as propriedades e características paisagísticas, aspectos geoambientais e as atividades socioeconômicas vigentes no entorno da cidade.

Ressalta-se que os padrões apresentados e analisados são, em grande parte, referentes ao período noturno e a um episódio sazonal de estiagem, podendo diferenças serem constatadas quando observados em períodos diferentes – diário, mensal, anual – e sob outras situações atmosféricas. Logo, ao entender que o fenômeno do clima urbano, com ênfase na ilha de calor, se manifesta em diversas escalas – espaciais e temporais – e tem a possibilidade de alterar a qualidade de vida da população, sobretudo a parcela de menor poder aquisitivo.

Nesse sentido, faz-se necessário investigar a repercussão da ilha de calor sobre a sociedade, indicando as estratégias utilizadas pelos diversos atores sociais para “solucionar” os desconfortos – quando identificados –; analisar a relação destas alterações climáticas com os impactos na saúde humana; bem como observar a forma espacial das ilhas de calor ao longo de outras situações sinóticas e em diversos horários, a fim de se caracterizar a maior abrangência temporal e espacial aos quais a população está submetida e propor opções viáveis para a mitigação deste fenômeno, sendo estes apontamentos elencados não só para futuros trabalhos em Sinop, mas também para as demais áreas urbanas continentais.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALVES, P. A. S. S.; BAMPI, A. C. Gênese e desenvolvimento da cidade de Sinop e a relação com as atividades econômicas. **Revista Equador**, v. 9, n.1, p. 230-245, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9407>. Acesso em: 19 set. 2020.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. 378 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AMORIM, M. C. de C. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: Episódios de Inverno. **Geosul**, UFSC - Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020a. v. 1. 161p.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e no contexto das mudanças climáticas. **Confins**, n. 46, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.31403>. Acesso em: 26 nov. 2020.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 5, p. 91-104, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli5040091>. Acesso em: 26 nov. 2020.

AMORIM, M. C. C. T., DUBREUIL, V., QUENOL, H., SANT'ANNA J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, v. 7, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.6070>. Acesso em: 12 out. 2020.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbano em Presidente Prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, jan./jul. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40585>. Acesso em: 12 out. 2020.

AUER, A. H. Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies. **J. Applied Meteorology and Climatology**, v. 17, n. 5, p. 636-343, may 1978. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)017<0636:COLUAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1978)017<0636:COLUAC>2.0.CO;2). Acesso em: 12 out. 2020.

BARSI, J. A.; BARKER, J. L.; SCHOTT J. R. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. In: IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, Toulouse. **Anais [...]**. Toulouse, 2003. p. 2-4.

BRASIL. Decreto-lei n. 1.106, de 16 de junho de 1970. Cria o Programa de Integração Nacional, altera a legislação do imposto de renda das pessoas jurídicas na parte referente a incentivos fiscais e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 4521, 17 jun. 1970. Disponível em: <https://bit.ly/2KJCYi1>. Acesso em: 26 nov. 2020.

BRASIL. Decreto-lei n. 1.179, de 06 de julho de 1971. Institui o Programa de Redistribuição de Terras e de estímulo a agro-indústria do Norte e Nordeste (PROTERRA), altera a legislação do imposto de renda relativa a incentivos fiscais e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 5081, 06 jul. 1971. Disponível em: <https://bit.ly/3q2eMaJ>. Acesso em: 26. nov. 2020.

BRASIL – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL – Folha SC.21, Juruena**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1980.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente/SP**. 2015. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/138512>. Acesso em: 16 out. 2020.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. Londres: Hutchinson of London, 1965.

COLL, N.; PIRODDI, C.; STEENBEEK, J.; KASCHNER, K.; BEN RAIS LASRAM, F.; AGUZZI J.; *et al.* The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. **PLoS ONE**, v. 05, n. 08, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011842>. Acesso em: 269 nov. 2020.

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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v9i0.27515>. Acesso em: 16 out. 2020.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Junidaí/SP**. 2019. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191440>. Acesso em: 16 out. 2020.

DUBREUIL, V.; NEDELEC, V.; BARIOU, R.; MAITELLI, G. T. Estudo da urbanização e suas consequências sobre as temperaturas noturnas em Sinop/Mato Geosso. **Revista Mato-grossense de Geografia**, [impresso], n. 07/08, p. 25-39, 2003.

DUBREUIL, V.; DELAHAYE.; LE STRAT, A. Changements d'occupation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. **Confins**, [online], [Dossiê], n. 10, 2010. Disponível em : <https://doi.org/10.4000/confins.6845>. Acesso em: 20 jan. 2021.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, [online], n. 37, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>. Acesso em: 26 nov. 2020.

ELIAS, D; PEQUENO, R. Desigualdades socioespaciais nas cidades do agronegócio. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v.9, n.1, maio. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2007v9n1p25>. Acesso em: 26 nov. 2020.

ELLEFSSEN R. Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten U.S. cities. **Energy and Buildings**, v. n. 3-4, p. 1025-1049, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90097-M](https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90097-M). Acesso em: 12 out. 2020.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis, S.A., 285p, 1996.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. São Paulo: Ed. UNESP, 2014.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens ASTER em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 393-410, jan./jun. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.67546>. Acesso em: 16 out. 2020.

FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique** : application à l'agglomération rennaise. f. 2015. These (Docteur) – Université Rennes II, Rennes, 2015. Disponível em : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01381999>. Acesso em: 11 out. 2020.

FRANCO, D. M. P.; ANDRADE, M. F.; YNOUE, R. Y.; CHING, J. Effect of Local Climate Zone (LCZ) classification on ozone chemical transport model simulations in Sao Paulo, Brazil. **Urba Climate**, v. 27, p. 293-313, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.007>. Acesso em: 16 out. 2020.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GOMES, W. P.; AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Modelagem da ilha de calor urbana aplicada ao ambiente litorâneo – Ubatuba/Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 34, p. 82-94, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v34i0.133193>. Acesso em: 12 out. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 1989. Disponível em: <https://bit.ly/33ipVKY>. Acesso em: 26 nov. 2020.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/33ipVKY>. Acesso em: 26 nov. 2020.

IBGE. **Manual técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/33ipVKY>. Acesso em: 26 nov. 2020.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/33ipVKY>. Acesso em: 26 nov. 2020.

IBGE. **IBGE Cidades 2018**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26 nov. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas>. Acesso em: 26 nov. 2020.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998.

LEVIN, J. **Estatística aplicada a ciências humanas**. 2. ed. São Paulo: HARBRA, 1977.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 67. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. Climatologia 1. São Paulo: USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1975. 263 f. 1975. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975. Disponível em: <http://www.abclima.ggf.br/publicacoes.php>. Acesso em: 11 out. 2020.

MONTEIRO, V. S. **Zonas Climáticas Locais e a relação com a morfologia urbana – Estudo de caso: Campinas/SP**. 2018. 167 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1047>. Acesso em: 16 out. 2020.

MORENO, G. Políticas e estratégias de ocupação. In: MORENO, G.; HIGA, T. C. **S. Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente**. Cuiabá: Entrelinhas, 2005.

MOURA, E. D. **Conectando o urbano e o ensino superior: dinâmicas espaciais em Sinop –MT**. 2015. 274 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-277, 1976.

OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. 2. ed. London: Routledge, 1987.

OKE, T. R. The heat island of the urban Boundary Layer: characteristics, causes and effects. In: CEMARK, J. E.; DEVENPORT, A. G.; PLATE, E. J.; VIEGAS, D. X. (Org.). **Wind climates in cities**. Kluwer Academic, 1995, p. 81-102.

OKE, T. R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. **IOM Report 81**, WMO/TD. No. 1250. World Meteorological Organization, Geneva, 2006. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/>. Acesso em: 12 out. 2020.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/9781139016476>.

OLIVEIRA, M. L. P. O projeto de colonização particular da Gleba Celeste, na fronteira pioneira. **Geosul**, v. 3, n. 6, p. 21-38, jan. 1988. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12700/11872>. Acesso em: 19 set. 2020.

ORTIZ PORANGABA, G. F. **O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã**. 2015. 354 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/135915>. Acesso em: 12 out. 2020.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. 1997. 272 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RAMPAZZO, C. R. **Clima e produção do espaço urbano: contribuição ao estudo da Geografia do Clima no contexto das cidades de São Carlos e Marília**. 2015. 304 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/126529>. Acesso em: 12 out. 2020.

RAMPAZZO, C. R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente)**. 2019. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/182355>. Acesso em: 12 out. 2020.

ROMANCINI, S. R.; MARTINS, E. C. Sinop-MT: Uma abordagem sobre a dinâmica do espaço urbano-regional. In: MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P. (Org.). **Expansão da soja na pré-Amazônia mato-grossense: impactos socioambientais**. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. p. 171-191.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do clima: gênese, paradigmas e aplicações clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, 1-18 p. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5418/RA2008.0404.0004>. Acesso em: 26 nov. 2020.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, São Paulo, n.20– 2º semestre/2011. p.49-62. Disponível em: <https://bit.ly/3q42ajs>. Acesso em: 26 nov. 2020.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado**: fundamentos teórico e metodológico da geografia. São Paulo: Hucitec, 1988.

SANTOS, P.; NEGRINI, A. A comparison of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and Northeastern Brazil. **Journal of applied meteorology**, v. 36, n. 7, p. 958-965, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1997\)036<0958:ACOTND>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<0958:ACOTND>2.0.CO;2). Acesso em: 26 nov. 2020.

SCHWENK, L. Domínios Biogeográficos: interações entre Fitogeografia e Zoogeografia. In: MORENO, G.; HIGA, T. C. S. (Org.). **Geografia de Mato Grosso**. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. p. 254-266.

SEPLAN-MT – Secretaria Estadual de Planejamento. **Perfil das Regiões de Planejamento de Mato Grosso 2017**. 1ªed. Cuiabá, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2F3WmDZ>. Acesso em: 26 nov. 2020.

SETTE, D. M. **Clima urbano de Rondonópolis-MT**. 1996. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SOUZA, E. A. **Sinop**: história, imagens e relatos, um estudo sobre sua colonização. 2. ed. Cuiabá: EdUFMT/FAPEMAT, 2006.

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, 2011. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.14288/1.0072360>. Acesso em: 11 out. 2020.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Newly developed “thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. Preprints, **T. R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment**, January 11–15, Phoenix, AZ, 2009.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for urban temperature studies. **BAMS**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso: 26 nov. 2020.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP). **Geografia**, v. 2, n. 4, p. 59-80, out. 1977.

TARIFA, J. R. Alterações Climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia, USP**. n.8, p.15-27, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0002>. Acesso em: 26 nov. 2020.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano das cidades de pequeno porte do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil**. 2019. 238 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/190973>. Acesso em: 12 out. 2020.

TEIXEIRA, L. **A colonização no norte de Mato Grosso: o exemplo da Gleba Celeste**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/89794>. Acesso em: 19 set. 2020.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 2011. 373 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101422>. Acesso em: 12 out. 2020.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 15, p. 370-384, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8). Acesso em: 26 nov. 2020.

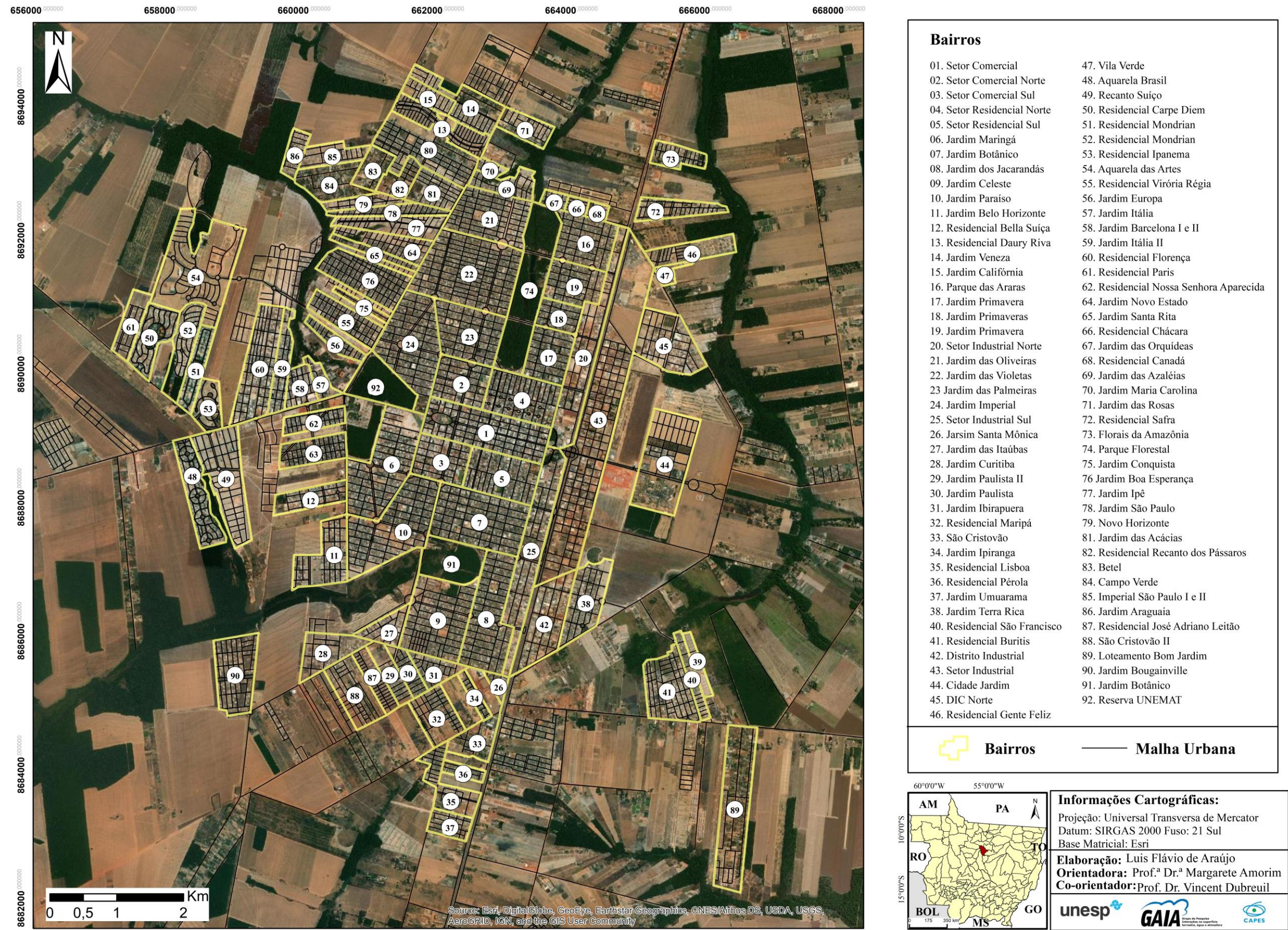
ZAMPARONI, C. A. G. P. **Desmatamento, processo de urbanização e variabilidade climática na Amazônia Mato-Grossense**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ZAVITOSKI, E. V. S. **Análise termohigrométrica nos eixos viários centrais da malha urbana original de Sinop-MT**. 2018. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018. Disponível em: <https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/dissertacoes>. Acesso em: 25 jan. 2021.

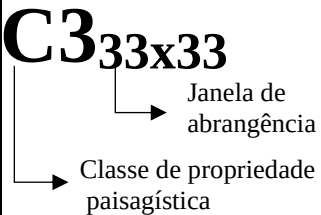
ZHONGLI, L.; HANQIU, X. A study of Urban heat island intensity based on “local climate zones”: a case study in Fuzhou, China. In: **Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)**, p. 250–254, 2016. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1109/EORSA.2016.7552807>. Acesso em: 16 out. 2020.

APÊNDICES

Apêndice A: Bairros de Sinop-MT



Apêndice B: Equações de regressão gerados para os modelos analisados neste trabalho

2020	27/08	Temperatura_27 = 94.1757 - 0.0499*C1 _{149x149} + 0.0559*C3 _{17x17} + 0.0036*C5 _{149x149} - 0.1277*C7 _{3x3} + 0.1321*C6 _{3x3} - 0.5554*Dist_centro + 1.5890*Dist_vegt + 0.1148*TS - 2.4961*NDVI + 0.6709*Dist_rio - 0.1863*Hipso	Simbologia C3_{33x33}  Janela de abrangência Classe de propriedade paisagística Classes das propriedades paisagísticas C1 – LCZ 3 C2 – LCZ 3_B C3 – LCZ 6 C4 – LCZ 8 C5 – LCZ A + LCZ B C6 – LCZ D C7 – LCZ D_F C8 – LCZ 9 Dist. centro: distância do centro Dist. vegt: distância da vegetação Dist. rio: distância de cursos hídricos Hipso: hipsometria TS: temperatura de superfície
	02/09	Temperatura_02 = 82.0526 - 0.0440*C1 _{89x89} + 0.0286*C3 _{17x17} - 0.2552*C5 _{89x89} - 0.8249*Dist_centro + 2.9283*Dist_vegt + 0.0855*TS - 0.2886*C7 _{3x3} - 0.1533*Hipso - 0.0755*C2 _{17x17}	
	03/09	Temperatura_03 = 31.5396 - 0.0002*C1 _{153x153} + 0.0888*C3 _{13x13} - 0.0559*C5 _{97x97} + 1.0801*Dist_vegt - 0.2971*Dist_centro - 0.1006*TS + 0.6618*Dist_rio + 0.2453*C6 _{3x3} + 0.0026*C7 _{3x3} + 0.3224*NDVI	
	05/09	Temperatura_05 = 9.7141 + 0.1140*C1 _{197x197} - 0.0475*C2 _{33x33} + 0.1223*C6 _{3x3} + 0.0241*C4 _{13x13} + 0.0669*C3 _{33x33} - 0.0089*Dist_centro + 0.4920*Dist_vegt - 5.7381*NDVI + 0.0832*C7 _{3x3} + 0.6964*TSnot	
	11/09	Temperatura_11 = 101.4872 - 11.4830*NDVI - 0.9389*Dist_centro + 1.6186*Dist_vegt + 1.0987*Dist_rio - 0.1869*Hipso - 0.1841*C5 _{69x69} - 0.1652*C1 _{137x137} + 0.0499*C3 _{21x21} - 0.0522*C4 _{9x9} - 0.2746*C7 _{3x3} - 0.0111*C6 _{137x137}	
	18/09	Temperatura_18 = 31.1044 + 0.0155*C1 _{97x97} - 0.2428*C5 _{97x97} - 0.2149*C7 _{3x3} + 0.0611*C3 _{97x97} - 0.2619*Dist_centro - 10.4161*NDVI + 0.1635*Dist_vegt - 0.0057*C2 _{97x97}	
	21/09	Temperatura_21 = 28.4903 + 0.0327*C1 _{93x93} - 0.0382*C5 _{97x97} - 0.3014*C8 _{3x3} - 0.3283*NDVI + 0.0124*Dist_centro - 0.0799*C3 _{3x3}	