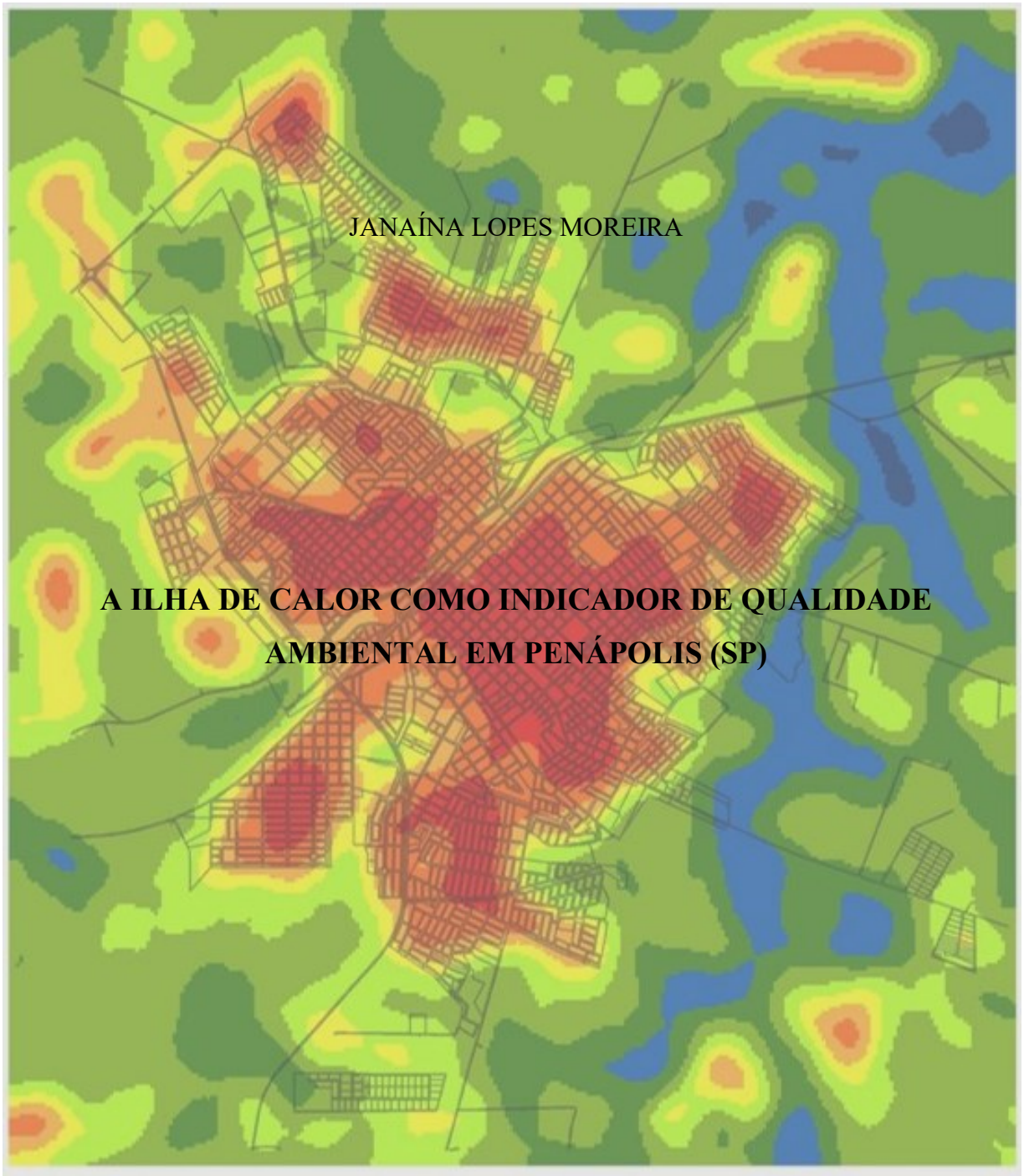
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



JANAÍNA LOPES MOREIRA

A ILHA DE CALOR COMO INDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM PENÁPOLIS (SP)

Presidente Prudente

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

JANAÍNA LOPES MOREIRA

A ILHA DE CALOR COMO INDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM PENÁPOLIS (SP)

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (área de concentração: Produção do Espaço Geográfico) da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da UNESP/Campus de Presidente Prudente, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador(a): Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim.

Presidente Prudente
2021

M838i

Moreira, Janaína Lopes
A ilha de calor como indicador de qualidade ambiental em Penápolis (SP) / Janaína Lopes Moreira. -- Presidente Prudente, 2021
210 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

1. Qualidade ambiental. 2. Clima urbano. 3. Indicadores ambientais. 4. Ilha de calor. 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.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: A ILHA DE CALOR COMO INDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM PENÁPOLIS (SP).

AUTORA: JANAÍNA LOPES MOREIRA
ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

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

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

Profa. Dra. ENCARNITA SALAS MARTIN (Participaçao Virtual)
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / FCT/UNESP - Câmpus de Presidente Prudente

Prof. Dr. JOSE CARLOS UGEDA JUNIOR (Participaçao Virtual)
Departamento de Geografia / UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

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

Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES MONTEIRO DE SOUSA (Participaçao Virtual)
Departamento: Geografia / Universidade do Porto

Presidente Prudente, 03 de maio de 2021

À minha família, Nadir, Geraldo (in memoriam), Jaqueline e Mateus com amor

AGRADECIMENTOS

Ao mesmo tempo em que essa tese representou momentos de solidão, ela também se constituiu de uma experiência coletiva. Por isso, dedico algumas palavras às pessoas que contribuíram diretamente para o alcance dessa realização pessoal e profissional.

Agradeço a Deus, primeiramente, pelo dom da vida e por me abastecer de saúde e fé. Em todas as vezes que a aflição e preocupação tomaram conta do meu coração, sua mão me trouxe conforto. “O Senhor é bom, um refúgio em tempos de angústia. Ele protege os que nele confiam.” (Naum 1,7).

À minha família, constituída por minha mãe Nadir, irmã Jaqueline, sobrinho Mateus e cunhado Fabrício. Foram eles que prestaram auxílio aos trabalhos de campo, na realização dos transectos móveis, na coleta de dados e para tudo que eu solicitava. Também foram eles que aceitaram minhas ausências no cotidiano e em datas comemorativas, suportaram minhas angústias e inquietações, as quais, muitas vezes, foram manifestadas por comportamentos de estresse. E ainda, foram (são) essas pessoas, que diariamente, me encheram de amor, compreensão e acalento, os quais considero os sentimentos responsáveis para a concretização desse tão sonhado doutorado. Obrigada família, amo muito vocês!

Agradeço também ao meu tio Marco Moreira e família, os quais contribuíram que eu estivesse bem instalada na cidade de Presidente Prudente (SP).

Agradeço à Profa. Dra. Margarete Amorim pelos mais de 10 anos de orientação científica, pedagógica e de vida. Agradeço pela leitura atenta, crítica educada e ensinamentos diários sobre climatologia urbana e sobre a Geografia. Obrigada por todas as conversas motivadoras e inspiradoras em sua sala e online (2020), as quais foram essenciais para realização dessa pesquisa. Por fim, considero a senhora um exemplo de pessoa e profissional a ser seguido.

Agradeço à Profa. Dra. Encarnita Salas Martins (Tita) e ao Prof. Dr. José Carlos Ugeda Júnior pela participação na banca de qualificação. Não tenho palavras para agradecer o grande aprendizado e enriquecimento que a contribuições de vocês trouxeram a essa tese.

Á Profa. Dra. Ana Monteiro da Universidade do Porto – Portugal, pelo aceite da supervisão do estágio BEBE/FAPESP. Meu “muito obrigada” pelo compartilhamento de conhecimento e pela oportunidade de viver uma experiência tão enriquecedora, que agregou positivamente à pesquisa de doutorado e a minha vida pessoal e profissional. Agradeço também a todo IGUP (Profa. Helena Madureira e os estagiários e amigos: Maria Pacheco, Alfredo Graça, Paula Gonçalves, Miguel Sousa, Márcia Aroma e Maysa Valença) que me

receberam tão carinhosamente, e fizeram-me sentir tão querida. Que possamos nos encontrar brevemente!

Ao Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli que sempre me prestou auxílio quando solicitado. Agradeço o carinho com esse trabalho e sua participação na banca de defesa, a qual trouxe mais qualidade à tese.

Agradeço à Renata dos Santos Cardoso, minha amiga, irmã de outra mãe, colega de república, com quem eu tive o prazer de compartilhar o ingresso e os anos de desenvolvimento do doutorado (2017-2020). Conviver com você Rennes, foi um aprendizado constante. Obrigada por compartilhar comigo seu conhecimento. Saiba que sou uma pesquisadora melhor graças à você! Minha gratidão e admiração por você só aumentam!

À Larissa Dorigon, amiga e companheira de doutorado, que prestou auxílio em todas as fases dessa pesquisa. Laris, meu "muitíssimo obrigada", por todo seu apoio, desde as questões burocráticas até o conhecimento científico compartilhado. Minha eterna gratidão a você!

À Danielle Cardoso, amiga e companheira de doutorado, com quem tive o prazer de compartilhar momentos de aprendizagem, alegria, aflição e diversão. Com certeza, sua presença nos meus dias tornaram o caminho do doutorado menos solitário. Especialmente, agradeço à valiosa ajuda com a modelagem espacial. Você é uma geógrafa, mãe e mulher admirável. Conte sempre comigo!

Agradeço ao Mikael Servilha, grande amigo e irmão, com que tive o prazer de conhecer e viver ao realizar o estágio BEPE/FAPESP na cidade do Porto. Mika, obrigada pelo seu apoio, atenção, cuidado e carinho desde o primeiro dia que nos conhecemos até hoje, mesmo remotamente. Agradeço à leitura atenta, dicas de redação, ajuda no tratamento de dados, e, sobretudo, por tornar meu período em Portugal tão especial e inesquecível. Por fim, agradeço por ser o melhor companheiro de viagens do mundo. Que venham as próximas aventuras juntos!

Aos meus amigos de doutorado e de vida Francielle Garcia e Alessandro Donaire pelas conversas sobre a Geografia e vida acadêmica. A amizade e apoio de vocês tornou o percurso mais leve.

À Família Miraflor (Mikael, Fernanda, Márcia, Mateus e Peterson) que me proporcionou o viver em "família" longe da minha família. Vocês foram os responsáveis pelo meu período de estágio no exterior ser tão inesquecível, prazeroso e saudoso. Obrigada pelo acolhimento, pelas risadas e pelas resenhas recheadas de vinho e comida boa. Que possamos reviver tudo isso em terras brasileiras.

Ao grupo dos “Primos”, composto por Gustavo Valentim, Heloísa Ferreira, Aline Kuramoto, Luzia Salamão, Aline dos Santos, Raquel Amim e Renata Sakurai, amigos que a graduação em Geografia me deu, e que permanecem em minha vida trazendo leveza, alegria e apoio aos meus dias.

Aos meus amigos do ensino fundamental para a vida, Angela Andrade e Lenon Modesto, que enchem minha vida de amor e diversão. Vocês são muito importantes na minha vida! Amo vocês, POCs!

À Mariana Nishizima e Marina Antunes pela parceria e amizade no intercâmbio. Obrigada por terem tornado meu Natal de 2019 especial e inesquecível!

À Beatriz Umbelino, Indra Castilho e Igor Mendes pela parceria, risadas e inúmeras caronas.

Ao meu amigo e namorado Wesley Bernardo pela grande ajuda e apoio no período de finalização desta tese. Obrigada por partilhar a vida boa comigo.

A todas as famílias que permitiram a instalação, emprestaram seus quintais e ainda zelaram pelos dos sensores de temperatura. A bondade e generosidade dessas pessoas possibilitaram a plena realização do trabalho de campo para aquisição de dados durante o período de 1 ano. Meus sinceros agradecimentos à

•Família da Fazenda Nova Esperança (ponto 1);
•Senhora Neiva Ambrósio e família (ponto 2);
•Tia Odete Pereira e família (ponto 3);
•Tia Regina Pontin e família (ponto 4);
•Senhor Luís e família (ponto 5);
•Senhora Lívia Skinkai e família (ponto 6);
•Senhora Maria Abadia da Silva e família (ponto 7);
•Senhor Rubens e família (ponto 8);
•Camila Carvalho e família (Ponto 9);
•Senhora Maria Cleonice de Sousa Moraes e família (Ponto 10).

À Aparecida Tamae pelo atendimento primoroso na elaboração das 3 prestações de contas no escritório de pesquisa da FAPESP.

À FCT UNESP pelo apoio institucional por meio da infraestrutura e dos seus vários servidores.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT/UNESP pelo apoio acadêmico, intelectual e financeiro.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, sempre solícitos a prestar ajuda e a sanar dúvidas.

Ao Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP) pelo fornecimento de dados.

Á Prefeitura Municipal de Penápolis pela colaboração por meio do compartilhamento de informações e dados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado entre agosto de 2017 a março de 2018. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À FAPESP, pela concessão das bolsas de doutorado regular no país (PROCESSO Nº 2017/07483-8) e de Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE) (PROCESSO Nº 2019/02050-1) e suas respectivas reservas técnicas que foram elementares para a execução desta pesquisa e para a qualidade do trabalho.

Você tem que agir como se fosse possível transformar radicalmente o mundo. E você tem que fazer isso o tempo todo." (Angela Davis)

Vivemos esperando
O dia em que seremos melhores (melhores)
Melhores no amor
Melhores na dor
Melhores em tudo
[...]
Vivemos esperando
O dia em que seremos
Para sempre
Vivemos esperando, oh oh oh
Dias melhores pra sempre
Dias melhores pra sempre [...]
(JOTA QUEST, 2000)

RESUMO

O aumento, em escala planetária, da população em áreas urbanas atesta a importância das cidades na atualidade. À medida que aumenta o número de habitantes das cidades, a área urbanizada também se torna cada vez maior. De maneira geral, o processo de urbanização se realizou e se realiza favorecendo a lógica de reprodução do capital em detrimento do meio ambiente. Consequentemente, a expansão urbana significa maior consumo de energia e recursos naturais que, em muitos casos, resulta no aumento dos problemas ambientais urbanos. No que se refere aos problemas ambientais, nas cidades ocorrem poluição do ar e sonora, contaminação das águas e solo, diminuição das águas subterrâneas, alagamentos, deslizamentos de terra, erosões, assoreamento de cursos d'água, alterações climáticas para um clima tipicamente urbano (ilha de calor urbana), chuva ácida e aumento da concentração de poluentes no ar entre outros. Esses problemas interferem nas necessidades básicas humanas, influenciam a qualidade do ambiente, e consequentemente, prejudicam a qualidade de vida dos citadinos. Neste contexto, a avaliação da qualidade ambiental urbana surge como uma importante contribuição na elaboração de propostas a serem incorporadas ao planejamento urbano, uma vez que está relacionada à construção de um ambiente ecologicamente equilibrado considerando todos os elementos da paisagem urbana, conciliando os vários tipos de uso da terra e suas diversas atividades com a dinâmica natural dos elementos físicos (NUCCI, 2008). Nessa perspectiva, a hipótese dessa tese é a de que o processo de urbanização capitalista que ocorreu em Penápolis (SP) resultou no comprometimento da qualidade do ambiente urbano. Ademais, parte-se da ideia de que o fenômeno de ilha de calor urbana é um indicador importante para a avaliação da qualidade da cidade, pois sua formação está articulada aos demais indicadores ambientais urbanos. Para além disso, acredita-se que sua manifestação atesta o grau de comprometimento do ambiente, uma vez que sua máxima intensidade se relacione, espacialmente, com a incidência dos aspectos negativos dos demais indicadores analisados. Logo, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade ambiental urbana (QAU) de Penápolis (SP), a partir dos indicadores ambientais propostos por Nucci (2008), dando ênfase principalmente ao fenômeno de ilha de calor urbana. Para tanto, foram mapeados e analisados os seguintes indicadores ambientais: uso da terra, densidade de edificação, população, ocorrência de enchentes, potencial poluição, cobertura vegetal arbórea, espaços livres de edificação e ilha de calor. Posteriormente, foi realizado o cruzamento das cartas dos oitos indicadores e elaborou-se a carta síntese de qualidade ambiental urbana. De maneira geral, a hipótese inicial da tese foi confirmada por meio da carta de QAU, que

revelou a sobreposição máxima de até sete indicadores. O centro da malha foi o local de pior qualidade ambiental urbana, com a incidência negativa de sete dos indicadores analisados, porém bairros residenciais recentes também apresentaram entre três a quatro sobreposições. Alguns dos setores urbanos de maior magnitude de ilha de calor urbana estiveram associados às piores condições de QAU. Por fim, com base nos resultados obtidos, a cidade foi setorizada em unidades de paisagem (UP) de acordo com semelhanças dos problemas urbanos identificados. Para cada UP foram elaboradas propostas de intervenção com base nas soluções baseadas na natureza (SBN), medidas custo-eficaz já implantadas em alguns países da União Europeia e no Reino Unido, que proporcionam benefícios ambientais, sociais e econômicos, ou seja, se efetivadas, podem contribuir para a melhoria da qualidade ambiental de Penápolis (SP).

Palavras-chave: Qualidade ambiental urbana. Clima urbano. Indicadores ambientais. Ilha de calor urbana.

RESUMEN

El aumento en escala planetaria de la población en áreas urbanas atesta la importancia de las ciudades en la actualidad. En la medida en que aumenta el número de habitantes de las ciudades, el área urbanizada también crece cada día más. De manera general, el proceso de urbanización ocurrió y ocurre favoreciendo la lógica de reproducción del capital en detrimento del medio ambiente. Consecuentemente, la expansión urbana significa más consumo de energía y recursos naturales que, en muchos casos, resulta en el aumento de los problemas ambientales urbanos. En lo que se refiere a los problemas ambientales, en las ciudades hay polución del aire y sonora, contaminación de las aguas y suelo, disminución de las aguas subterráneas, inundaciones, deslizamientos de tierra, erosiones, cegamiento de cursos del agua, cambios climáticos para un clima típicamente urbano (isla de calor urbana), lluvia ácida y aumento de la concentración de contaminantes en el aire entre otros. Esos problemas interfieren en las necesidades básicas humanas, influyen en la calidad del ambiente, y, consecuentemente, dañan la calidad de vida de los ciudadanos. En este contexto, la evaluación de calidad ambiental urbana surge como una importante contribución en la elaboración de propuestas que sean incorporadas al planeamiento urbano, una vez que está relacionada a la construcción de un ambiente ecológicamente equilibrado considerando todos los elementos del paisaje urbano, conciliando los diferentes tipos de uso de la tierra y sus diversas actividades con la dinámica natural de los elementos físicos (NUCCI, 2008). Por esa perspectiva, la hipótesis de esa tesis es la de que el proceso de urbanización capitalista que ocurrió en Penápolis (SP) resultó en el comprometimiento de la calidad del ambiente urbano. Además, se parte de la idea de que el fenómeno de la isla de calor urbana es un indicador importante para la evaluación de la calidad de la ciudad, pues su formación está articulada a los demás indicadores ambientales urbanos. Además, se cree que su manifestación atesta el grado de comprometimiento del ambiente, una vez que su máxima intensidad se relaciona espacialmente con la incidencia de los aspectos negativos de los demás indicadores analizados. Luego, el objetivo general de este artículo fue valorar la calidad ambiental urbana (QAU) de Penápolis (SP) a partir de los indicadores ambientales propuestos por Nucci (2008), dando énfasis principalmente al fenómeno de la isla de calor urbana. Para tanto, fueron mapeados y analizados los siguientes indicadores ambientales: uso de la tierra, densidad de edificación, población, ocurrencia de inundaciones, potencial polución, cobertura vegetal arbórea, espacios libres de edificación y la isla de calor. Posteriormente, fue realizado el cruce de las tarjetas de los ocho indicadores y fue creada la tarjeta síntesis de calidad ambiental

urbana. De manera general, la hipótesis inicial de la tesis fue confirmada por medio de la tarjeta de QAU, que reveló la superposición máxima de hasta siete indicadores. El centro de la malla fue el local de peor calidad ambiental urbana, con la incidencia negativa de siete de los indicadores analizados, sin embargo barrios residenciales recientes también presentaron entre tres a cuatro superposiciones. Algunos de los sectores urbanos de más magnitud de isla de calor urbana estuvieron asociados a las peores condiciones de QAU. Por fin, con base en los resultados obtenidos, la ciudad fue sectorizada en unidades de paisaje (UP) de acuerdo con semejanzas de los problemas urbanos identificados. Para cada UP fueron elaboradas propuestas de intervención con base en las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), medidas coste-eficaz ya implantadas en algunos países de la Unión Europea y en Reino Unido, que ofrecen beneficios ambientales, sociales e económicos, es decir, si son eficaces, pueden contribuir para la mejora de la calidad ambiental de Penápolis (SP).

Palabras clave: Calidad ambiental urbana. Clima urbano. Indicadores ambientales. Isla de calor urbana.

ABSTRACT

The rise in urban population on a global scale demonstrates the importance of cities today. Urbanized areas have been expanding in tandem with the increase in population in cities. In general, the process of urbanization happened and continues to occur in a way that favors the logic of capital reproduction at the expense of the environment. Consequently, urban expansion requires greater consumption of energy and natural resources, which in many cases leads to an increase in urban environmental issues. In terms of environmental issues, cities face noise and air pollution, water, and soil contamination, groundwater depletion, floods, landslides, erosions, silting of watercourses, climate changes to a typically urban climate (urban heat islands), acid rain, and an increase in air pollutant concentration among others. Those problems interfere with basic human needs, influence the quality of the environment, and, consequently, harm the quality of life of citizens. In this context, the evaluation of urban environmental quality is essential to the development of proposals to be incorporated into the urban planning because it is related to the formation of an ecologically balanced environment, considering all of the elements in the urban landscape, reconciling the different types of soil uses and their diverse activities with the natural dynamics of the physical elements (NUCCI, 2008). In this perspective, the research hypothesis is that the capitalist urbanization process that occurred in Penápolis (SP) resulted in poor urban quality of the environment. Furthermore, it is based on the idea that the phenomenon of the urban heat island is an important indicator for assessing the quality of a city because its appearance is articulated to all the other urban environmental indicators. Besides, it is thought that its manifestation indicates a high level of environmental problems because its highest intensity is spatially related to the other urban environmental indicators. Finally, the overall goal of this research was to evaluate the urban quality of environment (QAU) of Penápolis (SP) using the environmental indicators used by Nucci (2008), with a focus on the phenomenon of urban heat island. Thus, a broad analysis of the following indicators was performed: land uses, density of edification, populational density, floods occurrence, potential pollution, trees vegetational coverage, edification free spaces, and heat island. Data from eight indicators were combined to create a synthesis of urban environmental quality. The final results of QAU, which revealed the overlap of fewer than seven indicators, confirmed the original hypothesis. The city center was the worst place in quality of urban environment, with a negative incidence of seven indicators analyzed, but recently built neighborhoods also showed an overlap of three to four indicators. Some of the urban sectors with the higher magnitude of

the urban heat island were associated with the worst conditions of the QAU. Finally, according to the results, the town was divided into sectors of landscape units (UP) based on the same identified urban problems. To each UP, proposals of intervention were elaborated based on nature related solutions (SBN), with a high cost-benefit already implemented in some countries in the European Union and the United Kingdom, providing environmental, social, and economic benefits. Hence, if those measures are implemented, they can improve the environment of Penápolis (SP).

Keywords: Urban Environmental Quality. Urban Climate. Environmental Indicators. Urban Heat Island.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Penápolis no Estado de São Paulo 30
Figura 2 - Etapas dos procedimentos da pesquisa 35
Figura 3 - Exemplos das classes da classificação visual da cobertura vegetal arbórea 38
Figura 4 - Exemplos das classes da classificação visual da densidade de edificações 39
Figura 5 - Termo-higrômetro utilizado e automóvel equipado para aquisição da temperatura do ar 44
Figura 6 - Abrigo meteorológico instalado: Ponto fixo 1 e Termo-higrômetro utilizado nos pontos fixos dentro dos abrigos meteorológicos 45
Figura 7 - Sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ) 46
Figura 8 - Exemplos subclassificação utilizando as combinações das LCZs 47
Figura 9 - Etapas e procedimentos aplicados na modelagem espacial da ilha de calor urbana em Penápolis (SP) 54
Figura 10 - Esquema geral da metodologia da pesquisa de QAU 67
Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos para a elaboração da Carta de Qualidade Ambiental proposto por Nucci (2008) 69
Figura 12 - Classes de análise da paisagem urbana, variáveis e indicadores ambientais 70
Figura 13 - Ilustração dos tipo de ilha de calor urbana 75
Figura 14 - Mapas isotérmicos que demonstram a variação espacial da ICU_{UCL} em cidades com distintos tamanhos territoriais e populacionais 77
Figura 15 - Perfil geral típico de uma ICU na UCL 78
Figura 16 - Fotografias aéreas de Penápolis 81
Figura 17 - Composição colorida com as bandas 3, 4 e 5 do sensor ETM do satélite *Landsat* 5 83
Figura 18 - Composição colorida com as bandas 6, 5, 4 e 8 do sensor OLI do satélite *Landsat* 8 84
Figura 19 - Localização dos bairros em Penápolis (SP) 85
Figura 20 - Síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Penápolis (SP) 90
Figura 21 - Percurso Nordeste-Sudeste e Noroeste-Sul 91
Figura 22 - Características de uso e ocupação da terra e as LCZs identificadas no percurso Nordeste-Sudeste em Penápolis 93

Figura 23 - Características de uso e ocupação da terra e as LCZs identificadas no percurso Noroeste-Sul em Penápolis (SP) 96
Figura 24 - Características de uso e ocupação da terra e as LCZs identificadas no percurso Noroeste-Sul em Penápolis (SP) (continuação) 97
Figura 25 - Carta de Uso da Terra 101
Figura 26 - Carta do número de moradores por setor censitário 105
Figura 27 - Carta de densidade de edificações 108
Figura 28 - Carta de cobertura vegetal arbórea 111
Figura 29 - Carta de poluição potencial 114
Figura 30 - Parte do Córrego Marica Chica no centro comercial em 10 de setembro de 2018 116
Figura 31 - Afluente do Córrego Marica Chica em 10 de setembro de 2018 118
Figura 32 - Carta de ocorrência de enchentes 123
Figura 33 - Carta de espaços livres de edificação 126
Figura 34 - Penápolis: localização das áreas de vegetação densa permanente usadas para elaborar a média da temperatura rural e para calcular as intensidades da ICU superficial; e localização dos pontos utilizados para análise da frequência (%) da ICU superficial 131
Figura 35 - Intensidade da temperatura de superfície (ΔT°C) e NDVI em fevereiro (A - B), março (C – D), abril (E - F), maio (G – H) e junho (I – J) de 2018, Penápolis (SP) 138
Figura 36 - Intensidade da temperatura de superfície (ΔT°C) e NDVI em julho (A – B), agosto (C – D), outubro (E – F), novembro (G – H) e dezembro (I – J) de 2018, Penápolis (SP) 139
Figura 37 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de fevereiro de 2018 em Penápolis (SP) 146
Figura 38 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de abril de 2018 em Penápolis (SP) 147
Figura 39 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de maio de 2018 em Penápolis (SP) 148
Figura 40 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de junho de 2018 em Penápolis (SP) 149
Figura 41 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de julho de 2018 em Penápolis (SP) 150

Figura 42 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de dezembro de 2018 em Penápolis (SP) 151
Figura 43 - Espacialização das intensidades da temperatura do ar (ΔT°C) medidas nos transectos móveis em Penápolis (fevereiro e maio de 2018 às 21h) em Penápolis (SP) 157
Figura 44 - Espacialização das intensidades da temperatura do ar (ΔT°C) medidas nos transectos móveis em Penápolis (junho e dezembro de 2018 às 21h) em Penápolis (SP) 158
Figura 45 - Mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial em Penápolis (SP) 166
Figura 46 - Ilustração das janelas com tamanhos variados 167
Figura 47 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor em Penápolis (SP) nos meses de fevereiro e maio de 2018 às 21 horas 178
Figura 48 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor em Penápolis (SP) nos meses de junho e dezembro de 2018 às 21h 179
Figura 49 - Carta de Ilha de calor urbana em Penápolis (SP) para o ano de 2018 185
Figura 50 - Carta de Qualidade Ambiental Urbana de Penápolis (SP), por número de sobreposição 189
Figura 51 - Carta de Qualidade Ambiental Urbana de Penápolis (SP), por categoria 190
Figura 52 - Carta de classificação das unidades de paisagem em Penápolis (SP) 193
Figura 53 - Tipologias de infraestrutura verde de acordo com as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) 196

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura do ar e precipitação de Penápolis (2007-2020): médias mensais 127
Gráfico 2 - Frequência de ocorrência (%) das intensidades do ICU superficial; 10 Imagens de satélite *Landsat* 8, de fevereiro a dezembro 2018 - 10h22, hora local 136
Gráfico 3 - Direção, frequência e velocidade dos ventos em Lins - dados horários de 24h (fevereiro e maio de 2018) 155
Gráfico 4 - Direção, frequência e velocidade dos ventos em Lins - dados horários de 24h (junho e dezembro de 2018) 156
Gráfico 5 - Intensidades das temperaturas do ar (ΔT°C) medidas nos transectos em relação a altitude e as LCZs, Penápolis (SP) 161
Gráfico 6 - Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada (y) e as variáveis independentes (x), Penápolis (SP) 170
Gráfico 7 - Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada (y) e as variáveis independentes (x), Penápolis (SP) 171
Gráfico 8 - Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada (y) e as variáveis independentes (x), Penápolis (SP) 172
Gráfico 9 - Resíduos dos modelos gerados para Penápolis, meses de fevereiro e maio de 2018 às 21h 181
Gráfico 10 - Resíduos dos modelos gerados para Penápolis, meses de junho e dezembro de 2018 às 21h 182
Gráfico 11 - Resíduos do modelo gerado para Penápolis, média dos episódios de 2018 às 21h183

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados de superfície utilizados e suas respectivas fontes 48
Quadro 2 - Definições de Qualidade Ambiental Urbana 63
Quadro 3 - Diversidade conceitual e metodológica nos estudos de QAU no Brasil 64
Quadro 4 - Critérios da T.G.S. que embasaram a formulação da Teoria Sistema Clima Urbano 72
Quadro 5 - Tipos de uso da terra classificados em Penápolis (SP) 99
Quadro 6 - Classes de número de moradores e suas incidências por setor censitário em Penápolis (SP) 102
Quadro 7 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 1 117
Quadro 8 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 2 119
Quadro 9 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 5 120
Quadro 10 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 4 121
Quadro 11 - Notícia do Jornal Diário de Penápolis que refere-se às enchentes ocorridas no ponto 3 121
Quadro 12 - Sugestão de índices urbanísticos para espaços livres que embasaram os tamanhos dos raios de influência dos espaços livres de edificações 125
Quadro 13 - Indicadores ambientais e seus respectivos aspectos negativos considerados na sobreposição das cartas 186
Quadro 14 - Descrição das Unidades de Paisagem delimitadas em Penápolis (SP) de acordo com os indicadores ambientais 191
Quadro 15 - Proposta de ordenamento por meio SBN de acordo com as UPs 195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intensidade horária média da ilha de calor urbana em Penápolis (SP) - fevereiro a dezembro de 2018 e janeiro de 2019 140
Tabela 2 - Características gerais das medidas itinerantes em Penápolis (SP) 152
Tabela 3 - Coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2) global obtidos por meio de regressão linear múltipla considerando a temperatura do ar, o uso urbano, a vegetação alta, o NDVI e o relevo 174
Tabela 4 - Distribuição de precipitação dos 30 dias antecedentes à coleta de dados 175

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos climáticos
DAEP	Departamento de Águas e Esgoto de Penápolis
FE	Frente Estacionária
FPA	Frente polar atlântica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilha de Calor Urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IT	Instabilidade Tropical
Jd.	Jardim
LCZ	Local Climate Zones – Zonas climáticas locais
mPa	Massa polar atlântica
mTa	Massa tropical atlântica
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
Pq.	Parque
QAU	Qualidade Ambiental Urbana
REP	Repercussão de frente
Res	Residencial
SBN	Soluções Baseadas na Natureza
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Missão topográfica Radar Shuttle
Tac	Massa tropical atlântica continentalizada
UP	Unidade de Paisagem
USGS	United States Geological Survey
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 25
2 MATERIAL E MÉTODOS 33
2.1 Metodologia para o levantamento do sistema de indicadores ambientais 36
2.2 Metodologia para o diagnóstico das ilhas de calor de superfície 40
2.3 Metodologia para aquisição da temperatura do ar (medidas itinerantes e fixas) 43
2.4 Metodologia para modelagem espacial da ilha de calor atmosférica 49
3 RELAÇÃO SOCIEDADE E NATUREZA: A QUALIDADE AMBIENTAL URBANA E O CLIMA URBANO 55
3.1 Relação sociedade e natureza como fundamento da questão ambiental 55
3.2 A qualidade ambiental urbana 61
3.3 A teoria Sistema Clima Urbano e a Ilha de Calor Urbana 71
4 A ÁREA DE ESTUDO 80
4.1 Caracterização dos pontos de registro de temperatura do ar 86
4.1.1 Caracterização dos pontos fixos de registros da temperatura do ar 86
4.1.2 Caracterização dos percursos dos transectos móveis para o registro da temperatura do ar 91
5 ANÁLISE DOS INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL URBANA EM PENÁPOLIS 98
5.1 Indicador uso da terra 98
5.2 Indicador população 102
5.3 Indicador densidade de edificações 106
5.4 Indicador cobertura vegetal arbórea 109
5.5 Indicador poluição potencial 112
5.6 Indicador ocorrência de enchentes 115
5.7 Indicador espaços livres de edificação 124
5.8 Indicador ilha de calor urbana 127
5.8.1 As ilhas de calor de superfície em Penápolis durante o ano de 2018: intensidade, forma e frequência 129
5.8.2 As ilhas de calor atmosféricas em Penápolis a partir de pontos fixos: intensidade e evolução horária 140

5.8.3 As ilhas de calor atmosféricas em Penápolis a partir de transectos móveis: forma e intensidade 152
5.8.4 As ilhas de calor atmosféricas em Penápolis a partir da modelagem espacial: intensidade e magnitude 162
6 QUALIDADE AMBIENTAL URBANA EM PENÁPOLIS (SP) 186
7 CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM 191
7.1 Propostas de ordenamento urbano com base com base nas soluções da natureza .. 194
CONCLUSÃO 197
REFERÊNCIAS 200

As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade das autoras e não necessariamente refletem a visão da FAPESP".

1 INTRODUÇÃO

O aumento, em escala planetária, da população em áreas urbanas atesta a importância das cidades na atualidade. Embora não seja um processo homogêneo pelo globo, a urbanização não apresenta diminuição em nenhuma região do mundo. Estimativas recentes apontam que até 2030 cerca de 60% da população mundial viverá nas cidades (ONU-HABITAT, 2016).

À medida que aumenta o número de habitantes das cidades, a área urbanizada também se torna cada vez maior. Amostra de 120 cidades observadas entre 1990 e o ano 2000 revelou que, enquanto a população cresceu em média a uma taxa de 17%, a área construída cresceu 28%. A partir disso, projeções para 2030 apontam que população urbana dos países em desenvolvimento dobrará e a área coberta por cidades triplicará (ONU-HABITAT, 2016).

De maneira geral, o processo de urbanização se realizou e se realiza favorecendo a lógica de reprodução do capital em detrimento das componentes naturais da paisagem. Esse processo expressa a relação sociedade versus natureza estabelecida no curso da História do homem, na qual a natureza é externalizada, e por isso, deve ser dominada e explorada para atendimento de suas necessidades e aspirações.

Nesse sentido, para os produtores e planejadores dos espaços urbanos, o meio físico deve se adaptar às atividades humanas e os recursos naturais podem ser utilizados de maneira ilimitada, desde que as necessidades básicas dos moradores tais como: habitação, trabalho, circulação e lazer sejam atendidas (MOTA, 1999). Consequentemente, a expansão urbana, verificada nos últimos anos e projetada para o futuro, significa maior consumo de energia e recursos naturais que, em muitos casos, resulta no aumento dos problemas ambientais urbanos.

Como produto da exploração da natureza considerada recurso na sociedade capitalista, podem-se mencionar: poluição do ar e sonora, contaminação das águas e solo, diminuição das águas subterrâneas, alagamentos, deslizamentos de terra, alterações climáticas para um clima tipicamente urbano (ilha de calor urbana), chuva ácida, erosões, assoreamento de cursos d'água, aumento da concentração de poluente entre outros. De acordo com Rodrigues (1988), a este conjunto de problemas denomina-se de problemas ecológicos e/ou ambientais, que também correspondem à problemática ambiental, a questão ambiental e/ou a questão do meio ambiente. Podem ser considerados novos problemas em relação à evolução histórica dos

modos de organização da sociedade, que mostram as formas predatórias de apropriação da natureza.

Essa apropriação diz respeito, inegavelmente, às relações de produção, e consequentemente, as relações entre os homens, bem como está intimamente vinculada ao modo de desenvolvimento vigente e ao estilo de vida adotado pela humanidade. Logo, a questão ambiental não corresponde apenas aos problemas relacionados à natureza, mas também deve ver compreendida como uma problemática decorrente da ação societária (RODRIGUES, 1988). Nas cidades, a questão ambiental se relaciona, sobretudo, às contradições da produção social do espaço urbano.

> Penso que a questão ambiental deve ser compreendida como um produto da intervenção da sociedade sobre a natureza e não apenas como problemas relacionados com a natureza [...]. Deve ser compreendida, também, como produto da atuação global da sociedade e não apenas de uma fração de classe ou gênero. E, para compreende-la, é necessário analisar a produção e o consumo *do* e *no* espaço (RODRIGUES, 1988, p. 85).

A produção do espaço urbano capitalista é realizada por diversos agentes públicos (Estado) e privados (promotores imobiliários, proprietários dos meios de produção, proprietários fundiários e movimentos sociais), sendo possível identificar claramente alguns aspectos gerais. Primeiramente, o espaço urbano é fragmentado e articulado; ao mesmo tempo em que produz áreas segregadas, estabelecendo assim “partes”, de modo que cada uma dessas partes mantém relações espaciais entre si. Segundo, o espaço urbano é reflexo da sociedade e, por conta disso, reflete a complexa estrutura social de classes. E, por refletir o social, ele também é desigual (CORRÊA, 2003).

A questão ambiental se materializa nesse espaço urbano socialmente produzido, fragmentado, articulado e desigual. Portanto, as cidades se configuram como espaços de desigualdades ambientais, onde seus habitantes estão expostos de maneira desigual aos problemas ambientais e, deste modo, possuem condições de qualidade de vida muito distintas. Nessa perspectiva, Sant’Anna neto (2011, p. 47) destaca que a cidade:

> [...] portanto gerador de espaços segregados e fragmentados, longe de se produzir um sistema que respeite e se adapte às condições ambientais e naturais, é de se esperar que esta contradição resulte em impactos altamente sensíveis aos diversos grupos sociais que habitam a cidade, também de forma desigual, tornando as desigualdades sociais, ainda mais agudas.

No Brasil, esse processo adota dimensões agravantes, uma vez que a produção do espaço urbano serve às demandas econômicas do capital externo e interno. Somado a isso, historicamente, tratou-se de um processo recente e de ritmo acelerado, sobretudo após a década de 1960, resultado da migração rural-urbana em decorrência da apropriação capitalista do campo (SCARLATO, 2009). Essas características fazem com que as áreas urbanas brasileiras cresçam pautadas em planejamento inadequado no que se refere à respeito ao meio ambiente, gerador de problemas ambientais, que afetam negativamente a qualidade de vidas das pessoas.

Dentre as consequências desse processo de urbanização para os citadinos, tem-se a falta de condições sanitárias mínimas, a ausência de serviços indispensáveis à vida e as condições precárias de habitação. Estes fatores contribuem para a criação de situações caóticas de pobreza e violência. Assim, nos dias atuais, o planejamento urbano busca resolver os problemas dos assentamentos já estabelecidos através de ações mais corretivas. Até mesmo cidades como Brasília, Belo Horizonte e Goiânia, cuja fundação foi pautada em um projeto de urbanização, hoje fugiram totalmente do controle do plano inicial. Assim, embora o Brasil tenha alguns casos de cidades planejadas no plano inicial de ocupação, raramente a expansão territorial urbana segue um plano urbanístico que contemple o ambiente ecologicamente equilibrado (MOTA, 1999).

É nesse sentido que Mendonça (2009) afirma que a degradação ambiental e a queda da qualidade de vida urbana em países como o Brasil se agravam à medida que a urbanização se intensifica. Portanto, partindo dos pressupostos de a qualidade de vida humana está diretamente relacionada à interferência do homem no meio natural e da cidade como a maior expressão social dessa modificação (LOMBARDO, 1985), é correto afirmar que a forma de produção das cidades brasileiras, historicamente e na fase atual, é nociva ao estado de bem estar humano e a sua própria sobrevivência. E por se tratar de uma produção essencialmente desigual, seus desdobramentos são sentidos de forma diferenciada entre os grupos sociais urbanos.

Embora o maior comprometimento da qualidade de vida ocorra nos grandes centros urbanos, os núcleos urbanos de pequeno porte têm chamado a atenção de estudos ambientais. No Brasil, o crescimento no número de munícipios ocorreu principalmente depois de 1988 com a nova Constituição Federal, que permitiu mais autonomia e poderes fiscais à governança local. Em 2013, o Brasil tinha 5.570 municípios, dos quais 75% tinham populações abaixo de 20.000 habitantes (ONU-HABITAT, 2016). Mais recentemente, de acordo com o IBGE

(2016, p. 34) 64,3% dos arranjos populacionais[1] brasileiros possuem baixa concentração populacional, ou seja, população até 100.000 habitantes. Deste modo, a atenção dada a cidades desse porte populacional se justificam primeiramente, pela maior facilidade na execução de propostas de ordenamento urbano se comparadas às metrópoles, onde a urbanização é praticamente consolidada (MENDONÇA, 2009). E também, devido à sua importância demográfica, vide que em 2017 as populações de munícipios até 100 mil habitantes, representavam 46,39% da população total do país (MOTTA, MATA, 2008)

Nesse contexto urbano, a qualidade ambiental é um importante subsídio para entender os problemas ambientais decorrentes do processo de produção capitalista das cidades contemporâneas, uma vez que está relacionada com a construção de um ambiente ecologicamente equilibrado considerando todos os elementos da paisagem urbana, conciliando os vários tipos de uso da terra e suas diversas atividades com a dinâmica natural dos elementos físicos (NUCCI, 2008; ESTÊVEZ, NUCCI, 2015).

A Qualidade Ambiental Urbana (QAU) possui diversas definições, que variam de acordo com enfoque do estudo realizado. Nessa tese adotou-se a QAU como

> [..] as condições ambientais mínimas idealizadas por uma determinada população, de acordo com sua cultura e desenvolvimento. Tais condições estão intimamente ligadas à qualidade de vida, conceito mais abrangente e unificador de todos os elementos que trazem melhoria de vida e satisfação aos habitantes. Logo, são necessários atributos que compõem o ambiente urbano para avaliá-lo. Mensurando-os, é possível notar o potencial da área em condicionar um ambiente agradável para se viver (MINAKI, 2014, p. 40).

A qualidade ambiental de um determinado local pode ser avaliada por meio de indicadores que representam abstratamente as características da realidade paisagística. As principais funções dos indicadores para uma pesquisa sobre qualidade ambiental é representar modelos da realidade, avaliar/comparar condições e tendências entre áreas, assim como, advertir e antecipar futuras condições do ambiente (PECHINCHA e ZAIDAN 2015).

Logo, a análise da qualidade ambiental nas cidades a partir de indicadores, pode contribuir para a elaboração de propostas a serem incorporadas ao planejamento urbano, referentes à capacidade suporte do ambiente urbano e aos limites de ocupação do território. Além disso, esse tipo de análise contribui para que a cidade seja interpretada como um espaço

[1] Conceito de arranjos populacionais foi desenvolvido pela Coordenação de Geografia do IBGE no intuito de fornecer um modelo territorial do processo de urbanização brasileira que identifica as médias e as grandes concentrações urbanas através de parâmetros comuns, cuja metodologia visa sistematizar as informações estatísticas e aumentar a noção de urbano (TEIXEIRA, 2019).

potencialmente vulnerável aos mecanismos de degradação, e que, portanto, necessita imediatamente que se efetivem propostas de planejamento adequado (LIMA, 2013).

Para a análise da qualidade ambiental em áreas urbanas, é possível o uso de vários indicadores, razão pela qual os estudos se expandem, diferenciando-se apenas pelas áreas enfocadas e pela adoção de técnicas variadas. Na presente pesquisa, se realizou uma adaptação da metodologia aplicada por Nucci (2008), no distrito de Santa Cecília do Município de São Paulo, baseada no "Planejamento da Paisagem", que teve como principal ferramenta a representação cartográfica de atributos ambientais potencialmente diminuidores da qualidade ambiental.

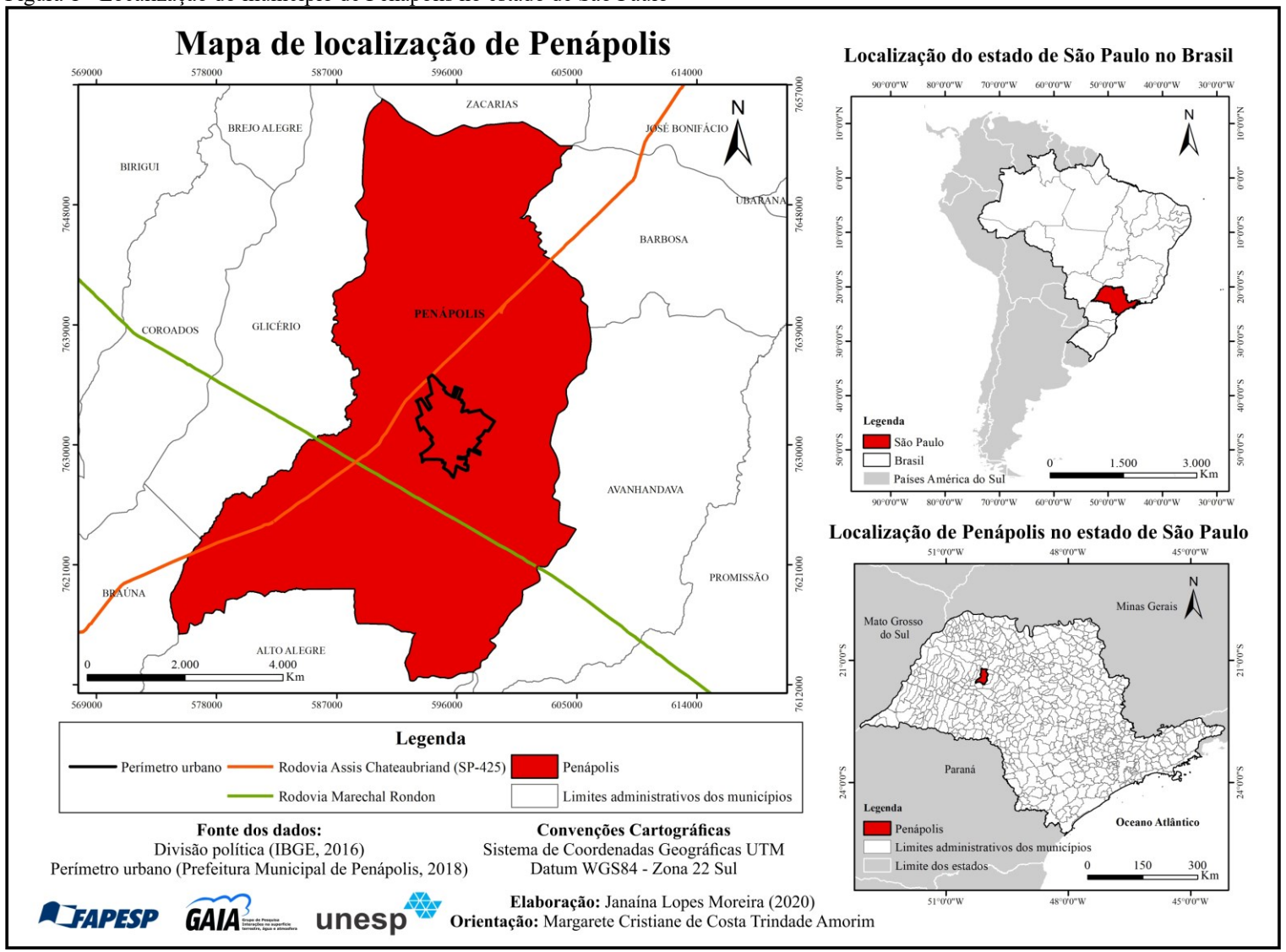
Concedendo o mesmo peso aos "atributos" ambientais, Nucci (2008) verificou quais as áreas de maior incidência negativa e que representam baixa qualidade ambiental. A partir desse modelo teórico-metodológico, vários outros estudos surgiram aproveitando a técnica da geração de cartas parciais dos indicadores, até a obtenção da carta síntese de qualidade de ambiental urbana (CAMARGO, 2007; LIMA, 2013; UGEDA JÚNIOR, 2007, 2011; VALASKI, 2008; MOURA, 2010; MINAKI, 2014; FERREIRA, 2015).

Todos esses estudos se mostraram eficazes em avaliar a qualidade ambiental urbana, o que demostra que a metodologia em questão se apresenta como um importante instrumento de pesquisa, principalmente nas áreas de planejamento urbano, haja vista que sua utilização possibilita identificar os problemas presentes na área urbana e propor possíveis intervenções a fim de amenizar e/ou resolver e até evitar o comprometimento da qualidade ambiental.

Portanto, a proposta metodológica de Nucci (2008) foi aplicada na cidade de Penápolis, localizada na região noroeste do estado de São Paulo, distante 487 km da capital (Figura 1). A cidade conta com uma população estimada de 63.407 habitantes (IBGE, 2019), porém no último censo demográfico apresentou 58.510 habitantes (IBGE, 2010). A cidade possui boa estrutura de acesso através de duas rodovias importantes a Marechal Rondon (SP-300), que liga a capital, São Paulo, ao Mato Grosso do Sul, e Assis Chateaubriand (SP-425), que tem seu trajeto iniciado no Paraná, passa por São Paulo, Minas Gerais e Goiás, e termina em Brasília (DF).

Além disso, conta com a Ferrovia Noroeste do Brasil, que se inicia em Bauru e se finda na Bolívia. A chegada da ferrovia em 1907 exerceu papel fundamental na consolidação do núcleo urbano, representando por muitos anos, um dos poucos meios de ligação à região, tanto de carga, principalmente de café, como de passageiros. O transporte ferroviário atualmente é destinado somente ao transporte de mercadorias (MOREIRA, 2016).

Figura 1 - Localização do município de Penápolis no estado de São Paulo



O processo histórico de Penápolis se assemelha ao de vários municípios do noroeste paulista, os quais surgiram e/ou tiveram sua ocupação intensificada pela cultura cafeeira nas primeiras décadas do século XX. Após a decadência da economia do café, as atividades de pecuária, de corte e leite e os cultivos de milho e arroz estiveram presentes no município (PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS, 2014).

Entre 2000 e 2010, a atividade emergente foi o setor sucroalcooleiro, que por meio da plantação de cana-de-açúcar e da agroindústria derivada dessa planta, voltada, principalmente, à produção do biodiesel, tem gerado o aumento do produto interno bruto do município em detrimento de sua qualidade ambiental (FRAGA et al., 2014; MOREIRA, 2016). No entanto, a partir de 2012, esse setor entrou em crise, a produção reduziu e muitas usinas foram fechadas. Após esse período se iniciou a substituição das plantações de cana-de-açúcar pelas pastagens, e, portanto, a pecuária voltou a ter expressividade no município (MOREIRA, 2016).

Dessa forma, ressalta-se que com a implantação da ferrovia, o uso das terras para a cultura cafeeira, bem como, para outras atividades agrícolas e a expansão da malha urbana geraram grande desmatamento da vegetação nativa. Sendo assim, o crescimento urbano de Penápolis, não respeitou as características físicas naturais, o que gerou o surgimento de uma série de problemas de ordem ambiental, especialmente no tocante à cobertura vegetal e aos cursos d'água (MOREIRA, 2016).

Recentemente, estudos sobre o município já evidenciaram problemas no que tange aos cursos d'água, como erosões e assoreamentos de rios (CONSTANTINO, 2014), bem como também foram identificadas ilhas de calor urbanas de intensidade elevada (SILVA, TOMMASELLI; AMORIM, 2002; MOREIRA, 2016). Esses problemas ambientais, de maneira geral, são decorrentes do uso e manejo inadequado da terra, da retirada de vegetação nativa e da impermeabilização excessiva, resultante da alta densidade de edificações.

Nesse sentido, a hipótese dessa tese é a de que, apesar do pequeno porte populacional, o processo de urbanização capitalista que ocorreu em Penápolis resultou no comprometimento da qualidade do ambiente urbano, gerando condições preocupantes para o estado de bem estar da população. Ademais, parte-se da ideia de que o fenômeno de ilha de calor urbana é um indicador que se articula com os demais indicadores ambientais urbanos propostos por Nucci (2008) para a avaliação da cidade, pois sua manifestação atesta o grau de comprometimento do ambiente urbano. Para além disso, acredita-se que sua máxima intensidade se relacione, espacialmente, com a incidência dos aspectos negativos dos outros indicadores analisados.

Para a cidade de Penápolis (SP), foi desenvolvida uma metodologia a partir do clima urbano, dada a sua fundamental complementação com os demais indicadores comumente encontrados nos estudos dessa natureza, pois entende-se que os estudos de clima urbano e de qualidade ambiental urbana se articulam não apenas pelas técnicas e metodologias empregadas, mas também na contribuição positiva para a avaliação da qualidade ambiental da cidade.

O clima urbano deve compor a avaliação da qualidade ambiental urbana, pois se configura como um indicador estratégico, potencialmente integrador, que "(...) deve assim ser considerado enquanto componente de qualidade do ambiente e, portanto, de contribuição para a qualidade de vida no meio urbano" (ANDRADE, 2005, p. 75). Deste modo, a análise da qualidade ambiental urbana de Penápolis (SP) foi fundamentada no sistema de indicadores ambientais: ilha de calor (temperatura do ar e temperatura de superfície), uso da terra, densidade de edificação, densidade populacional, ocorrência de enchentes, potencial poluição, cobertura vegetal arbórea e espaços livres de edificação.

Portanto, o objetivo geral dessa pesquisa foi o de avaliar a qualidade ambiental urbana (QAU) de Penápolis, a partir dos indicadores ambientais propostos por Nucci (2008), dando ênfase principalmente ao clima urbano, sobretudo à ilha de calor urbana. Além disso, com base nas concepções teórico-metodológicas e nos resultados apresentados delimitou-se unidades de paisagem como subsídio ao planejamento urbano de Penápolis/SP. Como objetivos específicos, elencaram-se:

- Analisar a ilha de calor de Penápolis por meio de medidas itinerantes, fixas e cartas termais;

- Analisar as cartas dos indicadores ambientais: uso da terra, população, densidade de edificações, cobertura vegetal arbórea, poluição potencial, ocorrência de enchentes e espaços livres de edificação;

- Analisar a qualidade ambiental da cidade de Penápolis (SP) com base em uma carta síntese gerada a partir da sobreposição das cartas referentes aos indicadores;

- Classificar os setores da cidade em unidades paisagísticas, a partir da carta final de qualidade ambiental.

- Propor medidas visando minimizar possíveis problemas identificados com a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade ambiental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos definidos, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica sobre temas que auxiliam teoricamente a confirmação ou refutação da hipótese desta tese. Assim, o levantamento bibliográfico pautou-se em leituras que abordam o paradigma da relação sociedade-natureza, a qualidade ambiental urbana e o clima urbano, a partir da abordagem sistêmica.

O estudo da qualidade ambiental de Penápolis (SP) foi realizado com base na elaboração de cartas para os indicadores ambientais propostos por Nucci (2008). Esse método tem como ferramenta a espacialização dos atributos ambientais potencialmente diminuidores da qualidade ambiental para posterior análise sistêmica através da sobreposição das cartas elaboradas.

A preocupação é, portanto, aglutinar o máximo de dados cartografáveis da área em estudo, adotar critérios e parâmetros de avaliação e posteriormente cruzar as cartas temáticas para a elaboração de uma carta de qualidade ambiental (NUCCI, 2008, p. 26).

Estas cartas temáticas, também conhecidas como cartas parciais, representam cartograficamente as características ambientais da área de pesquisa, tendo como objetivo o diagnóstico da situação do sítio urbano no momento da coleta de dados. Cada indicador possui um aspecto negativo, cuja incidência resulta na queda da qualidade ambiental urbana. Logo, quanto maior a incidência dos aspectos negativos de cada indicador em cada sobreposição de cartas, pior será a avaliação final. Primeiramente, as cartas são analisadas individualmente e depois sobrepostas para a formação conjunta da carta de qualidade ambiental urbana de Penápolis. Trata-se de uma abordagem sistêmica, na qual os indicadores mapeados possuem o mesmo peso (NUCCI, 2008).

Com base no referencial teórico e no conhecimento da realidade da cidade, para avaliação da qualidade ambiental em Penápolis, houve a seleção dos seguintes indicadores para a representação cartográfica: ilha de calor urbana (temperatura do ar e temperatura de superfície), uso da terra, população, densidade de edificações, cobertura vegetal arbórea, potencial poluição, ocorrência de enchentes e espaços livres de edificação. As oito cartas acima elencadas representam atributos que colaboram com a diminuição da qualidade ambiental e que ao serem cartograficamente cruzados, acabam por fornecer a carta síntese, ou seja, a Carta de Qualidade Ambiental.

Portanto, os procedimentos metodológicos que compuseram essa tese foram organizados em 5 etapas, como pode ser observado pela Figura 2. A primeira etapa compreendeu o levantamento bibliográfico e material teórico-metodológico, por meio da leitura e sistematização de livros, dissertações, teses e artigos nacionais e internacionais. Essa etapa proporcionou o embasamento teórico e metodológico para a tese e esteve presente em praticamente todas as etapas.

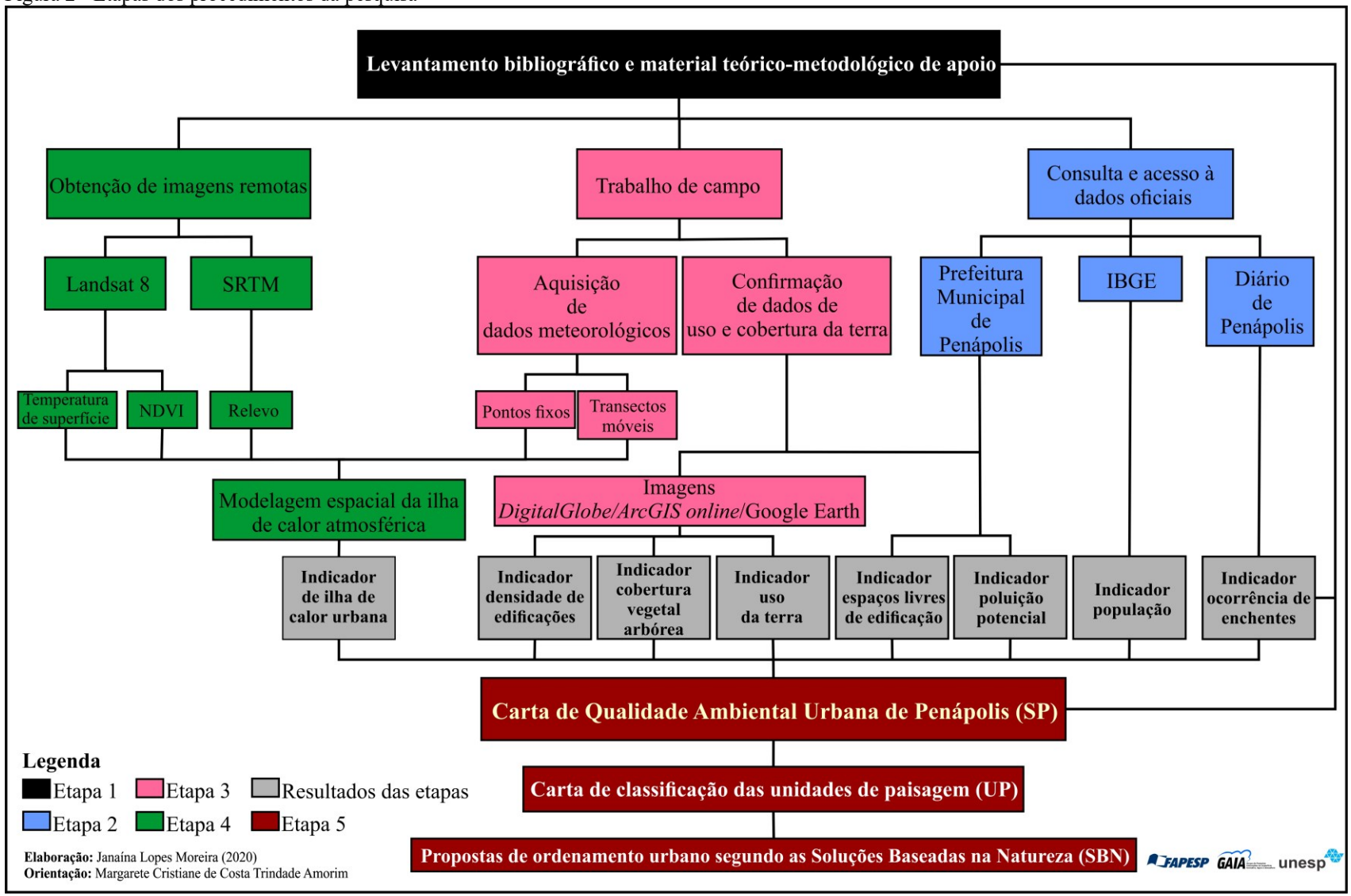
A etapa 2 refere-se à consulta e acesso a dados oficiais tais como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Prefeitura Municipal de Penápolis e a página digital do Diário de Penápolis, jornal local. Essa etapa teve como resultado a elaboração dos mapas dos indicadores espaços livres de edificação, poluição potencial, população e ocorrência de enchentes.

A etapa 3 foi destinada ao trabalho de campo tanto para aquisição de dados meteorológicos por meio de pontos fixos e transectos móveis quanto para a confirmação de dados referentes ao uso e cobertura da terra urbana observados pelo *Google Earth*. Essa etapa teve duração de um ano (2018) e forneceu dados para elaboração dos mapas dos indicadores: uso da terra, densidade de edificação, cobertura vegetação arbórea e ilha de calor urbana.

A etapa 4 consistiu na obtenção imagens remotas disponibilizadas gratuitamente. Foram utilizadas imagens do satélite *Landsat* 8 (*Land Remote Sensing Satellite*) e do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*/Missão topográfica Radar *Shuttle*). Essas imagens em conjunto com os dados meteorológicos coletados subsidiaram a elaboração da modelagem espacial da ilha de calor atmosférica. O resultado dessa etapa foi elaboração do mapa do indicador ilha de calor urbana.

Por fim, a etapa 5 foi destinada ao cruzamento dos aspectos negativos de cada indicador, e consequentemente, a elaboração da carta de Qualidade Ambiental Urbana de Penápolis (SP). A partir desta, foram delimitadas Unidades de Paisagem (UP) de acordo as semelhanças dos problemas ambientais urbanos identificados e elaboradas propostas de ordenamento urbano segundo as Soluções Baseadas na Natureza (SBN).

Figura 2 - Etapas dos procedimentos da pesquisa



2.1 Metodologia para o levantamento do sistema de indicadores ambientais

O mapeamento de todos os indicadores foi realizado no programa *ArcGIS* 10.1[2], por meio do qual também foi construído um banco de dados climático e de indicadores ambientais. Os dados referentes aos indicadores que não estavam documentados por órgãos governamentais ou que não estavam disponibilizados foram coletados a partir de trabalho de campo. O recorte de representação dos atributos foi o limite da quadra, por isso, foi utilizada a malha urbana digital, disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Penápolis. Somente para o indicador população é que se utilizou o limite do setor censitário disponibilizado pelo IBGE (2017).

Para mapear o indicador população, foram utilizadas informações do número de pessoas residentes em cada setor censitário disponibilizado pelo IBGE (2010). Através do software *ArcGIS* 10.1 foi considerado o número de moradores em domicílios particulares permanentes por setores censitários (CENSO de 2010) e elaborada a "Carta de número de moradores por setor censitário". Esse mapeamento representa o indicador população e permitiu observar a distribuição populacional na cidade. O alto número de residentes no setores foi entendido como um aspecto negativo para a qualidade ambiental devido à maior pressão exercida no ambiente.

Para o mapeamento do indicador ocorrência de enchentes foram utilizados mapeamentos já realizados para a área de estudo, tais como: as cartas de hipsometria, declividade e orientação das vertentes para a identificação dos fundos de vale com cursos d'água (MOREIRA, 2016). Além disso, foram coletadas algumas informações na Biblioteca Municipal e realizada pesquisa na página online do jornal local "Diário de Penápolis[3], na qual foi feita a busca por reportagens sobre enchentes no município. As reportagens confirmaram os locais mais susceptíveis a ocorrências de enchentes que os mapas haviam indicado. Ademais, foram adicionados registros fotográficos de alguns pontos, concedidos pelos moradores por meio das redes sociais em episódios de chuva.

Para o indicador espaços livres de edificação, foi utilizado o documento elaborado pelo Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (COMDEMA) da Prefeitura Municipal de Penápolis denominado "Diagnóstico situacional das áreas verdes de Penápolis" de 2004. Este documento possui a descrição quantitativa e qualitativa das áreas verdes

[2] *ArcGIS* 10.1 é marga registrada pela *Esri* (*Environmental Systems Research Institute*).
[3] Disponível em: https://www.diariodepenapolis.com.br/web/. Acesso em: 30 out. 2019.

urbanas, ou seja, possui tamanho, localização e a descrição paisagística das áreas verdes da cidade reconhecidas pelo poder municipal. As imagens do *Google Earth* (2018) e trabalhos de campo aos locais também foram necessários para a atualização das informações.

Como o município não apresenta uma agência ambiental que monitore a qualidade do ar, para o indicador de poluição atmosférica recorreu-se a uma metodologia alternativa (UGEDA JÚNIOR, 2012), para avaliar os pontos de poluição, por meio, de indicadores que estão disponíveis na área. Para tanto, verificou-se os locais da cidade em que ocorrem alguns tipos de uso da terra potencialmente geradores de poluição, por isso a carta gerada recebeu o nome de "Carta de Poluição Potencial". Os usos potencialmente poluidores e relevantes para a realidade de Penápolis foram: oficinas mecânicas, funilarias e pintura, borracharias, postos de combustível, marmorarias, serralherias, torrefações, algodoeiras, transportadoras, depósitos em geral, alguns usos industriais, além das principais vias de circulação da cidade. A Prefeitura Municipal de Penápolis também contribuiu para o mapeamento desse indicador cedendo os dados de endereço dessas tipos de serviços do ano de 2018.

O mapeamento de uso da terra urbana foi elaborado por meio do acesso aos mapas do Plano Diretor da cidade disponíveis no *site* da Prefeitura Municipal em formato PDF e imagens do *Google Earth* (2018) e da ferramenta *Google Street View* (2011)[4]. Para a validação dos mapeamentos, foram realizados trabalhos de campo pela cidade, os quais foram fundamentais para sanar as dúvidas e tornar o mapeamento adequado à realidade. Os usos mapeados se enquadraram nas seguintes categorias: uso residencial; uso de serviços, uso comercial; uso industrial; lotes não construídos e espaços livres de edificação.

O mapeamento do indicador cobertura vegetal arbórea e densidade de edificações também foi realizado no *ArcGIS* 10.1 através de interpretação visual da imagem composta/fusionada da *DigitalGlobe/ArcGIS* online, com resolução de 0,5 metros e das imagens do *Google Earth* (2018), que possibilitam a visualização da vegetação urbana bem como a densidade das edificações. Essa metodologia também foi utilizada por Camargo (2007) e Minaki (2014) e sua escolha se deve à ausência de uma imagem de satélite de alta resolução espacial da área de estudo para realizar classificações automáticas.

Para a realidade de Penápolis, foram elaboradas 3 classes de densidade de cobertura vegetal arbórea: baixa, média e alta. O padrão para a estimativa visual dessas classes de

[4] Disponível em: https://www.google.com/maps/place/Pen%C3%A1polis,+SP,+16300-000/@-21.4159911,-50.1127063,11106m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x9496015d7b570b85:0x3182424a357ac901!8m2!3d-21.42162!4d-50.0825905. Acesso em: 25 de maio de 2019.

densidade de vegetação arbórea pode ser observado na Figura 3. Já para a classificação da densidade de edificações foram elaboradas cinco categorias de densidade: muito alta, alta, média, baixa e sem edificações. Os padrão para a estimativa da densidade das edificações pode ser visualizado na Figura 4.

Vale ressaltar, que essas classes de densidade de cobertura vegetal arbórea (Figura 3) e de edificações (Figura 4) foram definidas de acordo com a realidade paisagística urbana de Penápolis (SP). Logo, não representam uma classificação padrão de densidade de cidades de pequeno porte do interior do estado de São Paulo.

Figura 3 - Exemplos das classes da classificação visual da cobertura vegetal arbórea

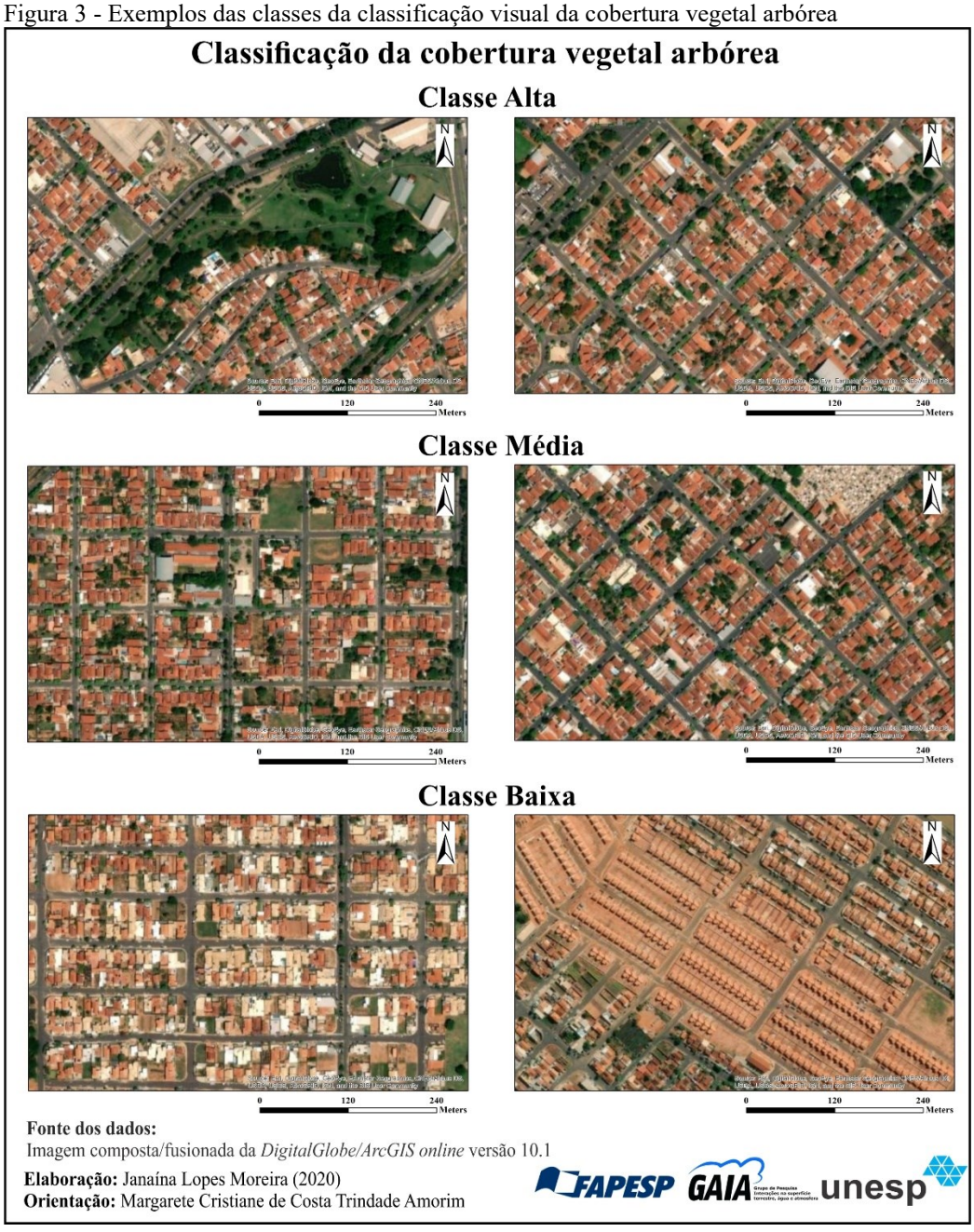
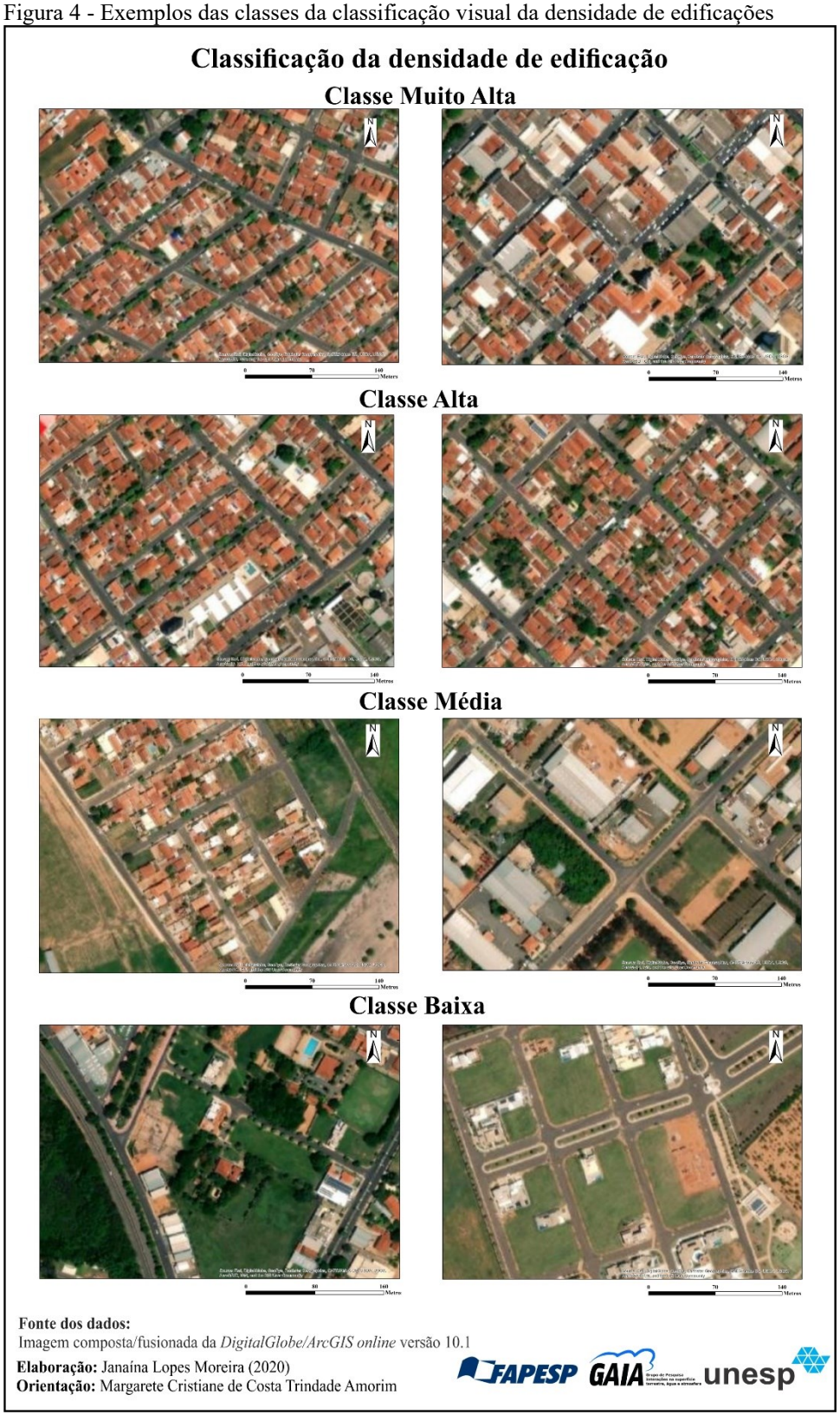


Figura 4 - Exemplos das classes da classificação visual da densidade de edificações



2.2 Metodologia para o diagnóstico das ilhas de calor de superfície

Para a análise da ilha de calor de superfície, foram utilizadas as imagens do satélite *Landsat* 8 do sensor TIRS1 (*Thermal Infrared Sensor*), banda 10, do canal infravermelho termal, com resolução espectral de 10,6 – 11,19 µm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com *pixel* de 30 metros pelo *United States Geological Survey* (USGS). Penápolis se localiza na região de recobrimento do satélite, órbitas 221 e 222 e ponto 075, consequentemente, apresenta uma maior quantidade de imagens com intervalos de sete e oito dias[5]. O horário de captura da imagem em Penápolis é às 10h23min do horário local (13h21min GMT *hour*).

Os procedimentos para a conversão das temperaturas em graus Celsius (°C) foram realizados através do aplicativo *ArcGIS* 10.1 utilizando parâmetros fixos do sensor do satélite, obtidas no site do USGS (2018), para a conversão dos números digitais em energia radiante. Em seguida, a partir da energia radiante, foi possível obter a temperatura Kelvin dos alvos, que posteriormente foi convertida para graus Celsius, juntamente com a atribuição de falsa cor para a obtenção da imagem colorida.

A seguir são apresentadas as equações obtidas no site da USGS que foram utilizadas para a obtenção da temperatura aparente da superfície. A Equação 1 se refere à conversão dos números digitais para informações de radiância.

$$L\lambda = \mathrm{MLQcal} + \mathrm{AL} \quad (1)$$

Onde:

Lλ = Radiância do topo da atmosfera (Watts / (m2 * sr *µm));

ML = Fator de escala multiplicativo de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, x sendo o número da banda);

Al = fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, x sendo o número da banda);

Qcal = Valores de *pixel* quantificados e calibrados do produto padrão (DN).

[5] As imagens que se referem ao recobrimento do satélite na área variam de localização, por isso, algumas apresentam um corte na porção noroeste do município. As imagens de maio e setembro do subitem "As ilhas de calor de superfície em Penápolis durante o ano de 2018: intensidade, forma e frequência" apresentaram essa característica.

Posteriormente, foi realizada a correção atmosférica da imagem seguindo os princípios disponibilizados pela *Atmospheric Correction Parameter Calculator*, a qual a partir da inserção de dados de superfície local (temperatura e umidade) fornece a *Transmittance, Upwelling Radiance e Downwelling Radiance*. Segundo Coll et al. (2010) a correção atmosférica específica da cena é realizada com a aplicação da Equação 2:

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L\uparrow}{\varepsilon\tau} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} L\downarrow \quad (2)$$

Onde:

CVR2 - atmospheric correction cell value as radiance

CVR1 - cell value as section 1 radiance

L ↑ - upwelling radiance

L ↓ - down welling radiance

T - Transmittance

Ɛ - Emissivity (0.95).

Fonte: Extraído de Coll et al. (2010).

Após a correção atmosférica foi aplicada a Equação 3 para a conversão dos valores em temperatura Kelvin.

$$T = \frac{K2}{\ln(\frac{K_1}{l\lambda}+1)} \quad (3)$$

Onde:

T – Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);

K2 – Constante de calibração 2 – valor= 1 321,08;

Kl – Constante de calibração 1 – valor= 774,89;

Lλ – Radiância espectral em Watts/(metro quadrado ster * * mm)

Fonte: Extraído de USGS (2018)

Para finalizar o procedimento, converteu-se a temperatura Kelvin em graus Celsius (°C) subtraindo 273,15 dos valores obtidos. Para a delimitação da área urbana na imagem foi sobreposta a base cartográfica da malha urbana.

Para a compreensão da variabilidade da ilha de calor de superfície entre as estações do ano foi calculado NDVI utilizando-se das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, que correspondem, respectivamente, às bandas 4 (intervalo espectral 0,630 μm -0,680 μm) e 5 (entre 0,845 μm e 0,885 μm) do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite *Landsat* 8. O cálculo foi realizado no *ArcGIS* 10.1 com base na diferença entre as bandas representada na Equação 4.

$$NDVI = \frac{(PIVP - PV)}{(PIVP + PV)} \quad (4)$$

Onde:
PIVP= reflectância do infravermelho próximo
PV = reflectância no vermelho.

Os valores dessa operação estão contidos em uma escala entre -1 e +1. Áreas com valores próximos a -1 revelam a presença de vegetação com estresse hídrico ou áreas construídas, já áreas com valores próximos a +1 correspondem à vegetação mais vigorosa e densa. No entanto, no que diz respeito às superfícies vegetadas do tipo gramíneas, vegetação esparsa e vegetação de pequeno porte/arbustiva os valores se apresentam positivos mais baixos, aproximadamente entre 0.2 e 0.5, enquanto que os solos possuem valores ainda mais baixos entre 0.1 e 0.2, podendo alcançar valores negativos dependendo do tipo de solo. Em caso de corpos d'água os valores do NDVI tendem a ser negativos (SILVA; GALVÍNCIO, 2012). Portanto, com esses mapas foi possível identificar as condições da vegetação e sua distribuição espacial nas áreas intraurbana e rural de Penápolis.

Também para análise da ilha de calor de superfície, foram utilizados dados de precipitação do DAEP (Departamento de Água e Esgoto de Penápolis) para identificar a distribuição da precipitação nos dias que antecederam a tomada das imagens analisadas. Essas informações foram de fundamental importância para identificar as diferenças de intensidade da ilha de calor de superfície ao longo do ano, e consequentemente, identificar o padrão sazonal do fenômeno.

2.3 Metodologia para aquisição da temperatura do ar (medidas itinerantes e fixas)

As propostas teórico-metodológicas de Monteiro (1976; 1990a; 1990b) subsidiam as discussões sobre a análise do campo térmico. Portanto, o clima urbano é abordado como um sistema adaptativo, o Sistema Clima Urbano (S. C. U), sugerindo, assim, uma análise dinâmica, baseada nas inter-relações espaço e tempo, sendo o espaço urbano o núcleo do sistema, onde ocorrem constantes trocas de energia com o meio em que está inserido.

A teoria do Sistema Clima Urbano (S.C.U.) apresenta um nível de resolução geral, entretanto, possui também níveis de resolução intermediários, que se constituem em três subsistemas (hidro-meteórico, físico-químico e termodinâmico) no qual estão contidos os canais de percepção humana.

O enfoque da pesquisa foi o subsistema termodinâmico que está relacionado ao conforto térmico, no qual são tratados os estudos de ilhas de calor e de frescor, de inversões térmicas e do conforto térmico. Segundo o autor, é o canal que mais necessita de pesquisas científicas, não só pelo conforto térmico ser uma variável a considerar na qualidade ambiental, mas também porque as implicações termodinâmicas repercutem decisivamente nos demais canais (MONTEIRO, 1990b).

Com base nas recomendações de Monteiro (1990a), que afirma que as investigações do campo térmico devem adentrar a cidade e sondar-lhe a temperatura avaliando as propriedades e alterações que o ar sofre dentro do ambiente urbano, nesta pesquisa o monitoramento da temperatura do ar foi realizado através de medidas fixas e itinerantes de temperatura (°C).

As medidas itinerantes foram realizadas por meio dos transectos móveis. Essa metodologia se baseia na utilização de sensores digitais presos a uma haste de bambu com 1,5 metros de altura, acoplado na lateral de um veículo (Figura 5).

Esse procedimento implica na realização de dois percursos (Norte-Sul/Nordeste-Sudoeste), que saíram da periferia (rural), passaram pelo centro e chegaram ao extremo oposto da cidade, com velocidade variando entre 20 e 30 km/h. Para se evitar o registro de oscilações naturais de temperatura, o tempo gasto entre o ponto inicial e final não ultrapassou uma hora (AMORIM, 2005). Além disso, as oscilações naturais entre o começo e o final do

percurso foram monitoradas nos pontos fixos. Com base no hodômetro do veículo[6], a coleta dos dados ocorreu a cada 200 metros e totalizou 112 pontos de mensuração.

Figura 5 - Termo-higrômetro utilizado e automóvel equipado para aquisição da temperatura do ar



Fonte: Arquivo pessoal da própria autora (2018).

Esta metodologia foi adaptada com base nos trabalhos de Oke e Maxwell (1975); Gomez e García (1984); Johnson (1985); Pitton (1997), Amorim (2005). Os registros foram efetuados em dias com condições atmosféricas que se caracterizaram pela estabilidade, sem chuva e sem vento (ou ventos francos), às 21h. A escolha do horário se baseia nos estudos realizados, que indicam que a intensidade máxima da ilha de calor se registra até três horas após o pôr do sol (OKE, 1978).

A aquisição dos dados de temperatura do ar também se realizou por meio de sensores inseridos em abrigos meteorológicos fixos. Para tanto, foram instalados 8 sensores na área urbana e 2 sensores na área rural, totalizando 10 pontos que registram a temperatura do ar a cada 1 hora (Figura 6).

Na instalação, priorizaram-se setores urbanos não contemplados pelas medidas móveis e com diversidade paisagística, ou seja, diferentes densidades de edificação e de arborização.

[6] Foi utilizado 1 veículo para a realização dos dois percursos, já que o tempo gasto entre o início e o término de ambos não ultrapassava o limite de 1hora.

Os sensores fixos foram instalados em pontos com altitudes semelhantes para evitar possíveis interferências da altimetria do relevo no registro da temperatura do ar.

Figura 6 - Abrigo meteorológico instalado: Ponto fixo 1 e Termo-higrômetro utilizado nos pontos fixos dentro dos abrigos meteorológicos



Fonte: Arquivo pessoal da própria autora (2018).

As medidas itinerantes e fixas ocorreram simultaneamente durante o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019 totalizando assim, 12 meses de dados para a análise do campo térmico. Os registros da temperatura do ar foram organizados em planilhas do aplicativo *Excel*[7].

Para a análise das medidas itinerantes foram calculadas as intensidades da ilha de calor atmosférica (ICU) com o uso do aplicativo *Excel*. O cálculo consistiu na utilização da temperatura do ponto fixo rural às 21h (ponto 10) para a subtração do valor medido em cada ponto do transecto móvel. Assim, a temperatura utilizada para o cálculo sempre se refere à mesma localidade.

Esse tipo de tratamento dos dados possibilitou a visualização de ilhas frescas urbanas. Posteriormente, com o uso do software *ArcGIS* 10.1, as intensidades obtidas foram especializadas e sobrepostas numa composição RGB cores naturais (bandas 4, 3, e 2) elaborada a partir de imagens do *Landsat* 8 (USGS, 2018) do dia 24 de fevereiro de 2018. Para melhor interpretação e comparação entre os episódios a legenda foi padronizada. Os

[7] *Excel* é marca da *Microsoft Corporation*.

episódios de maiores intensidades da ilha de calor atmosférica (ICU) também foram representados em gráfico, no qual foi adicionado o gráfico do perfil altimétrico dos percursos e as representações das Zonas Climáticas Locais – LCZs (*Local Climate Zones)* (Figura 7) identificadas nos dois percursos.

Figura 7 - Sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ)

Built types	Definition	Land cover types	Definition
1. Compact high-rise	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	A. Dense trees	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
2. Compact midrise	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	B. Scattered trees	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
3. Compact low-rise	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	C. Bush, scrub	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
4. Open high-rise	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	D. Low plants	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
5. Open midrise	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	E. Bare rock or paved	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
6. Open low-rise	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	F. Bare soil or sand	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
7. Lightweight low-rise	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	G. Water	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
8. Large low-rise	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	**VARIABLE LAND COVER PROPERTIES**	
		Variable or ephemeral land cover properties that change significantly with synoptic weather patterns, agricultural practices, and/or seasonal cycles.	
9. Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	*b. bare trees*	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
		s. snow cover	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
10. Heavy industry	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	*d. dry ground*	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		w. wet ground	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

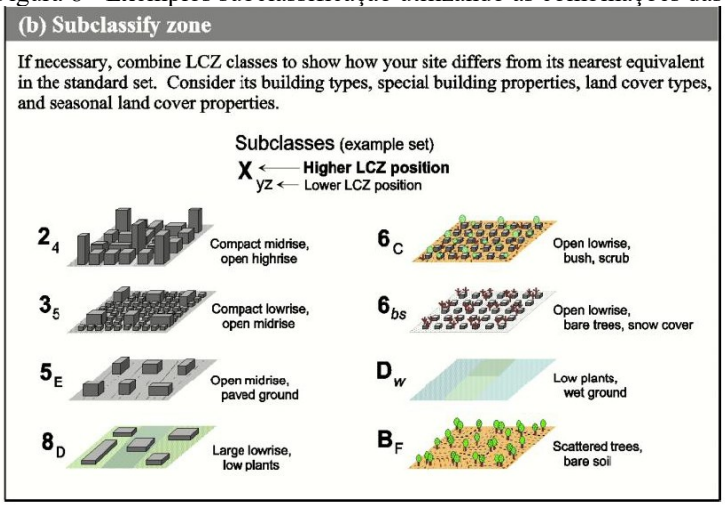
Fonte: Stewart e Oke (2012, p. 1885).

A proposta de classificação da paisagem de Stewart e Oke (2009) denominada de Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones* – LCZ) foi utilizada nessa pesquisa (Figura 7). A proposta surge para ultrapassar a dicotomia "urbano-rural" e fornece um sistema de classificação mais completo e abrangente que possa ser aplicado em qualquer estudo de temperatura urbana ao redor do mundo. Trata-se de uma proposta de classificação do uso e cobertura da terra, na qual cada zona climática é detalhada de acordo as propriedades encontradas na superfície (altura da rugosidade superficial, fração de superfície impermeável, desempenho térmico, entre outros) (STEWART, 2011).

Os autores sistematizaram 17 LCZs, das quais 10 são relacionadas aos tipos de construções (1 – 10) e 7 referentes aos tipos de cobertura da terra (A – G). Além dessas categorias, o autor enumerou uma classe para o uso industrial e 4 subdivisões que podem ser usadas para caracterizar propriedades sazonais de cobertura da terra (Figura 7).

Os autores que elaboraram a proposta ressaltam que a uniformidade de cada LCZ é difícil de ser encontrada, com exceção para locais planejados, como parques, áreas agricultáveis ou conjuntos urbanos planejados. No entanto, é passível de adaptação às características locais de cada cidade. Nesse sentido, para melhor representação da realidade pode-se fazer combinações das LCZs dos tipos de construções (1 – 10) com as LCZs do tipo de cobertura da terra (A – G) com as propriedades sazonais (Figura 8) (STEWART, 2011).

Figura 8 - Exemplos subclassificação utilizando as combinações das LCZs



Fonte: Stewart (2011, p 254).

A proposta veio colaborar significativamente para o rigor metodológico das pesquisas de clima urbano, uma vez que possibilita a padronização desses estudos, e consequentemente, a comparação e o avanço no conhecimento de padrões e características da ilha de calor urbana

em diferentes regiões climáticas do mundo. Internacionalmente é uma metodologia bastante conhecida e difundida, porém no Brasil são poucas as pesquisas que já empregaram essa metodologia (CARDOSO, 2015; ANJOS 2017; DORIGON, 2019).

Nesta pesquisa, optou-se pelo uso dessa metodologia em virtude da possibilidade de intercâmbio de resultados no âmbito nacional e internacional. Nesse sentido, a metodologia da LCZ foi empregada com o intuito de representar a cobertura da terra predominante nos percursos dos transectos móveis e no entorno dos pontos fixos. Não se teve a intenção de formular um mapeamento de todas as LCZs existentes em Penápolis (SP).

Por fim, para a compreensão das condições sinóticas dos episódios e a identificação dos sistemas atmosféricos, foram utilizados dados de duas estações meteorológicas: uma se localiza na sede do Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP), próxima ao centro da malha urbana, e a outra é uma Estação Meteorológica Automática de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na cidade de Lins (SP)[8]. Também foram utilizadas imagens do satélite GOES[9]e cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha[10]. O Quadro 1 apresenta os tipos de dados de superfície utilizados e suas fontes.

Quadro 1 - Dados de superfície utilizados e suas respectivas fontes

Temperatura do ar média em graus Celsius	**DAEP**
Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius	
Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius	
Precipitação diária acumulada em milímetros	
Umidade Relativa horária em percentagem	
Pressão atmosférica horária em hectoPascal	**INMET/Lins**
Velocidade do Vento horária em metros por segundo	
Direção do vento (azimute)	
Precipitação diária acumulada em milímetros	
Umidade Relativa horária em percentagem	

Fonte: Autoria própria.

Os dados do Quadro 1 também foram utilizados para a elaboração dos gráficos de análise rítmica (MONTEIRO, 1971) na análise da ilha de calor atmosférica (ICU) por meio

[8] Lins dista 40 km de Penápolis.
[9] Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic. Acesso em: 03 maio. 2019.
[10] Disponível em: https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm. Acesso em: 03 maio. 2019.

dos pontos fixos. A análise rítmica foi elaborada em 6 meses representativos, representando todas as estações do ano. Esses meses foram: fevereiro, abril, maio, junho, julho e dezembro.

Os dados de vento do INMET foram a base para a construção das rosas dos ventos de cada episódio dos transectos móveis. Para isso, foi utilizado o software gratuito *Wind Rose Plots for Meteorological - WRPLOT View™ - Freeware Data*. No software, foram adicionados os dados horários de vento (direção e velocidade) e chuva de Lins. Como a opção foi a análise episódica, para a elaboração de cada rosa dos ventos, foi selecionado apenas os dias dos episódios em que ocorreram as medidas itinerantes. Logo, cada rosa do vento representa as características de vento das 24 horas do dia de cada episódio de transecto móvel.

2.4 Metodologia para modelagem espacial da ilha de calor atmosférica

Para estudos em que a análise espacial é a questão fundamental, a modelagem é um procedimento de vital importância. Trata-se de uma técnica que combina informações espaciais em sistema de informação geográfica (SIG), que a partir de uma pergunta espacial formulada pelo pesquisador, transformará um mapa-entrada em um mapa-saída com base em comandos e módulos analíticos disponíveis no SIG segundo os algoritmos computacionais (FERREIRA, 2014).

A modelagem espacial nesta tese objetivou a estimação da temperatura do ar para além dos pontos de registro com o intuito de diagnosticar as intensidades da ilha de calor atmosférica e mapear os setores urbanos sujeitos à maior magnitude do fenômeno. Sendo assim, esse procedimento reuniu as características do campo térmico, oriundas de medidas fixas e móveis e resultou na carta do indicador urbano “Ilha de calor urbana para o ano de 2018”, que foi considerada no cruzamento para a elaboração da carta síntese de QAU.

Para a modelagem espacial da ilha de calor urbana atmosférica em Penápolis, foram adotados os procedimentos metodológicos apresentados por Amorim et. al. (2015), adaptados de Foissard (2015) e já aplicados para algumas cidades brasileiras de dimensões territoriais e populacionais diferenciadas (GOMES et. al. 2017, TEIXEIRA et. al., 2015; AMORIM, 2017a; TEIXEIRA e AMORIM, 2018; TEIXEIRA, 2019; DORIGON, 2019).

Para Penápolis, o procedimento pautou-se nos dados registrados por pontos fixos e transectos móveis às 21h durante o período úmido (fevereiro, dezembro) e seco (maio e junho) de 2018. Para a inserção no modelo foram considerados 43 pontos de registro, 8 referiram-se às medidas fixas e 35 às medidas móveis. A escolha de pontos ocorreu

priorizando medidas distantes umas das outras em função da resolução espacial das imagens de satélite utilizadas, que são de 30 metros. Ou seja, registros de temperatura muito próximas, contidas no mesmo *pixel*, acarretaram erros nos processamentos das imagens nos testes realizados. Assim, os pontos foram selecionados a fim de abarcar a diversidade de usos e de altimetria do recorte estabelecido para Penápolis.

Para a análise de correlação entre a temperatura do ar medida e as características da superfície foram utilizadas as imagens do satélite *Landsat* 8 (órbitas 221 e 222/ponto 075), bandas 3 (Verde, 0,53 – 0,59 μm,), 5 (Infravermelho próximo, 0,85-0,88 μm) e 4 (Vermelho, 0,64-0,67 μm) do sensor OLI, com resolução espacial de 30 metros, capturadas às 10h23min do horário local (13:21 GMT) e disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS) gratuitamente. Além disso, as informações de relevo foram obtidas através de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*/Missão topográfica Radar Shuttle), topodata[11].

A modelagem foi processada no software *IDRISI*[12] e iniciou com a elaboração do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) com as bandas 4 e 5 utilizando as imagens do dia 25/06/2018 e 09/12/2018, representativas do período seco (inverno) e chuvoso (primavera), respectivamente. Em seguida, se processou a carta de hipsometria do relevo com o uso da imagem SRTM topodata, a qual foi georreferenciada na mesma resolução espacial da imagem de satélite (30 metros), para a incorporação no modelo.

Para a representação do uso da terra em formato de *cluster*, utilizou-se a classificação automática por meio da combinação das bandas 3, 5 e 4. Para isso, priorizou-se uma imagem do dia em que foram realizados os registros móveis de temperatura do ar. Assim, a imagem do dia 25/06/2018 foi selecionada para a diferenciação dos tipos de vegetação e das construções. Essa etapa resultou em um mapa com 8 *clusters*, que posteriormente, baseado nos valores de NDVI de cada *cluster*, foi reduzido para um mapa de 3 *clusters*, que representam os seguintes usos: urbano (LCZ 3), vegetação alta (LCZ A) e vegetação baixa (LCZ D).

Vale destacar, que também é possível acrescentar a distância do centro e a temperatura de superfície na elaboração do modelo. No entanto, para essa pesquisa, após testes realizados, constatou-se que apesar da boa correlação, a inserção dessas variáveis no modelo gerava resíduos mais elevados.

---

[11] Missão Topográfica Radar *Shuttle*. Dados Topodata (SRTM) que oferecem o Modelo Digital de Elevação, disponibilizados pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> Acesso em: nov. 2020.

[12] *Idrisi* é marca registrada da *Clark University*.

Após a elaboração dos mapas de entrada do modelo, iniciou-se a análise estatística. Como a modelagem envolve o tratamento de mais de uma variável, para se entender o grau de relação entre elas, utilizou-se a regressão linear simples e múltipla. Sobre regressão linear simples Landim (1998, p. 103) aponta que:

> As relações entre duas variáveis: *x*, considerada independente, e *y*, considerada dependente, podem ser representadas num diagrama de dispersão, com os valores de *yi* em ordenada e os de *xi* em abcissa. Cada par de valores *xi* e *yi* fornecerá um ponto; utilizando-se, por exemplo, o método dos desvios mínimos ao quadrado, pode-se calcular a equação de uma curva de tendência que melhor se ajuste à nuvem de distribuição. O método mais simples é o da análise de regressão linear simples [...] onde α e β são constantes desconhecidas a serem determinadas e ε representa toda a fonte de variabilidade em *y* não explicada por *x* (LANDIM, 1998, p. 103,).

Ainda de acordo com Landim (1998), a técnica estatística de regressão linear múltipla é utilizada para testar dependências cumulativas de uma única variável dependente em relação a diversas variáveis independentes. Cada variável é isolada e mantida constante enquanto as restantes variam, podendo ser observado os seus efeitos sobre a variável dependente. A variável a ser inicialmente mantida constante é aquela que ocasiona a maior influência na variabilidade da variável dependente. Essa relação entre as variáveis é explicada considerando o ajuste em um diagrama de dispersão segundo a técnica dos desvios mínimos ao quadrado, que permite calcular a equação de uma reta que melhor se ajuste à nuvem de distribuição dos dados (TEIXEIRA, 2019).

No caso do modelo gerado para tese, a temperatura do ar é considerada a variável dependente (y) ou variável resposta e as variáveis que referem-se às características da superfície são as independentes (x) ou preditoras (TEIXEIRA, 2019). Para a cidade em estudo nesta tese, foram consideradas como variáveis independentes (x) as classes de uso da terra (urbano, vegetação baixa e vegetação alta), o relevo e o NDVI.

Como resultado da análise regressão linear tem-se o coeficiente de correlação linear (*r*), que é adimensional e varia de +1 a -1. Próximo ao valor +1 a relação é perfeita e direta, enquanto no outro extremo, correspondente a -1, a relação é perfeita, porém inversa. Entre estes dois extremos situam-se os vários graus de correlação entre duas variáveis e quando igual a zero (0), não existe correlação linear (STURARO, 2015).

Portanto, o parâmetro quantitativo sobre o grau de dependência entre as variáveis são a reta de regressão e o coeficiente de regressão (*r*). A dependência entre as variáveis também

pode ser quantificada por meio do coeficiente de determinação (r^2), que, de acordo com Landim (1998, p. 106):

> Valores de r^2 irão dispor-se no intervalo 0-1, fornecendo uma medida dimensional de quantidade do ajuste do modelo de regressão múltipla aos dados. Se o valor r^2 for próximo de 1, significa que as diversas variáveis x medidas são responsáveis quase que totalmente pela variabilidade de y. Caso contrário, r^2 apresentará um valor próximo a zero.

Esse coeficiente deve ser interpretado como proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável. Assim, os valores de r^2 podem ser utilizados como referência para avaliar a existência de uma relação útil entre variável dependente e independente, em um modelo de regressão linear independente (GOMES, 2017; DORIGON, 2019).

Após a análise estatística de regressão linear simples, obtiveram-se os coeficientes de correlação *r* e de determinação r^2 parciais, os quais direcionaram a escolha das variáveis independentes (x) mais importantes, que foram as classes de uso da terra (urbano – LCZ 3, vegetação alta – LCZ A), relevo e NDVI para a previsão da variável dependente (y), a temperatura do ar.

Após a seleção das classes e variáveis, foi calculado o modelo de regressão linear múltipla para simular a espacialização das ilhas de calor urbanas atmosféricas através das informações inseridas no modelo simultaneamente. Dessa etapa obteve-se coeficiente global (R^2), que representa a porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo. Quanto mais alto o valor de R^2 melhor o modelo ajusta seus dados. O valor de R^2 está sempre entre 0 e 100%[13].

Da função de regressão linear múltipla deriva a fórmula de tratamento, que expressa matematicamente a relação entre as variáveis incorporadas ao modelo (TEIXEIRA, 2019). Na fórmula foram incorporados os mapas de entrada (classe urbana e vegetação alta do mapa de uso da terra; relevo e NDVI) e para cada episódio (16/02/2018, 23/02/2018, 01/05/2018, 02/05/2018, 03/05/2018, 04/05/2018, 04/12/2018, 05/12/2018, 09/12/2018 e 14/12/2018)[14] foi elaborada uma fórmula específica que resultou na espacialização da temperatura do ar.

---

[13] Disponível em: https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fitted-line-plot/interpret-the-results/key-results/. Acesso em: 15 de janeiro. 2021.

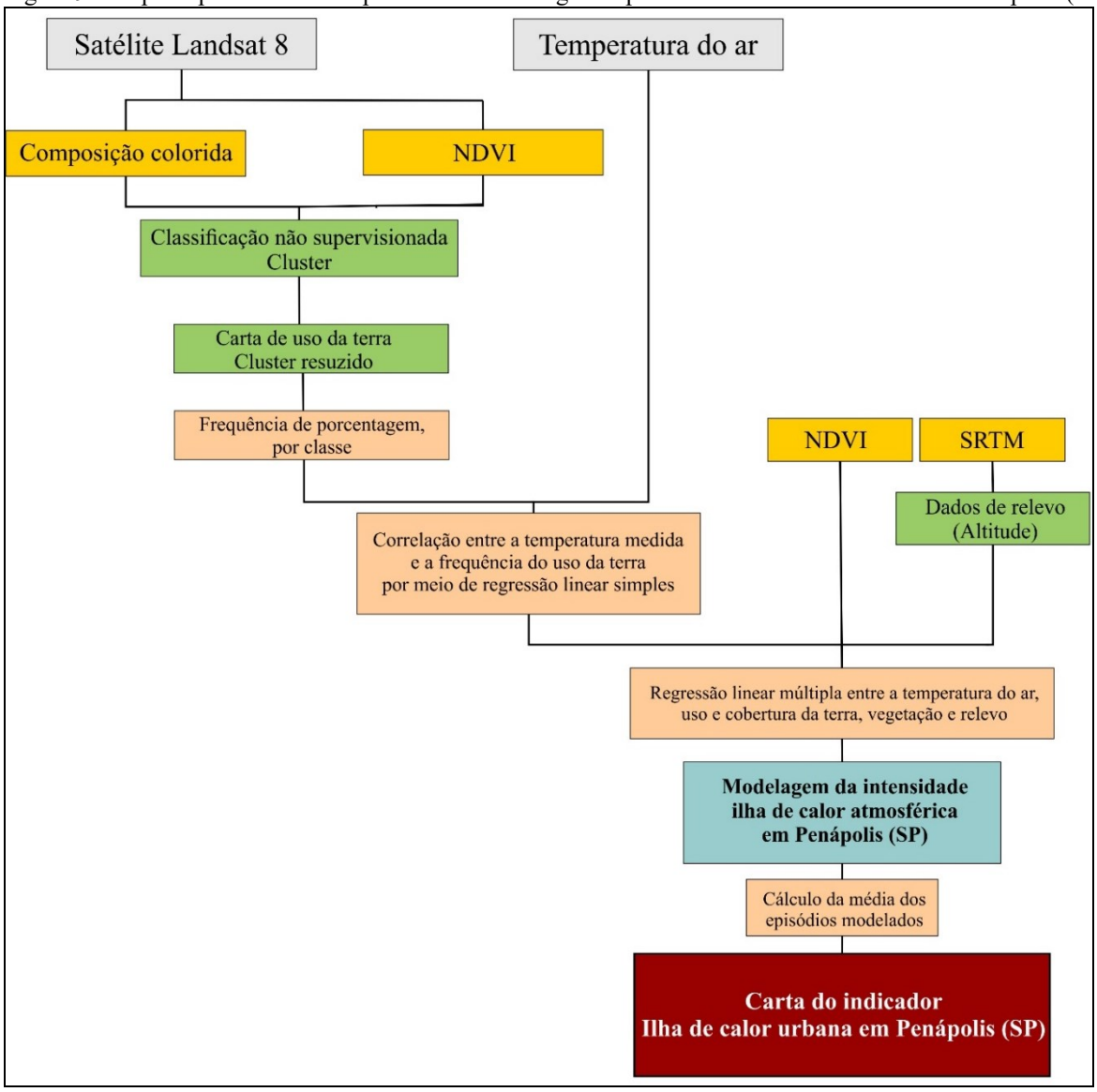
[14] As datas dos episódios são as mesmas dos dias de realização dos transectos móveis, com exceção do dia 08/02/2018, que foi excluído da etapa de modelagem, por não apresentar resultados significativos quanto à intensidade da ilha de calor atmosférica.

Para fins de comparação, e seguindo a mesma perspectiva metodológica das análises do campo térmico já realizadas, optou-se pela espacialização da intensidade da ilha de calor atmosférica modelada. Sendo assim, a temperatura modelada para o ponto rural 10 (LCZ 9) foi utilizada para a subtração das demais temperaturas do ar estimadas para o recorte. Em virtude disso, houve áreas com intensidades negativas, presentes, sobretudo, nos fundos de vales rurais. Essa escolha alinhou-se ao conceito de ilha de calor adotado por esta pesquisa, caracterizado pela diferença entre a temperatura urbano e rural (OKE, 1987). Além disso, essa opção torna-se possível a identificação de ilhas de frescor (MENDONÇA, 2009; AMORIM, 2000 e 2017) na cidade.

Portanto, a análise dos 14 episódios objetivou demonstrar a intensidade e magnitude do fenômeno em Penápolis e suas variações no tocante à sazonalidade e os diferentes tipos de tempo. Com base nos resultados da análise episódica, foi elaborada a média dos pontos considerando as temperaturas estimadas para 13 episódios[15]. A média calculada foi utilizada para gerar um mapa síntese, o mapa do indicador Ilha de calor urbana de Penápolis (SP) para o ano de 2018. A Figura 9 sintetiza as etapas e procedimentos descritos para a realização da modelagem espacial da ilha de calor urbano em Penápolis (SP).

[15] Foi excluído o episódio do dia 14/12/2018 do cálculo da média devido os altos resíduos em alguns pontos rurais.

Figura 9 - Etapas e procedimentos aplicados na modelagem espacial da ilha de calor urbana em Penápolis (SP)



Fonte: Adaptado de Gomes (2017).

3 RELAÇÃO SOCIEDADE E NATUREZA: A QUALIDADE AMBIENTAL URBANA E O CLIMA URBANO

O referencial teórico desta tese baseia-se na relação sociedade versus natureza como cerne da questão ambiental atual. Acredita-se que os problemas ambientais urbanos emergem das dinâmicas da sociedade moderna capitalista, pautada na subordinação e tentativa de dominação da natureza mediada pelas relações de produção. O avanço científico e tecnológico tem contribuído para o maior distanciamento entre sociedade e natureza, uma vez que a concepção de desenvolvimento de uma sociedade está atrelada a tudo aquilo que se afasta da natureza. Na cidade essa ruptura se materializa com a maior expressividade, bem como explicita os desdobramentos dessa separação através dos mais variados problemas ambientais.

3.1 Relação sociedade e natureza como fundamento da questão ambiental

Desde o mundo grego até a sociedade ocidental contemporânea, é possível verificar diversas interpretações do termo "natureza" e da "relação sociedade-natureza". Essas interpretações vão desde a condição de categoria ontológica abstrata até reflexões teórico-metodológicas como demonstram as perspectivas teóricas e práticas no decorrer da história (RODRIGUES; RODRIGUES, 2014).

Para Leff (2006, p. 48) a "natureza e sociedade são duas categorias ontológicas, não são nem conceitos e nem objetos de nenhuma ciência fundada [...]", portanto, são abordadas e analisadas conforme o interesse de cada área do conhecimento, que em um contexto de processo histórico de transformação reflete essa relação de acordo com os objetivos estabelecidos. Nesse sentido, cada ciência possui seus conceitos e métodos para abordar essas categorias, considerando as relações de influência exercidas uma sobre a outra no decorrer do tempo, ou seja, de uma forma ou de outra é preciso incorporar o "natural" e o "social" na análise.

A dialética sociedade - natureza sempre interessou à ciência geográfica, já que se trata de uma relação construída e moldada no espaço-tempo, que reflete características, conflitos e particularidades das sociedades em diferentes períodos da história. Segundo Moreira (2009), a relação sociedade e natureza constitui a totalidade de referência dos fenômenos em Geografia.

Essa relação representa o fundamento, o conteúdo primeiro, a matéria-prima e a realidade, a partir da qual e sobre a qual a ciência geográfica desenvolveu sua compreensão de mundo.

Suertegaray (2001) reflete como a Geografia concebeu as categorias natureza e sociedade ao longo do pensamento geográfico. A categoria Natureza veiculada pelos geógrafos constitui-se em algo externo ao homem, ou seja, a Natureza é o conjunto de elementos que constituem o planeta Terra, isto é, água, ar, solos, relevo, fauna e flora. Essa concepção é herança das ideias de Descartes, que considerava a separação entre homem e natureza, transformando a natureza em objeto e o homem em sujeito conhecedor e dominador desta.

Sobre a categoria sociedade, Suertegaray (2001) aponta que, por muito tempo, a Geografia tendeu a naturalizar o homem, considerando-o mais um elemento constituinte do espaço geográfico. Nesse contexto, a autora indica os estudos de La Blache como ciência dos lugares e não dos homens. A geografia preocupava-se com a obra materializada e não as relações sociais (SUERTEGARAY, 2001). Nessa mesma perspectiva, Santos (1982) aponta que a Geografia se interessou mais pela forma das coisas do que pela sua formação. Inicialmente seu domínio não era o das dinâmicas sociais que criam e transformam as formas, mas o das coisas já cristalizadas.

A ascensão do sistema capitalista de produção com a divisão técnica e social do trabalho contribuiu para a fragmentação do fazer e do pensar e com a consolidação da natureza como recurso a ser explorado. No que se refere à ciência, houve a compartimentação entre ciências da natureza e do homem. Logo, toda maneira de pensar o homem e a natureza integradamente falhou, pois, a separação se realizava tanto em pensamento quanto em realidade vivida.

> A ideia de uma natureza objetiva e exterior ao homem, o que pressupõe uma ideia de homem não-natural e fora da natureza, cristaliza-se com a civilização industrial inaugurada pelo capitalismo. As ciências da natureza se separam das ciências do homem; cria-se um abismo colossal entre uma e outra e, [...] tudo isso não é só uma questão de concepção de mundo [...] (PORTO-GONÇALVES, 2006, p. 35).

Dessa forma, essa separação no campo das ideias é reflexo de como a sociedade concebe a natureza. Segundo Porto-Gonçalves (2006, p. 25-27), a natureza se define, em nossa sociedade, por aquilo que se opõe à cultura. A cultura é tomada como algo superior e que conseguiu controlar e dominar a natureza. E é com base nessa concepção que a expressão domínio de natureza tem sentido, a partir da consideração do homem como ser não natural.

Assim sendo, a natureza é um objeto a ser dominado por um sujeito, o homem, muito embora saibamos que nem todos os homens são proprietários da natureza, são alguns poucos homens que dela verdadeiramente se apropriam. Para a grande maioria dos outros homens, não passa de objeto que pode ser descartado (PORTO-GONÇALVES, 2006).

O homem não se reconhece como ser natural, mas sim como sujeito, um ser ativo que sempre age e não se submete (PORTO-GONÇALVES, 2006). No entanto, trata-se de uma relação contraditória: ao mesmo tempo em que o homem externaliza a natureza para a apropriação e exploração, as degradações oriundas desse processo retornam ao homem na forma de prejuízos e danos à sua saúde. (CASSETI, 1991).

Assim, a relação entre sociedade e natureza se apresenta de acordo com as diferentes formas de existência da sociedade, podendo ser uma relação exploratória considerando a natureza como recurso para a produção e reprodução capitalista, mas também, menos predatória, como ocorre nas chamadas "comunidades tradicionais", como indígenas e quilombolas (MOREIRA, 2006).

Porto-Gonçalves (2006, p. 75-76), ao abordar a relação sociedade e natureza nas comunidades indígenas, a considera como um passado idealizado ou a lembrança de uma infância que foi pervertida pelo processo civilizatório. Logo, quando se trata de indígenas, fala-se de uma outra sociedade, de uma outra organização social e cultural. Portanto, não são os homens enquanto categoria genérica que estão destruindo a natureza, mas sim o homem sob determinadas formas de organização social, no seio de uma cultura.

> [..] toda sociedade, toda cultura cria, inventa, institui uma determinada idéia do que seja a natureza. Nesse sentido, o conceito de natureza não é natural, sendo na verdade criado e instituído pelos homens. Constitui um dos pilares através do qual os homens erguem as suas relações sociais, sua produção material e espiritual, enfim, a sua cultura (PORTO-GONÇALVES, 2006, p. 23).

A questão ambiental atual está enraizada nessa visão fragmentada entre sociedade e natureza. Essa visão tradicional de natureza-objeto e homem-sujeito é intensificada pelo modo de organização da sociedade. Santos (1994) descreve que a história do homem sobre a Terra é um história de ruptura progressiva entre o homem e o meio ambiente e que hoje alcançamos o estágio supremo dessa evolução.

É inegável que a exploração e subordinação da natureza como recurso natural alcançou o grau máximo com a ascensão do sistema capitalista. A lógica de produção pautada na apropriação privada da natureza passa ser ilimitada objetivando a expansão dos mercados

consumidores e a ampliação do capital. O avanço nas relações de trabalho com adesão de inovações tecnológicas proporcionadas pelo progresso científico e a industrialização, aumentaram a velocidade e intensidade dos processos de degradação do meio ambiente. Consequentemente, houve o acirramento do antagonismo de classe e a dominação-subordinação entre povos, na qual a superioridade técnica é o parâmetro dessa relação (CASSETI, 1991; CARVALHO, 1998).

Dessa forma, o período atual, marcado pela ascensão e consolidação do modo de produção capitalista, bem como da globalização neoliberal, difere dos períodos antecedentes, principalmente pela noção de desenvolvimento social estritamente relacionada ao nível científico e tecnológico, e consequentemente, ao grau de dominação e exploração da natureza de cada povo. Sob essa perspectiva, Porto-Gonçalves (2012, p. 24) afirma que "Desenvolvimento é o nome-síntese da ideia de dominação da natureza. Afinal, ser desenvolvido é ser urbano, é ser industrializado enfim e ser tudo aquilo que nos afaste da natureza [...]"

A tecnologia passa a ser considerada a única solução para os problemas de desenvolvimento das sociedades, negligenciando os aspectos de dominação de grupos políticos ou a desigualdade sociais entre as nações (CARVALHO, 1998). Nesse sentido, Porto-Gonçalvez (2012) assinala que, mais uma vez na História, a superação da desigualdade é vista pela ótica colonial, na qual a igualdade só pode ser contemplada através da aplicação da noção de desenvolvimento do padrão cultural dominante, sem que seja indagado acerca dos diferentes modos de sermos iguais. Assim, a crítica desse período centrava-se em relação à desigualdade do desenvolvimento, não ao desenvolvimento como tal. O desenvolvimento, segundo o padrão cultural estadunidense e europeu, passou a ser uma imposição em vez de opção, sendo pregado e incentivado por meio do discurso de que "todos tem direito ao progresso".

O desenvolvimento vigente no planeta não considera devidamente os limites da intervenção humana na natureza (PORTO-GONÇALVES, 2012). Como consequência, a degradação do meio ambiente têm se agravado de forma substancial, isso faz com que a exploração da natureza torne-se além de solução também uma questão: a questão ambiental. Essa questão é evidenciada por um modelo de desenvolvimento ambientalmente predatório e socialmente injusto, manifestado, principalmente nos processos de modernização da agricultura, de urbanização e de exploração desenfreada da natureza (MARIANO et al., 2011; OLIVEIRA, THOMAZ JÚNIOR, 2002).

Contraditoriamente ao discurso igualitário de desenvolvimento, os problemas ambientais oriundos desses processos não impactam a humanidade de maneira igual. Assim como existem desigualdades econômicas, estas também são encontradas em indivíduos ou grupos de indivíduos no tocante ao acesso aos proveitos e à exposição aos rejeitos da exploração da natureza. Nesse sentido, Porto-Gonçalves (2012, p. 69) destaca que:

> O processo de produção, entretanto, não se resume às suas diferentes etapas - produção, distribuição, circulação e consumo-, como comumente os economistas o veem. Há, também, os rejeitos - os efluentes sólidos, líquidos e gasosos-, cuja natureza físico-química está desigualmente configurada numa geografia desigual de rejeitos e proveitos nas suas diferentes escalas geográficas (nos lugares e entre os diferentes lugares; nos bairros e entre os bairros de uma cidade; nas regiões e entre as diferentes regiões no interior de um mesmo território nacional, enfim, entre os diferentes países).

Essas desigualdades se intensificaram nos anos recentes em que o Estado se tornou mínimo para as questões sociais e cada vez mais afinado aos interesses do capital (PORTO-GONÇALVES, 2012). A maneira liberal de atuação do Estado moderno considerando que a regulação da sociedade (e não apenas da economia) deve se realizar no mercado, naturaliza as desigualdades no tocante às vantagens e desvantagens da exploração da natureza, apresentando essas desigualdades ambientais como consequências inevitáveis ao desenvolvimento econômico (RODRIGUES, 1998).

No caso brasileiro, com o Estado permeável ao capital estrangeiro, justificado pelo grau de dependência gerado pela dívida externa, e a pressão de atender os interesses do capital interno, como dos latifundiários e/ou grandes grupos econômicos, a ação governamental encontra-se fundamentada na proteção do capital, e consequentemente, legitima os privilégios de classe (CASSETI, 1991). Logo, a exposição aos efeitos nefastos do desenvolvimento econômico em detrimento do meio ambiente, como a poluição ar, contaminação de águas e solo, erosão entre outros, não ocorrem de maneira neutra, pelo contrário, é intencional e segue a lógica econômica, sendo, por muitas vezes, resultado da ação do Estado (KEUCHEYAN, 2016).

Esses aspectos políticos, e por sua vez, também econômicos, agravam a situação de desigualdade considerando todas as suas adjetivações. Em especial, no que se refere à questão ambiental, pode-se dizer que as desigualdades de classe são ainda mais evidentes, uma vez que a situação econômica, a raça e o gênero são indicadores das diversas formas de degradação ambiental e de condições de vida (KEUCHEYAN, 2016). Sendo assim, pode-se

dizer que a questão ambiental, muitas vezes considerada alheia às relações sociais (relação homem-homem), é por sua gênese social e econômica, sendo, ainda, nos dias atuais política.

Nesse sentido, a questão ambiental demanda a compreensão da complexidade do processo de apropriação, produção e consumo do espaço, que é um processo no qual se produzem e/ou reproduzem relações sócio espaciais e se reproduzem relações dominantes de produção e de reprodução como parte integrante das relações societárias com a natureza. As relações de produção entre os homens determinam a relação com a natureza, consequentemente, a crise ambiental não se refere apenas aos problemas da natureza, meio físico, mas também à ação societária (RODRIGUES, 1998).

Em síntese, a questão ambiental, em todas as suas dimensões e escalas espaciais, traz à tona uma crise societária, resultado de um processo histórico, no qual se estabeleceu uma relação conflituosa, predatória e contraditória entre sociedade e natureza. O agravamento dessa relação ocorre ao tentar submeter a humanidade a uma mesma lógica mercantil e a um mesmo estilo de vida, na qual sociedade capitalista moderna colocou em risco o planeta. Todavia, em virtude das relações de poder de caráter colonial, esse risco é desigual.

> [...] a globalização de uma mesma matriz de racionalidade, comandada pela lógica econômica em sentido estreito, nos conduz inexoravelmente a uma economia que ignora sua inscrição na terra, no ar, na água, no solo, no subsolo (nos minérios), os ciclos vitais das cadeias alimentares, de carbono, de oxigênio...e, assim, a humanidade toda, embora de modo desigual, está submetida a riscos derivados de ações decididas por alguns e para benefício de alguns (PORTO-GONÇALVES, 2012, p. 32).

Nesse sentido, afirma Bortolozzi e Perez Filho (1998) que a crise ambiental de nossos dias retrata a modernidade e coloca em evidência as mazelas da racionalidade caracterizada pela exploração desenfreada da natureza. Nesse sentido, como assinala Leff (2006) a crise ambiental na verdade é uma crise de conhecimento. Para o autor, colocar a natureza como "o outro" é uma grande contradição, pois não é a natureza em si que apresenta sinais de esgotamento ou de crise, mas a própria racionalidade humana, uma vez que o que está em risco é a própria existência humana.

Deste modo, se a nossa sociedade e cultura instituiu a forma presente de relação com a natureza e dos homens entre si, é necessário que os conceitos de natureza e de homem vigentes, não menos naturais que qualquer outro, sejam superados através de um pensar e de um agir mais lúcidos (PORTO-GONÇALVES, 2006). Em outras palavras, a resolução da

crise que coloca vai além do discurso malthusiano, requer o repensar sobre a forma como está estruturada e como funciona a sociedade contemporânea.

Para compreender esta realidade, Leff (2006) defende a epistemologia ambiental. Uma ecologia de saberes baseada na complexidade, que busca entender a vida a partir de uma epistemologia política da existência humana. Portanto, a questão ambiental é mais que um campo interdisciplinar, é nela que se entrecruza o conhecimento teórico científico; as normas e valores; o estético cultural, regidos por razões diferenciadas, porém não dicotômicas (PORTO-GONÇALVES, 2006).

Logo, a crise ambiental não pode ser reduzida aos estudos dos campos específicos das ciências da natureza ou das humanidades, ela exige o entrelaçamento de diversos saberes. E as análises atuais têm buscado superar o determinismo da visão antropocêntrica, abordando o espaço como natural e social, dentre esses, os estudos urbanos têm se destacado, uma vez que a cidade é a espacialização desse híbrido.

3.2 A qualidade ambiental urbana

Qualificar nunca é uma tarefa fácil e quando se trata de áreas urbanas a dificuldade é potencializada. A cidade é a intervenção social mais evidente da sociedade contemporânea; é nela se materializa a ideia de natureza construída e consolidada pela organização da sociedade. A qualidade ambiental urbana resulta dessa relação e diminui com a crise ambiental, que trouxe a necessidade de rever alguns paradigmas (BORJA, 1997).

Portanto, para qualificar o espaço urbano, é fundamental compreendê-lo como um sistema natural (meio físico e biológico) e social (constituído pelo homem e suas atividades). Como afirma Swyngedouw (2001, p. 84):

> Não há nada "puramente" social ou natural na cidade, e ainda menos anti-social ou antinatural; a cidade é, ao mesmo, tempo natural e social, real e fictícia. Na cidade, sociedade e natureza, representação e ser são inseparáveis, mutuamente integradas, infinitamente ligadas e simultâneas; essa "coisa" híbrida socionatural chamada cidade é cheia de contradições, tensões e conflitos.

Na produção e expansão territorial das cidades o meio natural é alterado. Tanto a vegetação quanto o relevo e corpos d'água não são poupados no processo de urbanização, fato que tem causado a degradação do meio ambiente. Como afirma Mendonça (1993), os anos de industrialização desrespeitaram a dinâmica dos elementos componentes da natureza, o que

causou considerável degradação do meio ambiente em favor da produção de bens materiais e seu consumo de maneira acelerada. Com a explosão demográfica e a expansão urbana, a exploração dos recursos naturais foi intensificada e a degradação do meio ambiente alcançou níveis nunca observados anteriormente. Esse processo é acentuado onde o homem se aglomera, ou seja, nos centros urbanos.

Portanto, na sociedade capitalista e industrial a cidade se tornou a transformação mais intensa do espaço natural, visto que se apropria demasiadamente dos recursos naturais para suprir a demanda da população que nela se concentra. Logo, os problemas ambientais têm sido observados com mais intensidade nas áreas urbanas, sobretudo, devido ao grande nível de degradação por meio da poluição e contaminação de água, solo e ar que tem ocasionado danos à saúde da população e o número crescente de episódios de perdas humanas e materiais.

Somado a isso, deve-se destacar que a cidade não é um ambiente fechado onde o homem encontra tudo o que necessita, mas sim um sistema aberto que depende de recursos externos a ela. Logo, as cidades não funcionam isoladamente, pelo contrário, estão inseridas em um contexto regional, estadual e nacional, e por isso, os impactos negativos à qualidade de vida humana e da natureza não se restringem a seus habitantes e a sua localização. Nessa perspectiva, Mota (1981, p. 15) menciona a cidade “como uma unidade ambiental dentro da qual todos os elementos e processos do ambiente são inter-relacionados e interdependentes, de modo que uma mudança em um deles resultará em alterações em outros componentes”.

Nesse sentido, a Qualidade Ambiental Urbana (QAU) se torna um tema cada vez mais importante e emergencial, uma vez que avalia o ambiente como um todo dotado de aspectos sociais, econômicos, ambientais, os quais em constante correlação interferem no bem estar da população. Isso faz com que a QAU esteja intimamente relacionada ao conceito mais abrangente e integrador: a qualidade de vida, pois é inegável que a qualidade do meio ambiente em que se vive influencia diretamente na própria qualidade de vida das pessoas (MACHADO, 1997).

Deste modo, a primeira grande dificuldade ao abordar o tema é sua própria definição. Como afirma Machado (1997, p. 16), a dificuldade reside no fato de que a qualidade ambiental envolve gostos, preferências, percepções, valores, o que torna difícil a chegada a um consenso. No entanto, como se trata de um conceito recente e ainda em desenvolvimento a falta de uniformidade na definição é até esperada, podendo ser melhor clarificada e especificada com mais pesquisas e reflexões (SZALAI, 1980). A ausência de uniformidade nas definições foi comprovada por Kamp et al. (2003). Os autores apresentaram uma

variedade de definições e modelos de avaliação da qualidade ambiental no meio acadêmico. O Quadro 2 demonstra a diversidade apresentada pelos autores no que se refere à definição de qualidade ambiental.

Quadro 2 - Definições de Qualidade Ambiental Urbana

Autor/Ano	Definição de Qualidade Ambiental
Lansing e Marans (1969)	"Um ambiente de alta qualidade transmite uma sensação de bem-estar e satisfação à sua população através de características que podem ser físicas, sociais ou simbólicas".
Porteous (1971)	Qualidade ambiental é uma questão complexa envolvendo percepções subjetivas, atitudes e valores que variam entre grupos e indivíduos.
RMB (1996)	A qualidade ambiental é resultante da qualidade de compor partes de uma determinada região, mas ainda mais que a soma das partes, é a percepção de um local como um todo. As partes que o compõem (natureza, espaço aberto, infraestrutura, ambiente construído, instalações do ambiente físico e recursos naturais) possuem características próprias e qualidade parcial.
RIVM (2002; workshop livability 2002)	A qualidade ambiental pode ser definida como uma parte essencial do conceito mais amplo de "qualidade de vida", as qualidades básicas como saúde e segurança em combinação com aspectos como aconchego e atratividade.

Fonte: Adaptado de Kamp et al. (2003, p. 7), tradução nossa.

Essa característica também é observada no meio acadêmico nacional. O quadro 5 apresenta a síntese de algumas importantes pesquisas acadêmicas que tem servido de referencial teórico e metodológico para a presente tese. Através deste, é possível notar a diversidade conceitual e metodológica e a variedade de escalas espaciais nas pesquisas de qualidade ambiental no Brasil (Quadro 3).

Quadro 3 - Diversidade conceitual e metodológica nos estudos de QAU no Brasil

Autor/Ano	Escala de análise	Definição de QAU	Metodologia
Cordeiro *et al*. (1996)	Escala local (análise da cidade) Área de estudo: Salvador (BA).	Condições ambientais do meio urbano resultantes da ação do homem com repercussão na sua qualidade de vida	Pesquisa de opinião do tipo cognitiva - "interface com o usuário" – por meio do uso do computador com um questionário estruturado com 59 questões, aplicado a 991 habitantes de Salvador, maiores de 16 anos
Alva (1997)	Trabalho teórico conceitual	Estado de adequação relativa do meio ambiente urbano às demandas ambientais de uma comunidade territorial determinada	Levantamento bibliográfico
Machado (1997)		Produto da percepção humana, cujo ideal é atender a todas as necessidades humanas	Mensuração através de uma escala de valores subjetivos
Borja (1997)	Região Administrativa de Brotas, na cidade de Salvador	Condições ambientais do meio urbano (natural e cultural), sendo resultante da ação do homem e repercutindo na sua qualidade de vida	Três planos de investigação: o científico, o técnico e o cultural ou comunitário. Uso de indicadores qualitativos e quantitativos com pesquisa bibliográfica, consulta simultânea, levantamento das condições ambientais, entrevistas e grupo focal.
Nucci (1996, 2008)	Escala local Distrito de Santa Cecília (SP)		Espacialização das questões ecológicas; Técnica cartográfica combinada à análise geográfica
Martinelli (2004)	Cidades paulistas de porte médio Escala estadual	É um dos fatores que influenciam a qualidade de vida	Comparação de indicadores estatísticos das cidades médias paulistas já sistematizados por órgãos públicos (considerando o Censo de 2000 do IBGE), com elaboração de um índice

Fonte: Adaptado de Minaki (2014, p. 41- 42).

Dessa forma, se nota, como explica Oliveira (1983) apud Machado (1997) que a definição de qualidade depende das posições filosóficas, ideológicas, e políticas assumidas pelas pessoas ou grupo de pessoas. É difícil ou quase impossível, conceituar qualidade sem dar um colorido mais forte ou mais fraco, tendendo para esta ou aquela direção. Acrescenta-se a isso que, uma definição operacional de qualidade vem sempre carregada dos interesses e das

necessidades de grupos e dependente diretamente de estudos feitos no presente para serem projetados para o futuro próximo ou distante.

Alguns autores atribuem a falta de definição à multidimensionalidade do conceito, o que justifica sua aplicação em diversos campos do conhecimento científico. Assim, a definição de qualidade ambiental está carregada de todas as controvérsias inerentes à qualidade, por isso os autores quando tratam de qualidade ambiental se preocupam muito mais com as condições da qualidade do meio ambiente para o ser humano sobreviver do que definição do fenômeno (MACHADO, 1997). Assim, o enfoque tem sido mais na elaboração de modelos teórico-metodológicos do que na questão conceitual.

Contudo, pode se dizer que a QAU pode ser compreendida como as condições ambientais mínimas criadas e direcionadas à população urbana, para que ela desfrute de um ambiente equilibrado e agradável. Portanto, para realizar a avaliação são tomados como instrumento os atributos que compõem o ambiente, os quais indicam o potencial da área em se tornar um ambiente adequado para se viver. Por conta disso, são denominados como indicadores ambientais ou geoambientais. No caso do espaço urbano, como dito anteriormente, complexo e híbrido, os indicadores estão articulados ao sistema urbano e ao sistema natural que compõem a cidade. Logo, podem possuir natureza física ou não e retratam a relação sociedade-natureza.

Portanto, o que também difere entre os autores é o sistema de seleção dos indicadores. Para Luengo (1998), para a definição dos indicadores da qualidade ambiental urbana, deve-se tomar como referências três aspectos: os físicos-naturais, os urbano-arquitetônicos e os socioculturais. Os primeiros dizem respeito às condições do ambiente natural, mais especificamente ligados às componentes climático-meteorológicas e do relevo que determinam variáveis como temperatura, umidade relativa do ar, precipitações, as quais interferem na sensação de conforto. Além disso, também estão associados aos aspectos naturais como inundações, sismos, terremotos, incêndios, cuja incidência é considerada ameaça à segurança das pessoas.

O segundo aspecto se refere às características urbanas que interferem no bem estar psico-físico dos habitantes de forma positiva ou negativa. Em outras palavras, é o tanto que a estrutura urbana, em sua configuração estética-formal como a estrutura de serviços, satisfaz às necessidades da população. O terceiro aspecto, sociocultural, é entendido pelos padrões culturais de resposta a princípios de convivência, nos quais se manifesta a vida individual e social em equilíbrio (LUENGO, 1998).

Dentro desses três aspectos gerais, Luengo (1998) lista parâmetros de avaliação que incluem oito dimensões: Equipamentos e funcionalidade Urbana, Mobilidade Urbana, Áreas de Expansão e Espaços Complementares, Aspectos Estético-Perceptivos, Condições Climáticas, Áreas de Proteção Ambiental, Segurança e Bem Estar Urbano e Lugares para a Cultura.

No Brasil, a proposta metodológica de Borja (1997) prestou grande auxílio à seleção do sistema de indicadores. Para a autora a construção de um sistema de indicadores ambientais urbanos envolve uma série de decisões e exige uma noção integrada do espaço urbano. Na definição o pesquisador precisa se atentar:

- aos objetivos do sistema de indicadores;
- ao marco teórico/conceitual;
- aos campos disciplinares que participarão da avaliação;
- as técnicas e instrumentos de coleta de dados e
- aos métodos de ponderação e agregação dos indicadores.

Borja (1997) analisou a qualidade ambiental em cinco micro áreas da Região Administrativa de Brotas, na cidade de Salvador, incorporando a participação popular por meio de questionários. Essa é uma proposição metodológica notadamente interdisciplinar que possibilita captar diversos olhares sobre o fenômeno, uma vez que articula os conhecimentos da realidade científica, técnica e cultural. O científico foi buscado junto à rede de experts (pessoas que atuavam na área do meio ambiente formada por pesquisadores das diversas áreas do conhecimento e representantes do poder público e da sociedade civil), o técnico, junto aos agentes de pesquisa e o cultural, junto às informantes chaves das comunidades urbanas pesquisadas. Logo, é uma proposta que exige um esforço institucional, tendo como requisito a composição de uma equipe interdisciplinar (Figura 10).

Figura 10 - Esquema geral da metodologia da pesquisa de QAU



Fonte: Borja (1997, p. 64).

Os elementos indicadores de QAU mais citados pelos experts foram os referentes ao saneamento básico: a coleta, tratamento e destino final de resíduos sólidos, o abastecimento de água (qualidade e quantidade) e a coleta, tratamento e destino final dos esgotos sanitários, respectivamente. Áreas verdes ficaram em 6º, drenagem urbana em 10º, poluição industrial em 24º, arborização em 25º e em 41º e último lugar ficou o Clima Urbano.

Enfim, através das várias metodologias empregadas, o estudo procurou o consenso para a seleção dos indicadores ambientais para a avaliação da QAU das 5 micro áreas analisadas. É uma proposta bastante completa que merece ampla aplicação, pois se baseia em indicadores quantitativos e qualitativos integrando assim, a mensuração objetiva e subjetiva da QAU.

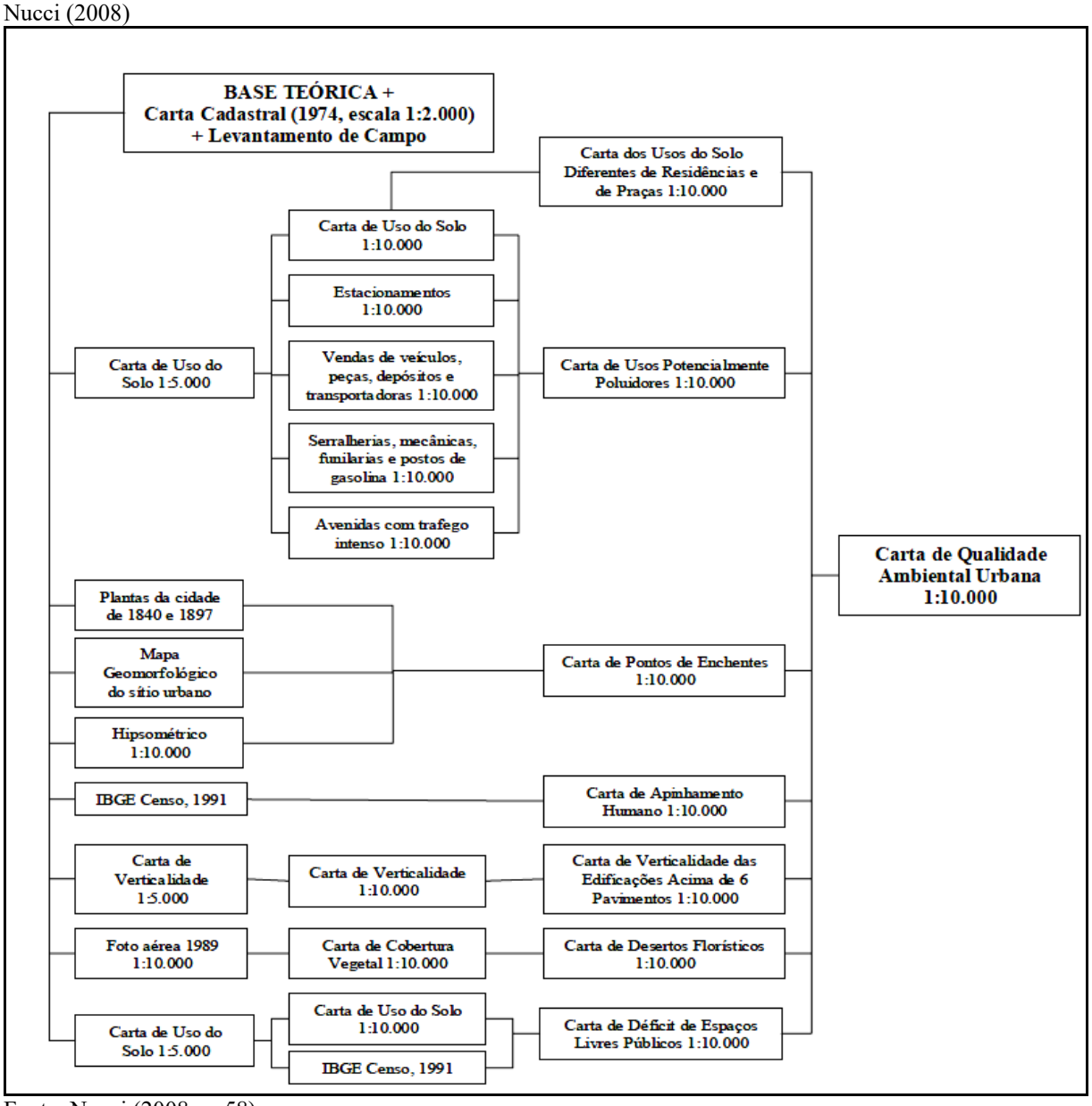
Dentre as contribuições desse estudo está a abordagem da dimensão subjetiva, que até aquele momento era negligenciada pelas pesquisas. Portanto, o estudo foi um esforço fundamental que forneceu elementos para se ampliar a capacidade interpretativa da QAU. No entanto, como recomendado pela própria autora, é necessário o incentivo governamental às pesquisas no campo das análises ambientais urbanas, para verificar e compreender os processos urbanos em andamento e sua repercussão na QAU, ou seja, para a efetivação dessa proposta se faz necessário o diálogo entre universidade e poder público.

Nucci (2008) também apresentou uma proposta metodológica de grande relevância, que tem sido amplamente aplicada. Em síntese, o método de avaliação da qualidade ambiental

urbana tem como principal ferramenta a espacialização dos atributos ambientais potencialmente diminuidores da qualidade ambiental para posterior análise sistêmica. Assim, os atributos ambientais são mapeados dando origem às cartas temáticas e/ou cartas sínteses, que são analisadas isoladamente. São elaboradas sete cartas temáticas: usos do solo, usos potencialmente poluidores, pontos de enchentes, apinhamento humano, verticalidade das edificações acima de seis pavimentos, desertos florísticos, carta do déficit de espaços livres públicos. Assim, se observa que os indicadores representados cartograficamente sempre devem ser de incidência negativa, ou seja, geram prejuízos à QAU.

As sete cartas indicam atributos que colaboram com a diminuição da qualidade ambiental e que ao serem cartograficamente cruzados acabam por fornecer a carta síntese, ou seja, a carta de qualidade ambiental (NUCCI, 2008) (Figura 11). Para analisar o resultado, no caso a carta de Qualidade Ambiental Urbana do distrito de Santa Cecília (MSP), o autor destaca que todos os sete atributos são considerados com o mesmo peso na capacidade de diminuir a QAU, ou seja, a área que apresenta todos os sete atributos tem pior qualidade ambiental em relação à que apresenta somente seis atributos, e assim por diante. Deste modo, é possível observar que é uma proposta viável a pesquisadores de várias áreas do conhecimento e é adaptável a diferentes áreas de estudo.

Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos para a elaboração da Carta de Qualidade Ambiental proposto por Nucci (2008)



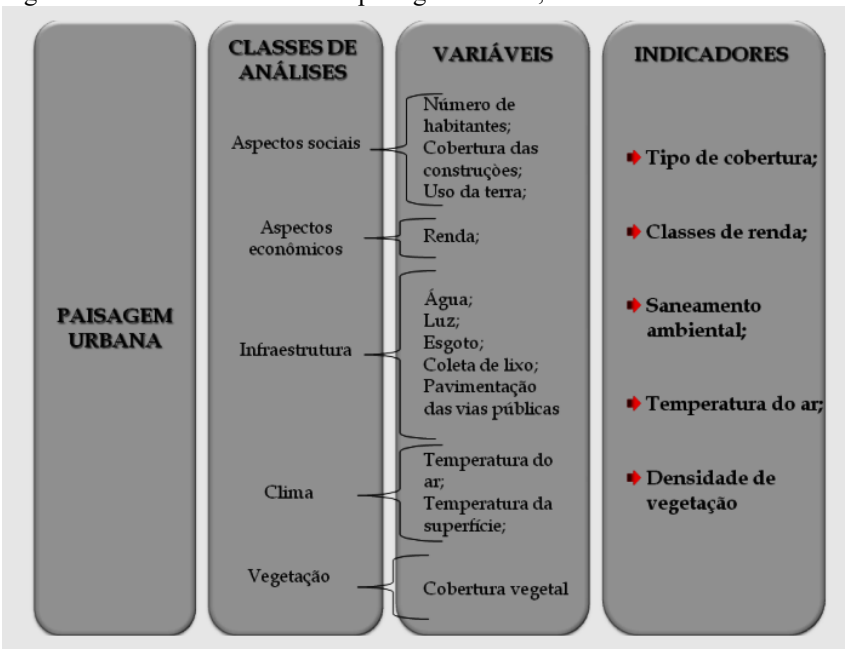
Fonte: Nucci (2008, p. 58).

Em virtude disso, essa metodologia já foi aplicada e adaptada por alguns autores, sobretudo geógrafos, tais como Camargo (2007), Valaski (2008), Ugeda Júnior (2012), Lima (2013), Minaki (2014), Ferreira (2015) e Schröder (2016). Alguns desses estudos revelam o esforço de adicionar o clima urbano como indicador de qualidade ambiental, fato que é justificado e deve ser incentivado, uma vez que o conforto térmico tem efeito direto no bem estar da população, principalmente os economicamente desfavorecidos, que não possuem meios de adquirir recursos tecnológicos para amenizar a situação de desconforto térmico.

Camargo (2007) adaptou a metodologia para a cidade de Presidente Prudente (SP). No estudo foram elaboradas cartas de densidade de edificações, áreas de risco, cobertura vegetal arbórea, conforto térmico e exclusão social. A partir do cruzamento destas foi elaborada a carta de qualidade ambiental da cidade. A carta de QAU mostrou que os setores oeste, nordeste, norte, sudeste e sudoeste, todas marginais ao centro, apresentaram três ou mais atributos negativos, sendo que os setores nordeste e sudeste são as mais críticas, com quatro e cinco atributos considerados negativos. O estudo concluiu que Presidente Prudente apresentava uma situação confortável de QAU, porém alguns fatores poderiam reduzi-la, tais como: a especulação imobiliária, insuficiência de áreas verdes e cobertura vegetal arbórea e a ocupação inadequada.

Outro estudo que adaptou a proposta metodológica de Nucci (2008) foi realizado por Lima (2013), ao estudar as cidades de Presidente Epitácio (SP) e Nova Andradina (MS). A autora se pautou na hipótese de que é possível analisar a qualidade ambiental em áreas urbanas com formas e organizações diferentes e verificar o grau de comprometimento ambiental dessas áreas, por meio do estabelecimento de pesos, ou seja, da quantificação de indicadores ambientais, com o uso de técnicas de análises espaciais. Na Figura 12 são apresentadas as variáveis selecionadas pela autora, que representam os principais aspectos que compõem a paisagem urbana: os aspectos sociais, econômicos, de infraestrutura, do clima, da vegetação. Este estudo já demonstrou a inserção das variáveis climáticas para avaliar a QAU.

Figura 12 - Classes de análise da paisagem urbana, variáveis e indicadores ambientais



Fonte: Lima (2013, p. 80).

Minaki (2014) avaliou a qualidade ambiental da cidade de Araçatuba (SP) a partir do clima urbano, com embasamento nos princípios da Ecologia e do Planejamento da Paisagem. A autora mapeou os seguintes indicadores: Espaços Livres e Áreas Verdes (ELAV), Cobertura Vegetal Arbórea, População, Fontes Potenciais de Poluição, Enchentes, Densidade de Edificações e Temperatura e Umidade Relativa do ar. Através dos transectos móveis foram identificadas ilhas de calor com intensidade máxima de 6,4ºC, cuja configuração foi considerada no cruzamento das cartas dos indicadores.

Como resultado, se constatou que em Araçatuba a qualidade ambiental ainda é positiva, pois a cidade não apresentou incidência de mais do que quatro indicadores no mesmo setor urbano. Além disso, a autora comprovou a eficiência em considerar o clima urbano como um indicador de qualidade do ambiente urbana, uma vez que as áreas com menor qualidade ambiental equivaleram às áreas mais aquecidas e mais secas.

De maneira geral, se nota que, no estudo da QAU, a escolha dos indicadores depende muito do enfoque do pesquisador que pode ser objetivo e subjetivo. Por ser um fenômeno abordado por vários ramos da ciência, há uma diversidade de combinações de indicadores entre os autores. Há alguns que se baseiam em indicadores estatísticos (MARTINELLI, 2004), indicadores geoambientias (NUCCI, 2008; UGEDA JÚNIOR, 2007; 2012; LIMA, 2013) e entrevistas (BORJA, 1997). Deste modo, se pode dizer que não há parâmetros definidos, o que existe são interpretações de um fenômeno de natureza interdisciplinar, em que metodologias podem ser combinadas na tentativa de avaliar sua complexidade.

3.3 A teoria Sistema Clima Urbano e a Ilha de Calor Urbana

A partir do referencial teórico consultado, foi possível observar que os estudos de QAU não apresentam um consenso na sua definição, bem como a existência de um referencial teórico único. O que aparece são propostas metodológicas de análise e a perspectiva sistêmica é uma possibilidade importante. Portanto, esse subitem foi dedicado à explanação de como a Teoria Sistema Clima Urbano (S.C.U) desenvolvida por Monteiro (1976) que se enquadra adequadamente nos estudos de QAU.

O pensamento científico recebeu grandes transformações na metade do século XX. Duas importantes contribuições próximas e paralelas foram acrescentadas: a Teoria Geral dos Sistemas e a Cibernética. Monteiro (1976) se serviu da Teoria Geral dos Sistemas de

Bertalanffy (1973) e da concepção holística de Arthur Koestler, como quadro de referência para a proposição teórico-metodológica do Sistema Clima Urbano (S.C.U).

Para Monteiro (1976) a Teoria Geral dos Sistemas (T.G.S) seria capaz de revelar a essência de um fenômeno de grande complexidade e importância, e que por isso, deve ser conhecido. Assim, ao descrever os critérios básicos que nortearam a elaboração do sistema teórico, o autor sempre traz as contribuições da T.G.S e como ela se adequa aos estudos dos problemas ambientais urbanos, e portanto, ao clima urbano (Quadro 4).

Quadro 4 - Critérios da T.G.S. que embasaram a formulação da Teoria Sistema Clima Urbano

Critérios		**Teoria Geral dos Sistemas**
Pragmatismo	No caso pragmático, a linguagem (investigação) se concentra no locutor (pesquisador) e dirige-se aos usuários da língua (outros pesquisadores e aqueles que queiram fazer uso dos resultados da investigação)	A T.G.S. admite amplamente a possibilidade de receber perguntas e emitir respostas.
Dinamismo	A própria conceituação de clima no sentido sorreano e o dinamismo intrínseco do fenômeno urbano exigem moldura teórica capaz de revelar esses dinamismos em graus diferentes, mas peculiares.	A T.G.S. oferece tal possibilidade de tratamento, seja pela indução e dedução, seja pela abordagem tópica e global.
Consistência	O clima urbano exige uma estrutura teórica capaz de atingir e enquadrar tanto os fatores mais amplos e complexos como os mais simples e restritos.	A T.G.S é admitida como capaz de oferecer margem a essa consistência pelos seus dotes de nomismo, estruturação e funcionalidade.
Empirismo	Para os estudo do clima urbano, como qualquer problema ou fenômeno a ser investigado pela ciência, a moldura teórica escolhida deve ser suscetível e mesmo orientada à observação empírica.	A T.G.S pressupõe margem a observação empírica tanto por via indutiva quanto por via hipotético-dedutiva.
Modelismo	O clima urbano, para o desenvolvimento de sua pesquisa e aperfeiçoamento continuado, necessita tanto de mapeamento quanto de diagramação	A T.G.S, fazendo tônica sobre a organização, pressupõe no seu contexto ideativo, abstrato, a norma de diagramação ou modelo, bem como de mapeamento ou expressões normais de estrutura e do conjunto-produto.

Fonte: Monteiro (2003, p. 17-18).

Nesse sentido, para Monteiro (2009, p. 19) “O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. Para o autor, não há preocupação na definição de marcos no tocante à urbanização para usar o termo clima urbano e a própria T.G.S não exige esse rigor de ordem de grandeza para que se construa um sistema. “Seria extremamente embaraçoso procurar precisão semântica ou dimensional para um sistema abrangendo dois conjuntos plenos de múltiplas variáveis” (MONTEIRO, 2009, p. 19).

O S.C.U é centrado na atmosfera, que é encarada como a operadora do sistema. Tudo que não é atmosférico e que está materializado no espaço urbano, incluindo o homem, constitui-se como o conjunto complexo sobre o qual o operador age, portanto, o operando do sistema. É um tipo especial de operando, que não é estático ou passivo (MONTEIRO, 2009).

> Deve ser lembrado que a estrutura do S.C.U. inclui obrigatoriamente o natural e o construído pelo homem. Assim, a noção de estrutura na abordagem sistêmica é um elemento importante, sem dúvida, sobretudo no que diz respeito à sua capacidade em refletir o grau de mudanças no comportamento funcional. O artefato físico criado pela urbanização, integrado ao suporte geoecológico em que se insere, dinamizado pelos fluxos urbanos, é que constitui o operando do S.C.U cuja estrutura é penetrada e percorrida por fluxos energéticos do operador: a atmosfera (MONTEIRO, 2009, p. 41).

Dessa forma, Monteiro (1976) assume uma tarefa bastante difícil, a de abordar o clima da cidade por meio de uma conduta de investigação que não seja um antagonismo entre homem e natureza (homem versus natureza), mas uma coparticipação.

> Assim sendo, os insumos de energia que penetram no S.C.U. são aqueles encaminhados diretamente à atmosfera que envolve a cidade. Como elemento do sistema, o homem (comunidade social urbana) tem, direta e indiretamente, grande importância na estrutura interna do sistema, pelo seu desempenho na transformação da energia adquirida e pelas modificações na estrutura urbana, e, consequentemente, naquela que aqui nos interessa (MONTEIRO, 2009, p. 21)

O S.C.U. pressupõe o nível de resolução geral do sistema, que é o próprio clima da cidade no todo. Entretanto, também possui níveis intermediários de resolução denominados de subsistemas, os quais contêm os canais de percepção humana. As componentes termodinâmicas que se expressam através do calor, ventilação e umidade estão presentes no Subsistema Termodinâmico, mais precisamente, no canal de percepção do Conforto Térmico.

O subsistema Físico-Químico contém o canal de percepção da Qualidade do ar, no qual se expressam as componentes de poluição do ar. As componentes meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestade) foram agrupadas no canal de percepção Impacto Meteórico no Subsistema Hidrometeórico (MONTEIRO, 2009).

O Subsistema Termodinâmico revela a coparticipação entre natureza e homem e é o subsistema que atravessa toda a estrutura, como insumo básico que implica a produção do balanço de energia líquida atuante no sistema. Além disso, as componentes termodinâmicas são fundamentais, pois é para onde convergem e associam todas as outras componentes. Como afirma Monteiro (2009, p. 44), “É impossível desvincular a componente térmica das

barométricas, de ventilação, condensação e precipitação restritas ao núcleo do S.C.U.”. O uso da terra, a morfologia urbana, bem como as funções, estão intimamente, implicados no processo de transformação e produção do balanço energético urbano. Como produto, tem-se as ilhas de calor, os padrões de ventilação por diferenças de pressão e as precipitações restritas a áreas do centro.

O balanço de energia é o ponto de partida fundamental para se entender o clima urbano. Os materiais construtivos presentes na cidade possuem propriedades radiativas, aerodinâmicas, térmicas e de umidade diferenciadas dos materiais naturais, o que resulta na alteração das variáveis climáticas (temperatura, umidade, ventos, precipitação etc.) (OKE et al.; 2017).

De maneira geral, os materiais construtivos possuem menores valores de albedo e emissividade, os quais favorecem o armazenamento do calor. Em contrapartida, os materiais naturais apresentam maiores albedos e emissividades e por isso refletem mais energia do que retêm (FERREIRA e PRADO, 2003). Essas características termofísicas distintas são a principal causa do balanço energético diferenciado na cidade, caracterizado pelo acúmulo de energia térmica, e consequentemente, do aumento da temperatura do ar.

A ilha de calor urbana (ICU) é resultado direto dessa diferença térmica entre as áreas urbanas e seus arredores (OKE et al., 2017). Pode ser caracterizada como uma cúpula de ar quente que cobre a cidade, que se manifesta devido ao aumento das temperaturas causado pela diferença entre balanço energético da cidade e do entorno próximo (AMORIM et al., 2009).

Para Oke (1978) a intensidade da ICU é definida pela diferença entre a temperatura do ar urbano e rural (TΔ u-r). Esse valor depende do balanço energético de cada cidade, que varia de acordo com a energia disponível na atmosfera (condições climáticas e a sucessão das situações sinóticas e os tipos de tempo) e a uma série de fatores e elementos encontrados na superfície: cor e materiais das edificações, verticalização, densidade construtiva, morfologia urbana, pavimentação, presença de vegetação e/ou corpos hídricos, circulação de veículo e pessoas e indústrias (AMORIM et al., 2009; AMORIM, 2017a). Dessa forma, a ICU se altera de acordo com cada núcleo urbano, devido aos diferentes fatores de formação e os balanços energéticos gerados em cada cidade.

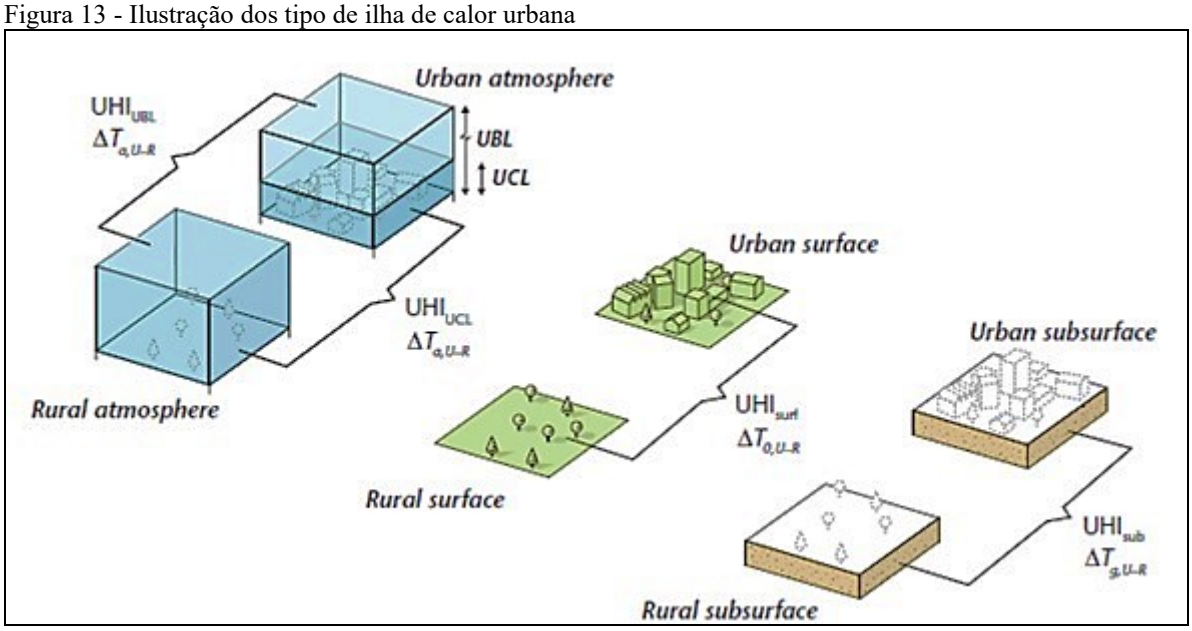
A ICU é um fenômeno identificado desde o século XIX e inicialmente se restringiu às grandes metrópoles industriais como Londres (HOWARD, 1833). No entanto, com o avanço do processo de urbanização em todo o planeta, a ICU passa a ser o fenômeno climático mais estudado, sendo diagnosticado em diversos países e em cidades de diferentes dimensões

espaciais e populacionais. As cidades de pequeno porte receberam enfoque mais recentemente e os resultados têm confirmado que o fenômeno se relaciona intimamente às características do uso e ocupação da terra, não possuindo relação direta com a quantidade de população (AMORIM, 2000; LIMA, 2011; UGEDA JÚNIOR, 2012, MINAKI, 2014, TEIXEIRA, 2015, CARDOSO, 2015; MOREIRA 2016, AMORIM 2017).

A literatura clássica apresenta diferenciações entre os tipos de ICU existentes, que embora estejam conectadas pelas trocas de massa e energia do sistema (S.C.U), cada uma envolve processos, tipos de tempo, escalas e até mesmo métodos e instrumentos de investigação diferenciados (STEWART, 2011). Os tipos de ICU foram denominados conforme a maneira como o calor se propaga, podendo ser: subterrânea, superficial e atmosférica.

Ilha de calor urbana subsuperficial (ICU_{Sub}) é resultado da diferença entre os padrões de temperatura no solo sob a cidade, incluindo solos urbanos e as construções subterrâneas e aqueles no terreno rural circundante. Ilha de calor urbana de superfície ou superficial (ICU_{Surf}) é oriunda da diferença de temperatura entre as superfícies, é resultado da interação da atmosfera e os materiais sólidos da cidade, ou seja, todo alvo da radiação solar. Já a ilha de calor atmosférica é subdividida de acordo com as camadas atmosféricas *Urban Canopy Layer* (UCL) ou Camada de Cobertura Urbana e *Urban Boundary Layer* (UBL) ou Camada Limite Urbana (OKE, 1978; OKE et al., 2017) (Figura 13).

Figura 13 - Ilustração dos tipo de ilha de calor urbana



Fonte: Oke et al. (2017, p. 199).

A ICU_{UCL} é diagnosticada a nível microclimático, se estende do solo até aproximadamente o nível médio dos telhados e engloba processos de microescala, presentes na superfície urbana, tais como os tipos de materiais, a forma e a função urbana. Logo, em virtude da proximidade da superfície, é nesta camada que se pode identificar diretamente os efeitos causados pelo processo de urbanização na temperatura do ar. Já a ICU_{UBL} é superior ao dossel urbano, ou seja, se localiza acima da ICU_{UCL}. Suas características também são influenciadas pela urbanização, porém ocorre maior influência dos ventos regionais. Com altura variável, pode se estender a 200 metros durante o dia, quando as correntes convectivas são mais intensas, e menos de 100 metros durante a noite, quando a superfície esfria mais depressa do que a atmosfera, sendo que sua espessura dependente da capacidade da superfície em provocar a movimentação do ar (AMORIM, 2000).

Portanto, a ICU_{UCL} é uma anomalia térmica positiva com dimensões horizontais, verticais e temporais, cujas características se relacionam intimamente com as características de natureza física (clima, topografia, vegetação etc.) e urbana (densidade de edificação, uso da terra, funcionalidade urbana etc.) de cada cidade. É um fenômeno que ocorre por efeito das distintas taxas de aquecimento ou resfriamento próximo à superfície, que cria distintos regimes de temperaturas, cujas diferenças definem a morfologia espacial e a intensidade da ilha de calor urbana (OKE, 1982).

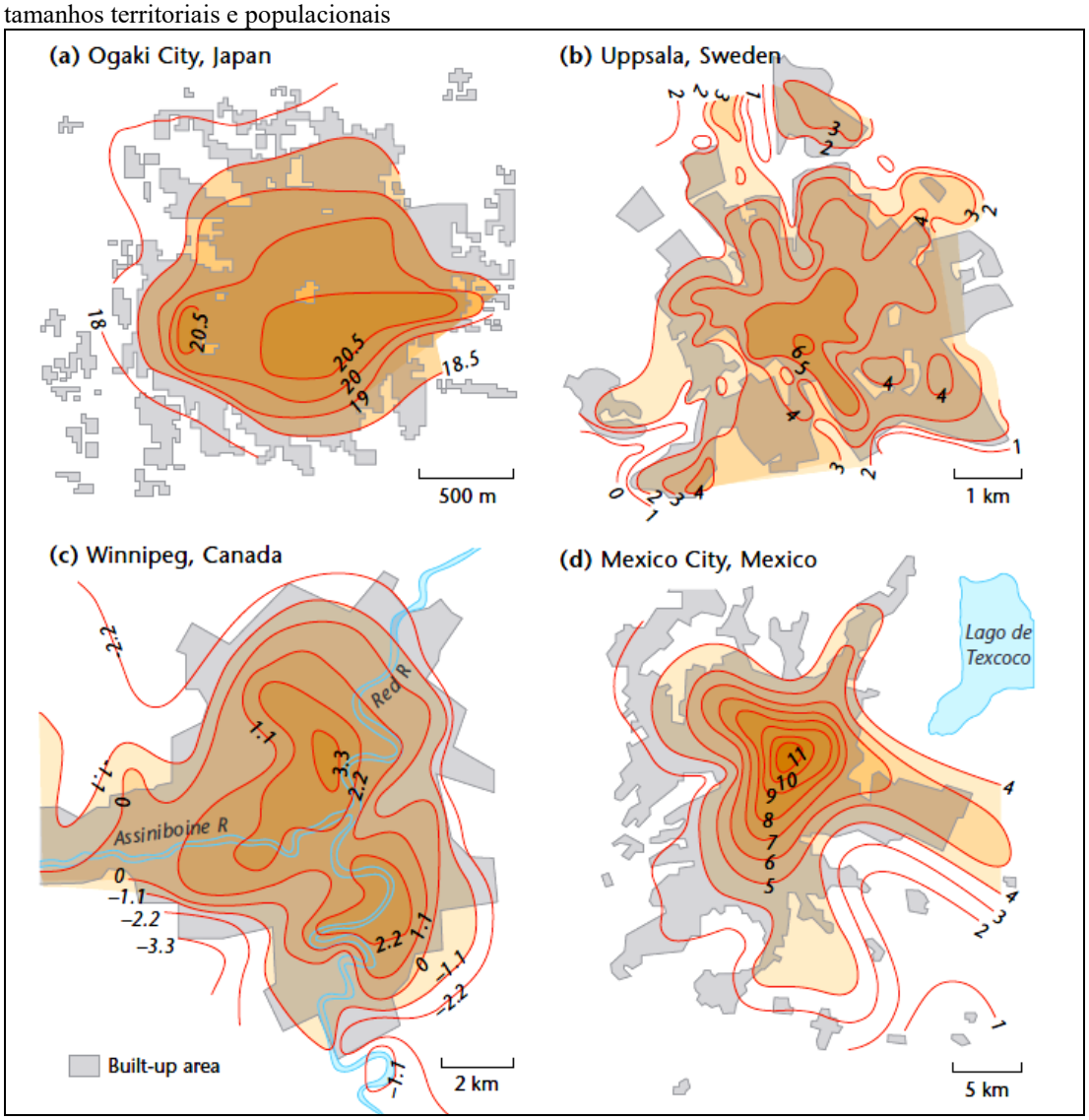
A ICU também deve ser compreendida além da distinção simples entre urbano e rural, pois é, principalmente, uma diferença de uso e ocupação da terra. Sua formação relaciona-se aos diversos processos e trocas de energia que ocorrem entre a atmosfera (UCL) e os elementos em superfície (AMORIM et al., 2009). Da mesma forma, sua morfologia está intimamente relacionada às diferenças de uso e ocupação da terra urbana.

Assim, há uma infinidade de formas da ICU_{UCL} que se vinculam às múltiplas variações das características paisagísticas tanto dos elementos urbanos quanto dos elementos naturais constituintes das cidades. A não existência de um padrão único para todas as cidades, mas sim uma diversidade de variações espaciais, justifica os diversos estudos realizados.

A Figura 14 apresenta alguns estudos que comprovam a variação espacial da ICUUCL em cidades localizadas em zonas climáticas distintas e com tamanhos populacionais e territoriais diferentes. O tamanho das cidades e o número de habitantes aumentam de (a) para (d). Conhecer as variações espaciais da temperatura do local da cidade é importante para estabelecer áreas de ar mais frio, como, por exemplo, espaços verdes e fundos de vales, com

ou sem cursos d'água, ou setores aquecidos como as áreas de elevada edificação e setores com fontes de calor antrópico (OKE et al., 2017).

Figura 14 - Mapas isotérmicos que demonstram a variação espacial da ICU_{UCL} em cidades com distintos tamanhos territoriais e populacionais

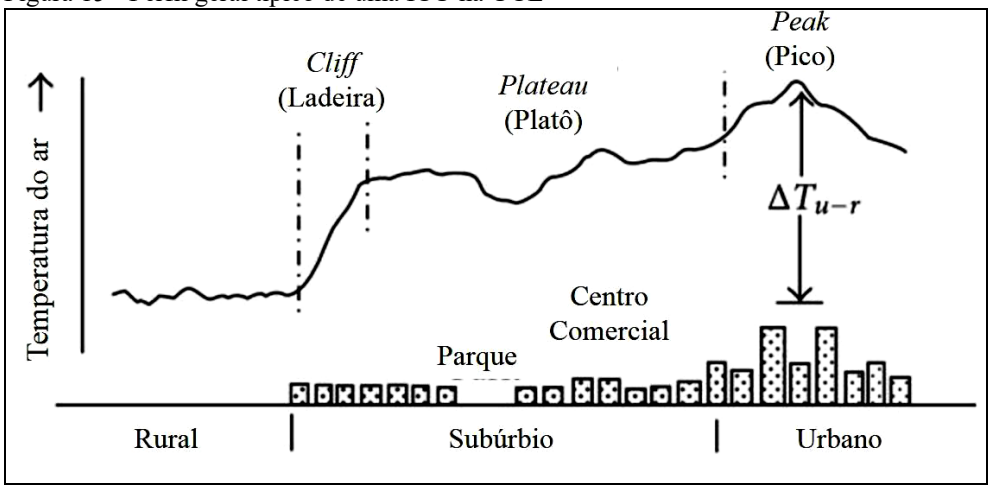


Fonte: Oke et al. (2017, p. 214).

No entanto, os estudos realizados também identificaram semelhanças na morfologia da ICU_{UCL} com o padrão clássico descrito na literatura, caracterizado pelo *Peak* (Pico) na área mais urbanizada que, por muitas vezes, coincide com o centro urbano; *Plateau* (Platô) são áreas urbanizadas de temperatura menor que no pico (*Peak*), onde o gradiente horizontal de temperatura do ar é constante e decresce na direção do limite urbano/rural; e *Cliff* (Ladeira), onde a temperatura do ar muda abruptamente no limite urbano/rural. A uniformidade do *Plateau* (Platô) pode ser interrompida pela presença de usos considerados redutores de

temperatura como parques, lagos e áreas abertas, bem como setores de acréscimo de temperatura, como áreas comerciais, industriais e densamente edificadas (OKE, 1978) (Figura 15).

Figura 15 - Perfil geral típico de uma ICU na UCL



Fonte: Oke (1978, p. 286).

Em climas temperados e frios a ICU_{UCL} pode fornecer alguns benefícios para a amenização do desconforto para o frio, bem como para diminuir o gasto energético destinado ao aquecimento no inverno (VOOGT, 2002). No entanto, nessas regiões do globo, os impactos da ICU_{UCL} são indesejáveis e maléficos no verão podendo causar problemas como: irritabilidade, desconcentração, inapetência, desidratação, cãibras, desmaios, exaustão pelo calor e até a morte. Em eventos extremos, como em episódios de ondas, não é incomum registro de mortes associadas ao desconforto térmico, como ocorreu em Chicago em julho de 1995, quando 700 mortes foram registradas (GARTLAND, 2010). Em ambiente tropical e tropical continental, os prejuízos à saúde oriundos da presença da ICU_{UCL} são intensificados pelas condições naturais de desconforto térmico por meio da presença de temperaturas elevadas durante todo o ano.

Porém, os impactos da ICU_{UCL} não se registrem somente às componentes térmicas da atmosfera urbana, a qualidade do ar também é afetada por meio do acúmulo de poluentes, podendo ocasionar e/ou intensificar problemas respiratórios (GARTLAND, 2010). Ademais, a ICU_{UCL} aumenta a produção de pólen, intensificando as alergias sazonais, os problemas oftalmológicos e dermatológicos e os ataques de asma (PATZ et al., 2000). Para além disso, as temperaturas urbanas elevadas criam condições preferenciais para o espalhamento de doenças transmitidas por vetores (VOOGT, 2002).

Sendo assim, a ICU_{UCL} afeta diretamente o conforto e a saúde dos indivíduos, seja por problemas relacionados diretamente ao calor, como o estresse térmico ou por problemas relacionados à qualidade do ar e às condições sanitárias (AMORIM, 2010). Nesse sentido, a temperatura do ar urbano, e consequentemente, a ICU_{UCL}, é um importante indicador da qualidade do ambiente, uma vez que sua formação e investigação implicam diretamente na avaliação de outros indicadores do sítio urbano, corroborando para a análise sistêmica da cidade. Somado a isso, tem-se as suas repercussões sobre a qualidade de vida urbana com prejuízos à saúde dos citadinos.

Por fim, retoma-se o que foi discutido nessa seção, admitindo que a questão ambiental é oriunda da relação sociedade *versus* natureza historicamente construída e dotada de complexidade, e que, portanto, exige o entrelaçamento de saberes, o que pode ser alcançado por meio da abordagem sistêmica. A QAU tenta abranger a complexidade dos problemas ambientais urbanos por meio da análise de indicadores, sendo o Clima Urbano, e particularmente, a manifestação da ICU_{UCL}, um parâmetro de grande importância, uma vez que sua formação e sua manifestação apontam para a queda da qualidade do ambiente.

4 A ÁREA DE ESTUDO

Os habitantes originais da região de Penápolis são os índios Kaingang. A invasão das terras indígenas teve início com a vinda de famílias do Sul de Minas Gerais em 1842 motivadas pelas medidas do Governo Imperial que ocasionaram a Resolução Liberal (1842)[16]. Na época essa região era denominada de "sertão desconhecido" e caracterizava-se por extensas e férteis glebas de terras, passando a ser denominada como nova "fronteira agrícola e pecuária" (HECHT, 2008).

A região recebeu intensos fluxos migratórios a partir de 1880, com a marcha para o Oeste, incentivada pela cultura cafeeira. Portanto, o aumento do preço e do comércio de café, tanto pelo mercado externo quanto interno, atraiu frentes populacionais, que buscavam terras férteis para incorporá-las ao ciclo do café (PREFEITURA DE PENÁPOLIS, 2014).

A ocupação pelo homem branco foi ainda mais acelerada com a instalação da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil (NOB) em 1908, e assim, em 25 de outubro de 1908 foi criado o Patrimônio de Santa Cruz do Avanhandava, data que se comemora o aniversário da cidade. Em novembro do ano seguinte, em homenagem ao Presidente da República Afonso Augusto Moreira Penna, falecido naquele ano, foi criado o Distrito de Paz de Penápolis (IBGE CIDADES, 2016). O Distrito pertencia ao município de comarca de Rio Preto e era uma vila progressista, já incorporada ao ciclo do café (PREFEITURA DE PENÁPOLIS, 2014).

Em 22 de dezembro de 1913, o Distrito de Paz de Penápolis foi emancipado politicamente e elevado à categoria de município com a denominação de Penápolis. Posteriormente, em outubro de 1917, se tornou Comarca, uma das maiores da região, o que demonstra o rápido processo de ocupação e expansão da cidade após a instalação da ferrovia (CARNEIRO, 2018).

Sendo assim, para a região noroeste do Estado de São Paulo, a estrada de ferro teve papel essencial na formação dos núcleos urbanos, inclusive por muitos anos foi o principal meio de transporte, principalmente de café e pessoas, entre o interior e a capital. Era o transporte ferroviário que garantia acessibilidade, escoamento da produção e desenvolvimento econômico. A importância da ferrovia à região é observada no próprio desenho urbano, pois

[16] A Revolução Liberal de 1842 ocorreu no território onde hoje se encontra os estados de Minas Gerais e São Paulo e se caracteriza com uma das Revoluções do Período Regencial no Brasil. Tratou-se de uma rebelião eleitoral e militar organizada pelo Partido Liberal como resposta a ascensão do Partido Conservado ao poder. Em Minas, após várias batalhas e vitórias dos revoltosos, a revolução foi finalmente sufocada na Batalha de Santa Luzia, em que as tropas imperiais tiveram como comandante o general barão de Caxias (MARINHO, 2015).

as ruas foram construídas tomando como base a longa reta originada pela linha férrea (GHIRARDELLO, 2002)

Seguindo essa lógica, o traçado urbano de Penápolis seguiu a orientação da ferrovia e foi construído em um modelo de “tabuleiro de xadrez”, com quadras com dimensões de 88 m x 88 m, sendo as ruas perpendiculares aos trilhos e as avenidas paralelas a estes (GHIRARDELLO, 2002). A Figura 16 apresenta algumas fotografias aéreas de Penápolis que demonstram essa característica urbana.

Figura 16 - Fotografias aéreas de Penápolis

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Vista aérea de Penápolis em 1938</td><td>Vista aérea de Penápolis em 1949</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Vista aérea de Penápolis em 1949</td><td>Vista aérea de Penápolis em 1966</td></tr>
</table>

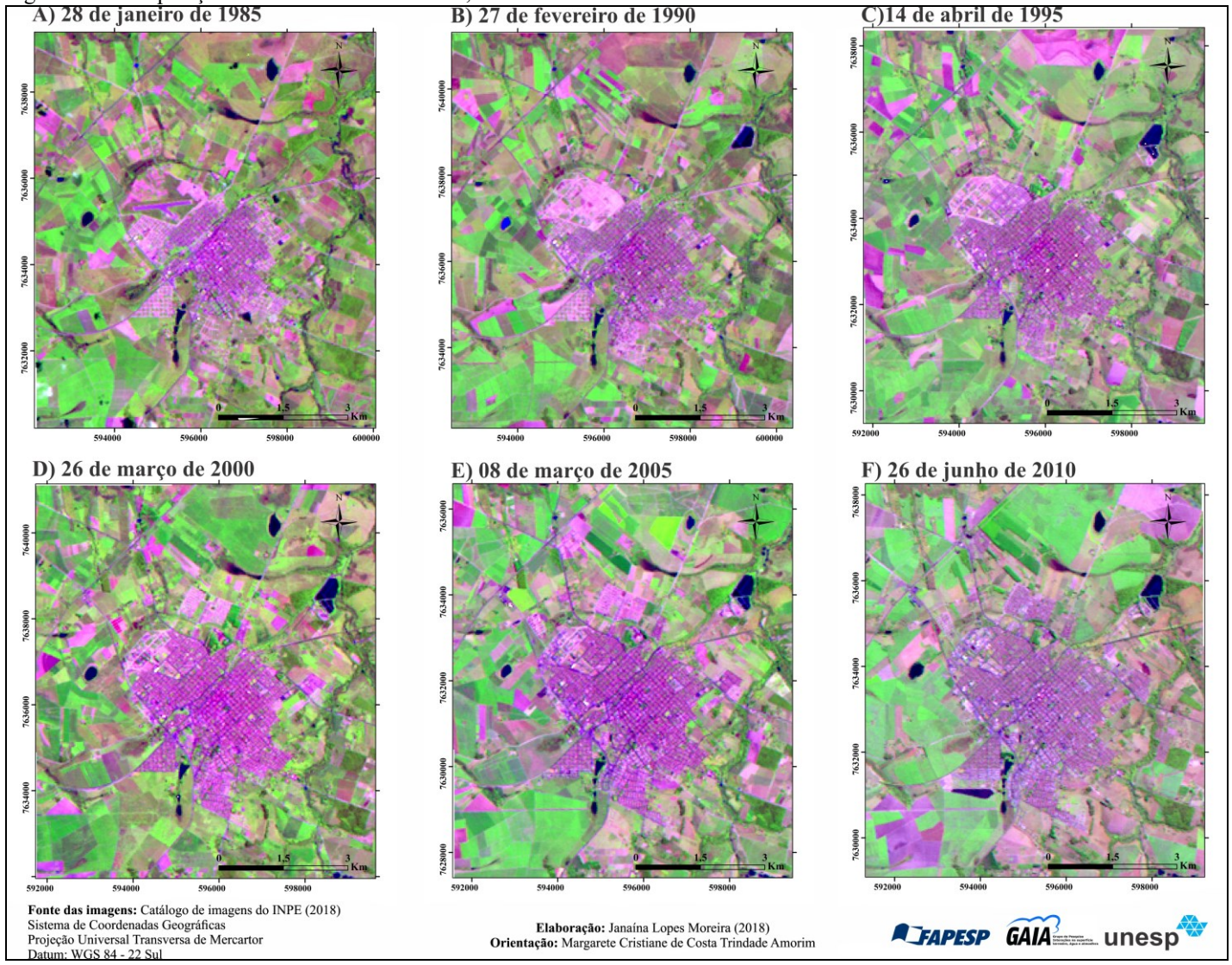
Fonte: Acervo fotográfico do Museu Histórico e Pedagógico Fernão Dias Paes de Penápolis (SP).

A área urbana em Penápolis se iniciou perpendicularmente à ferrovia e avançou principalmente no sentido norte e sul. A expansão da malha urbana foi lenta até 1960. Depois dessa década, a mancha urbana cresceu consideravelmente, com destaque para os setores ao norte da linha férrea e ao sul dos bairros já consolidados. Durante as décadas de 1970 e 1980 o crescimento desacelerou, sendo retomado em 1990 com a construção do distrito industrial (MOREIRA, 2016).

Parte do processo de crescimento urbano em Penápolis pode ser observado através de imagens do satélite *Landsat* 5, sensor ETM (Figura 17). É possível notar que em 1985 ocorria o processo de expansão urbana por meio da abertura de loteamentos, com destaque para o oeste, norte e sul da malha consolidada (Mapa A). Em 1990, como pode ser observado no Mapa B, esse processo se acelerou com a construção do distrito industrial ao noroeste e a abertura de novos loteamentos a sudoeste e sul.

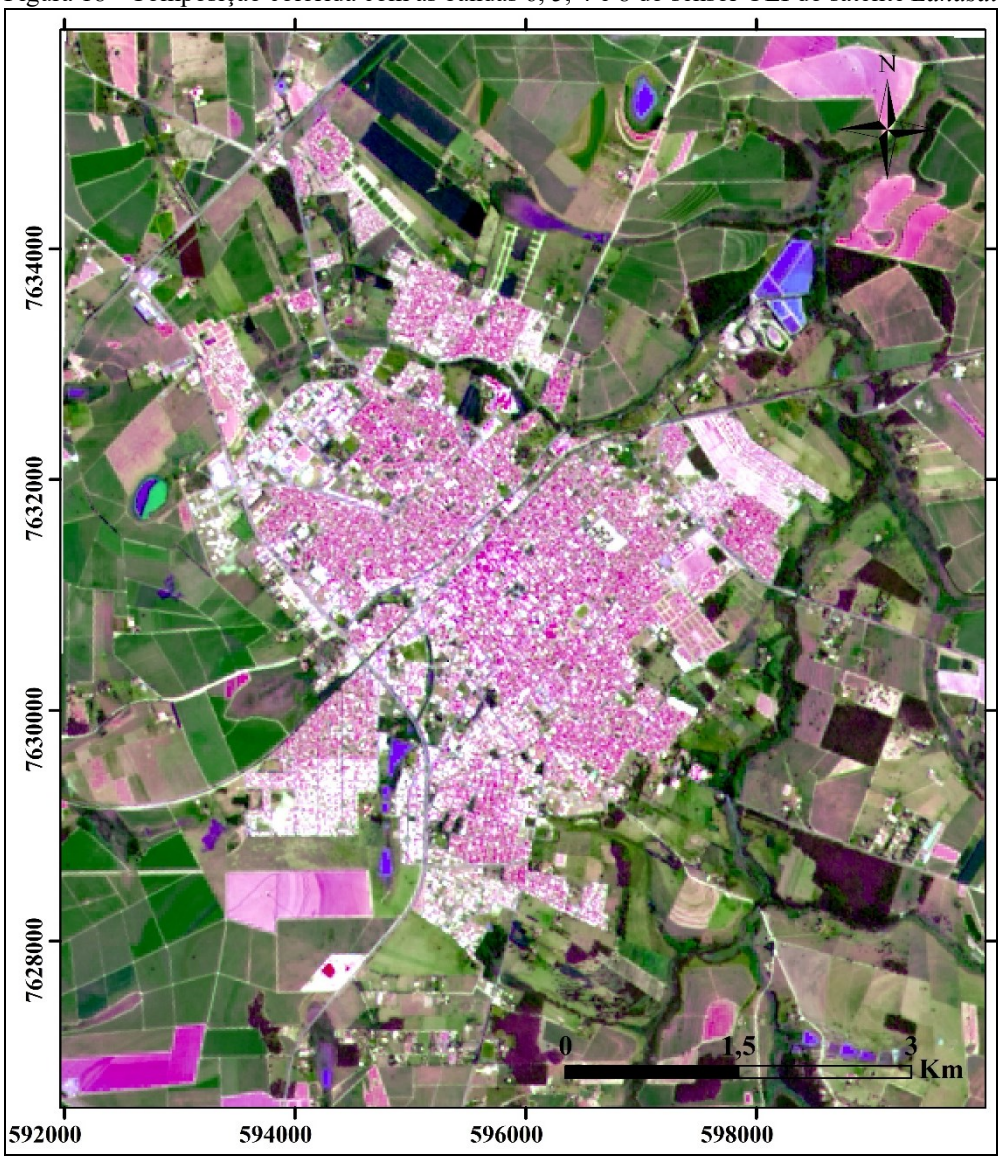
Em 1995, Mapa C, essas áreas se apresentavam totalmente construídas. Para o ano de 2000 foram poucas alterações, tendo destaque as áreas construídas próximas ao distrito industrial ao norte, Mapa D. Em 2005, Mapa E, a expansão foi mais significativa, com vários loteamentos abertos ao norte da malha. Em 2010 é possível verificar esses setores urbanos citados totalmente construídos (Mapa F).

Figura 17 - Composição colorida com as bandas 3, 4 e 5 do sensor ETM do satélite *Landsat* 5



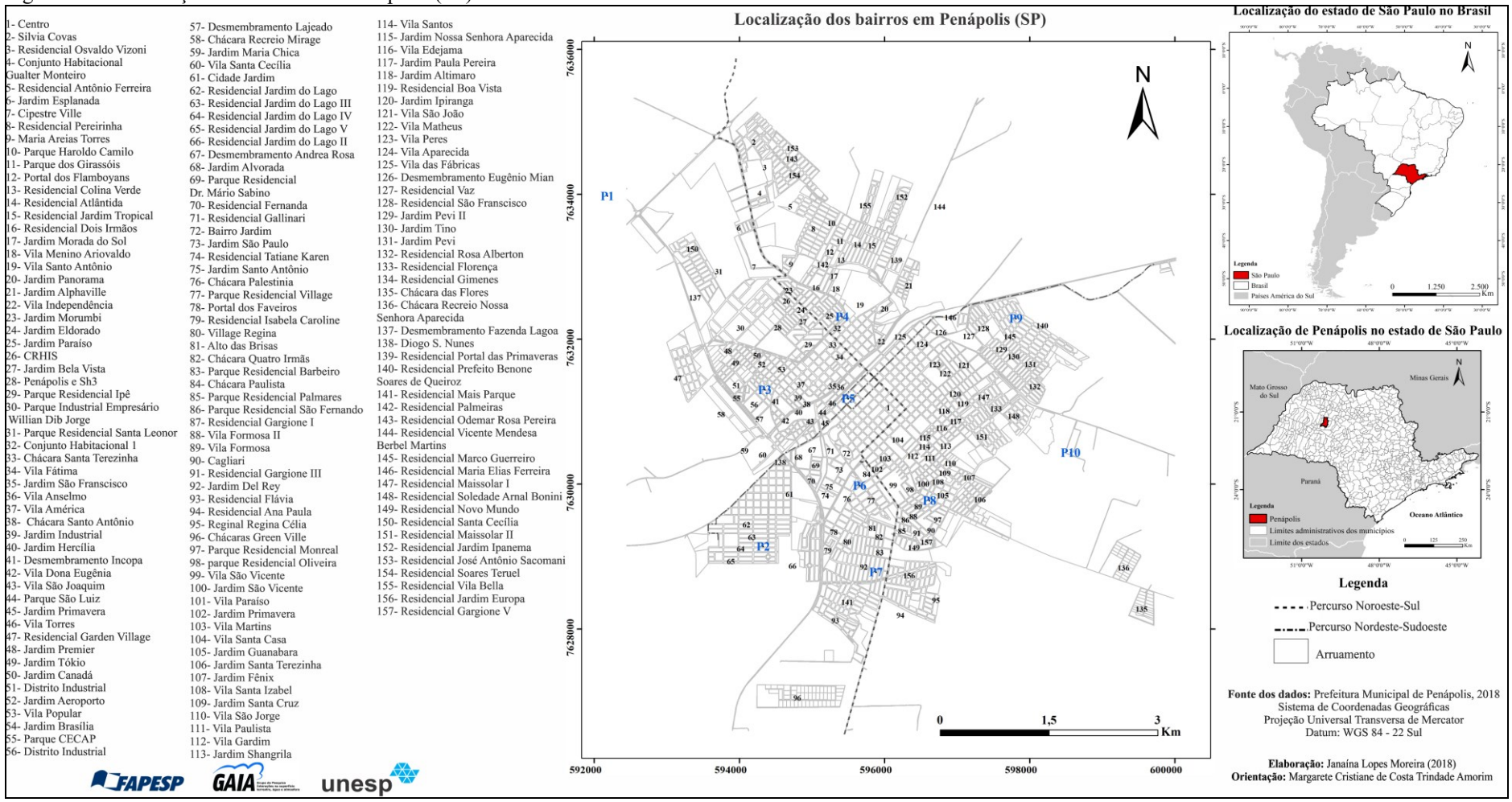
O processo de expansão continuou e hoje a cidade apresenta várias áreas residenciais em expansão (Figura 18). Segundo a Prefeitura Municipal de Penápolis, a cidade conta com 157 bairros, contabilizando os loteamentos recentes e em abertura. Dessa forma, alguns bairros (n° 144 e 153 da Figura 19) ainda não possuem o desenho das quadras e ruas, porém já obtiveram aprovação para sua implantação. Deste modo, os nomes e respectivos números estão no mapa de bairros (Figura 19).

Figura 18 - Composição colorida com as bandas 6, 5, 4 e 8 do sensor OLI do satélite *Landsat* 8



Fonte: Catálogo de imagens do INPE (2018).

Figura 19 - Localização dos bairros em Penápolis (SP)



4.1 Caracterização dos pontos de registro de temperatura do ar

A aquisição da temperatura do ar foi pautada em duas metodologias clássicas: pontos fixos e transectos móveis. Essas metodologias são complementares e fundamentais para a compreensão das características térmicas do ambiente urbano. Por meio dos pontos fixos se consegue obter simultaneidade e maior volume de dados em escala temporal. Já os transectos móveis corroboram para a escala espacial, pois permitem abrangência territorial por meio da maior quantidade de pontos de mensuração.

A seleção dos pontos fixos e dos transectos móveis teve o intuito de abarcar a diversidade paisagística do espaço urbano e rural de Penápolis. Assim, a definição dos pontos de coletas da temperatura considerou a diversidade tanto no que se refere às características quanto à densidade das variáveis urbanas e naturais. Na malha urbana, as características priorizadas foram a densidade de edificações, densidade de cobertura vegetal arbórea, características do relevo e fluxo de veículos e pessoas. Na área rural, os tipos de cultivo, a orientação das vertentes e a altimetria foram considerados. No entanto, vale ressaltar que a instalação considerou essas características, porém foi condicionada à segurança dos abrigos, para que os sensores não fossem comprometidos por furtos ou vandalismo.

Para a caracterização dos pontos de registro da temperatura do ar (fixos e móveis) optou-se por classificar cada ponto de acordo com as Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones* – LCZ) (STEWART e OKE, 2009). Essa classificação se apresenta bastante vantajosa para divulgação dos resultados em nível internacional e também, para estudos comparativos entre as cidades. Além disso, também foram adicionadas características de declividade do relevo e orientação das vertentes obtidas de mapeamentos já realizados (MOREIRA, 2016).

4.1.1 Caracterização dos pontos fixos de registros da temperatura do ar

As características gerais dos pontos e de seu entorno podem ser observadas na Figura 20.

Ponto 1: Sítio Boa Esperança

O abrigo meteorológico ficou situado na porção noroeste da malha urbana, em propriedade rural que desenvolve uma diversidade de atividades agrícolas como os plantios de milho e de cana e a produção de leite. Sendo assim, o entorno é marcado pela vegetação rasteira (pastagens) e pelas plantações. A vegetação arbórea não é predominante e a cota

altimétrica é de 432 metros acima do nível do mar. Esse ponto foi caracterizado pela LCZ D (Vegetação rasteira).

Ponto 2: Jardim do Lago IV

Localizado a sudoeste da malha urbana, o abrigo meteorológico foi instalado em uma propriedade residencial com telhado feito de cerâmica. Esse bairro é de ocupação recente e, por conta disso, apresenta vários lotes vazios com solo exposto ou com gramínea. A vegetação arbórea é inexistente e a altitude é de 433 metros. Essa localidade é uma área de transição entre LCZs, porém optou-se por caracterizá-la como LCZ 3 (Compacta de baixa elevação).

Ponto 3: Bairro Distrito Industrial

Esse ponto ficou localizado na porção oeste da malha urbana, em um bairro densamente edificado, cujo nome remete à proximidade com o distrito industrial do município. Os lotes são pequenos, densamente edificados e a cobertura cerâmica nos telhados tem predominância. A vegetação arbórea é baixa e se localiza nas calçadas. Nesse ponto a altitude é de 420 metros. A LCZ 3 (Compacta de baixa elevação) foi utilizada para caracterizar essa localidade.

Ponto 4: Jardim Paraíso

Localizado a norte da malha urbana, esse ponto foi escolhido devido à quantidade de vegetação arbórea, que o diferencia dos outros bairros residenciais populares. O bairro é densamente edificado e a vegetação arbórea é concentrada em canteiros de avenidas, calçadas e praças. A cobertura das casas é de cerâmica e a altitude é de 418 metros. Com base nessas características o bairro foi classificado como LCZ 3_B (Compacta de baixa elevação com vegetação arbórea esparsa).

Ponto 5: Bairro Centro

Esse ponto representou o centro comercial e de serviços. Apesar de ter sido instalado em uma residência, todo o entorno é caracterizado por edifícios comerciais. Inclusive os donos da residência onde o ponto ficou situado transformaram o quintal da casa em um estacionamento particular. Sendo assim, é um setor urbano de máxima densidade de edificação, vegetação arbórea ausente e intenso fluxo de veículos e pessoas. As coberturas são de fibrocimento e cerâmica e a altitude é de 412 metros. Em decorrência dessas características paisagísticas, esse setor urbano foi classificado como LCZ 3 (Compacta de baixa elevação).

Ponto 6: Parque Residencial Village

Esse ponto também foi escolhido em virtude da vegetação arbórea mais significativa e do padrão construtivo das edificações. Trata-se de um bairro de alto padrão, com lotes maiores, porém também densamente edificados. A vegetação arbórea se localiza fora das residências, nas calçadas, canteiros e em áreas livres de edificação. O bairro conta com praças e área de recreação. A vegetação presente no interior das casas corresponde a paisagismos para fins de embelezamento. Nesse ponto a altitude do relevo é de 434 metros e a LCZ 3 (Compacta de baixa elevação) foi utilizada por caracterizar tais características.

Ponto 7: Jardim Del Rey

Também representado pela LCZ 3 (Compacta de baixa elevação), trata-se de um conjunto residencial densamente edificado localizado na porção sul da malha urbana. O abrigo meteorológico foi instalado no quintal de uma casa, cuja cobertura era de pedra britada. É um bairro que possui a vegetação arbórea nas calçadas, telhas de cerâmica vermelha e a altitude de 437 metros.

Ponto 8: Vila Formosa

É outro bairro residencial de elevada densidade de edificações com lotes pequenos e vegetação arbórea nas calçadas. O uso é predominantemente residencial, porém encontram-se alguns pequenos comércios locais. As telhas são de cerâmica em sua maioria e a altitude do local está na cota de 432 metros. A LCZ 3 (Compacta de baixa elevação) representou o uso e cobertura da terra desse bairro

Ponto 9: Residencial Gimenes

Esse ponto foi instalado a leste da malha, em uma área de transição entre a área urbana e o entorno rural próximo. Refere-se a um bairro residencial de implantação recente na periferia urbana. Assim, há muito solo exposto e ausência de vegetação arbórea. As telhas das residências são de cerâmica e a altitude está na cota de 414 metros. É um setor urbano de transição entre LCZs, cujas características atuais se assemelham à LCZ 7 (Compacta pouco consolidada de baixa elevação).

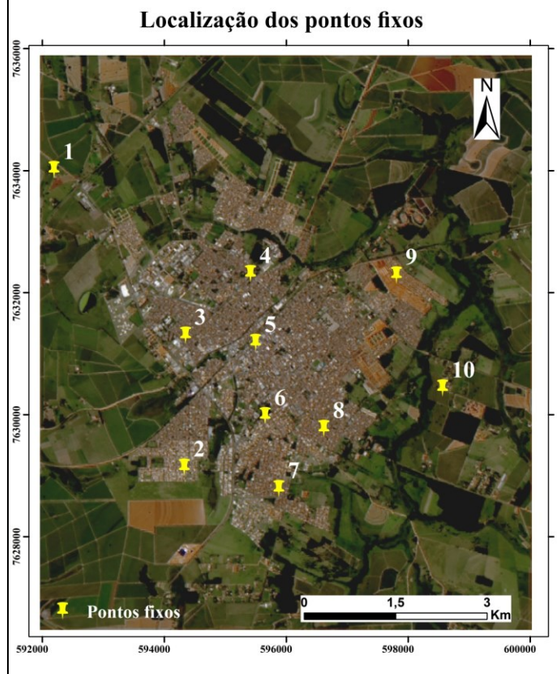
Ponto 10: Chácara Paraíso

O segundo ponto rural ficou localizado a Sudeste da área urbana próximo do Ribeirão Lajeado e, por isso, apresenta altitude menor em comparação com os demais pontos, 404 metros. A propriedade rural se caracteriza pelo uso residencial, sem a prática agrícola, ou seja, não possui plantações e criação de animais. No entanto, há a presença de árvores frutíferas, que se caracterizam pelo tipo arbóreo. Próximas a estas foi instalado o abrigo meteorológico. Além disso, no entorno próximo há uma grande quantidade de vegetação arbórea densa

localizada nas margens do Ribeirão Lajeado, a oeste do ponto. Esse ponto foi caracterizado como LCZ 9 (Construções esparsas).

Figura 20 - Síntese das características dos pontos fixos instalados na malha urbana e rural circundante de Penápolis (SP)





Composição colorida: Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2)
Imagem de 24/02/2018 (USGS)
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul
Buffer: 400 metros de diâmetro

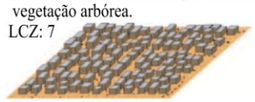


Ponto 1
Localização: Noroeste da malha urbana
Altitude: 432 metros
Declividade: 4%
Orientação das vertentes: Norte
Uso: Rural
Cobertura da terra: Pastagens e cultivo agrícola
LCZ: D



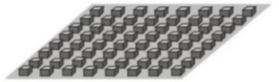


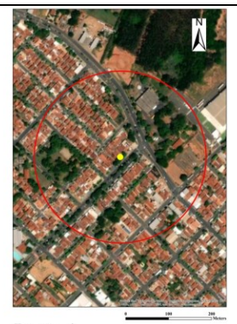
Ponto 2
Localização: Sudoeste da malha urbana
Altitude: 433 metros
Declividade: 4%
Orientação das vertentes: Norte
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta pouco consolidada de baixa elevação com ausência de vegetação arbórea.
LCZ: 7



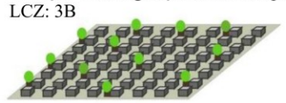


Ponto 3
Localização: Oeste da malha urbana
Altitude: 420 metros
Declividade: 6,5%
Orientação das vertentes: Sudeste
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta de baixa elevação.
LCZ: 3





Ponto 4
Localização: Norte da malha urbana
Altitude: 418 metros
Declividade: 3%
Orientação das vertentes: Sudoeste
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta de baixa elevação com vegetação arbórea esparsa.
LCZ: 3B





Ponto 5
Localização: Centro da malha urbana
Altitude: 412 metros
Declividade: 1,2%
Orientação das vertentes: Norte
Uso: Comercial
Cobertura da terra: Compacta de baixa elevação com ausência de vegetação arbórea.
LCZ: 3





Ponto 6
Localização: Sul da malha urbana
Altitude: 432 metros
Declividade: 7,4%
Orientação das vertentes: Sudeste
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta de baixa elevação com vegetação arbórea esparsa
LCZ: 3





Ponto 7
Localização: Sul da malha urbana
Altitude: 436 metros
Declividade: 4%
Orientação das vertentes: Nordeste
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta de baixa elevação.
LCZ: 3



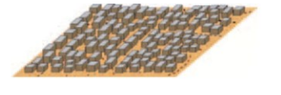


Ponto 8
Localização: Sudeste da malha urbana
Altitude: 432 metros
Declividade: 5,5%
Orientação das vertentes: Sudoeste
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta de baixa elevação.
LCZ: 3





Ponto 9
Localização: Leste da malha urbana
Altitude: 414 metros
Declividade: 2%
Orientação das vertentes: Norte
Uso: Residencial
Cobertura da terra: Compacta pouco consolidada de baixa elevação
LCZ: 7





Ponto 10
Localização: Leste da malha urbana
Altitude: 404 metros
Declividade: 6%
Orientação das vertentes: Oeste
Uso: Rural
Cobertura da terra: Vegetação arbórea esparsa e plantações.
LCZ: 9



Escala das imagens
0 100 200
Metros

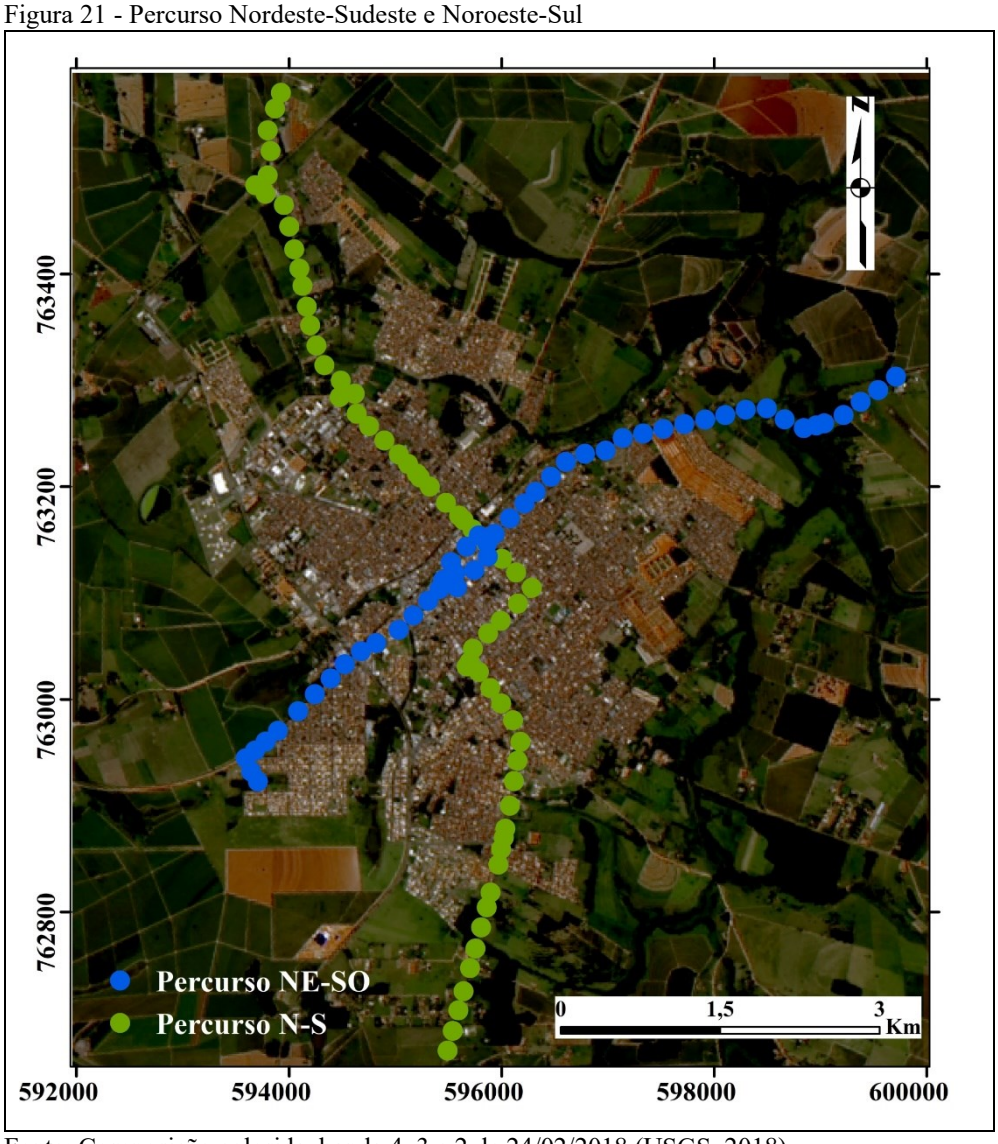
Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

4.1.2 Caracterização dos percursos dos transectos móveis para o registro da temperatura do ar

Para os transectos móveis, foram selecionados dois percursos para os registros da temperatura do ar: um de abrangência Nordeste-Sudoeste, e outro de Noroeste-Sul. Por isso, podem ser referidos como “NE-SO” e “NO-S”.

O início e final dos dois percursos ocorreram em áreas afastadas dos limites urbanos densamente edificados, portanto, os veículos saíram da área rural próxima, passaram pelos bairros periféricos e pelo centro e chegaram ao extremo oposto da cidade. A Figura 21 apresenta ambos os traçados, sendo que no percurso “NE-SO” houve o registro de 50 pontos e no percurso “NO-S” foram 63 pontos registrados

Figura 21 - Percurso Nordeste-Sudeste e Noroeste-Sul



Fonte: Composição colorida, banda 4, 3 e 2 de 24/02/2018 (USGS, 2018)

No percurso NE-SO foram identificadas visualmente 8 LCZs (Figura 22). Esse percurso teve início na frente do aeroporto municipal na Estrada Municipal Kemil Rahal e término no bairro Jardim do Lago V (Figura 19, n° 65). Nos primeiros pontos, 01 ao 04, a área é caracterizada pelo uso rural, com relevo suave e marcada pela baixa ocupação e presença de vegetação arbórea espaçada e vegetação rasteira constituída por pastagem e plantações de cana-de-açúcar, logo, predomina a LCZ B_D.

A partir do ponto 5, há o declínio da altitude em decorrência da presença do Ribeirão Lajeado, caracterizando-se como uma área de fundo de vale com vegetação arbórea densa. No entanto, apesar de possuir um corpo d'água, a largura do espelho d'água não é significativa (33 metros[17]), por isso optou-se pelo que predomina no entorno dos pontos, que no caso é a vegetação arbórea densa, LCZ A.

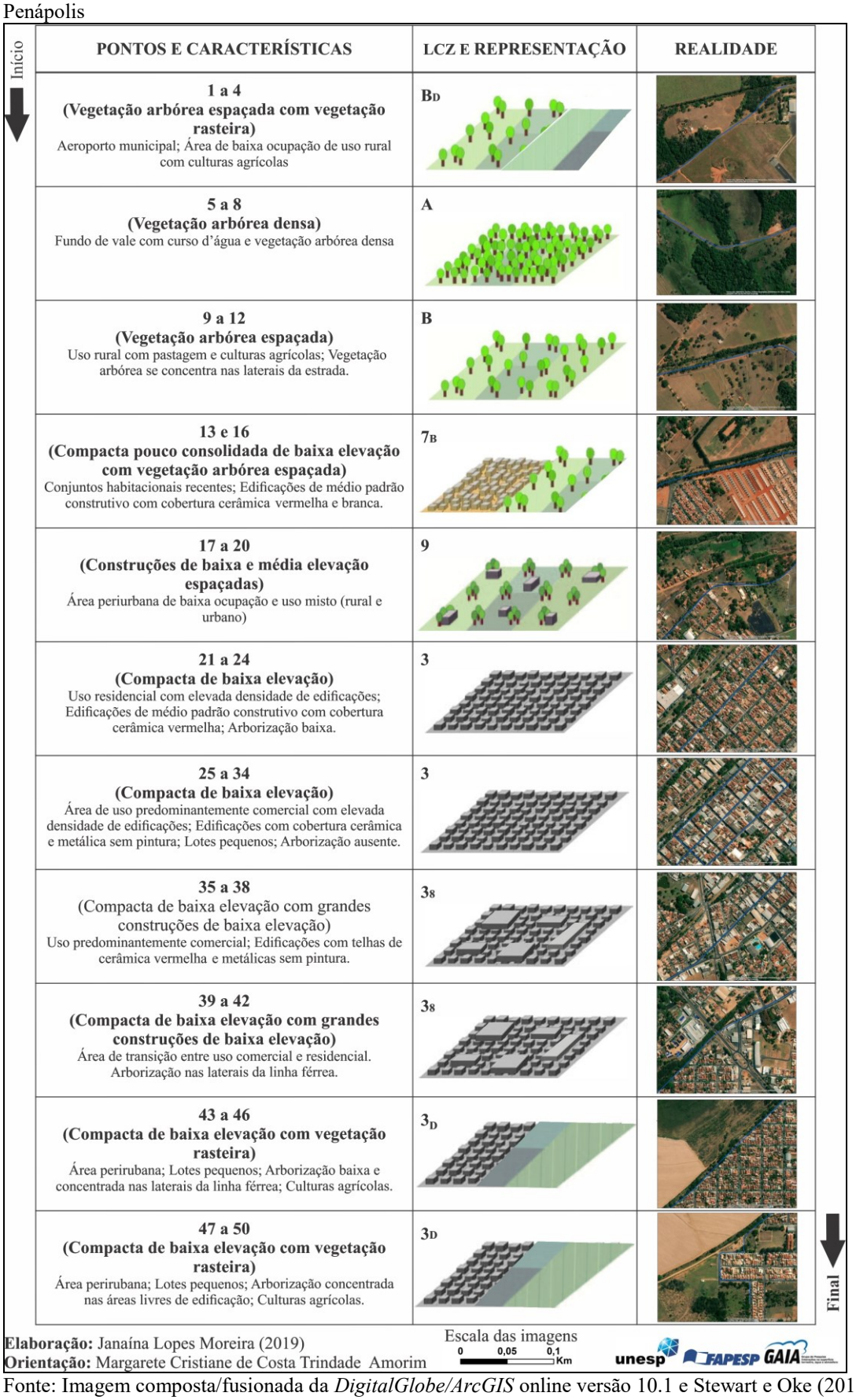
Dos pontos 9 ao 12, ainda na área rural, a paisagem se altera. Nesse trajeto, predomina a vegetação arbórea espaçada concentrada no entorno da estrada. Há também pastagens e culturas agrícolas, o que se enquadra na LCZ B. Do ponto 13 em diante marca a entrada ao perímetro urbano, onde se encontram dois conjuntos habitacionais recentes, nos bairros residenciais Prof. Benone Soares de Queiroz e Gimenes (Figura 19, n°140 e n°134). É um setor urbano pouco consolidado, por isso se caracteriza pela inexistência de cobertura arbórea e presença solos nus em seu interior. A norte da estrada, predomina a vegetação arbórea espaçada, por isso, esse trajeto se caracteriza como uma LCZ 7_B.

Após a passagem dos residenciais, entre os pontos 17 ao 20, a paisagem torna-se de uso misto (urbano e rural) com construções espaçadas e vegetação arbórea e rasteira, o que se enquadra como uma LCZ 9. A partir do ponto 21 tem-se o tecido urbano consolidado e densamente edificado de baixa elevação e de uso residencial (LCZ 3). Entre os pontos 25 e 34, o percurso se refere à localização do centro comercial da cidade, caracterizado por construções de baixa elevação (1 ou 2 andares) densamente edificado e com vegetação arbórea inexistente, portanto, representa a LCZ 3.

Em direção a sudoeste da malha urbana, do ponto 35 ao 42, predomina a LCZ 3_8, que representa um setor urbano densamente edificado com grandes construções e de baixa elevação. Esse trajeto se refere à localização dos bairros adjacentes ao centro, que possuem uso residencial e comercial, em que as grandes construções se referem a postos de gasolina, estacionamentos de venda de veículos, oficinas mecânicas e galpões.

[17] Dimensão do espelho do curso d'água no trecho percorrido pelo transecto (GOOGLE EARTH, 2020).

Figura 22 - Características de uso e ocupação da terra e as LCZs identificadas no percurso Nordeste-Sudeste em Penápolis



Fonte: Imagem composta/fusionada da *DigitalGlobe/ArcGIS* online versão 10.1 e Stewart e Oke (2012).

O final do percurso é uma área periurbana de uso residencial e rural, onde há elevada densidade de edificações de baixa elevação, lotes pequenos e áreas de cultivo agrícola (LCZ 3_D). É importante destacar que, entre os pontos 43 e 46, o percurso adentra a Avenida Sargento Moura, via urbana paralela à linha férrea, onde se encontra vegetação arbórea significativa.

O percurso NO-S é o mais extenso e abarca 9 LCZs (Figura 23 e 24). O trajeto se inicia na área rural, ao noroeste da malha urbana, na Estrada Vicinal Cleto Galli e finda na zona rural ao sul, na Estrada do Mineiro. Os primeiros pontos, 1 ao 3, caracterizam-se como local de baixa densidade de edificações e áreas de pastagem. A partir do ponto 4, o trajeto passa pela rotatória que permite acesso ao perímetro urbano, portanto, caracteriza-se pela presença de asfalto da Rodovia Assis Chateaubriand (SP - 425). Assim, esse segmento do percurso foi classificado como uma LCZ E_D.

O trajeto segue pela Estrada Irmãos Buranello na qual, logo no início, está localizado o conjunto habitacional Silvia Covas (Figura 19, n° 02) à esquerda. O bairro possui lotes pequenos e é densamente edificado com casas cobertas por telha de cerâmica vermelha. Nesse mesmo segmento, à direita, encontra-se um substrato arbóreo denso. Em virtude dessas características, os pontos 07, 08 e 09 foram representados pela LCZ 3_A.

Os pontos 10 e 12 se caracterizam pela presença de vazios urbanos e outros conjuntos habitacionais construídos em descontínuo ao tecido urbano consolidado. O interior desses bairros residenciais é densamente edificado e seu entorno é marcado pelas passagens e culturas agrícolas, o que caracteriza a LCZ 3_D. A LCZ 3_B foi identificada entre os pontos 13 ao 15, onde se localiza o Córrego da Estiva, estreito curso d'água com vegetação arbórea espaçada (a dimensão do espelho d'água no trecho percorrido é de 12 metros[18]). Os pontos 16 ao 19 também foram representados pela LCZ 3_B, no entanto, se diferem do trecho anterior devido à presença do Córrego da Estiva (ponto 16), pequeno fundo de vale urbano com curso d'água.

O percurso adentra a área densamente urbanizada por meio da Rua Irmãos Crisóstomo de Oliveira, via que liga os bairros do setor norte ao centro da cidade. Os pontos 20, 21, 22 e 23, LCZ 3, correspondem a bairros densamente edificados que se referem à localização dos bairros Jardim Morumbi, Eldorado, Paraíso e CHRIS (Figura 19, n° 23, 24, 25 e 26). É um dos setores da cidade com maior quantidade de áreas verdes, representadas por praças públicas e canteiros.

[18] (GOOGLE EARTH, 2020).

Os pontos 24 ao 38, também identificados como LCZ 3, correspondem aos setores urbanos densamente edificados de uso residencial e comercial e com baixa arborização, com exceção do ponto 30 que se refere ao fundo de vale urbano do Córrego Maria Chica, curso d'água de canalização aberta (a dimensão do espelho d'água é de 3 metros no interior da tubulação[19]), o qual apresenta arborização no entorno.

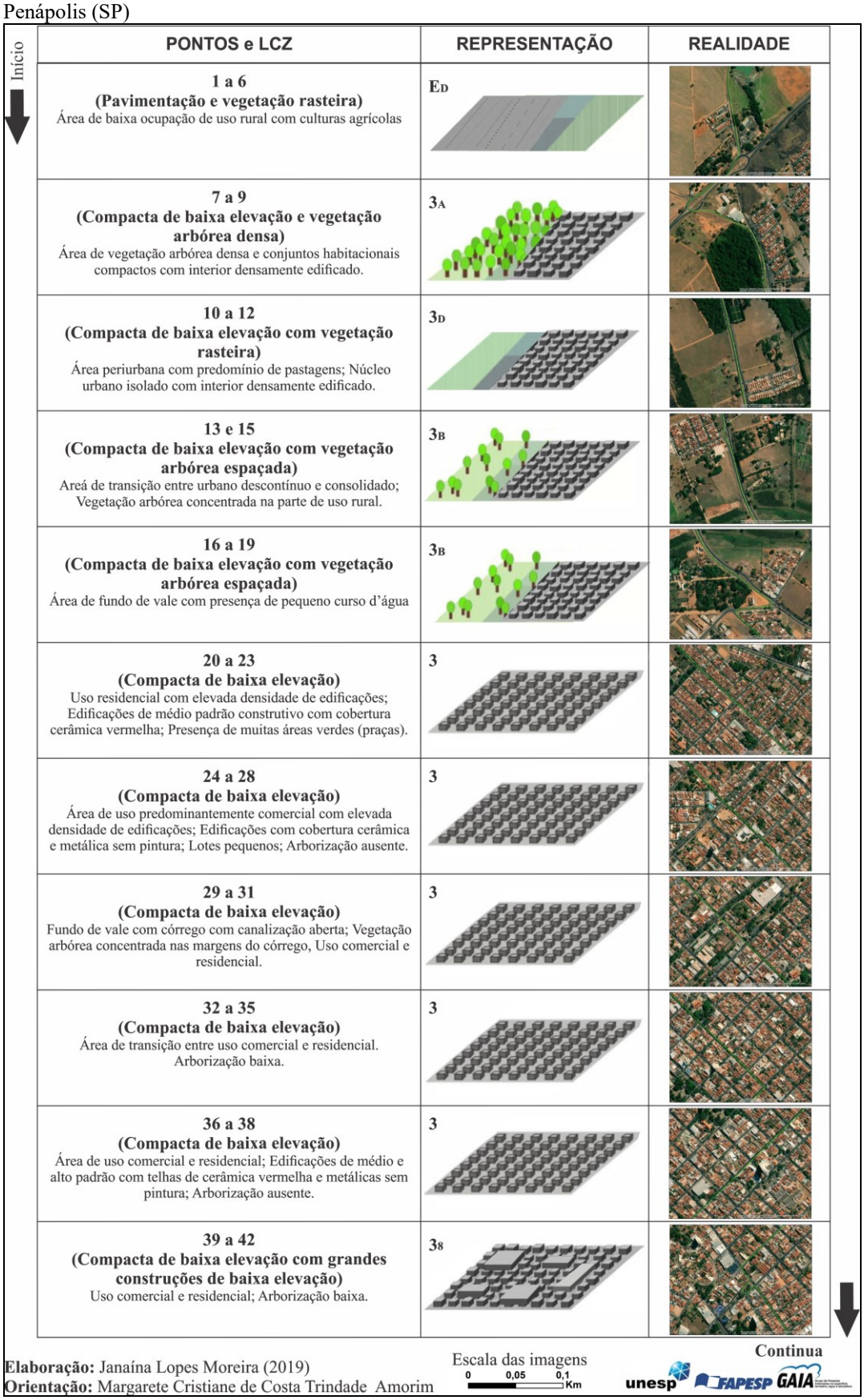
O setor que corresponde os pontos 39 ao 42 foi representado pela LCZ 3_8, pois abarca grandes construções comerciais tais como postos de gasolina, supermercados e estacionamentos de automóveis. Já dos pontos 43 ao 45, o uso torna-se predominantemente residencial, porém ainda com elevada densidade de edificação, por isso, foi representado pela LCZ 3.

O percurso se direciona para a Estrada do Mineiro, que liga os bairros localizados ao sul da malha à área rural e à Rodovia Marechal Rondon. O trajeto que compreende entre os pontos 46 e 48 é uma área de expansão urbana residencial que contém tecido urbano consolidado e não consolidado, assim, configura-se como LCZ 3_7. Os pontos seguintes, 49 a 51, LCZ 3_D, se configuram por uma área de transição entre o tecido consolidado densamente edificado e a área rural com pastagens.

A LCZ 3_7 foi encontrada também entre os pontos 52 e 55, portanto, se refere a uma área de expansão urbana com loteamentos recentes, com presença de solo exposto. Os pontos do percurso, 56 ao 58, compreendem a área rural com presença de vegetação arbórea densa e vegetação rasteira, LCZ A_D. Vale destacar o ponto 57, onde se localiza outro fundo de vale com corpo d'água com dimensão do espelho d'água de 2 metros. O percurso termina na área rural ao sul, área de cultivo agrícola e pastagens. Deste modo, os últimos pontos, 59 a 63, se configuram como LCZ D.

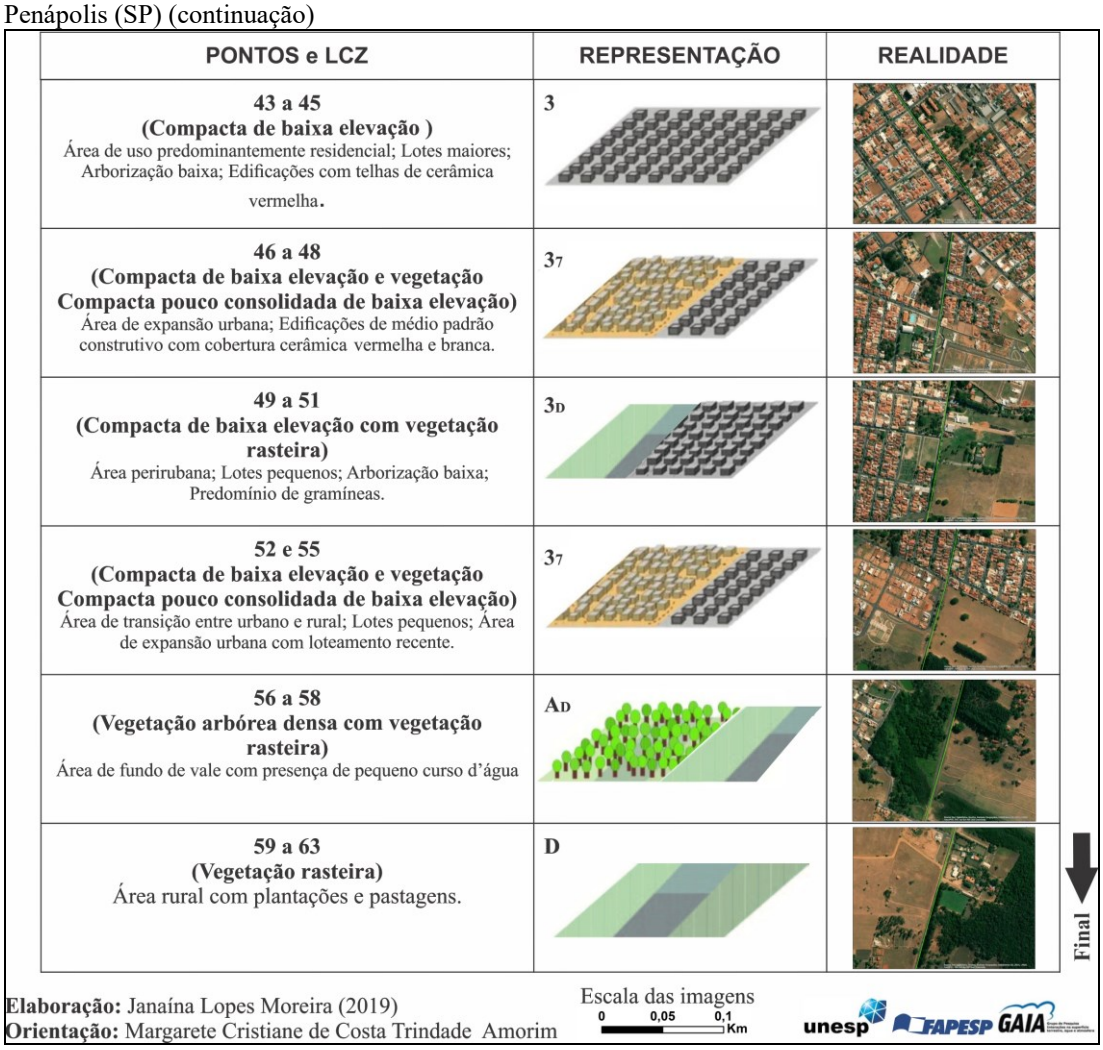
[19] (GOOGLE EARTH, 2020).

Figura 23 - Características de uso e ocupação da terra e as LCZs identificadas no percurso Noroeste-Sul em Penápolis (SP)



Fonte: Imagem composta/fusionada da *DigitalGlobe/ArcGIS* online versão 10.1 e Stewart e Oke (2012).

Figura 24 - Características de uso e ocupação da terra e as LCZs identificadas no percurso Noroeste-Sul em Penápolis (SP) (continuação)



Fonte: Imagem composta/fusionada da *DigitalGlobe/ArcGIS* online versão 10.1 e Stewart e Oke (2012).

5 ANÁLISE DOS INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL URBANA EM PENÁPOLIS

O indicador é um parâmetro de avaliação para mensurar quantitativamente ou qualitativamente determinado local, objeto ou elemento. Para além disso, ele é um dado, uma informação, valor ou descrição que retrata uma situação, um estado de coisas. Portanto, está atrelado a uma função, ao papel daquele dado, informação, valor ou descrição. Nesse sentido, um sistema de indicadores é o conjunto de informações selecionadas para expressar determinada situação de acordo com os objetivos (NAHAS, 2009).

O sistema de indicadores propostos por Nucci (2008), e utilizados nesta tese, resulta de uma eleição pautada na leitura de vários trabalhos que avaliaram o meio físico urbano. Configura-se como indicadores objetivos, que devido ao enfoque espacial, possibilitam tanto a análise qualitativa quanto quantitativa, bem como permite uma abordagem interdisciplinar e sistêmica, de fundamental importância para os estudos ambientais urbanos.

5.1 Indicador uso da terra

O uso da terra urbana é um dos indicadores mais importantes na avaliação da qualidade ambiental, uma vez que a partir dele é possível fazer inferências a respeito de outros indicadores (NUCCI, 2008). Nesse sentido, é recomendado que a avaliação da qualidade ambiental urbana se inicie por esse mapeamento.

Para Penápolis, os usos identificados para a elaboração da Carta de Uso da Terra (Figura 25) foram classificados em: Uso Residencial, Uso Comercial, Uso Industrial, Uso de serviços, Espaços livres de edificação e Lotes não construídos (Quadro 5).

Quadro 5 - Tipos de uso da terra classificados em Penápolis (SP)

Uso Residencial	Residências uni - familiares ou coletivas.
Uso Comercial	Lojas, bares, restaurantes, drogarias, concessionárias de veículos, postos de combustível.
Uso de Serviços	Postos de saúde, clínicas, hospitais, laboratórios, faculdades, escolas, creches, agências bancárias, academias, oficinas, borracharias, serralherias, madeireiras, Escritórios de todos os tipos, bombeiros, delegacia.
Uso Industrial	Curtumes, Indústria química, de embalagens, de soluções agrícolas, camisaria, frigorífico etc.
Espaços livres de edificações	Praças, canteiros de avenidas, rotatórias, cemitérios, parques, áreas de recreação (pública e privada) e hortas.
Lotes não construídos	Áreas que não estão construídas, podendo ser em lotes dentro do tecido urbano consolidado ou em áreas de expansão urbana.

Fonte: Autoria própria.

O mapeamento revelou que o uso industrial se encontra concentrado na porção norte da malha urbana, especificamente no Parque Industrial (n° 30). Apesar de estar concentrado a norte, o Parque Industrial se situa próximo a áreas residenciais, como por exemplo, os bairros Jardim Premier e Tóquio (n° 48 e 49). Fato que deve ser considerado para a qualidade do ambiente, uma que vez que esse uso é potencialmente gerador de poluição do ar e sonora que acarreta prejuízos aos residentes próximos. Além disso, o município conta com 2 curtumes, um deles está localizado na porção norte da malha (n° 19), cujo entorno é caracterizado pelo uso residencial.

Também com a identificação dos usos, foi possível notar a baixa incidência de espaços livres de edificação realmente efetivados e a grande quantidade de lotes vazios no interior do tecido consolidado de alguns bairros. Foram mapeados muitos espaços sem edificações e de tamanho significativo dentro de bairros de ocupação mais antiga, como por exemplo, o Silvia Covas a norte (n° 2). Acredita-se, que possivelmente são áreas que deveriam constituir o sistema de lazer e recreação para a população, porém que não foram efetivadas e não apresentam nenhum equipamento que as caracterizem como espaços verdes urbanos, nem mesmo bancos para possam funcionar como praças. Por essa razão, foram classificadas como lotes não construídos, apesar da maioria possuir vegetação arbórea.

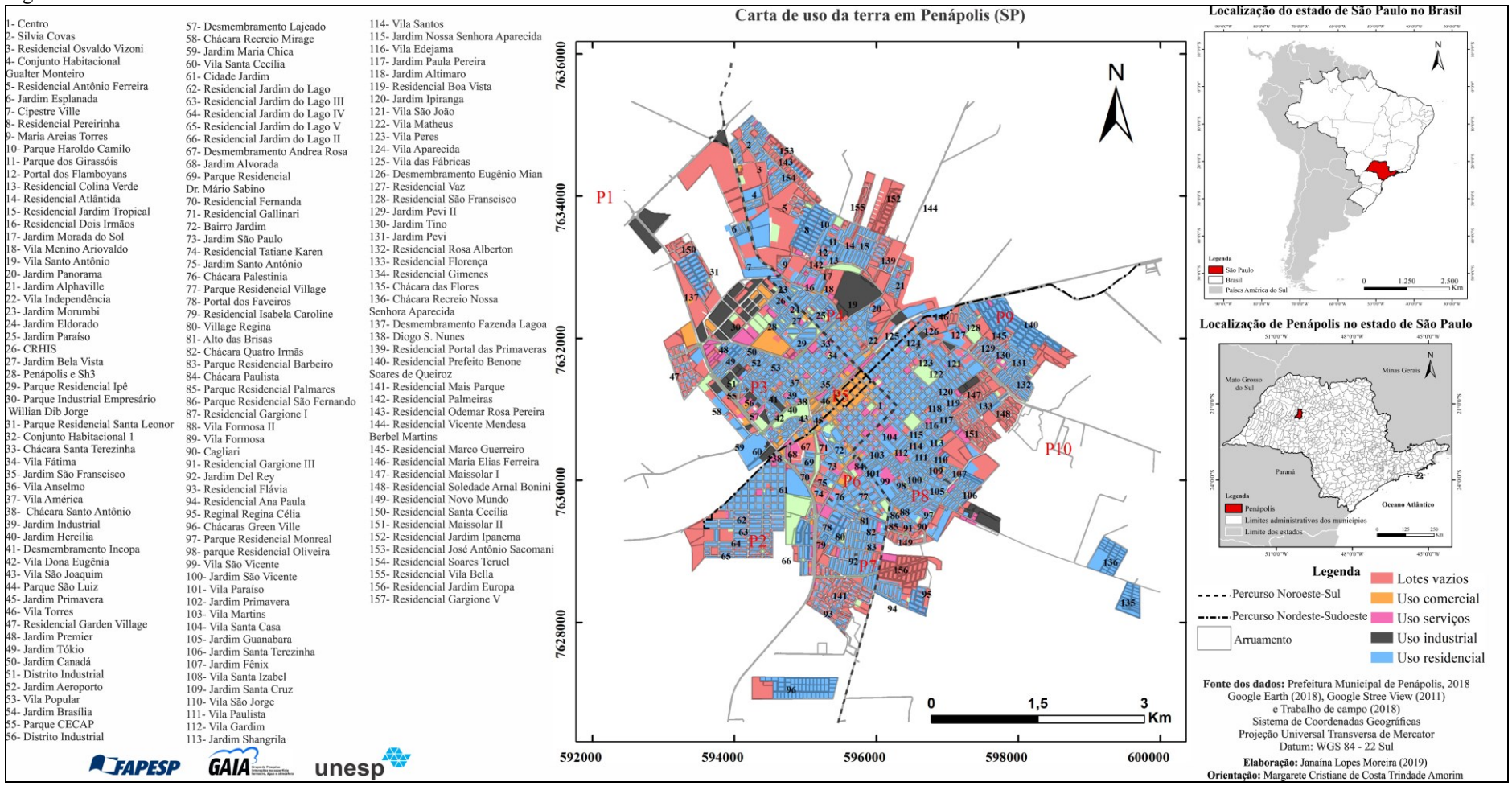
O uso comercial é bem concentrado no bairro Centro (n° 1) e a sudoeste deste (n° 43, 44 e 45). Já o uso serviços está presente por toda a malha urbana, no entanto, destaca-se a porção sudoeste da malha, bairros Jardim São Paulo, Res. Tatiane Karen e Jardim Santo Antônio (n° 73, 74 e 75). Esses dois tipos de uso também podem causar diminuição da

qualidade do ambiente quando misturados ao uso residencial, como exemplo tem-se os transtornos sonoros e de locomoção em virtude da maior circulação de veículos e pessoas.

Assim, o que ocasiona a queda da qualidade do ambiente no tocante ao uso da terra urbana é a mistura de usos incompatíveis. Portanto, deve-se ter atenção à combinação dos usos comercial, de serviços e industrial, especialmente quando estão localizados em áreas residenciais ou próximas a essas. Nessa perspectiva, as quadras que apresentam no mapeamento 3 usos ou mais combinados com o residencial foram consideradas os setores urbanos com incidência do aspecto negativo desse indicador. Esse tipo de uso misto foi identificado, principalmente, nas áreas de ocupação antiga, como o bairro Centro (n° 1). No entanto, também se verificou a incompatibilidade de usos em algumas quadras dos bairros Vila América, Incopa, Jardim Primavera, Distrito Industrial, Jardim, Jardim Primavera, Vila Martins e Vila Santa Casa (n° 37, 41, 45, 51, 72, 102, 103 e 104).

Setores urbanos que apresentaram 1 ou 2 usos incompatíveis ao residencial, principalmente os usos considerados poluidores (oficinas, marmorarias, curtumes entre outros), também foram considerados a incidência negativa desse indicador, assim, priorizou-se em uma análise qualitativa dos usos, considerando não apenas a quantidade, mas principalmente, o fato da incompatibilidade em relação ao uso residencial.

Figura 25 - Carta de Uso da Terra



5.2 Indicador população

Segundo Nucci (2008), a alta densidade populacional está diretamente relacionada com o desconforto, riscos de doenças, deficiência no abastecimento em geral, problemas na eliminação e deposição de lixo, mal-estar, ruídos, poluição, falta de privacidade, competição, congestionamento nas ruas, escassez de espaços livres para o lazer, falta de participação popular. Todos esses fatores contribuem para a deterioração da qualidade da vida urbana. Assim, esse indicador é de grande valia ao poder público municipal, pois fornece informações do número de pessoas afetadas por possíveis problemas urbanos, bem como norteia a elaboração de políticas públicas de planejamento e ordenamento urbano.

Como mencionado anteriormente, o indicador população foi cartografado com base nos dados dos números de moradores permanentes de domicílios particulares do censo do IBGE de 2010. A distribuição da população com base nesses dados pode ser observada na Figura 26.

Em Penápolis, no total foram 82 setores censitários urbanos, sendo que o IBGE omite as informações referentes aos setores que possuem menos de cinco domicílios particulares permanentes. Assim, houve um setor urbano ao norte que não possuiu informações, ou seja, ficou representado na cor branca devido à ausência de dados. A legenda foi organizada em intervalos de 5 classes: 0 a 257, 258 a 513, 514 a 770, 771 a 1026 e 1027 a 1283, cuja unidade corresponde a um morador.

O terceiro intervalo (514 a 770) foi o que apresentou maior incidência, seguido do quarto (771 a 1026) e quinto (1027 a 1283), depois o primeiro (0 a 257) e, por último, o segundo intervalo (258 a 513) (Quadro 6). Assim, as classes com maior e menor quantidade de moradores permanentes por domicílios tiveram menor ocorrência.

Quadro 6 - Classes de número de moradores e suas incidências por setor censitário em Penápolis (SP)

Classe (n° de moradores)	Incidência por setor censitário
0 – 257	10
258 – 513	6
514 – 770	30
771 – 1026	24
1027 – 1283	11

Fonte: IBGE (2010).

De maneira geral, o mapeamento desse indicador demonstrou que a classe de maior número de moradores por setor censitário (1027 a 1283) se localizou nas áreas periféricas da cidade em alguns bairros residenciais ao nordeste (n° 10, 11 12, 13, 14, 15 e 142), que correspondem aos bairros Pq. Haroldo Camilo, Pq. dos Girassóis, Portal dos Flamboyans, Res. Colina Verde, Res. Atlântida, Res. Jardim Tropical e Residencial Palmeiras.

Essa classe também compareceu nos setores urbanos ao norte (n° 7, 9, 16, 23, 25, 26, 30 e 32), que se referem aos bairros Cipreste Ville, Maria Areias Torres, Res. Dois Irmãos, Jd. Morumbi, Jd. Paraíso, CRHIS, Pq. Industrial Empresário Willian Dib Jorge e Conjunto Habitacional I. Esse intervalo também ocorreu nos setores ao sul da malha (n° 79, 81, 82, 83, 85, 86, 91, 92 e 105), os quais correspondem aos bairros: Residencial Isabela Caroline, Alto Das Brisas, Chácara Quatro Irmãs, Pq. Residencial Miguel Barbeiro, Pq. Residencial Palmares, Pq. Residencial São Fernando, Residencial Gargione III, Jd. Del Rey e Jd. Guanabara. Ao leste, o bairro Jd. Pevi (n° 131) e a oeste o bairro Cidade Jardim (n° 61) também se apresentaram nessa classe.

O intervalo de classe que corresponde 771 – 1026 moradores foi o segundo de maior incidência e ocorreu principalmente próximo aos setores da última classe, ou seja, em áreas distantes do centro. Dentre essas, destacam-se os bairros ao sudoeste (n° 59, 60, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75), que se constituem conjuntos residenciais de padrão construtivo mais elevado, com população de renda mais elevada se comparado com os outros setores da classe anterior, como é o caso dos bairros Jd. do Lago I, II, III e IV.

Como já mencionado, a classe 514 a 770 foi a de maior incidência, principalmente, ao nordeste da malha com os setores n° 20, 22, 124, 125, 126, 127,146 e 156. De maneira geral, essa porção da malha se configura como área de expansão urbana, com bairros muito recentes, que provavelmente, na época do censo, estava em fase de loteamento e construção, fato que explica o menor número de moradores permanentes nos domicílios. Essa classe também representou os bairros ao leste: Jd. Hercília, Incopa, Vila Dona Eugenia, Vila São Joaquim e Pq. São Luiz (n° 40, 41, 42, 43 e 44)

O intervalo de 258 a 513 foi o de menor incidência e foi observado na porção central com destaque para o bairro Centro (n°1), que corresponde à localização do centro comercial. Nos setores ao sul do centro, bairros n° 103, 104 e 112 e a leste, bairros n° 122 e 123 também apareceu essa classe e corresponde respectivamente à localização de vários comércios e serviços, como, por exemplo, a Santa Casa de Misericórdia e o cemitério da cidade. Portanto,

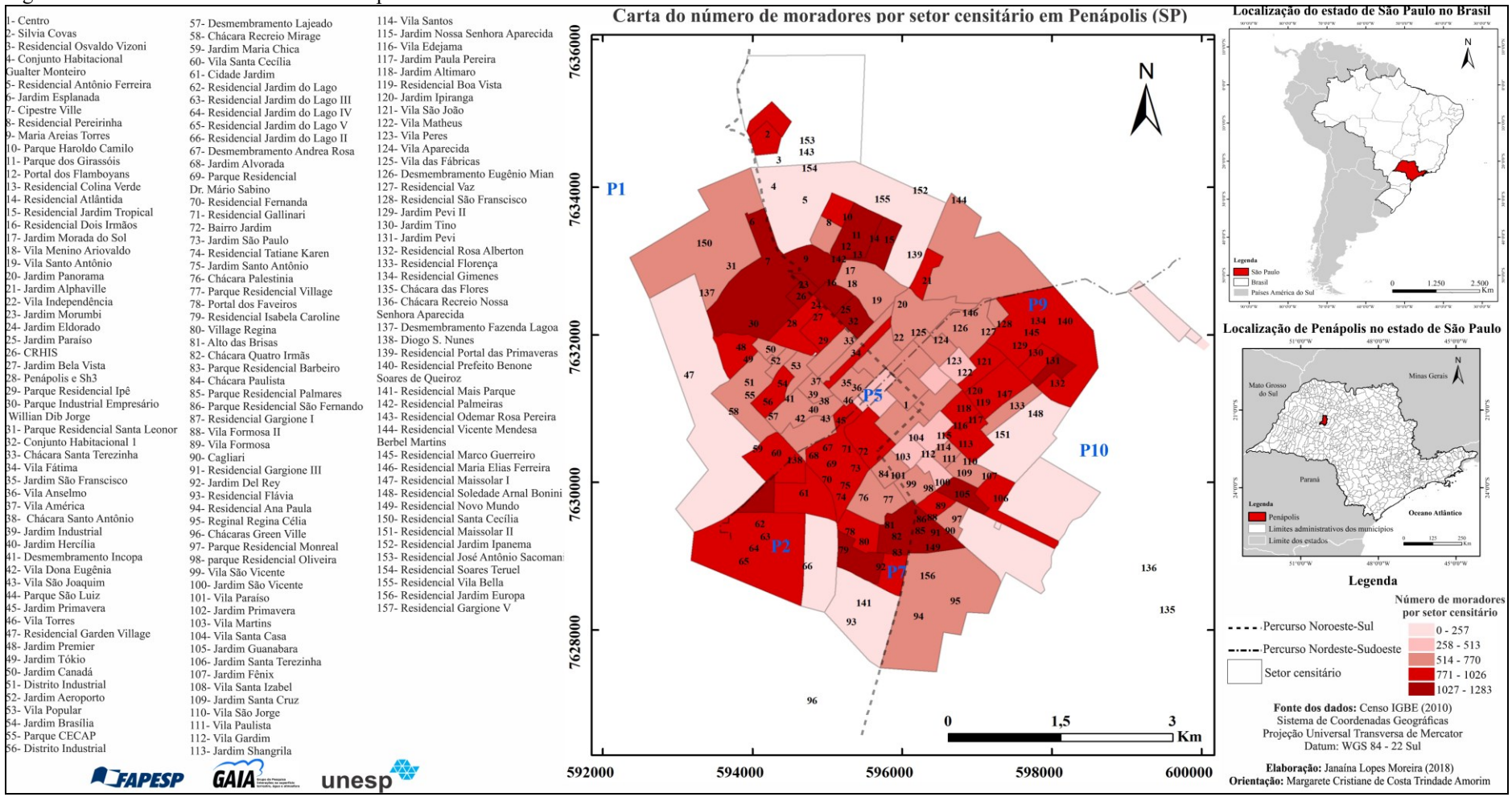
o menor número de moradores nesses setores urbanos se justifica pelo tipo de uso da terra, uma vez que são áreas comerciais e/ou mistas ou livres de edificação.

A classe que se refere aos menores valores de moradores de domicílios se localizou as margens da malha urbana (n° 4, 5, 47, 139, 141, 148, 151 e 155). Tais áreas eram abrangidas por propriedades rurais, na época do censo, e agora correspondem à loteamentos em processo de abertura e/ou abertos muito recentemente, como é o caso dos bairros Res. Vila Bella (n° 155) e Res. Garden Village (n° 47), ao nordeste e oeste respectivamente.

Assim, o indicador população, representado pelo número de moradores por domicílios, é diretamente influenciado pelo uso da terra urbana, uma vez que os menores números de moradores se localizaram em áreas onde o uso residencial não é predominante. Além disso, através da análise desse indicador, foi possível verificar que os setores urbanos que apresentaram mais de 771 moradores correspondem à localização de bairros de conjuntos habitacionais distantes do centro, cuja criação se dá a partir dos anos de 1990. Após essa década, o que se nota é um modelo de urbanização marcado por lotes pequenos e a ausência de áreas verdes e livres de edificação, fato que contribuiu para que esses bairros fossem os setores urbanos mais habitados.

Portanto, a distribuição da população em Penápolis foi influenciada por vários motivos, dentre os quais se destaca o uso da terra, o estágio de consolidação dos assentamentos e questões de ordem estrutural, como o tipo de parcelamento do solo (tamanho do lote e percentual de áreas reservadas ao público). No entanto, vale destacar que o problema não reside na quantidade de pessoas, já que a cidade é por gênese uma forma de concentração humana, mas sim a ausência/insuficiência de equipamentos, serviços e estruturas urbanas para garantir a qualidade de vida à essa população. Nesse sentido, os dois setores com os maiores números de habitantes (acima de 771 moradores) foram considerados as áreas com incidência do aspecto negativo desse indicador, haja vista que reúnem outras condições para que a densidade populacional se torne um problema para a qualidade de vida, como por exemplo, lotes pequenos (maior impermeabilização) e muito alta e alta densidade de edificação.

Figura 26 - Carta do número de moradores por setor censitário



5.3 Indicador densidade de edificações

Para análise do indicador densidade de edificações foram definidas 5 categorias: muito alta, alta, média, baixa e sem edificações. Essas categorias foram representadas com cores na carta (Figura 27), o que possibilitou a identificação do predomínio da densidade de edificações alta.

A muito alta densidade de edificações foi encontrada nas áreas centrais da malha no bairro centro (n° 1), na Vila Martins (n° 103) e na Vila Gardim (n° 112). Essa classe também ocorreu ao leste nos bairros Jd. Tino e Jd. Pevi (n° 131 e 132), ao norte, no bairro Penápolis e SH3 (n° 28) e ao sul, nos bairros Vila Formosa (n°89) e Del Rey (n° 92).

Como já mencionado, a alta densidade de edificações apareceu na maior parte da malha urbana em Penápolis, sobretudo nos conjuntos residenciais mais antigos como Jd. São Vicente (n° 100), Jd. Guanabara (n° 105), Jd. Santa Terezinha (n° 106) localizados ao sul e Vila Fátima (n° 34), Jd. São Francisco (n° 35), Vila Anselmo (n° 36), Vila América (n° 37) ao norte (Figura 26). No entanto, conjuntos residenciais mais recentes também apresentaram média densidade de edificações como é o caso do Jd. do Lago I, II, III e IV (n° 62, 66, 63 e 64) a sudoeste e o Res. Pereirinha (n° 8), Pq. Haroldo Camilo (n° 10), Pq. Dos Girassóis (n° 11), Res. Colina Verde (n° 13), Res. Atlântida (n° 14), Jd. Tropical (n° 15) a nordeste (Figura 26).

A classe de densidade média se localizou próxima às áreas periféricas de expansão urbana. Podem-se mencionar os conjuntos residenciais Jd. do Lago V (n° 65), Flávia (n° 93) e Mais Parque (n° 141). O Distrito Industrial (n° 30) a nordeste também possui essa densidade de edificações. Já na classe de densidade baixa se enquadram duas chácaras, Green Ville (n° 96) e Recreio Nossa Senhora Aparecida (n° 136) e os bairros recentes como o Garden Village (n° 47) e o Residencial Tatiane Karen (n° 74).

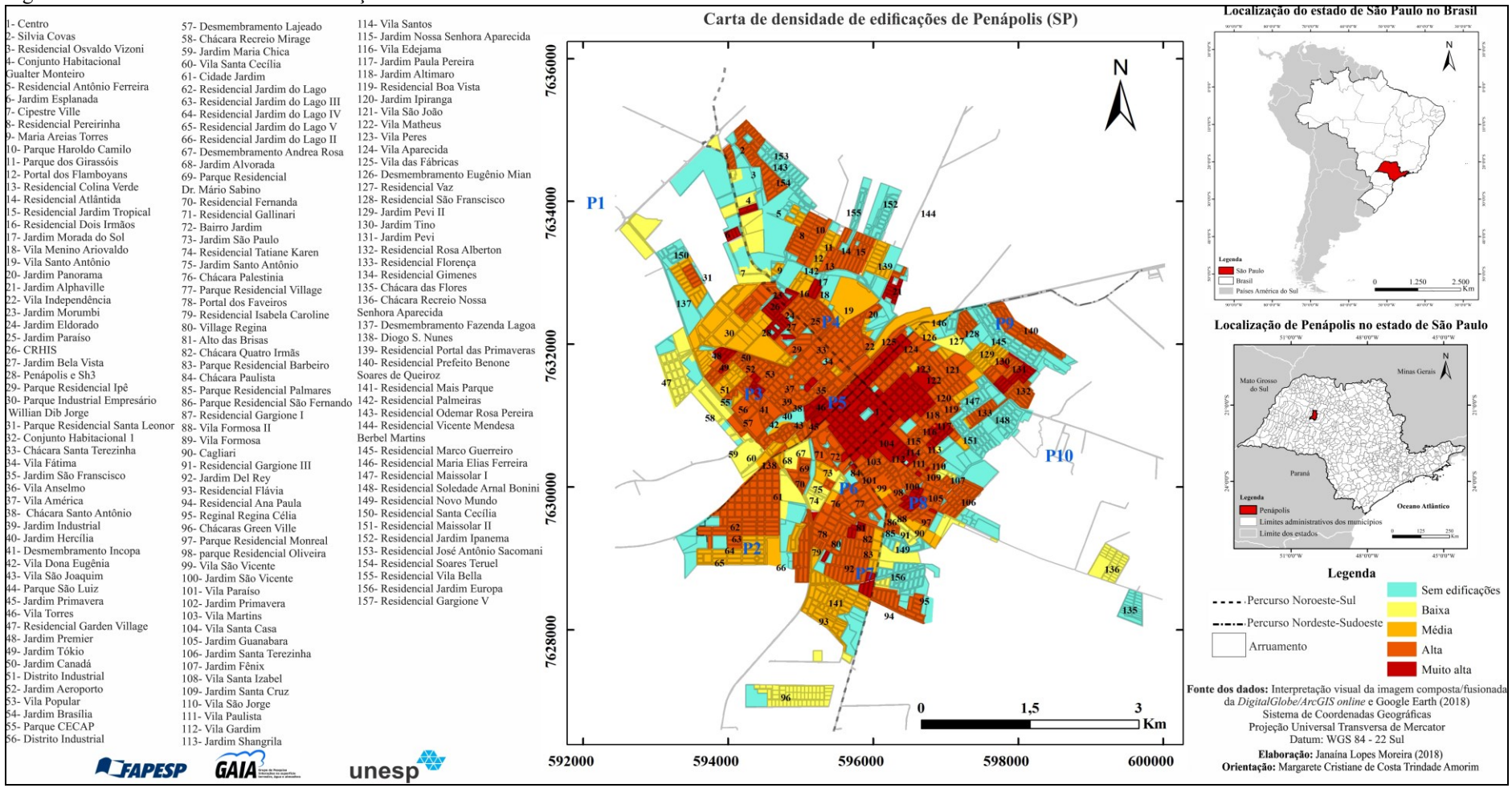
A última classe “sem edificações” correspondeu à localização de áreas verdes, praças, parques, gramados e vazios urbanos entre os conjuntos residenciais bem como os loteamentos abertos recentemente, como por exemplo, os residenciais Soledade Arnal Bonini (n° 148), Maissolar II (n° 151), Jardim Ipanema (n° 152), Jd. José Antônio Sacomani (n° 153), Vila Bella (n° 155), que se apresentam em fase de delimitação de lotes.

Portanto, com base no mapeamento desse indicador algumas características foram identificadas:

- ✓ O centro comercial e de serviços é marcado pela alta densidade de edificações.
- ✓ Os bairros mais antigos, caracterizados pela proximidade do centro e pelas quadras em formato quadrado, são setores com densidade de edificação média.
- ✓ Os conjuntos habitacionais mais recentes e periféricos possuem de média a baixa densidade de edificações.
- ✓ Os setores urbanos sem edificações estão localizados predominantemente nas bordas da malha urbana, o que indica a insuficiência de áreas livres de edificação no interior da cidade.

Em suma, o indicador de densidade de edificações demonstrou que os usos comercial e residencial apresentaram as maiores densidades de edificações, o que significa a potencialização dos problemas ambientais e de infraestrutura. Dessa forma, é importante que o poder público atue de maneira mais efetiva no controle da ocupação da terra urbana, principalmente nos novos loteamentos residenciais em processo de instalação. Para esse indicador, a classe “Densidade muito alta” foi considerada o aspecto negativo no cruzamento das cartas.

Figura 27 - Carta de densidade de edificações



5.4 Indicador cobertura vegetal arbórea

A vegetação é um dos componentes mais importantes ao avaliar a qualidade ambiental urbana. A presença de vegetação do tipo arbóreo, em densidade adequada, pode minimizar vários problemas urbanos, desde inundações até a poluição do ar e sonora. Os efeitos sobre a temperatura são bastante conhecidos, ao mesmo tempo em que a vegetação tem a capacidade de não se aquecer facilmente, e consequentemente, não liberar calor, ela também reduz a temperatura do entorno por meio da redução do calor sensível disponível para o uso nos processos de evapotranspiração.

Entretanto, a vegetação urbana também se relaciona a outras variáveis de bem estar, pois pode estar associada aos espaços livres de edificação, recreação e ao lazer, os quais possuem grande peso para a qualidade de vida urbana (NUCCI, 2008). Como afirma Ugeda Júnior (2012, p. 115), "Acredita-se, que a vegetação urbana tenha a capacidade de minimizar os impactos ambientais negativos produzidos no processo de urbanização, esteja ela localizada no sistema de espaços livres de edificação, no sistema de circulação ou dentro dos lotes".

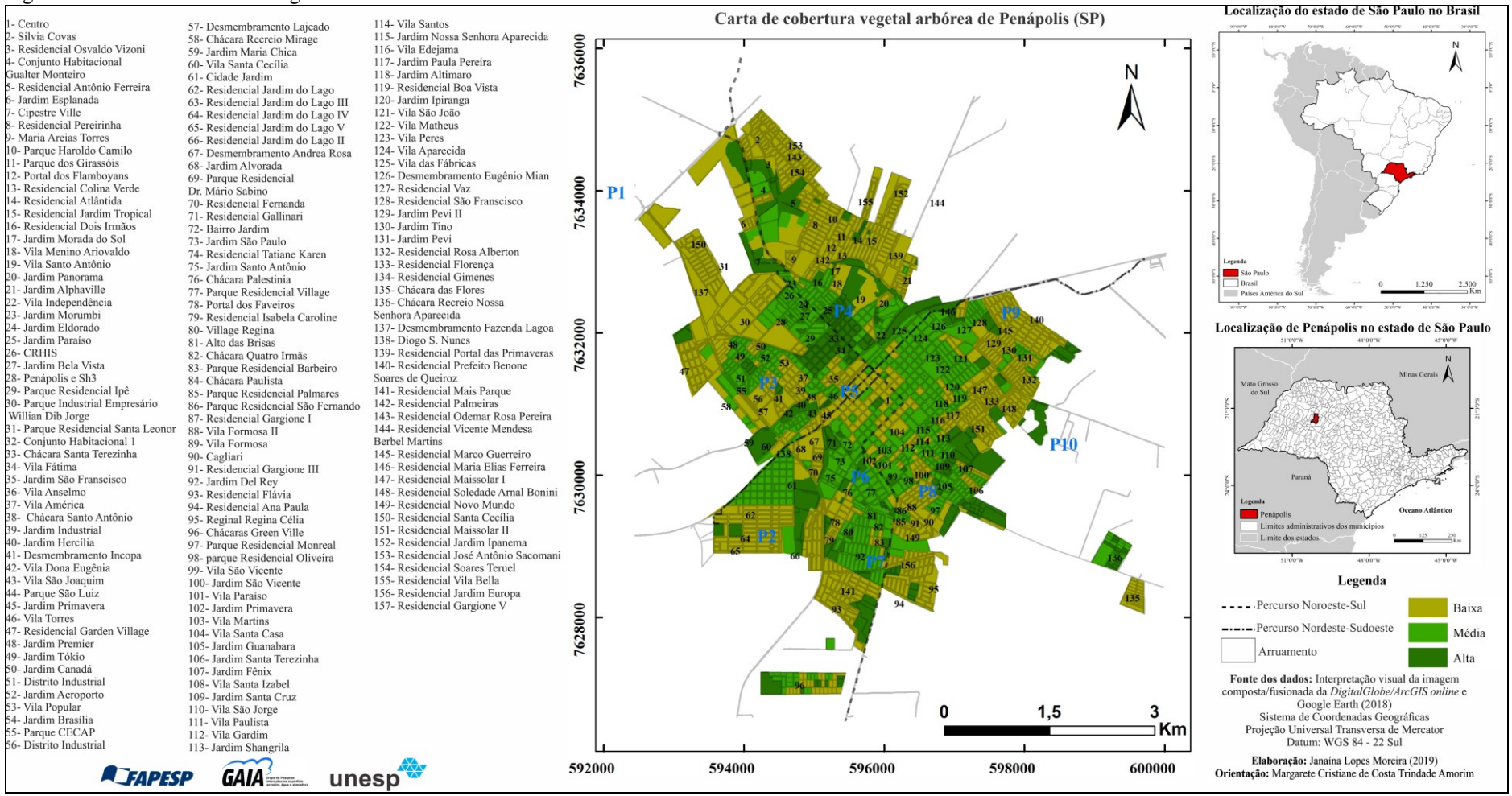
Nesse sentido, foi realizado o mapeamento do indicador de cobertura vegetal arbórea na cidade de Penápolis (Figura 28). A carta gerada revelou o predomínio da classe de "Baixa" cobertura, a qual esteve presente no centro comercial (n° 1), bairros residenciais densamente construídos (n° 8, 12, 13, 41, 56, 57, 68, e 138) e bairros de ocupação recente (n° 62, 63, 64, 65, 85, 91, 93, 94, 127, 128, 128, 130, 132, 157). O Parque Industrial (n° 30) também se caracteriza por essa classe.

A segunda classe de maior incidência foi a de média cobertura vegetal arbórea. Foi encontrada nos bairros de residências de ocupação mais antiga, tais como Parque Residencial Village (n° 77), Residencial Oliveira (n° 98), Vila São Vicente (n° 99), Vila Martins (n° 103), Vila Santa Casa (n° 104), Vila Peres (n° 123), Vila Aparecida (n° 124) entre outros.

Dentro da malha urbana, com exceção dos espaços livres de edificação, os bairros que tiveram alta cobertura vegetal arbórea se localizam a norte do centro, tais como Jardim Paraiso (n° 25), Conjunto Habitacional 1 (n° 32), Chácara Santa Terezinha (n° 33) e Vila Fátima (n° 34). Outros bairros que foram classificados nessa categoria estão localizados a sudoeste do centro (n° 61, 66, 67, 69 e 70), que correspondem aos bairros Cidade Jardim, Jardim Alvorada, Desm. Andrea Rosa, Parque Residencial Dr. Mario Sabino e Residencial Fernanda.

Dessa forma, com a espacialização desse indicador, verificou-se a insuficiência de vegetação de porte arbóreo na área urbana de Penápolis com agravamento no centro e em loteamentos recentes. Assim, a classe “Baixa” foi o aspecto negativo desse indicador.

Figura 28 - Carta de cobertura vegetal arbórea



5.5 Indicador poluição potencial

Analisar a poluição nas cidades por meio de medidas diretas é extremamente oneroso. Se em grandes cidades a dificuldade já existe, em cidades de pequeno porte populacional como em Penápolis se torna inviável. A cidade não conta com órgãos de controle de qualidade do ar, tampouco a Prefeitura apresenta recursos financeiros para contratar serviço especializado ou comprar equipamentos que façam qualquer tipo de medição do ar na área urbana ou rural.

Dessa forma, tal cenário gerou a necessidade de se buscar metodologias alternativas, através dos dados disponíveis em campo para alcançar os objetivos da pesquisa. Portanto, com base na revisão bibliográfica foram encontrados autores que trabalharam com os dados indiretos de poluição, especificamente o uso da terra, o qual seria o principal indicador de possíveis fontes de poluição na cidade. A proposta apresentada por Nucci (2008), e aplicada por Ugeda Júnior (2012) e Minaki (2014), de verificar em quais locais da cidade ocorrem alguns tipos de uso da terra potencialmente geradores de poluição se mostrou adequada.

Os usos potencialmente poluidores e relevantes para a cidade de Penápolis foram: rodoviária, oficinas mecânicas, funilarias e pintura, borracharias, postos de combustível, marmorarias, serralherias, torrefações, algodoeiras, curtumes, frigoríficos, alguns usos industriais e as principais vias de circulação da cidade. Com a localização desses usos, houve a delimitação das áreas com base na malha urbana digital, gerando assim a carta de poluição potencial (Figura 29).

Vale ressaltar que utilizou-se a referência da quadra para a delimitação das áreas, portanto, se uma quadra possuía um uso potencial de poluição, toda a quadra foi delimitada. O mesmo procedimento foi realizado com as vias de maior circulação. A demarcação ocorreu até metade da quadra, visto que a poluição dos veículos não se restringe aos limites do arruamento. A escolha por essa metodologia foi pautada em Nucci (2008, p. 76), que aponta:

> Não é preciso muito esforço para comprovar que as serralheiras, mecânicas, funilarias e postos de gasolina são usos altamente poluidores. Mecânicas, funilarias e postos de gasolina trabalham diretamente com automóveis, motos, ônibus e caminhões e, portanto, o afluxo de veículos para esses locais é muito alto; consequentemente essas áreas sofrem com a poluição atmosférica e sonora proveniente desses veículos. Além disso, o próprio funcionamento desses estabelecimentos gera poluição, que não fica restrita ao interior dos estabelecimentos, mesmo porque muitas oficinas e postos de gasolina utilizam a calçada como área para seus serviços. As serralherias apresentam como principal

> incômodo a geração de ruídos, mas também ocorre um aumento do movimento de veículos e a utilização das calçadas para os serviços.

Pela carta de poluição potencial, se observou fontes poluidoras mais concentradas a norte e noroeste da malha em decorrência da localização do Distrito Industrial (n° 30), onde há a concentração de serralherias, marmorarias e indústrias de peças de aço e metal. Os postos de combustível se concentram mais no bairro Centro (n° 1), principalmente na Avenida Bento da Cruz (n° 43, 45 e 46) e Av. Alaíde Ferraz de Almeida (n° 138).

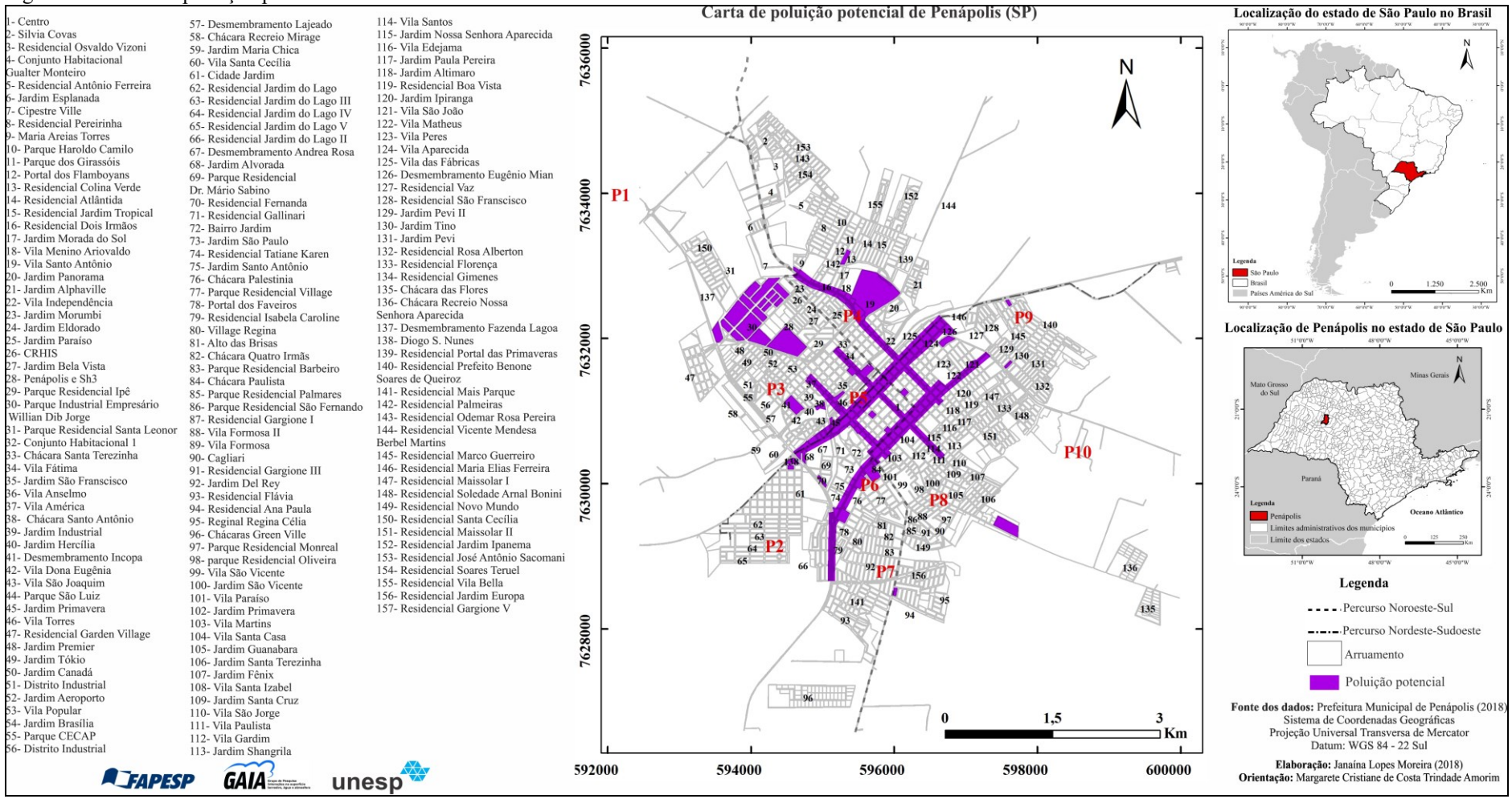
As oficinas mecânicas foram as mais numerosas e se localizam mais ao centro da malha (n° 1, 35, 36, 42 e 44), a oeste (n° 138) e sudoeste (n° 70, 78 e 84). Os curtumes também foram delimitados, sendo que um se localiza ao norte (n° 19) e o outro ao sul em direção ao rural próximo (n° 106).

Como já mencionado anteriormente, em Penápolis as ruas são perpendiculares à linha férrea e as avenidas paralelas a ela. Assim sendo, as ruas estão dispostas longitudinalmente enquanto as avenidas latitudinalmente. As avenidas com mais fluxo de veículos são as que ligam o extremo oeste ao leste da cidade, sendo essas a: Av. Santa Casa (n° 121 e 122), Av. Leandro Ratisbona de Medeiros (n° 73, 74, 75 e 76), Av. Olsen (n° 1 e 72), Av. Luís Osório (n° 1, 124), Av. Bento da Cruz (n° 1 e 45) e Av. Alaíde Ferraz de Almeida (n° 67, 68 e 138).

Já as ruas de maior movimentação são as que atravessam o centro de norte a sul como: Rua Giácomo Paro (n° 32), Rua Ramalho Franco (n° 35, 36, 104 e 112) e Rua Amazonas (n° 37, 39, 44 e 45). Outra via que possui fluxo intenso de veículos é a Estrada dos Irmãos Buranello (n° 6, 7, 25) que liga a entrada norte da cidade ao centro.

Esse indicador é de grande valia para a qualidade ambiental, e especialmente, para a análise do clima urbano, pois se sabe que o aumento na concentração de poluentes reduz a quantidade de radiação solar de superfície. Em contrapartida, os gases de efeito estufa, na atmosfera absorvem a radiação de onda longa terrestre e a irradiam novamente, resultando em aumento da temperatura da superfície e do ar (CHOW et al., 2006). Assim, todas as áreas onde foram identificados usos potencialmente poluidores foram consideradas negativas no cruzamento dos indicadores.

Figura 29 - Carta de poluição potencial



5.6 Indicador ocorrência de enchentes

A urbanização brasileira se desenvolveu embasada na visão positivista da natureza, em que as necessidades humanas são priorizadas e sobrepostas às condições naturais. Como resultado, as cidades brasileiras possuem os mais variados problemas ambientais, os quais refletem em prejuízos à qualidade de vida, especialmente dos menos favorecidos economicamente.

As enchentes são fenômenos hidrológicos que ocorrem quando há o aumento de vazão e o volume de água extravasa a calha do curso d'água, ocupando em parte ou no todo o leito maior ou a várzea (VELENTE, 2009). Portanto, trata-se de um fenômeno natural, que no contexto urbano, devido ao desrespeito às dinâmicas das bacias hidrográficas tornam-se episódios danosos aos citadinos.

Segundo Tucci (2005, p. 28), as enchentes urbanas ocorrem devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou não. As inundações naturais ocorrem em áreas ribeirinhas, quando a água atinge o leito maior dos rios, e são derivadas das variabilidades temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Já as inundações resultantes da urbanização, atingem a drenagem urbana por conta do efeito da impermeabilização do solo, da canalização do escoamento ou das obstruções ao escoamento.

Como o processo de urbanização brasileiro ocupou e impermeabilizou os leitos dos rios, em muitas cidades esses dois processos se combinam gerando enchentes de grandes proporções. Assim, o fenômeno de enchente é uma das formas mais nítidas da interferência na qualidade de vida da população de baixa renda, já que esta é obrigada a ocupar áreas de risco, que normalmente apresentam não somente este, mas vários problemas ambientais. Portanto, por meio das inundações urbanas, é possível observar não somente o insucesso do modelo de planejamento urbano adotado no país, mas também as desigualdades sociais e ambientais oriundas desse processo.

Em Penápolis a ocorrência de enchentes é preocupante, uma vez que é um problema antigo, cujos danos materiais são recorrentes, ou seja, os gastos municipais para recuperar e/ou reconstruir as estruturas urbanas ocorrem quase anualmente.

Os resultados analisados a seguir são oriundos de pesquisa no banco de dados online do jornal local online Diário de Penápolis, de visita ao acervo de jornais do Museu Histórico de Penápolis e de fotografias fornecidas por moradores em dias de eventos extremos de

chuva. Esses materiais proporcionaram a identificação dos pontos onde historicamente acontecem as enchentes do município.

A principal causa das enchentes em Penápolis é a quantidade insuficiente de galerias pluviais. A cidade não possui bueiros suficientes ao longo das avenidas (instaladas paralelamente à linha férrea e ao Córrego Maria Chica), o que faz com que grande volume d'água escoe superficialmente para o centro da cidade (Figura 30). Assim, o ponto mais crítico em relação ao risco de enchentes é a parte urbana do Córrego Maria Chica (ponto 1) que compreende a localização dos bairros Centro (n° 1), Vila Fátima (n° 34), Jd. São Francisco (n° 35), Vila Anselmo (n° 36), Jd. Hercília (n° 40), Vila Dona Eugenia (n° 42), Vila São Joaquim (n °43), Parque São Luiz (n° 44), Jd. Primavera (n° 45) e Vila Torres (n° 46) (Figura 31).

Figura 30 - Parte do Córrego Marica Chica no centro comercial em 10 de setembro de 2018



Fonte: Imagens enviadas às redes sociais pelos moradores.

As manchetes do jornal local "Diário de Penápolis" dos últimos anos confirmam o mapeamento e a existência de enchentes nessa localidade (Quadro 7). Também se percebe o recorrente gasto de orçamento público em obras de reconstrução das galerias pluviais e da estrutura da canalização do Córrego (notícias do dia 07/03/2013; 26/06/2013; 28/11/2017 e 17/10/2018). Esse ponto se caracteriza como o mais preocupante, pois se trata de um trecho

do centro comercial de elevado fluxo de pessoas, que inclusive, abarca a localização da Câmara e o Paço Municipal. As matérias dos jornais retratam o estado crítico do local em dias de chuva e aborda o incômodo dos moradores, impossibilitados de saírem de seus empregos ou de suas casas.

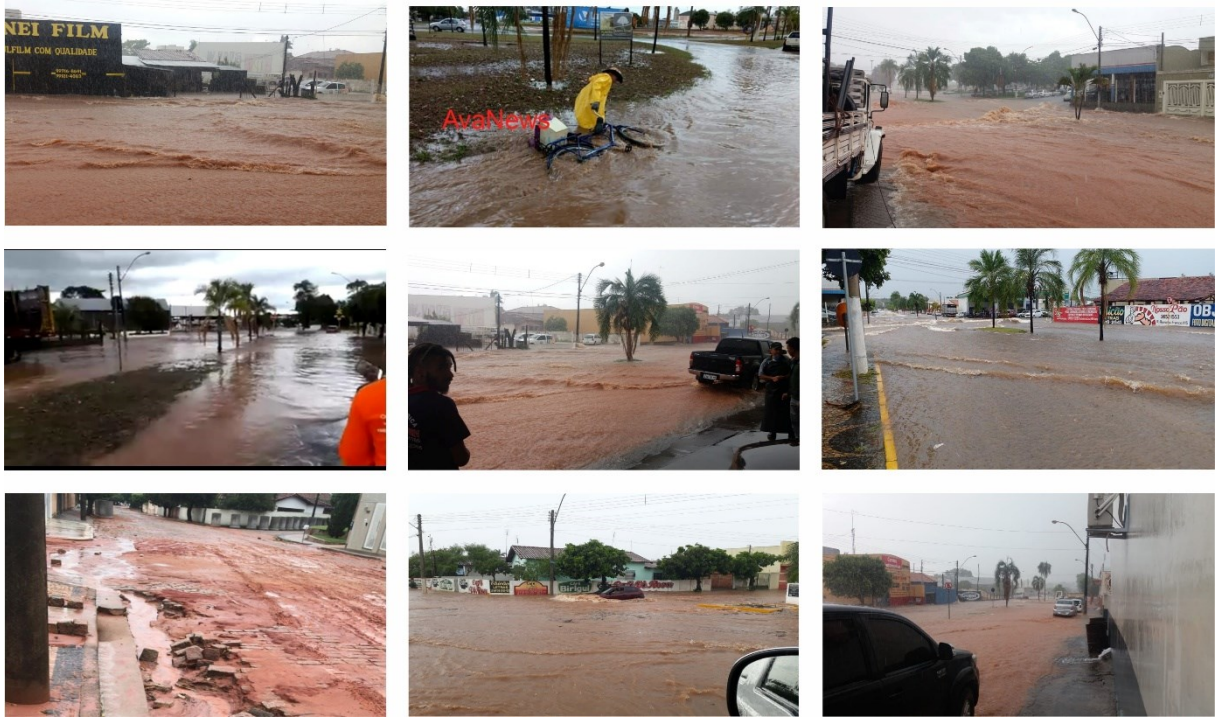
Quadro 7 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 1

Data	Manchete	Ponto de enchente	Ruas citadas	Conteúdo
07/03/2013	Prefeitura executa obras para conter alagamento próximo à Rodoviária	Ponto 1	Avenida João Antônio de Castilho, próximo ao Terminal Rodoviário.	"Os serviços que estão sendo executados visam diminuir o grande volume de águas pluviais que escoa pela linha férrea em direção à Rodoviária, e acabam por inundar a região, causando transtornos à população e prejudicando os comerciantes locais. Sendo assim, a Secretaria de Obras e Serviços executa a limpeza geral da área e também o desassoreamento da galeria de águas pluviais existentes sob a linha férrea, em parceria com o DAEP (Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis) [...]"
26/06/2013	Prefeitura reconstrói galeria danificada pelas chuvas	Ponto 1	Rua João Antônio de Castilho com a Avenida Rui Barbosa, próximo à linha férrea.	"Desde o início da semana, a Secretaria de Obras e Serviços da Prefeitura de Penápolis executa a reconstrução da galeria de águas pluviais localizada no cruzamento da Rua João Antônio de Castilho com a Avenida Rui Barbosa, próxima à linha férrea. O alinhamento dos tubos foi totalmente prejudicado com a erosão subterrânea causada pelas águas das chuvas, que ao invés de percorrer pela tubulação, penetraram por baixo e nas laterais da galeria que acabou afundando."
28/11/2017	Estrago Trecho da Marginal Maria Chica é interditado	Ponto 1	Av. Marginal Maria Chica, Ruas Ramalho Franco e Irmãos Chrisóstomo de Oliveira.	"A medida se faz necessária em razão de danos graves causados pela chuva no talude da canalização do córrego Maria Chica. Já na semana passada, por conta da forte chuva do dia 23, haviam sido registrados danos no local, entretanto não ofereciam risco aos veículos que transitavam pela rua. Porém, com a chuva forte da tarde desta segunda-feira (27), os estragos se agravaram e houve a necessidade da medida, já que ocorreu um grande aumento da erosão, devido à soltura de uma placa de concreto."
17/10/2018	Maria Chica: Reparos são realizados em danos causados pela chuva	Ponto 1	Ruas Ramalho Franco e Irmãos Chrisóstomo de Oliveira	"A Secretaria Municipal de Obras e Serviços, em parceria com o DAEP (Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis), iniciou ontem o trabalho de recuperação dos estragos causados pelas chuvas em um trecho da canalização do córrego Maria Chica. Os reparos são efetuados em uma das laterais do canal, localizada nas imediações da Câmara Municipal."
27/11/2018	Prejuízos: Chuva forte causa transtornos com inundações	Ponto 1 e 2	Avenidas João Antônio de Castilho e Maria Chica e Ruas Amazonas e Antonieta Vilella Ferreira.	"A avenida parecia um grande rio e os veículos ficaram impedidos de transitar no local por conta das enxurradas. Populares relataram em redes sociais que o córrego Maria Chica, que corta a cidade, também chegou a transbordar devido ao grande volume de chuva. Também nas redes sociais, uma pessoa divulgou um vídeo da linha férrea na altura do bairro São Joaquim. Como o local não possui o escoamento de água adequado, os trilhos da linha férrea foram encobertos pela água, que fez o local parecer um grande rio, as águas que desaguavam também na Avenida João Antônio de Castilho, aumentando mais o volume e os riscos de quem passava pelo local. As águas mostradas no vídeo na linha férrea são resultado do escoamento do bairro Cidade Jardim e Jardim do Lago. Moradores da rua Sargento Moura reclamam que é grande a quantidade de água que desce de ruas dos citados bairros e que acabam se acumulando na rua até chegar à linha férrea, único ponto de escoamento. Por conta da forte chuva do fim de semana, os moradores relataram que tiveram grande dificuldade de sair de casa após a precipitação."
22/10/2019	Temporal: Cruzamento de avenidas tem novo alagamento com chuva	Ponto 1	Av. Rui Barbosa e João Antônio de Castilho	"O problema, desta vez, foi ocasionado pelo grande volume de água que desceu para o citado ponto através da linha férrea, que também passa pelo local. Um homem chegou a cair em meio à enxurrada e precisou ser ajudado pela equipe de reportagem do DIÁRIO. A chuva, que iniciou pouco depois das 15h00, durou cerca de 20 minutos em sua maior intensidade, o que já foi o suficiente para causar os transtornos, que continuaram mesmo após a diminuição da chuva."

Fonte: Diário de Penápolis.

O ponto 2 é um prolongamento do problema de enchentes do Ponto 1, uma vez que também se trata de um fundo de vale de um pequeno afluente do Córrego Maria Chica (Figura 31). Nesse setor urbano se localiza um importante parque de recreação, o Parque Santa Leonor, usado pelos moradores para caminhada, lazer e recreação. O local é residencial e comercial e também conta com a Rodoviária na proximidade. Os principais bairros prejudicados com os episódios de enchentes nessa área são: Desmembramento Andrea Rosa (n° 67), Parque Residencial Dr. Mário Sabina (n° 69) e Residencial Fernanda (n° 70) (Figura 31). Entretanto, toda a cidade é prejudicada com as inundações dessa localidade, pois suas vias possibilitam aos moradores dos bairros a sudeste da malha o acesso ao centro comercial.

Figura 31 - Afluente do Córrego Marica Chica em 10 de setembro de 2018



Fonte: Imagens enviadas às redes sociais pelos moradores.

As notícias do jornal Diário de Penápolis também confirmam a ocorrência de enchentes nessa localidade e também indicam obras recentes realizadas pela Prefeitura com o intuito de solucionar o problema, vide notícia de 23 de julho de 2019 (Quadro 8). Entretanto, mesmo após o desassoreamento do Córrego da Maria Chica, onde se localiza o Parque Santa Leonor, as enchentes voltaram a se repetir como confirma a notícia de 22 de outubro de 2019.

Quadro 8 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 2

Data	Manchete	Ponto de enchente	Ruas citadas	Conteúdo
07/08/2008	Índice: Cidade registra um total de 67,5mm de chuva	Ponto 2 e 5	Rua Antonieta Vilella Ferreira. Avenida Alaíde Ferraz de Almeida e João Antônio de Castilho; Estrada do Mineiro.	"As fortes chuvas também trouxeram alguns inconvenientes. Os Bombeiros, por exemplo, atenderam a um chamado na Rua Antonieta Vilella Ferreira, onde, apesar de a residência estar instalada na parte alta da cidade, não foi suficiente para evitar que a enxurrada invadisse o imóvel. [...] No Jardim Del Rey, por exemplo, onde está sendo executada uma obra que tem por finalidade acabar com a inundação em um trecho da Estrada do Mineiro, como não haviam sido concluídas as bocas de lobo, voltou a ocorrer inundação. Uma galeria em construção promete terminar com o problema. Chiquinho também destacou que no bairro Rosa Alberton, onde está sendo construídas as guias e sarjetas, o prejuízo também foi irrisório."
04/03/2011	Fortes chuvas assustam população	Ponto 2	Avenidas João Antônio de Castilho e Alaíde Ferraz de Almeida.	"Com forte intensidade, a chuva teve início por volta das 17h e permaneceu caindo por mais de três horas. A situação do córrego Santa Leonor assustou quem passava pelo local, o rio transbordou e causando alagamentos em diversos pontos da avenida, as águas que subiam rapidamente impediram a passagem dos veículos que atravessavam a ponte entre o Residencial Mário Sabino e a Vila Jardim. Com a ponte tomada pelas águas alguns motoristas ainda se arriscavam e atravessavam o local. Uma mulher, que tentou passar pela ponte, não conseguiu e parou o carro no meio da via, sendo necessária a ajuda de populares para retirar o veículo da enxurrada, felizmente ninguém se feriu. Semelhante ao Santa Leonor, também ocorreu para aqueles que transitavam nas proximidades do córrego Maria Chica."
11/10/2018	Fortes chuvas de 113 milímetros Causam transtornos na cidade	Ponto 2	Rua Antonieta Vilela Ferreira e Avenida João Antônio de Castilho.	"Um dos danos mais graves aconteceu na Rua Antonieta Vilela Ferreira, onde são executadas obras para a construção de galerias pluviais. As fortes chuvas romperam a rede de distribuição de água e ocasionaram grave erosão na via, prejudicando os moradores da região. No momento, Penápolis executa três obras de galerias para amenizar os problemas de escoamento das águas pluviais. Além das galerias do Bairro Jardim, obras são executadas na Avenida Leandro Ratisbona de Medeiros e na Avenida Irmãos Torrezan. Alagamentos também foram registrados na região próxima à avenida Rui Barbosa e rua João Antônio de Castilho, ocasionados pelo transbordamento da lagoa do Córrego Santa Leonor."
14/04/2019	Santa Leonor: Equipe trabalha para desassorear córrego	Ponto 2	Avenida João Antônio de Castilho.	"Nesta semana, equipes do DAEP (Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis) e da Prefeitura intensificaram os trabalhos de desassoreamento do Córrego Santa Leonor. O trabalho está concentrado na retirada de detritos para o aumento da profundidade do leito [...]. O objetivo é amenizar as inundações na região próxima ao Córrego Maria Chica e ao Terminal Rodoviário, melhorando a drenagem urbana, ao aumentar a profundidade do leito daquele trecho do rio que corta a cidade. Isso inclui a retirada de materiais sedimentados."
23/07/2019	Santa Leonor: Desassoreamento de córrego é finalizado	Ponto 2	Avenida João Antônio de Castilho.	"De acordo com levantamento, foram retirados 400 caminhões de sedimentos do fundo da calha do Santa Leonor, utilizando-se 20 caminhões. Pelos cálculos, os detritos que estavam acumulados passam dos 6 mil metros cúbicos. O trabalho de desassoreamento foi necessário para garantir que o córrego funcione como um tipo de reservatório, onde em dias de chuvas mais intensas, as águas sejam contidas para evitar inundações no trecho, e especialmente, na região do Terminal Rodoviário. Comas obras efetuadas, foi possível ampliar a profundidade do leito."
22/10/2019	Temporal: Cruzamento de avenidas tem novo alagamento com chuva	Ponto 1	Av. Rui Barbosa e João Antônio de Castilho	"O problema, desta vez, foi ocasionado pelo grande volume de água que desceu para o citado ponto através da linha férrea, que também passa pelo local. Um homem chegou a cair em meio à enxurrada e precisou ser ajudado pela equipe de reportagem do DIÁRIO. A chuva, que iniciou pouco depois das 15h00, durou cerca de 20 minutos em sua maior intensidade, o que já foi o suficiente para causar os transtornos, que continuaram mesmo após a diminuição da chuva."

Fonte: Diário de Penápolis.

Outra área de relevância nesse indicador se refere aos pontos 5 e 6, onde estão presentes outros cursos d'água afluentes não canalizados do Ribeirão Lajeado. Esses correspondem à localização da rua do Mineiro, via que já recebeu várias obras de manutenção da prefeitura (Quadro 9) e o maior problema era a ausência de entradas para as galerias

pluviais. Os principais bairros que sofrerem com o problema são o Pq. Res. Miguel Barbeiro e o Jd. Del Rey (Figura 31, n° 83 e 92). O Ponto 6 se refere à mesma via, porém já se caracteriza pelo uso rural, assim, não recebe tanto enfoque midiático.

Quadro 9 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 5

Data	Manchete	Ponto de enchente	Ruas citadas	Conteúdo
10/10/2007	Del Rey: Aprovado convênio para obra contra inundação	Ponto 5	Rua do Mineiro	"Por unanimidade a Câmara Municipal de Penápolis aprovou anteontem projeto de lei que autoriza o município a celebrar convênio com a Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo para obras de galeria de águas pluviais do Bairro Jardim Del Rey. A matéria foi enaltecida por vários vereadores, principalmente pelo tucano Francisco José Mendes, o Tiquinho, que teve insistente atuação nos últimos 10 anos em defesa do benefício. Ele agradeceu o ex-deputado estadual Ricardo Castilho e o prefeito João Luís pela viabilização de recursos para a obra junto ao governo estadual. O convênio dispõe que o município receberá R$ 150 mil com contrapartida de R$ 7.444,78. Tiquinho lembrou que a falta de adequadas galerias, além da inundação na Rua do Mineiro, nas imediações do Clube Banespinha, causa problemas semelhantes em grande parte de casas no Jardim Del Rey."
26/01/2008	Período de chuvas agrava problemas na Estrada do Mineiro	Ponto 5	Rua do Mineiro	"As chuvas que caíram sobre a cidade nas últimas semanas causaram novos transtornos aos moradores do Jardim Del Rey e demais usuários da estrada do Mineiro. O problema de inundação na estrada atrapalha o tráfego de veículos e preocupam os moradores quanto à exposição das pessoas, principalmente crianças, diante da sujeira que é carregada pelas águas. O principal ponto prejudicado pela falta de galerias adequadas é o trecho próximo ao Clube Banespinha, onde a inundação provoca a formação de uma grande poça. A água invade também algumas residências e os lotes que circundam o local."
24/09/2009	Rua do Mineiro: Tiquinho cobra Prefeitura sobre problemas em galeria	Ponto 5	Rua do Mineiro	"O vereador Francisco José Mendes, o Tiquinho (PSDB), apresentou segunda-feira à administração municipal documento com defesa de busca de garantia e uma solução definitiva para o escoamento de água na Rua do Mineiro, imediações do Clube Banespinha. O último serviço no local através de galerias, terceirizado pela prefeitura, registra comprometimento. Um grande buraco se formou, existindo indícios de que o problema aumentará. Segundo Tiquinho, pessoas que sofreram acidentes provocados pela deterioração no trecho reclamado estão acionando judicialmente a administração municipal. O vereador questiona o prefeito João Luís dos Santos (PT), se o município está também buscando na Justiça a garantia do trabalho da empresa que executou as novas galerias na Rua do Mineiro."
21/07/2010	Galerias Pluviais: Estrada do Mineiro é liberada para tráfego e trabalho continua	Ponto 5	Rua do Mineiro	"A Prefeitura de Penápolis liberou nesta semana o transito da Rua do Mineiro, local em que o DAEP (Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis) está trabalhando na construção da galeria de águas pluviais. Embora o acesso esteja liberado, os funcionários do DAEP continuam trabalhando na execução da obra de contenção, visando solucionar um dos maiores problemas do município nos períodos de chuva, que é o alagamento desse trecho, no Jardim Del Rey."

Fonte: Diário de Penápolis.

O ponto 4 também se apresenta em situação grave, uma vez que as águas das chuvas já chegaram a atingir as residências. Apesar das obras realizadas, o problema permanece e as galerias pluviais construídas recebem reparos frequentemente (Quadro 10).

Quadro 10 - Notícias do Jornal Diário de Penápolis que se referem às enchentes ocorridas no ponto 4

Data	Manchete	Ponto de enchente	Ruas citadas	Conteúdo
11/02/2007	Santa Terezinha: Moradores do bairro reclamam de rua intransitável	Ponto 4	Av. Leopoldino Alves Cardoso	"A Avenida Leopoldino Alves Cardoso, na Vila Santa Teresinha, foi apontada pelo presidente da Associação de Moradores do bairro, Jair Ramos Nogueira, como o principal problema enfrentado atualmente pelos moradores daquela localidade, já que as fortes e constantes chuvas que caíram no mês passado provocaram o aparecimento de inúmeras crateras"
23/02/2010	Santa Terezinha: Tiquinho cobra medidas contra alagamentos em bairro	Ponto 4	Avenidas Felipe de Freitas e Leopoldino Alves Cardoso	"O vereador Francisco José Mendes, o Tiquinho (PSDB), apresentou pedido à administração municipal para serviços e obras contra alagamentos no bairro Santa Terezinha. O tucano tem recebido várias reclamações de moradores da região que águas da chuva invadem residências e dificultam o trânsito. Entre os pontos mais atingidos estão as Avenidas Felipe de Freitas e Leopoldino Alves Cardoso. Tiquinho apurou que os problemas foram agravados nos últimos meses."
11/11/2018	Obras: Executado reparos na Avenida Leopoldino Alves Cardoso	Ponto 4	Av. Leopoldino Alves Cardoso	"Foram iniciados nesta semana, diversos reparos da rede de galerias da Avenida Leopoldino Alves Cardoso, na Santa Terezinha. O local apresenta diversos problemas de drenagem das águas pluviais que causavam transtornos aos moradores que residem na região. Os serviços são executados pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços no trecho da avenida, localizado entre as ruas Ramalho Franco e Giácomo Paro. O prazo para a conclusão das obras é de 120 dias."

Fonte: Diário de Penápolis. Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2019).

Os pontos 3 e 7 são os que apresentam menor dimensão do fenômeno, pois os prejuízos se referem mais a mobilidade urbana. Nessas localidades, as enchentes têm menor expressão em virtude do relevo, pois correspondem a fundos de vale menos declivosos, por essa razão, não recebem tanto enfoque do jornal local (Quadro 11).

Quadro 11 - Notícia do Jornal Diário de Penápolis que refere-se às enchentes ocorridas no ponto 3

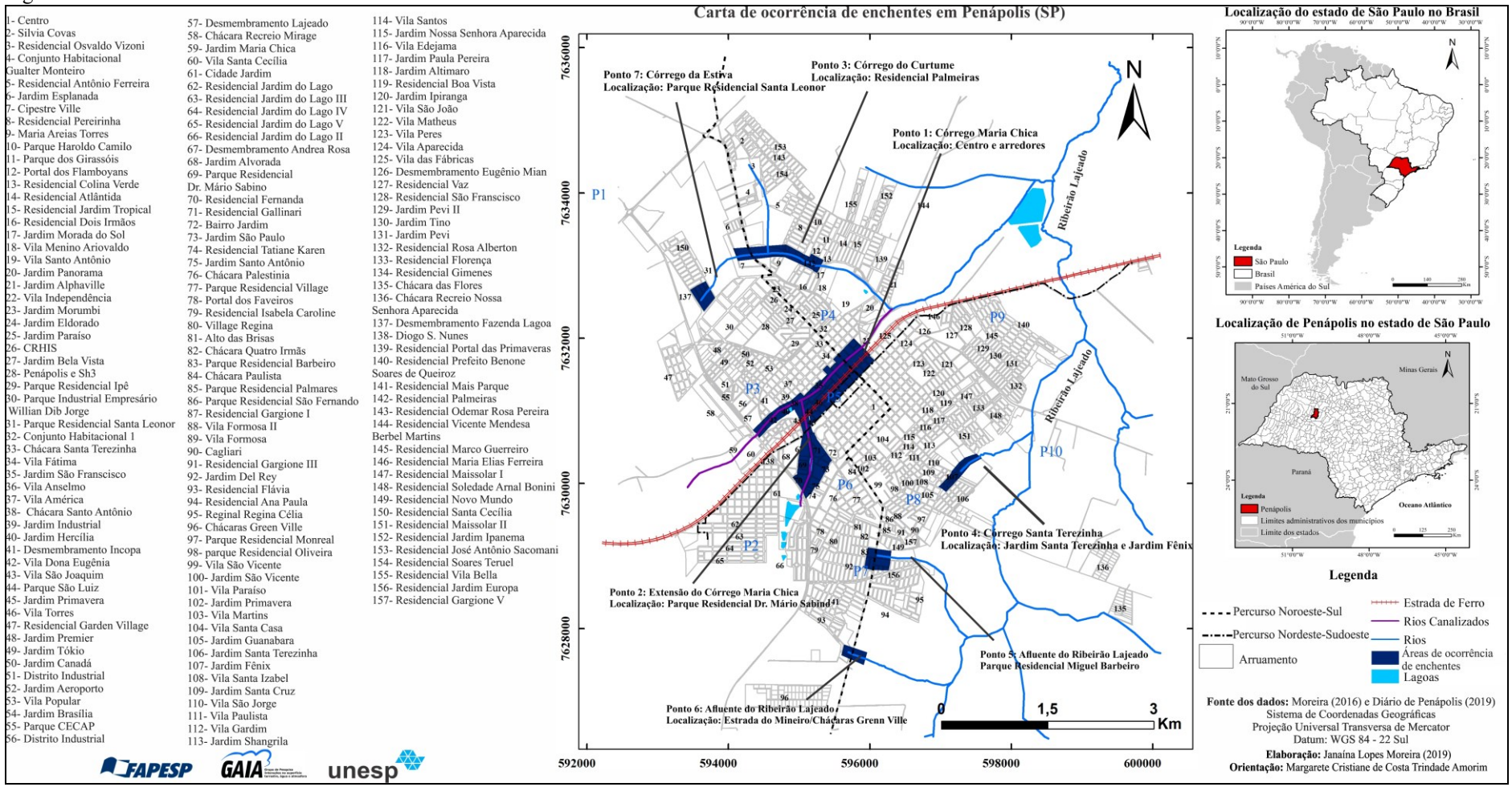
Data	Manchete	Ponto de enchente	Ruas citadas	Conteúdo
01/09/2007	DAEP trabalha na conclusão das galerias do Pereirinha	Ponto 3	Rua Marcelo David Passeri	Esta obra de montagem de uma nova tubulação no rio foi necessária pelo fato do curso d'água estar bastante assoreado, o que não permitiria que a água captada pela galeria chegasse ao destino final, já que o nível do rio estava acima do nível da rua.

Fonte: Diário de Penápolis.

Sendo assim, com a espacialização desse indicador (Figura 32) e as notícias do jornal local que comprovaram a ocorrência desses fenômenos nessas localidades, é possível afirmar que as enchentes são um problema grave para o munícipio e tem acarretado muitos prejuízos e gastos públicos. Além disso, também se verificou que a Prefeitura não teve sucesso, em longo prazo, com as obras realizadas para solucionar o problema, isso ocorre porque a causa não é abordada. A cidade possui um grande déficit de entradas (bueiros/bocas de lobo) para as galerias pluviais, fato que, aliado à elevada impermeabilização da terra, favorece o escoamento superficial.

Como a cidade possui um córrego localizado no centro da malha, a água que cai em ambas vertentes, ou seja, nos bairros ao norte e ao sul, escoa para o centro, que em poucos segundos de chuva forte torna-se inundado. Dessa forma, para minimizar o problema, inicialmente, obras deveriam ser direcionadas à abertura de entradas para galerias pluviais, tanques de vazão e o redimensionamento da canalização do Córrego Maria Chica (bairro Centro). Portanto, no tocante à ocorrência de enchentes foram utilizadas para a elaboração da carta de qualidade ambiental urbana, todas as áreas onde foram encontrados o problema.

Figura 32 - Carta de ocorrência de enchentes



5.7 Indicador espaços livres de edificação

Esse é um indicador que está relacionado com o uso da terra urbana e a cobertura vegetal arbórea. O conceito de espaços livres de edificação adotado nessa tese se baseia em Nucci (2008, p. 152), que os aborda "como um sistema de espaços urbanos destinados a todo tipo de utilização relacionada aos pedestres, em oposição ao sistema viário destinado aos usos motorizados". Sendo assim, foram considerados no mapeamento os espaços de descanso, passeio e prática de esportes.

Em Penápolis foram identificados 84 espaços livres de edificação, dentre estes 37 praças, 25 hortas comunitárias, 19 áreas de recreação, 2 parques urbanos e 1 cemitério. Esses espaços foram organizados em dois grupos: espaços livres de edificação sem vegetação e espaços livres de edificação com vegetação como pode se verificar na Figura 33. O mapeamento revelou que, dentre esses espaços identificados, predomina os sem vegetação arbórea (45 espaços).

A Figura 32 revelou que os bairros ao norte da malha, Jardim Eldorado (n° 24), Jardim Paraíso (n° 25), Jardim Bela Vista (n° 27), Penápolis e SH3 (n° 28), Parque Residencial Ipê (n° 29) e Conjunto Habitacional 1 (n° 32) apresentam concentração de espaços livres de edificação com vegetação. Nesses bairros residenciais populares, os espaços correspondem à localização de praças.

Outro setor urbano que apresentou número significativo de espaços livres de edificação com vegetação se situa a sudoeste do centro da malha e correspondem à localização dos bairros Desmembramento Andrea Rosa (n° 67), Parque Residencial Dra. Maria Sabina (n° 69), Residencial Fernanda (n° 70), Residencial Gallinari (n°71), Chácara Palestina (n° 76) e Parque Residencial Village (n° 77) (Figura 32). Esses bairros se referem a bairros e segmentos de maior poder aquisitivo com residências de alto padrão construtivo. O bairro Centro (n° 1) apresentou apenas 2 espaços livres de edificação (praças), o que é insuficiente em virtude de sua alta densidade de edificações e fluxo de pessoas.

Assim, com o mapeamento desse indicador, constatou-se que há uma distribuição desigual desses espaços, ocorrendo a concentração na porção norte, sudoeste e centro da malha urbana. Todos os demais setores urbanos se encontram desprovidos desses espaços, e, portanto, seus habitantes são obrigados a se locomover em grandes distâncias para poder se beneficiar com o uso dessas áreas.

Por fim, é válido ressaltar que, além da má distribuição desses espaços, grande parte é de tamanho pequeno, inclusive apresentam formatos irregulares, o que indica, possivelmente, que sejam resíduos da ocupação urbana, ou seja, não são resultados de um processo de planejamento, e, por essa razão, possuem distribuição irregular na malha. Por consequência disso, muitos não conseguem efetivamente gerar benefícios devido a suas áreas reduzidas.

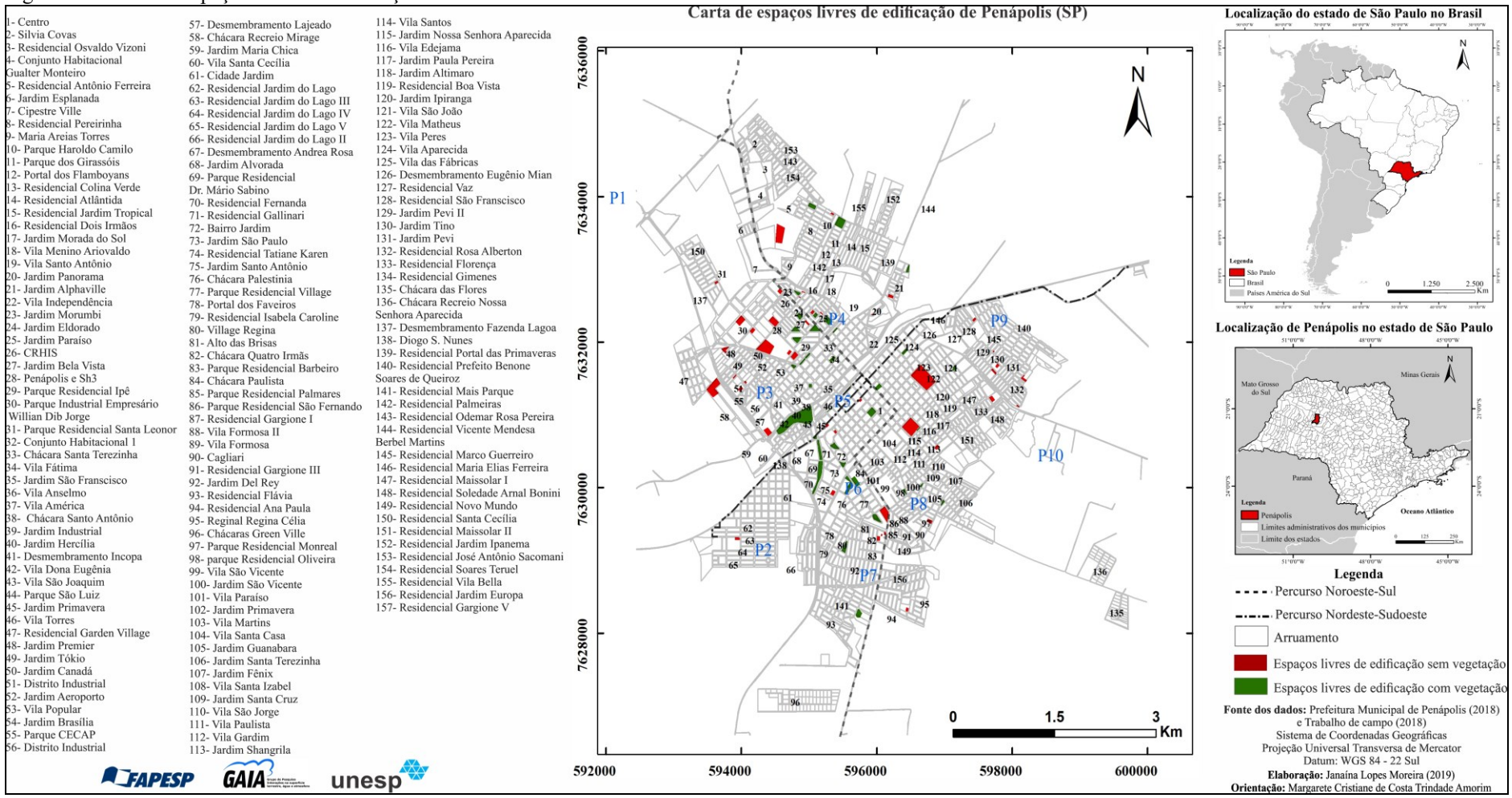
A localização é de suma importância para os espaços livres de edificação poderem exercer sua função recreativa. Quanto mais distante do usuário, menor será sua utilização (NUCCI, 2008). Nesse sentido, para esse indicador, foi realizado o raio de influência de cada espaço livre de edificação de acordo com sua com base nas sugestões dos índices urbanísticos proposto por Jantzen (1973) (Quadro 12). Os raios de influência dos espaços livres de edificação variam de acordo com a sua dimensão espacial, portanto, as áreas que não forem abrangidas por esses raios foram consideradas como aspecto negativo para a elaboração da Carta de QAU.

Quadro 12 - Sugestão de índices urbanísticos para espaços livres que embasaram os tamanhos dos raios de influência dos espaços livres de edificações

Categoria de espaço livre de edificação	Área mínima	Tamanhos dos raios de influência (diâmetro)	Espaços livres de edificação considerados
Parque de vizinhança	150 m^2 450 m^2 5.000 m^2	100 m^2 500 m^2 1.000 m^2	Praças Parques urbanos Áreas de recreação
Horta comunitária	300 m^2	100m^2	Hortas
Cemitério	Sem referência	1.000 m^2	Cemitério Municipal

Fonte: Jantzen (1973 *apud* NUCCI, 2008).

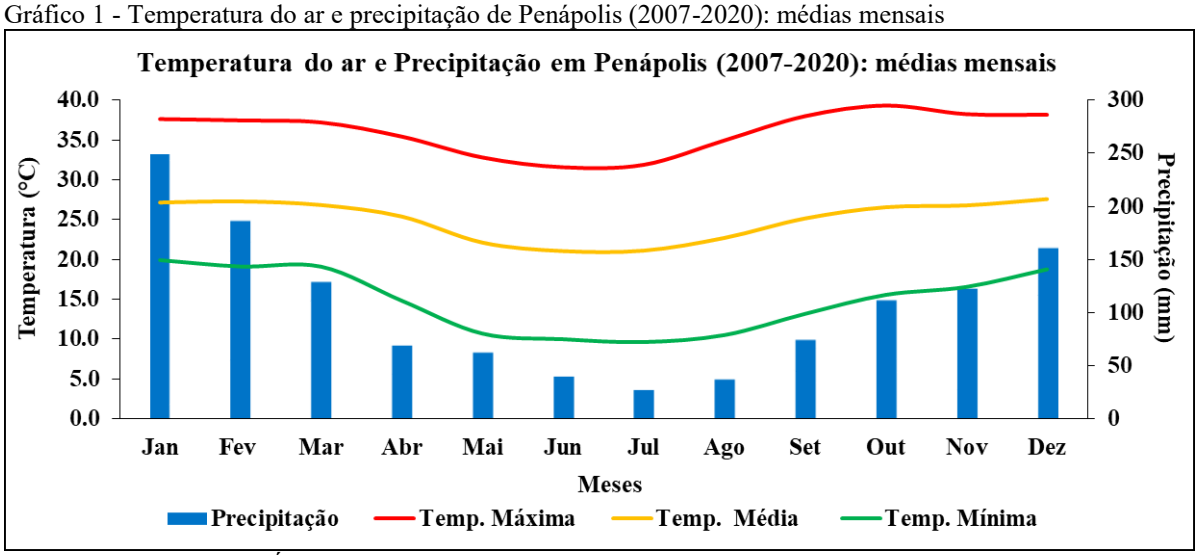
Figura 33 - Carta de espaços livres de edificação



5.8 Indicador ilha de calor urbana

O clima é um sistema em constante interação entre as diferentes camadas atmosféricas[20] que o compõem. Em decorrência disso, para analisar o clima urbano em Penápolis, é necessário caracterizar sob quais dinâmicas regionais o município se encontra. O regime climático em que Penápolis se situa é caracterizado pela transição de sistemas tropicais para extratropicais. Em um estudo recente, em que a classificação de Köppen foi aplicada a todo território brasileiro com base em 208 estações de 1961 a 2015, verificou-se que a região noroeste do estado de São Paulo é classificada como Aw (DUBREUIL et al., 2018), tendo, portanto, estações úmidas e secas bem definidas: verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. Tais características podem ser observadas no Gráfico 1, no qual se tem um período quente e chuvoso entre outubro e março e outro mais ameno e seco entre abril e setembro.

Gráfico 1 - Temperatura do ar e precipitação de Penápolis (2007-2020): médias mensais



Fonte: Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP).

A região de Penápolis se caracteriza por ser uma zona de transição climática entre os sistemas tropicais e polares, alternadamente. Logo, o município sofre atuação de uma grande quantidade de sistemas atmosféricos presentes na América do Sul, principalmente, das massas de ar Tropical Atlântica (mTa), Topical Continental (mTc), Equatorial Continental (mEc) e Polar Atlântica (mPa).

[20] *Urban Canopy Layer* (UCL) ou Camada de Cobertura Urbana e *Urban Boundary Layer* (UBL) ou Camada Limite Urbana.

Dentre as massas se destacam a Tropical Atlântica (mTa) e a massa Equatorial Continental (mEc) que atuam praticamente durante todo o ano, porém com mais expressividade no verão. Ambas são quentes e úmidas e provocam temperatura e umidade elevadas na região. A mTa apresenta uma variação em razão do seu percurso pelo continente, o que lhe proporciona perda de umidade e aumento da temperatura, passando a ser chamada de massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTac) (MENDONÇA; DANNI - OLIVEIRA, 2007).

Ainda no verão, porém com menor frequência, a massa Tropical Continental, originada na região central da América do Sul, mais especificamente na Depressão do Chaco, age na região trazendo elevado aquecimento e umidade relativa baixa, tendo como resultado dias mais quentes e secos (MENDONÇA; DANNI - OLIVEIRA, 2007).

No período de verão também é comum a atuação da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), cristas, cavados e as linhas de Instabilidade Tropical. Esses sistemas tropicais geram instabilidade no tempo com alta nebulosidade, ventos fortes e precipitação. São, portanto, os grandes responsáveis pela precipitação na primavera e verão (SACRAMENTO NETO; ESCOBAR; SILVA, 2010).

Em todas as estações do ano pode se observar a atuação de cristas e cavados. A crista é uma área alongada de pressão atmosférica relativamente mais alta. Pode ser a extensão de um anticiclone. É o oposto de cavado e é, geralmente, associado à estabilidade atmosférica, assim como o próprio anticiclone, com pouca nebulosidade e temperaturas mais elevadas. Já o cavado é uma área alongada de pressão atmosférica relativamente mais baixa, que está associada à área de circulação ciclônica mínima, sendo o oposto da crista. Por essa razão, causa instabilidade assim como o próprio ciclone com formação de nebulosidade e precipitação[21].

A massa Polar Atlântica também é um sistema atmosférico que atua durante todo o ano em Penápolis, porém sua intensidade, frequência e abrangência são maiores no inverno. Esse sistema atmosférico traz para a região queda das temperaturas e aumento da pressão atmosférica. Atua, especialmente, após a passagem de uma frente fria, mantendo as temperaturas amenas e baixa umidade relativa. No entanto, com sua permanência sobre o continente, suas características são alteradas, passando a ser denominada massa Polar

[21] Disponível em: https://www.mar.mil.br. Acesso: em 14 set. 2018.

Tropicalizada (PT) ou Polar Continentalizada (PC) e se caracteriza pela temperatura mais elevada e a umidade baixa (MENDONÇA; DANNI - OLIVEIRA, 2007; AMORIM, 2017a).

No inverno também se destaca a Frente Polar Atlântica (FPA), porém sua presença pode ser notada o ano inteiro, muitas vezes se tornando estacionária. Em ambos os casos, provoca queda da temperatura, elevada nebulosidade e episódios de precipitação. Esse sistema se origina do embate de forças entre os sistemas tropicais e polares, os quais atuam sobre a região, e conforme a estação do ano, um se apresenta com mais força do que o outro.

5.8.1 As ilhas de calor de superfície em Penápolis durante o ano de 2018: intensidade, forma e frequência

Os estudos de clima urbano nos últimos anos têm sido aperfeiçoados com o uso das técnicas de sensoriamento remoto. Dentre as muitas contribuições estão o melhor detalhamento e delimitação dos usos da terra, o uso de índices radiométricos para identificação de vegetação, a termografia de superfície entre outros. A disponibilidade de imagens ao longo dos anos tem possibilitado verificar variações, padrões e evoluções de vários fenômenos da superfície que interferem diretamente no clima das cidades.

Como ressalta Jensen (2009), objetos que têm a temperatura acima do zero absoluto (0 K) emitem energia eletromagnética. Sendo assim, todas as superfícies que constituem as paisagens como solo, água, vegetação, concreto entre outros emitem radiação eletromagnética, e, portanto, apresentam características térmicas diferenciadas que serão representadas na imagem de infravermelho termal.

O sensoriamento remoto de temperaturas de superfícies urbanas é um caso especial de observação da temperatura da superfície da terra que varia em resposta ao balanço de energia superficial (OKE et al., 2017). Assim, o fundamento da temperatura de superfície é o balanço energético das superfícies, que na interface com o ar fornecem temperaturas distintas devido às diferenças das propriedades dos materiais. As propriedades geométricas, radiativas, de umidade e aerodinâmicas dos materiais são as que exercem forte controle no balanço energético das superfícies (OKE et al., 2017).

Segundo Voogt e Oke (2003), a temperatura da superfície é resultado dos efeitos da radiação na superfície e as propriedades termodinâmicas dos materiais, incluindo a umidade da superfície, a emitância térmica e a emissividade de superfície, a entrada radiativa na superfície do sol e da atmosfera entre outros.

Nesse sentido, o estudo da temperatura aparente da superfície (*land surface temperature* – LST), conhecido também como termografia de superfície, apresenta as condições térmicas da superfície e tem sido utilizada principalmente para compreender as características térmicas dos diferentes alvos urbanos e rurais (AMORIM, 2017a). Tal conhecimento tem permitindo análises comparativas entre a temperatura superficial e do ar, bem como o avanço na compreensão das relações existentes entre a ilha de calor superficial e atmosférica.

Alguns estudos brasileiros em cidades de porte médio (ANDRADE et al., 2007; BARBOSA e VECCHIA, 2009; AMORIM et al., 2009; POLIZEL, 2009; AMORIM e MONTEIRO, 2011) e pequeno (DORIGON e AMORIM, 2013; UGEDA JUNIOR, 2013; ORTIZ e AMORIM, 2013, AMORIM, 2017b, TEIXEIRA, 2019) revelaram alguns padrões no que se referem às maiores temperaturas, que de maneira geral, estão associadas à alta densidade de edificação, a determinados materiais construtivos e a solos expostos. Outra característica indicada é a influência das situações sinóticas nos dias que antecedem a captura da imagem, que interferem diretamente na diferença térmica urbano-rural.

Atualmente no Brasil são amplamente utilizadas as imagens da série *Landsat*, em virtude de sua periodicidade e disponibilidade gratuita. Portanto, para análise da intensidade e variação espacial da ilha de calor superficial (ICU) em Penápolis, foram utilizadas 10 imagens do satélite *Landsat* 8, disponíveis no ano de 2018 sem cobertura de nuvens.

As datas das imagens selecionadas são 24/02/2018, 12/03/2018, 13/04/2018, 08/05/2018, 25/06/2018, 02/07/2018, 28/08/2018, 22/10/2018, 16/11/2018 e 09/12/2018. Assim, para cada estação do ano foram selecionadas duas imagens representativas. Como o objetivo era comparar as imagens para a compreensão da sazonalidade da temperatura superficial ao longo do ano de 2018, a melhor opção foi calcular as intensidades das ilhas de calor superficiais.

A intensidades das ilhas foram calculadas com base na Equação 5

$$\Delta Tu - r \quad (5)$$

Onde:

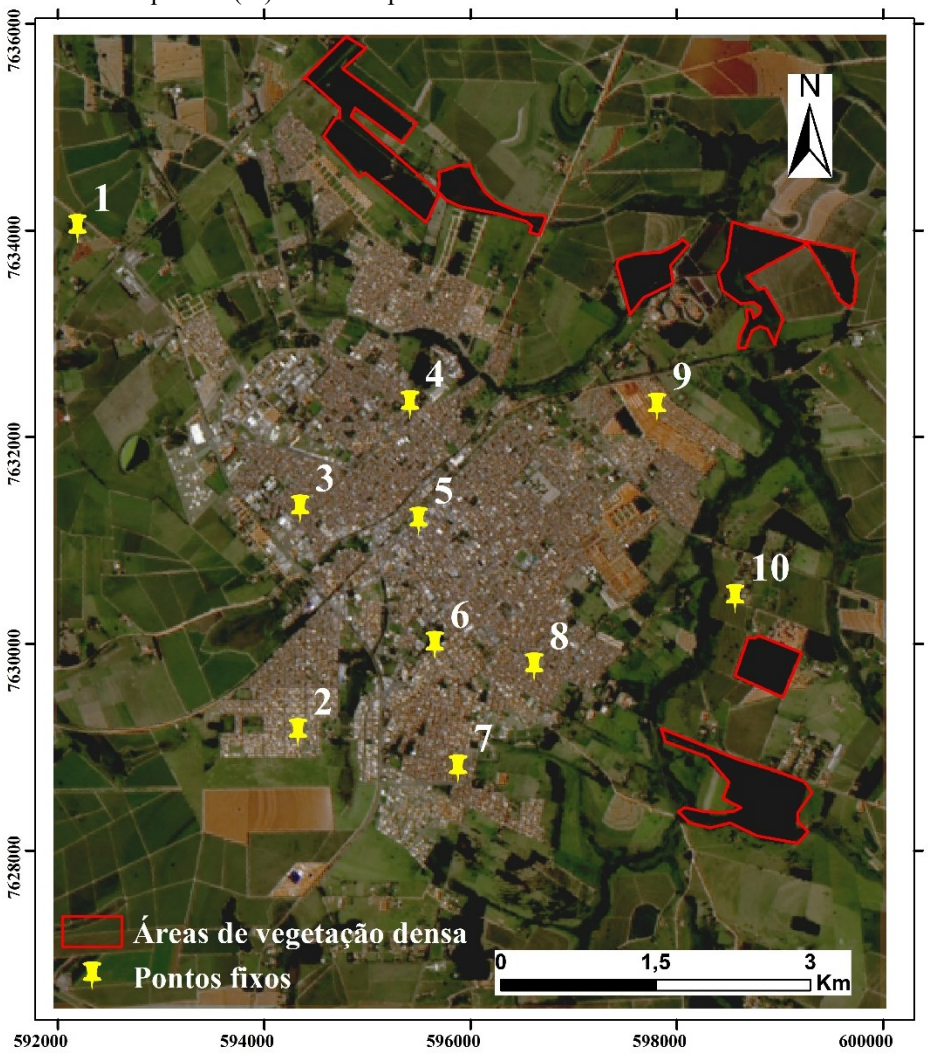
ΔT = intensidade da ilha de calor de superfície

u = se refere à temperatura superficial na área urbana.

r = se refere à média das menores temperaturas no ambiente rural.

Portanto, para o cálculo das diferenças de temperatura urbana e rural, primeiramente foi calculada a média das áreas de vegetação densa presentes no ambiente rural próximo para cada imagem. Essa média foi considerada o ponto “0” e a partir dela foi subtraída toda a imagem. Portanto, para o cálculo da média, foram selecionadas temperaturas superficiais de áreas de vegetação densa permanente na parte rural do município (Figura 34). Na Figura 34 também estão as localizações dos pontos fixos de mensuração de temperatura do ar (°C), que foram utilizados para extrair a temperatura superficial das imagens e calcular a frequência da ICU superficial.

Figura 34 - Penápolis: localização das áreas de vegetação densa permanente usadas para elaborar a média da temperatura rural e para calcular as intensidades da ICU superficial; e localização dos pontos utilizados para análise da frequência (%) da ICU superficial



Fonte: Composição colorida, banda 4, 3 e 2 de 24/02/2018 (USGS, 2018)

Como aponta Oke et al. (2017), definir a temperatura rural é um desafio, pois é bastante comum que a área não urbana apresente uma variabilidade espacial similar ou maior de temperatura superficial em relação à área urbana. Essa variabilidade está associada aos diferentes solo tipos de superfície, umidade do solo, sombras e ajuste topográfico (por exemplo, elevação, inclinação, proximidade de corpos de água) (OKE et al., 2017). Além disso, a menor temperatura da cena não foi considerada para o cálculo, pois em algumas imagens esta correspondia à temperatura superficial de corpos d'água, fato que é muito comum em imagens termais diurnas como é o caso desse estudo (OKE et al., 2017).

Ainda para facilitar a análise comparativa, a legenda foi padronizada e um quadro contendo os totais de precipitação nos períodos que antecederam a tomada da imagem foi adicionado. Os resultados desses processamentos podem ser observados nas Figuras 35 e 36.

Os Mapas A, C e E da Figura 35 representam o período chuvoso (verão), meses de fevereiro, março e abril, respectivamente, e demonstram que as temperaturas superficiais urbanas foram mais elevadas que as da área rural. As temperaturas superficiais absolutas nessas imagens variaram entre 28°C e 52°C. As intensidades máximas registradas na área urbana foram de 10°C em fevereiro, 14°C em março e 10°C em abril. Esses valores foram encontrados em áreas de elevada densidade de edificação e baixa cobertura de árvores. As intensidades máximas, entre 15°C a 17°C, correspondem à localização dos solos expostos na área rural a norte e sudoeste, registradas nos Mapas C e E (Figura 35). Nesses meses, notou-se grande destaque das feições da ICU superficial em virtude do período chuvoso (entre 160 e 198,5 mm).

Embora os meses de fevereiro e março tenham apresentado quantidades de chuva semelhantes, a ICU superficial teve maior intensidade em março do que em fevereiro. Essa diferença foi resultado da distribuição da chuva. Enquanto fevereiro teve 67,4 mm de chuva 5 dias antes da tomada imagem, em março ocorreu apenas 18,2 mm. Portanto, houve a diminuição das diferenças entre a temperatura superficial urbana e rural quando a precipitação ocorreu muito próxima da data da imagem.

O período de estiagem (outono-inverno) ocorreu nos meses de maio, junho (Mapas G e I da Figura 35), julho e agosto (Mapas A e C da Figura 36), quando os totais acumulados de precipitação foram de 28,4 mm nos 30 dias que antecederam a data da imagem e ocorrendo exclusivamente em agosto. O período seco apresentou diferente variabilidade espacial de ICU superficial com valores absolutos menores, variando entre 26°C e 40°C. Dessa forma, as intensidades tiveram declínio, ficando entre 3°C e 6°C nas áreas urbanas. Nesse período,

ocorreu certa homogeneização das temperaturas superficiais, principalmente entre a área urbana e as áreas de pastagem, em virtude da menor quantidade de água no solo e da diminuição da vegetação rasteira, o que fez as intensidades diminuírem.

Com o início do período chuvoso (primavera), as intensidades da ICU superficial voltaram a subir. A partir de outubro (Mapa E da Figura 36), as intensidades da ICU superficial aumentaram, atingindo de 12°C em novembro (Mapa G da Figura 36) e 10°C em dezembro (Mapa I da Figura 36). Os valores absolutos de temperatura superficial dessas imagens oscilaram de 28°C a 51°C. Nesse período, os totais pluviométricos 30 dias antes da tomada da imagem foram bastante expressivos, entre 127 e 232,9 mm. Por essa razão, a vegetação rural recuperou umidade, apresentado condições mais verdejantes, o que fez com as diferenças térmicas superficiais em comparação com as áreas urbanas aumentassem.

De modo geral, na área urbana, as temperaturas superficiais absolutas, no período chuvoso, registraram valores de 37°C a 44°C, já no período seco oscilou entre 33°C a 34°C. A área rural apresentou temperaturas entre 28°C e 41°C na estação chuvosa e 27°C e 39°C na estação seca. A comparação das imagens, no que se refere aos valores absolutos, revelou que no período seco a temperatura superficial urbana foi menor quando comparada ao período chuvoso, porém a área rural se manteve com valores de temperaturas superficiais semelhantes entre as estações. Portanto, não houve temperaturas muito baixas da área rural na estação seca (outono-inverno) em relação à estação chuvosa (verão-primavera). Assim, com o menor aquecimento nas áreas urbanas e a manutenção do aquecimento nas áreas rurais, a intensidade da ICU superficial diminuiu.

A diferença do NDVI entre as estações indica a causa dessas características. Na área rural, os valores entre 0,31 a 0,62 na estação chuvosa (Mapas B, D, F da Figura 35 e Mapas F, H e J da Figura 36) e -0,014 e 0,45 para a estação seca (Mapas H, J da Figura 35 e Mapas B e D da Figura 36) comprovam o maior crescimento e desenvolvimento da vegetação rural e, portanto, diminuição das temperaturas nessas aéreas no período chuvoso. Em contrapartida, o empobrecimento da cobertura vegetal no período seco e a maior quantidade de solo exposto faz com que as temperaturas superficiais rurais sejam elevadas na estação seca.

No que se refere à sazonalidade das ilhas de superfície, pode-se perceber que as variações pluviométricas ao longo do ano influenciaram diretamente nas intensidades. As imagens capturadas após um período de totais pluviométricos elevados, como é o caso das imagens de fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, apresentaram magnitudes muito

fortes com intensidades que ultrapassaram os 12°C em março (Mapa C da Figura 35) e novembro (Mapa G da Figura 36).

Dessa forma, na primavera e verão, período quente e chuvoso, a vegetação rural estava mais desenvolvida devido à elevada disponibilidade de água no solo e ar, o que resulta em temperaturas superficiais mais baixas nessas áreas, e consequentemente, maiores diferenças entre a temperatura superficial urbana e rural e o aumento da intensidade da ICU superficial. Isso ocorre porque superfícies com presença d'água, como por exemplo, solos úmidos, apresentam temperatura superficial inferior devido ao arrefecimento por evaporação (OKE et al., 2017). A grande quantidade de chuvas nos dias que antecederam a tomada das imagens causou maior contraste térmico entre os alvos urbanos e rurais e fizeram com que a ICU superficial fosse realçada.

No entanto, em condições de baixa precipitação, período de outono e inverno, ocorre a perda de parte da folhagem e a exposição do solo, o que causa aquecimento da área rural, diminuição da diferença entre as temperaturas urbanas e rurais e menor intensidade da ICU superficial. As superfícies secas tendem a aquecer mais, já que não canalizam muita energia disponível para os processos da evaporação da água (OKE et al., 2017). A cidade é praticamente impermeável à água e sua estrutura faz com que a água seja rapidamente drenada, tornando-se um ambiente seco e de maior potencial de aquecimento em comparação à área rural. No entanto, no período de estiagem, a área rural tem menor gasto de energia para processos evaporativos e maior energia disponível para o aquecimento.

Em síntese, a análise da ilha de calor superficial em Penápolis revelou variações sazonais significativas que se associam diretamente às condições de tempo, em especial, o regime de chuvas da região. As magnitudes da ICU superficial registradas por imagens de satélite não são constantemente altas ao longo do ano. A intensidade é mais elevada durante o período de chuvas e na presença de áreas rurais verdejantes, condições proporcionadas nas estações de primavera e verão. Durante o período seco, estações de outono e inverno, a intensidade diminui em razão da menor disponibilidade de umidade, que produz na área rural a perda da massa vegetal e solo exposto, e, portanto, seu aquecimento. Os resultados apresentados se assemelham a estudos já realizados em ambiente tropical com regime pluviométrico semelhante (WENG, 2003; AMORIM, 2017a; TEIXEIRA, 2019).

No tocante à forma da ICU superficial, os setores urbanos mais aquecidos nas imagens foram o Distrito Industrial (n° 56), Jd. São Francisco (n° 35), Vila América (n° 37), Jd. Industrial (n° 39) a noroeste, parte sudoeste do bairro centro (n° 1) e a Vila Formosa I e II (n°

89 e 88), Vila São Vicente (n° 99) e Santa Terezinha (n° 106), Vila Paulista (n° 111) e Vila Gardim (n° 112) (Figura 19) a sudeste. Essas áreas apresentaram intensidades entre 8 e 12°C nos meses de fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro, com mínima em outubro e a máxima em março e novembro. Já nos meses de maio, junho e julho as intensidades dessas localidades ficaram entre 4° e 6°C.

Outro padrão de aquecimento verificado nas imagens ocorreu a leste da malha nos bairros Maissolar I e II (Figura 19, n° 147 e 151), os quais estavam em fase de loteamento com solo exposto, o que gerou o aquecimento durante todo o ano. O solo exposto se aquece mais do que a própria área urbana, fato que pode ser observado na imagem de agosto (Mapa C da Figura 36), na qual a área urbana apresentou intensidade menor (em torno de 5°C) que o entorno rural próximo (10°C), onde o solo estava exposto devido à colheita da cana de açúcar e a perda de massa vegetal. A imagem de novembro (Mapa G da Figura 36) também demonstra o aquecimento do solo nu que atingiu a máxima de 17°C de intensidade.

Assim, para a análise da ilha de calor de superfície também é importante destacar a sazonalidade dos plantios agrícolas no entorno próximo da cidade. Em Penápolis, verificou-se que as porções nordeste, noroeste e sudoeste são as áreas com maior quantidade de plantações e que o período de colheita coincide com o período de maior estiagem que são os meses de maio, junho, julho e agosto. Este fato faz com que em alguns períodos do ano, as maiores temperaturas superficiais se localizem no ambiente rural.

As superfícies com menores temperaturas estiveram associadas às áreas de vegetação densa, como matas galerias, próximas aos cursos d'água ao norte, nordeste e sudeste das imagens. Dentro da malha urbana os setores de menor intensidade foram as áreas de parques e praças, como é o caso da Praça Carlos Sampaio Filho no bairro Centro (n° 1) e o Parque Maria Chica (n°40 e 42). Houve também a diminuição das intensidades das temperaturas nos bairros Res. Gallinari (n° 71), Jardim (n° 72), Jd. São Paulo (n° 73) e Tatiane Karen (n° 74), localizados ao sul do centro (Figura 19).

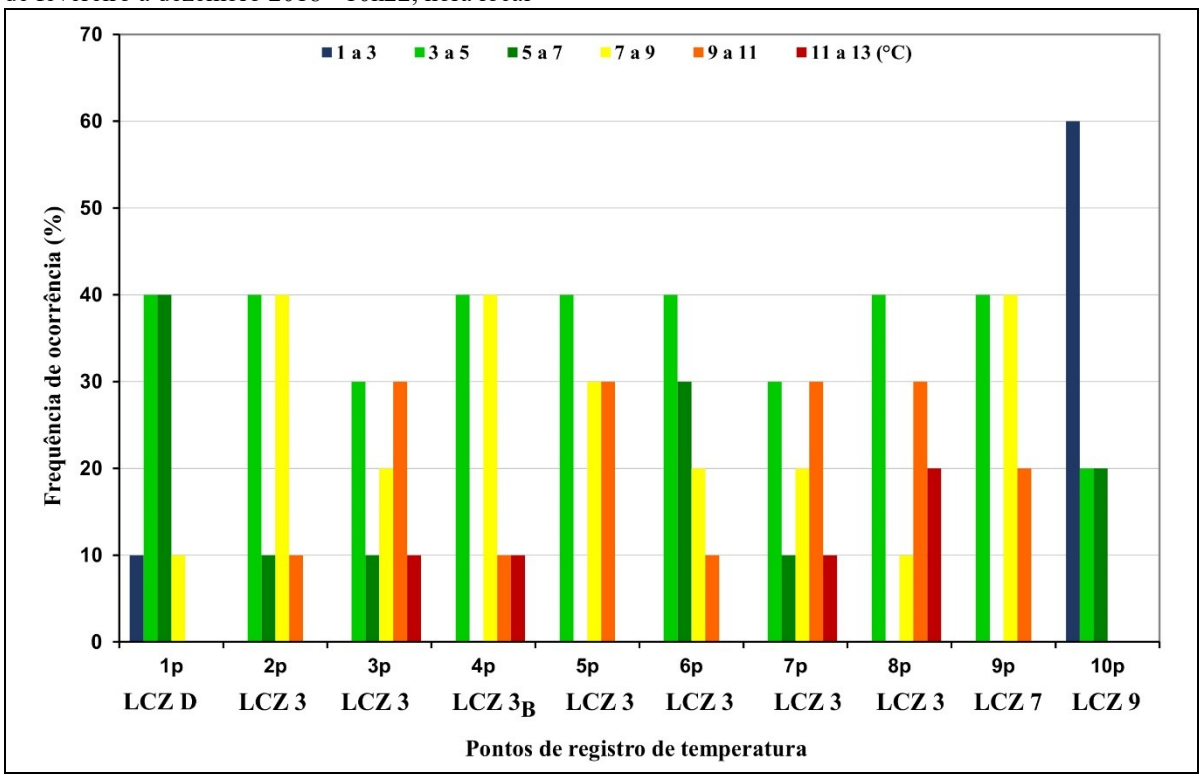
A frequência da intensidade ICU superficial por *pixel* foi extraída das 10 imagens do ano de 2018 tomando como base 10 pontos, sendo 8 distribuídos dentro da área urbana e 2 na área rural (Gráfico 2). Os pontos rurais (1 e 10), LCZs D e 9, respectivamente, foram os que apresentaram as maiores frequências entre as menores intensidade da ICU superficial. O ponto 10 foi o de maior frequência (60%) nas intensidades entre 1°C a 3°C. Já o ponto 1 apresentou maior frequência (40%) nas intensidades de 3°C a 5°C e 5 °C a 7 °C. Esse resultado se justifica pela diferença de uso da terra entre os pontos rurais. Enquanto o ponto 1,

situado a noroeste da malha urbana, se caracteriza por pastagens e plantio de cana de açúcar (LCZ D), o ponto 10 (LCZ 9) localizado a sudoeste é marcado pela presença de vegetação arbórea.

Os pontos 4, 5, 6 (LCZs 3_B, 3 e 3), que correspondem aos bairros Jardim Paraíso (n° 25), Centro (n° 1) e Parque Residencial Village (n° 77), demonstraram frequência maior (40%) nas intensidades 3°C a 5°C e 5°C a 7°C. Os pontos 4 e 6 são áreas residenciais bastante vegetadas (praças e verde viário), porém de segmentos populacionais economicamente diferentes, o primeiro sendo conjunto habitacional e o segundo moradias de alto padrão construtivo.

O ponto 2 e 9, LCZ 3 e 7, são áreas de transição pouco consolidadas, próximas ao rural, e por isso, não apresentaram aquecimento superficial tão elevado. Esses pontos referem-se aos bairros Residencial Jardim do Lago IV (n° 64) e Residencial Prefeito Benone Soares de Queiroz (n° 140), que apresentaram intensidade máxima entre 9°C a 11°C com frequência de 10 e 20%, respectivamente.

Gráfico 2 - Frequência de ocorrência (%) das intensidades do ICU superficial; 10 Imagens de satélite *Landsat* 8, de fevereiro a dezembro 2018 - 10h22, hora local



Fonte: Autoria própria.

As intensidades entre 9°C a 11°C tiveram maior ocorrência (30%) nos pontos 3, 5, 7 e 8 (LCZ 3). Esses pontos correspondem aos bairros Distrito Industrial (n° 30), Centro (n ° 1), Jardim Del Rey (n° 92) e Vila Formosa II (n° 88) (Figura 18), caracterizados pela densidade de edificações muito alta e alta (Figura 26), lotes pequenos e de média a baixa vegetação arbórea (Figura 27). Também foi nesses pontos, com exceção do ponto 5, que ocorreram as maiores frequências das maiores intensidades, entre 11°C a 13°C, destaque para o ponto 8 com 20%. O ponto 8, situado a sudeste da área urbana, foi o mais aquecido superficialmente entre os pontos, o que está associado ao tamanho pequeno dos seus lotes e a elevada taxa de impermeabilização, já que não apresenta espaços livres de edificação (Figura 32).

O aquecimento do ponto 3, LCZ 3, bairro Distrito Industrial (n° 56), com frequência de intensidade de 10% entre 11°C a 13°C, também está associado a essas características de uso e cobertura da terra, porém adiciona-se a proximidade à área industrial que possui telhados de fibrocimento e aço galvanizado (zinco). O aquecimento desse ponto é explicado com base na ASTM 1980-98 (*American Society for Testing and Materials*) que indica que as diferenças de temperatura entre o ar e o telhado de aço galvanizado e entre o ar e telha de fibrocimento são de 21,1°C e 10,3°C, respectivamente, enquanto a diferença entre a temperatura do ar e a cerâmica vermelha é de -0,1°C (PRADO e FERREIRA, 2003).

Em síntese, os bairros populares mais densamente edificados (pontos 3, 7 e 8, LCZ 3) foram os que mostraram as maiores intensidades, sendo até mais aquecidos do que o próprio centro comercial (ponto 5, LCZ 3). Esses bairros correspondem aos conjuntos de habitação popular, cujos lotes são pequenos e praticamente totalmente ocupados/construídos

Figura 35 - Intensidade da temperatura de superfície (ΔT°C) e NDVI em fevereiro (A - B), março (C – D), abril (E - F), maio (G – H) e junho (I – J) de 2018, Penápolis (SP)

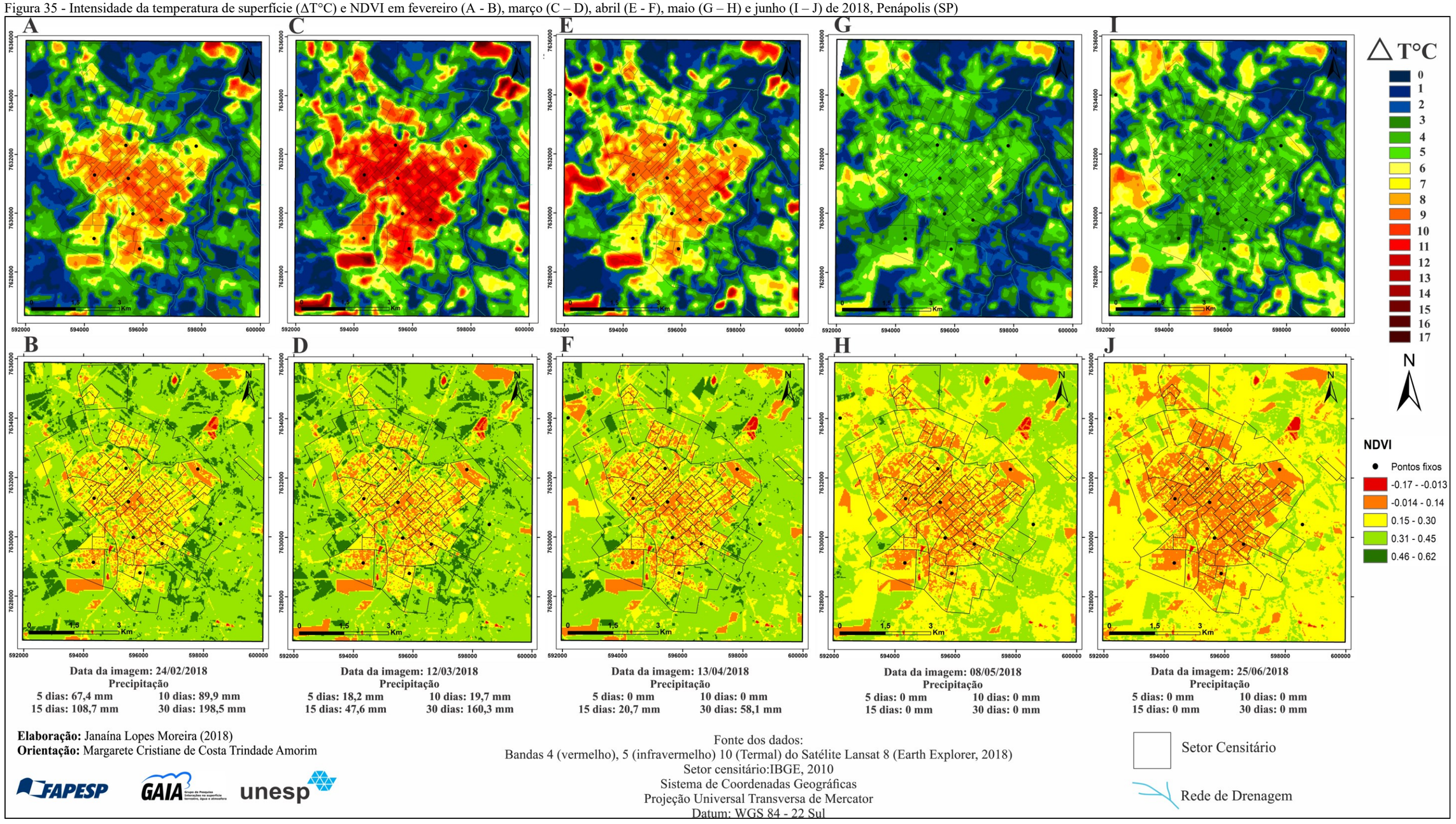
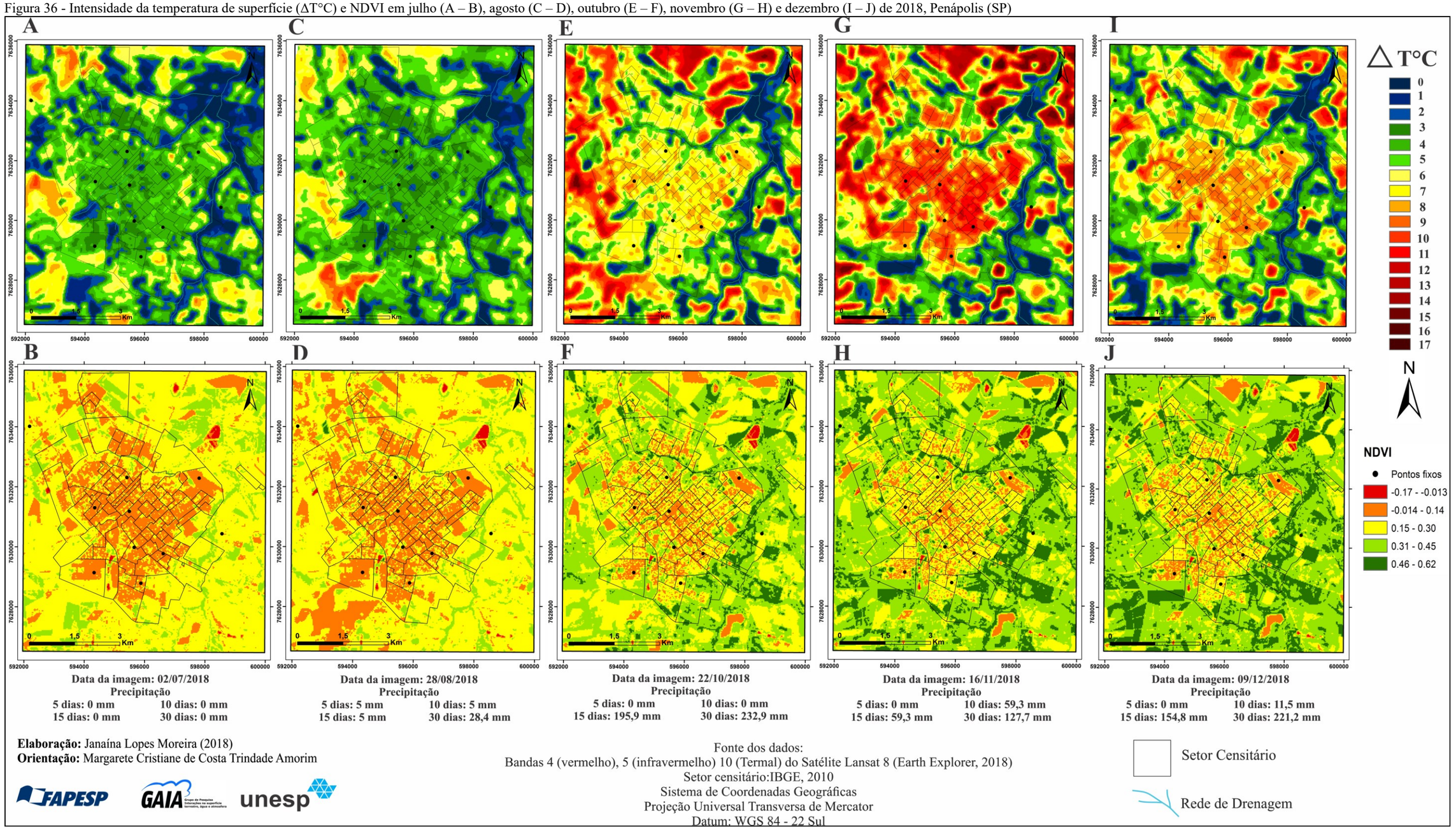


Figura 36 - Intensidade da temperatura de superfície (ΔT°C) e NDVI em julho (A – B), agosto (C – D), outubro (E – F), novembro (G – H) e dezembro (I – J) de 2018, Penápolis (SP)



5.8.2 As ilhas de calor atmosféricas em Penápolis a partir de pontos fixos: intensidade e evolução horária

Tendo em vista que um dos parâmetros de análise das ICU é a sua intensidade, calculada com base na diferença da temperatura urbana e rural (ΔT u-r), foi elaborada a síntese da evolução horária anual da intensidade da ICU[22] em Penápolis. Para tanto, foram calculadas as diferenças das temperaturas médias horárias, considerando um ponto de registro urbano (Ponto 5, LCZ 3 – compacta de baixa elevação) e outro ponto rural (Ponto 10, LCZ 9 – construções pequenas e médias espaçadas). A Tabela 1 revela a evolução horária da intensidade da ilha de calor atmosférica de todo o período de registro de temperatura com uso dos sensores fixos em Penápolis (SP).

Tabela 1 - Intensidade horária média da ilha de calor urbana em Penápolis (SP) - fevereiro a dezembro de 2018 e janeiro de 2019

	Ano/Mês												
	2019	2018											
Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
0:00	1,5	2,0	3,0	5,7	2,2	2,9	6,4	3,8	3,8	2,5	2,8	1,8	3,2
1:00	1,3	1,9	2,8	5,5	2,1	2,9	6,2	3,7	3,7	2,3	2,7	1,8	3,1
2:00	1,3	1,7	2,6	5,3	2,1	2,9	6,3	3,7	3,4	2,3	2,8	1,7	3,0
3:00	1,3	1,6	2,6	5,2	2,0	2,8	5,9	3,6	3,3	2,1	2,8	1,7	2,9
4:00	1,2	1,6	2,4	5,1	1,9	2,8	5,6	3,7	3,2	2,0	2,8	1,8	2,8
5:00	1,1	1,6	2,3	5,1	2,0	2,8	5,5	3,7	3,0	2,0	2,8	1,8	2,8
6:00	1,1	1,6	2,2	5,1	1,8	2,6	5,2	3,8	2,9	2,0	2,5	1,8	2,7
7:00	0,9	1,5	2,1	4,6	1,7	2,7	5,1	3,5	2,1	1,4	1,8	1,4	2,4
8:00	1,5	1,8	2,3	3,5	1,4	2,5	4,3	3,1	1,7	1,3	2,0	1,8	2,3
9:00	1,8	2,2	2,3	2,0	1,0	1,6	1,9	1,8	1,1	1,3	2,1	1,9	1,8
10:00	2,1	2,7	2,4	1,7	0,9	1,3	1,3	1,5	0,9	1,4	2,2	2,3	1,7
11:00	2,4	2,7	2,6	1,8	0,8	0,7	0,7	1,2	1,0	1,6	2,1	2,4	1,7
12:00	2,5	2,8	2,8	1,8	0,6	0,4	0,1	0,8	1,1	1,7	2,2	2,5	1,6
13:00	2,6	3,0	2,8	1,9	1,0	0,4	0,3	0,9	1,2	1,9	2,1	2,7	1,7
14:00	2,4	2,8	2,9	2,1	0,9	0,3	0,2	0,7	1,5	1,8	2,2	2,3	1,7
15:00	2,4	2,9	3,0	2,4	0,9	0,3	0,2	0,4	1,6	2,0	1,8	2,1	1,7
16:00	2,4	2,8	3,0	2,7	1,3	0,5	0,5	0,9	1,6	2,0	2,0	1,6	1,8
17:00	2,2	2,4	3,0	3,0	1,3	1,3	1,5	1,2	1,5	1,7	1,7	1,3	1,8
18:00	1,8	2,1	2,7	4,2	1,7	2,2	3,1	2,6	1,8	1,5	0,7	0,8	2,1
19:00	1,6	2,2	3,0	5,3	2,0	2,7	4,6	3,7	3,3	2,4	1,8	1,1	2,8
20:00	1,9	2,2	3,2	5,6	2,2	2,9	5,6	4,2	4,0	2,6	2,6	1,5	3,2
21:00	1,9	2,2	3,3	5,8	2,4	3,1	6,0	4,0	4,0	2,7	2,7	1,9	3,3
22:00	1,8	2,1	3,3	6,0	2,2	3,1	6,3	3,9	3,6	2,8	2,8	1,9	3,3
23:00	1,7	2,1	3,2	5,9	2,1	3,2	6,3	3,9	3,5	2,6	2,9	1,7	3,3
Média	**1,8**	**2,2**	**2,7**	**4,1**	**1,6**	**2,0**	**3,7**	**2,7**	**2,5**	**2,0**	**2,3**	**1,8**	**2,4**
Precipitação	**64,1**	**136,6**	**59,9**	**17,9**	**15**	**0**	**0**	**28,4**	**105,3**	**293,1**	**261,2**	**52,6**	

Fonte: Autoria própria.

A diferença térmica entre o ambiente urbano e rural anual organizada em formato de tabela dinâmica (Tabela 1) demonstrou que a ICU em Penápolis é um fenômeno de magnitude

[22] A sigla ICU se refere à ilha de calor urbana da Camada de Cobertura Urbana (*Urban Canopy Layer* – UCL)

máxima noturna, que se estende até o amanhecer e perde força durante a tarde. A intensidade varia no decorrer do ano e está relacionada aos totais de precipitação mensal. Em meses de baixo índice de precipitação (abril e julho), as intensidades registradas foram mais elevadas e ocorreram em período noturno. Em contrapartida, em meses com elevados totais de precipitação (fevereiro, outubro e novembro), as intensidades foram menores, diurnas e noturnas. Esse resultado é similar ao encontrado em outras cidades brasileiras com o emprego da mesma metodologia analítica (tabela dinâmica) (AMORIM e DUBREUIL, 2017; DORIGON, 2019).

Com base na média anual contida na Tabela 1, pode-se afirmar que, de maneira geral, em Penápolis a ICU é um fenômeno constante, cuja intensidade é mais elevada entre às 18h e 8h e menos elevada entre às 9h e 17h. No entanto, na análise das médias mensais ocorreram diferenças, durante os meses chuvosos as intensidades são constantes durante todo o dia (março e novembro) e em alguns casos a intensidade diurna é maior que a noturna (janeiro, fevereiro e dezembro). Já em meses mais secos, o fenômeno perde intensidade no período diurno (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) e tem maior expressividade noturna.

Esse resultado se assemelha e complementa o estudo anterior realizado na cidade, que revelou uma ICU constante com duração de 24 horas no verão (dezembro 2015 e janeiro 2016) e 16 horas no inverno (junho e julho de 2016). A diminuição da duração ocorreu em virtude do fenômeno deixar de ocorrer durante a tarde (MOREIRA, AMORIM, FERNÁNDEZ GARCÍA, 2019). Além disso, os autores também identificaram o mesmo padrão no que se refere às maiores magnitudes da ICU, as maiores intensidades foram noturnas no inverno (período seco) e diurnas no verão (período chuvoso).

Essas diferenças podem ser explicadas pelo uso e cobertura da terra urbana e rural e suas variações ao longo do ano em virtude da dinâmica de chuvas entre as estações. Nos meses chuvosos, as intensidades máximas diurnas são resultado da diferença na quantidade de água entre o rural e o urbano e suas características térmicas decorrentes. A grande quantidade de água no período chuvoso em conjunto com a elevada biomassa da vegetação presente na área rural faz com esta aqueça mais vagarosamente durante o dia. Enquanto que a cidade é rapidamente aquecida em virtude das características térmicas dos materiais construtivos e a menor presença de água no sistema urbano. As superfícies secas presentes na cidade tendem ao maior aquecimento, uma vez que não direcionam a energia disponível aos processos da evaporação da água (OKE et al., 2017).

Por outro lado, seguindo a mesma lógica, nos meses secos, a vegetação rural encontra-se em déficit hídrico e diminuída pela perda de parte da folhagem, o que causa a exposição do solo, e consequentemente, o aquecimento do ambiente rural, tornando-o tão ou mais aquecido que a cidade durante o dia (ausência da ICU ou formação de ilhas de frescor) (AMORIM, 2017). Após o pôr do sol, o arrefecimento rural é mais acelerado do que o urbano, o que causa a máxima intensidade da ICU durante a noite (padrão clássico da literatura).

A partir dessa primeira análise das intensidades calculadas entre dois pontos representativos foram selecionados os meses para análise horária da intensidade em todos os pontos de registro em comparação com o rural. Dessa forma, as intensidades foram calculadas para cada ponto de registro utilizando o ponto rural (Ponto 10, LCZ 9) como ponto "0" de referência.

As intensidades e a evolução horária das ilhas de calor atmosféricas dos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e dezembro de 2018 foram demonstradas através de isotermas nos painéis espaço temporais. Nestes, o eixo x (abscissas) foi representado pelos 10 pontos fixos na disposição Oeste-Leste e o eixo y (ordenada) referiu-se ao período da observação (dias/mês). Para tanto, foram selecionados os seguintes horários: 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h. Essa forma de representação dos dados não revela a espacialização, já que não ocorre a contiguidade espacial, sua principal vantagem é a observação das diferenças térmicas (intensidades) entre os pontos urbanos e sua evolução horária de acordo com o tipo de tempo atuantes.

Os meses selecionados abarcam todas as estações do ano e também apresentam correspondência com os dias em que foram realizados os transectos móveis. Em decorrência disso, a aferição da temperatura ocorreu em condições sinóticas bastante diferenciadas, o que tornou necessário a identificação dos tipos de tempo em escala diária para a compreensão das variações de intensidade ao longo do mês. Portanto, foram adicionados o gráfico de análise rítmica aos painéis espaço temporais, assim como o mapa de localização dos pontos de registro em Penápolis.

De modo geral, os painéis espaço temporais representados nas Figuras 37 a 42 confirmaram a relação existente entre a magnitude das ICU atmosféricas e os sistemas atmosféricos atuantes. Os tipos de tempo estabilizadores elevaram a força do fenômeno ao passo que em condições de instabilidade atmosférica o fenômeno foi extinto e até ocorreu a formação de ilhas de frescor (MENDONÇA, 2003; AMORIM, 2000 e 2017; DORIGON, 2019; TEIXEIRA, 2019).

No que se refere à distribuição espacial entre os pontos, as maiores intensidades ocorreram nos pontos de maior densidade de edificações e baixa cobertura vegetal arbórea. De acordo com a classificação de Fernández García (1996), as ilhas de calor atmosféricas de magnitude muito forte são aquelas que registram intensidade acima de 6°C. Em Penápolis, no período analisado, em formato de painéis espaço temporais, essas intensidades ocorrem em todos os meses.

Ademais, também foi possível observar o padrão de distribuição sazonal das ICU em Penápolis, caracterizado pela maior magnitude no período seco e menor no período chuvoso. Nos meses mais chuvosos, tais como fevereiro e dezembro de 2018, as intensidades foram menores e atingiram respectivamente 7,5°C e 6,5°C em dias de estabilidade atmosférica. Em dezembro ocorreu a máxima e a mínima intensidade entre os meses analisados, com os valores de 10,5°C e -6°C, porém esses estão associados à instabilidade atmosférica, o que aponta que essas máximas foram resultado da diferença de precipitação entre os pontos fixos no momento do registro. Já nos meses de menores totais pluviométricos, tais como abril, maio, junho e julho sob condições de estabilidade de tempo, as intensidades alcançaram a máxima de 8,5°C (abril).

Quanto à evolução horária, confirmou-se o resultado analisado na tabela dinâmica (Tabela 1), cujas maiores intensidades foram registradas no período noturno. Apesar disso, a formação das ICU se estendeu durante o dia com intensidades menores, deixando de existir apenas às 9h da manhã. Sendo assim, observou-se que se tratou de um fenômeno de grande duração, que se intensificou a partir das 15h, atingiu o pico entre 21h, 0h, e 3h, perdeu sua força após as 6h da manhã e deixou de existir às 9h, quando ocorreu o fenômeno de ilha de frescor. Em alguns meses (fevereiro, abril e dezembro), as maiores intensidades foram às 15h, porém somente em abril essas ocorreram em condições de tempo estável.

Assim, quanto aos sistemas atmosféricos atuantes no período analisado, as massas de ar proporcionaram condições de estabilidade, e consequentemente, a ocorrência e potencialização do fenômeno de ICU. A massa Tropical continental foi atuante em dezembro e a massa Tropical Atlântica (mTa) e sua derivação, a massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTac) foram atuantes em todos os meses analisados. A massa Polar Atlântica (Pa) e a massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt) influenciaram as condições de tempo com maior frequência em maio, junho e julho. Já nos dias de atuação de sistemas instáveis, como a Frente Polar Atlântica (FPA), Frente Fria (FF), Frente Estacionária (FE), Zona de Convergência de umidade (ZCOU) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul

(ZCAS), sob condições de ventos mais fortes, precipitação e nebulosidade, as intensidades foram menores e até negativas (ilhas de frescor), com máxima de 2,5°C.

Em dias de estabilidade atmosférica, as ilhas de frescor foram frequentes entre às 9h e 15h. No período chuvoso, meses de fevereiro e dezembro, as intensidades máximas foram de -2,5°C e -3°C e ocorreram às 9h. Já no período seco, que corresponde aos meses de abril, maio, junho e julho, as intensidades máximas foram registradas às 15h, com valores de -1,5°C, -2,5°C, -2,5°C, -3°C e -3,5°C, respectivamente.

As condições de uso da terra também foram determinantes para as variações das intensidades das ICU. Embora sob condições de tempo estável, tenha sido registrada ICU em todos os pontos urbanos, esses apresentaram diferenças de intensidade. As menores intensidades entre os pontos urbanos se localizaram no ponto 4 (418 m), LCZ 3_B (compacta de baixa elevação com vegetação espaçada), a norte da malha urbana. Trata-se de um bairro residencial densamente edificado que conta com significativa vegetação arbórea de grande porte, nas calçadas, canteiros de avenidas e praças. A leste desse ponto, encontra-se a sede do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) e também ao fundo de vale do Córrego do Curtume, ambos com vegetação arbórea alta e densa. A presença da vegetação no bairro influenciou as intensidades mais baixas e a presença de ilhas de frescor.

Intensidades baixas também foram diagnosticadas no ponto 6 (434 m), LCZ 3 – Compacta de baixa elevação, situado ao sul do centro urbano. Fato que também está associado à presença de vegetação arbórea no bairro, o qual se caracteriza pelo alto padrão construtivo. No entanto, a vegetação arbórea é mais concentrada em espaços livres de edificação e em praças, com ausências nas calçadas, canteiros de avenidas e quintais das casas. Logo, apresenta menor quantidade de vegetação arbórea que o ponto 4.

O ponto 9 (414 m), LCZ 7 (Compacta pouco consolidada de baixa elevação) a leste da malha, apresentou intensidades medianas entre 2°C e 4°C. Embora seja um bairro residencial densamente edificado, com ausência de vegetação arbórea e bastante solo exposto, seu aquecimento foi secundário comparado aos outros prontos devido à ocorrência de ventos provenientes do entorno rural próximo, onde está localizado o fundo de vale do Ribeirão Lajeado, que é densamente vegetado.

O ponto 2 (433 m), também LCZ 3, localizado a noroeste da malha apresentou maior aquecimento com intensidades máximas entre 5,5°C e 7°C. Essa localidade também se situa próximo à área rural e é um bairro densamente edificado, que não foi totalmente consolidado por construções, consequentemente, apresenta solos expostos. Entretanto, o entorno rural ao

bairro é caracterizado pela presença de cultivos agrícolas (vegetação rasteira) e não há fundos de vales.

As maiores intensidades das ICU estiveram associadas à LCZ 3 – Compacta de baixa elevação, pontos 8 (432 m), 7 (437 m), 5 (412 m) e 3 (420 m). Nessas áreas, em dias de tempo estável, as intensidades foram elevadas, variando entre 5°C e 10°C. O ponto 3, a noroeste da malha urbana, foi o de menor aquecimento entre esses, com valores máximos entre de 6°C e 8°C. No ponto 7, a sul da malha, foram registradas intensidades entre 5°C e 8,5°C. Similarmente, o ponto 8, a sudeste, registrou intensidades máximas entre 6°C e 8,5°C. O ponto 5, situado no centro urbano comercial e de serviços, apresentou intensidades máximas do período analisado, variando entre 5°C e 9,5°C.

Figura 37 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de fevereiro de 2018 em Penápolis (SP)

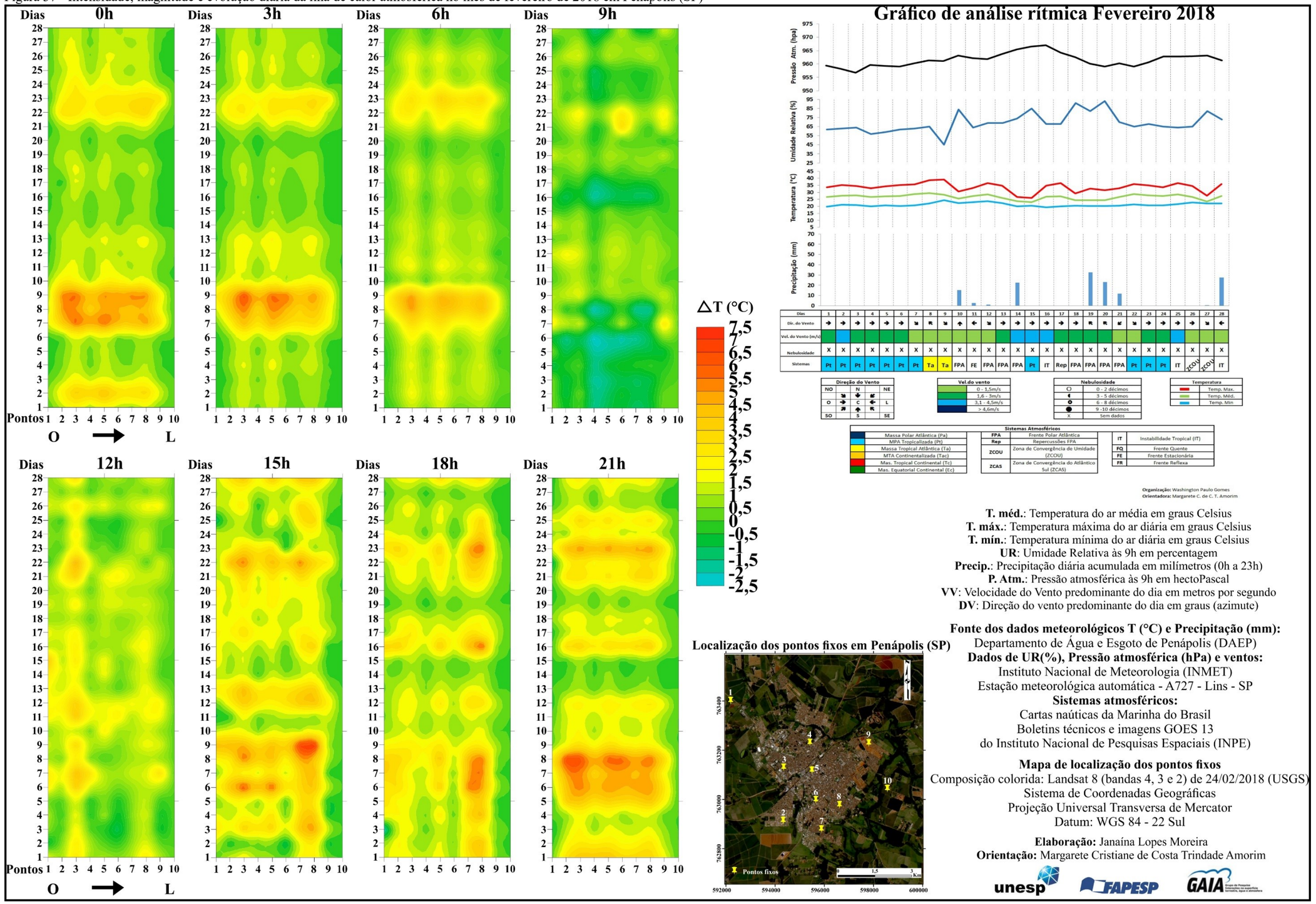
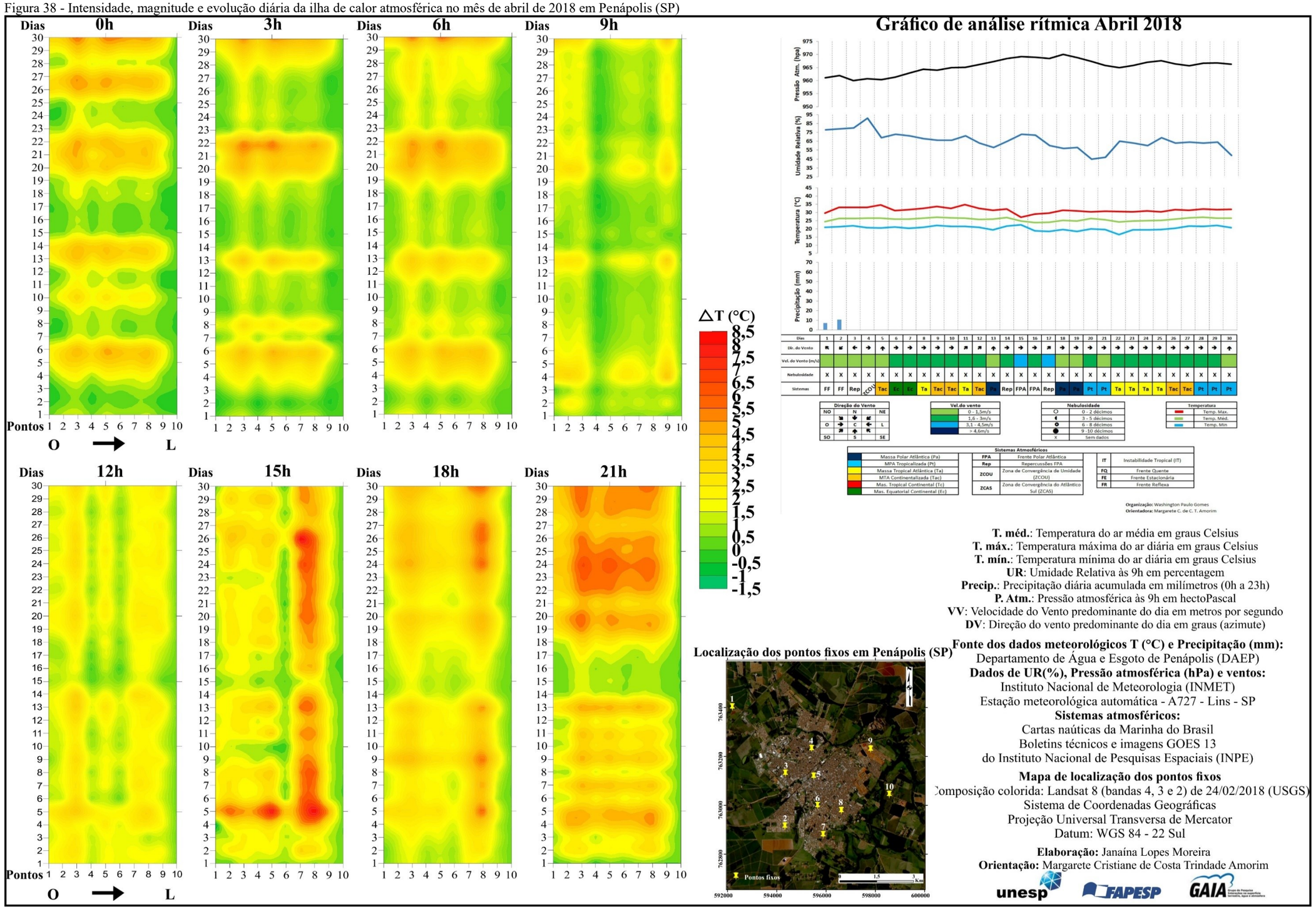


Figura 38 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de abril de 2018 em Penápolis (SP)



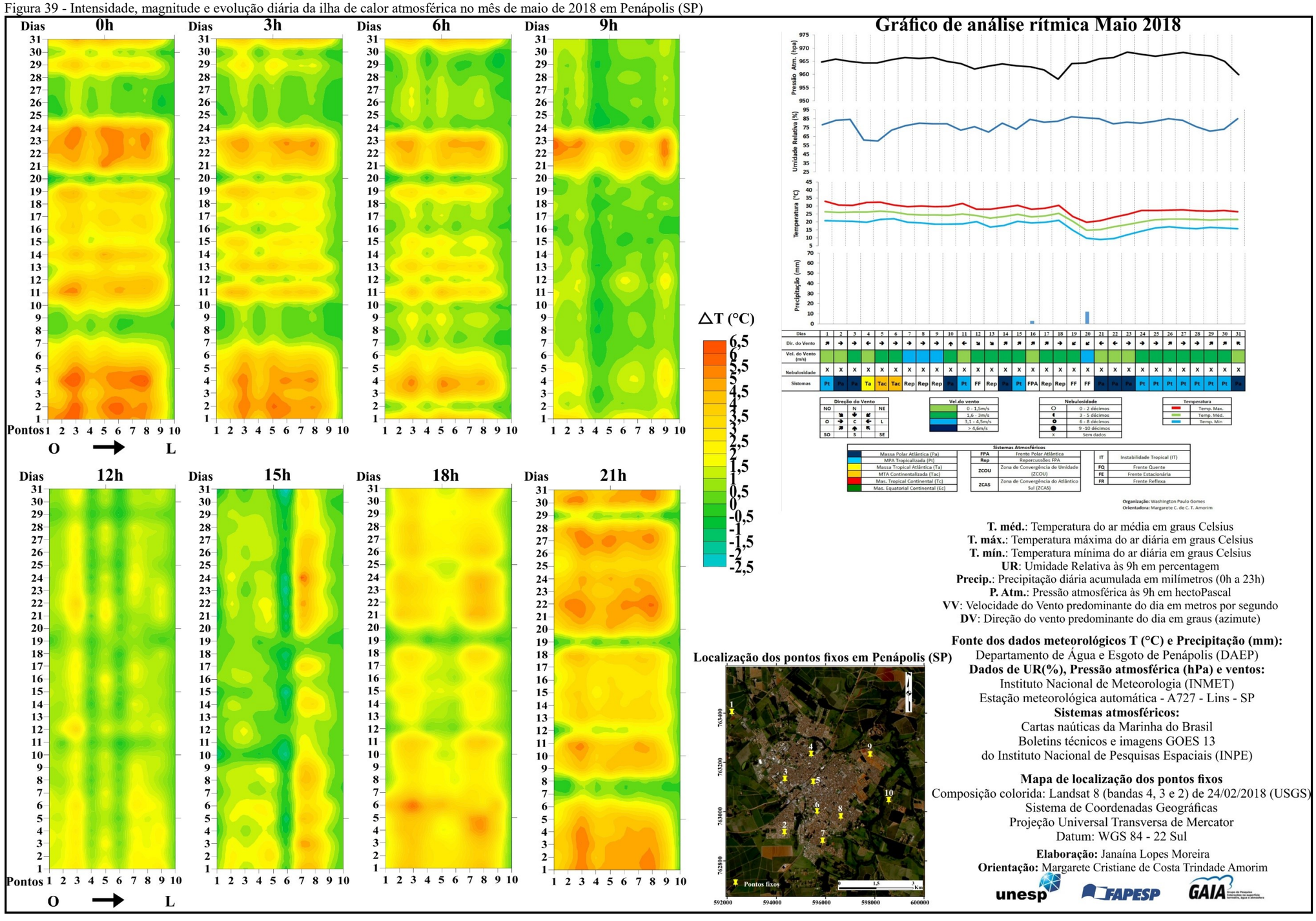
T. méd.: Temperatura do ar média em graus Celsius
T. máx.: Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius
T. mín.: Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius
UR: Umidade Relativa às 9h em percentagem
Precip.: Precipitação diária acumulada em milímetros (0h a 23h)
P. Atm.: Pressão atmosférica às 9h em hectoPascal
VV: Velocidade do Vento predominante do dia em metros por segundo
DV: Direção do vento predominante do dia em graus (azimute)

Fonte dos dados meteorológicos T (°C) e Precipitação (mm):
Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP)
Dados de UR(%), Pressão atmosférica (hPa) e ventos:
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Estação meteorológica automática - A727 - Lins - SP
Sistemas atmosféricos:
Cartas naúticas da Marinha do Brasil
Boletins técnicos e imagens GOES 13
do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Mapa de localização dos pontos fixos
Composição colorida: Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2) de 24/02/2018 (USGS)
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Figura 39 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de maio de 2018 em Penápolis (SP)



T. méd.: Temperatura do ar média em graus Celsius
T. máx.: Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius
T. mín.: Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius
UR: Umidade Relativa às 9h em percentagem
Precip.: Precipitação diária acumulada em milímetros (0h a 23h)
P. Atm.: Pressão atmosférica às 9h em hectoPascal
VV: Velocidade do Vento predominante do dia em metros por segundo
DV: Direção do vento predominante do dia em graus (azimute)

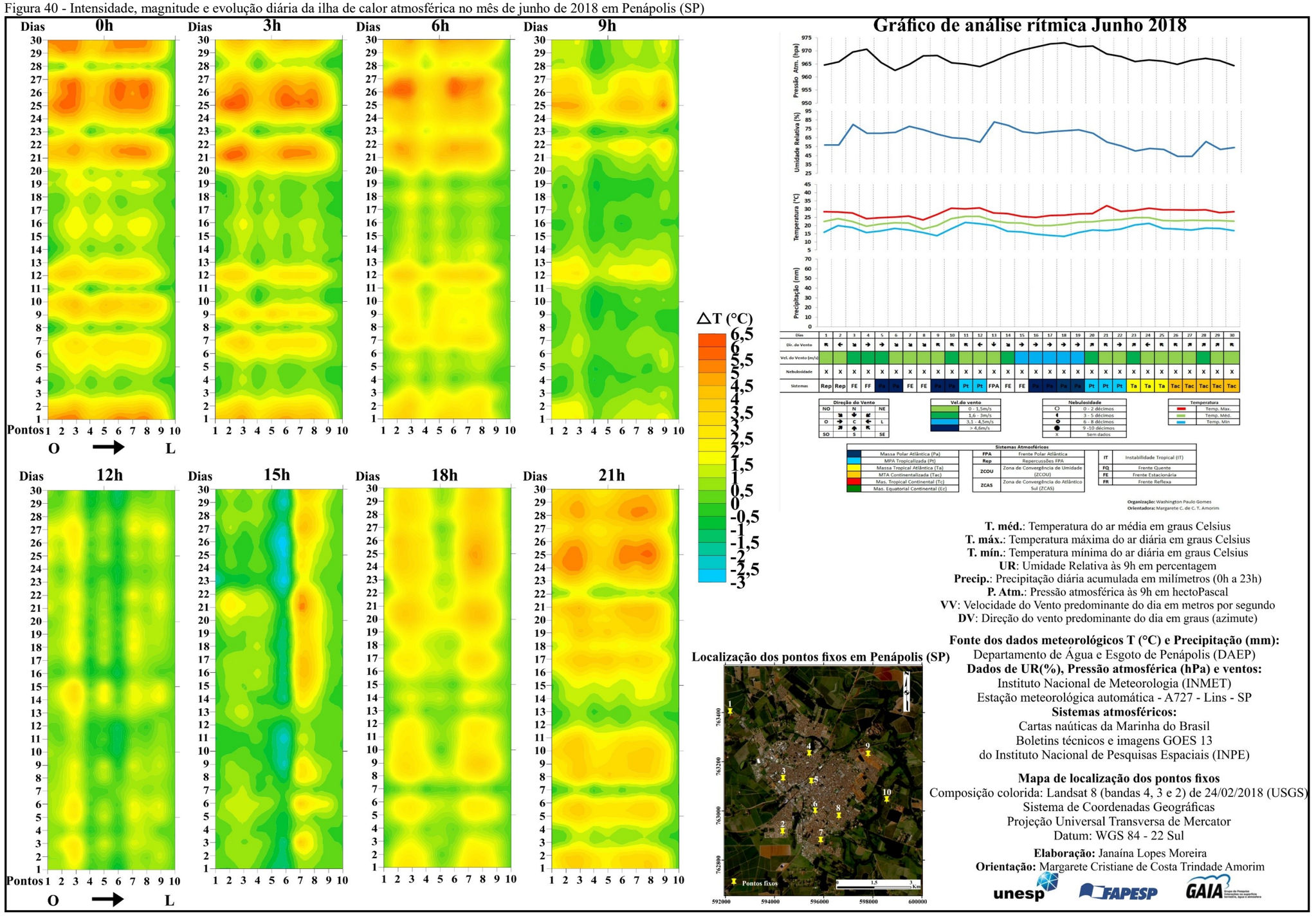
Fonte dos dados meteorológicos T (°C) e Precipitação (mm):
Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP)
Dados de UR(%), Pressão atmosférica (hPa) e ventos:
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Estação meteorológica automática - A727 - Lins - SP
Sistemas atmosféricos:
Cartas naúticas da Marinha do Brasil
Boletins técnicos e imagens GOES 13
do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Localização dos pontos fixos em Penápolis (SP)

Mapa de localização dos pontos fixos
Composição colorida: Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2) de 24/02/2018 (USGS)
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Figura 40 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de junho de 2018 em Penápolis (SP)



T. méd.: Temperatura do ar média em graus Celsius
T. máx.: Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius
T. mín.: Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius
UR: Umidade Relativa às 9h em percentagem
Precip.: Precipitação diária acumulada em milímetros (0h a 23h)
P. Atm.: Pressão atmosférica às 9h em hectoPascal
VV: Velocidade do Vento predominante do dia em metros por segundo
DV: Direção do vento predominante do dia em graus (azimute)

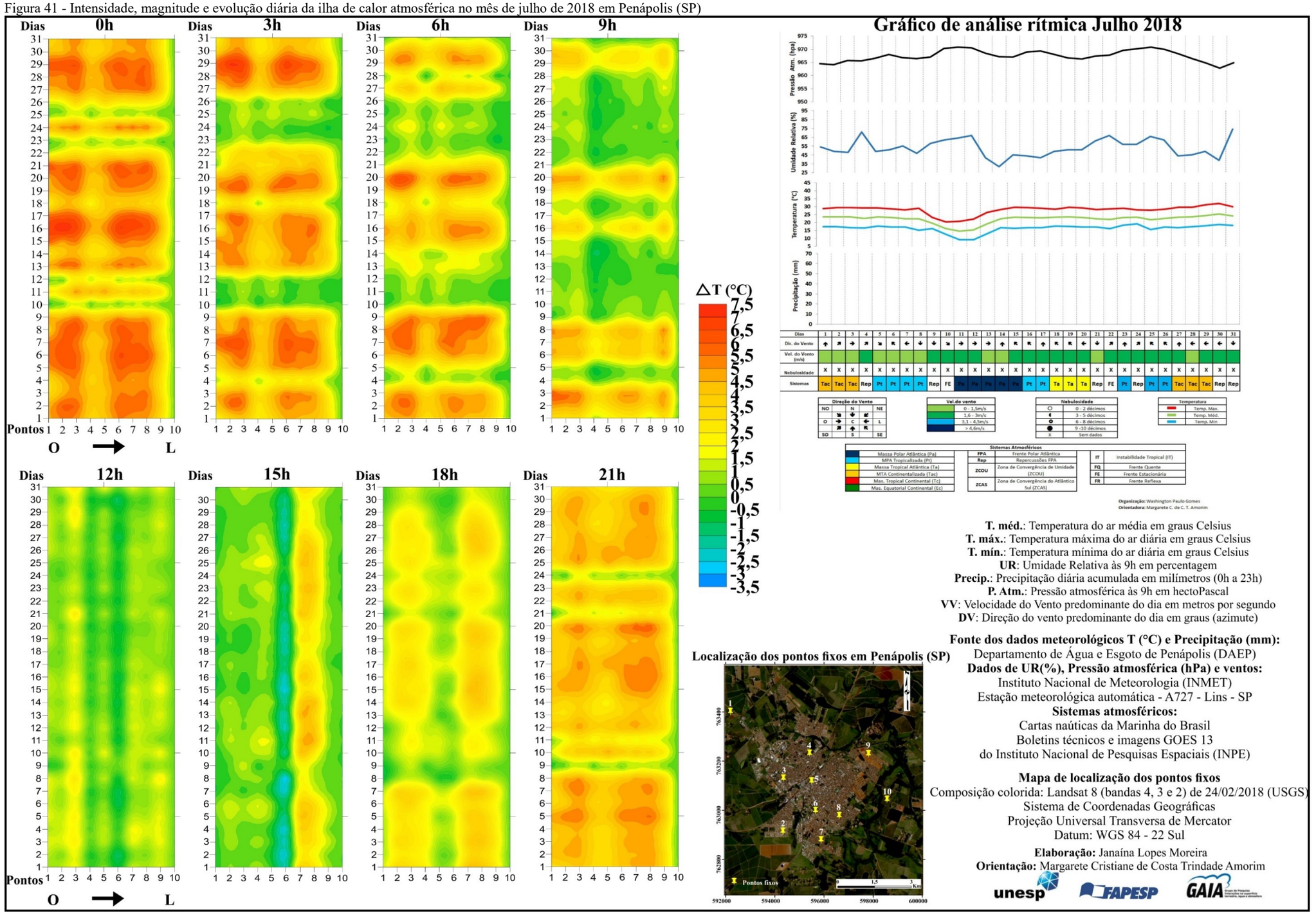
Fonte dos dados meteorológicos T (°C) e Precipitação (mm):
Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP)
Dados de UR(%), Pressão atmosférica (hPa) e ventos:
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Estação meteorológica automática - A727 - Lins - SP
Sistemas atmosféricos:
Cartas naúticas da Marinha do Brasil
Boletins técnicos e imagens GOES 13
do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Localização dos pontos fixos em Penápolis (SP)

Mapa de localização dos pontos fixos
Composição colorida: Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2) de 24/02/2018 (USGS)
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Figura 41 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de julho de 2018 em Penápolis (SP)



T. méd.: Temperatura do ar média em graus Celsius
T. máx.: Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius
T. mín.: Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius
UR: Umidade Relativa às 9h em percentagem
Precip.: Precipitação diária acumulada em milímetros (0h a 23h)
P. Atm.: Pressão atmosférica às 9h em hectoPascal
VV: Velocidade do Vento predominante do dia em metros por segundo
DV: Direção do vento predominante do dia em graus (azimute)

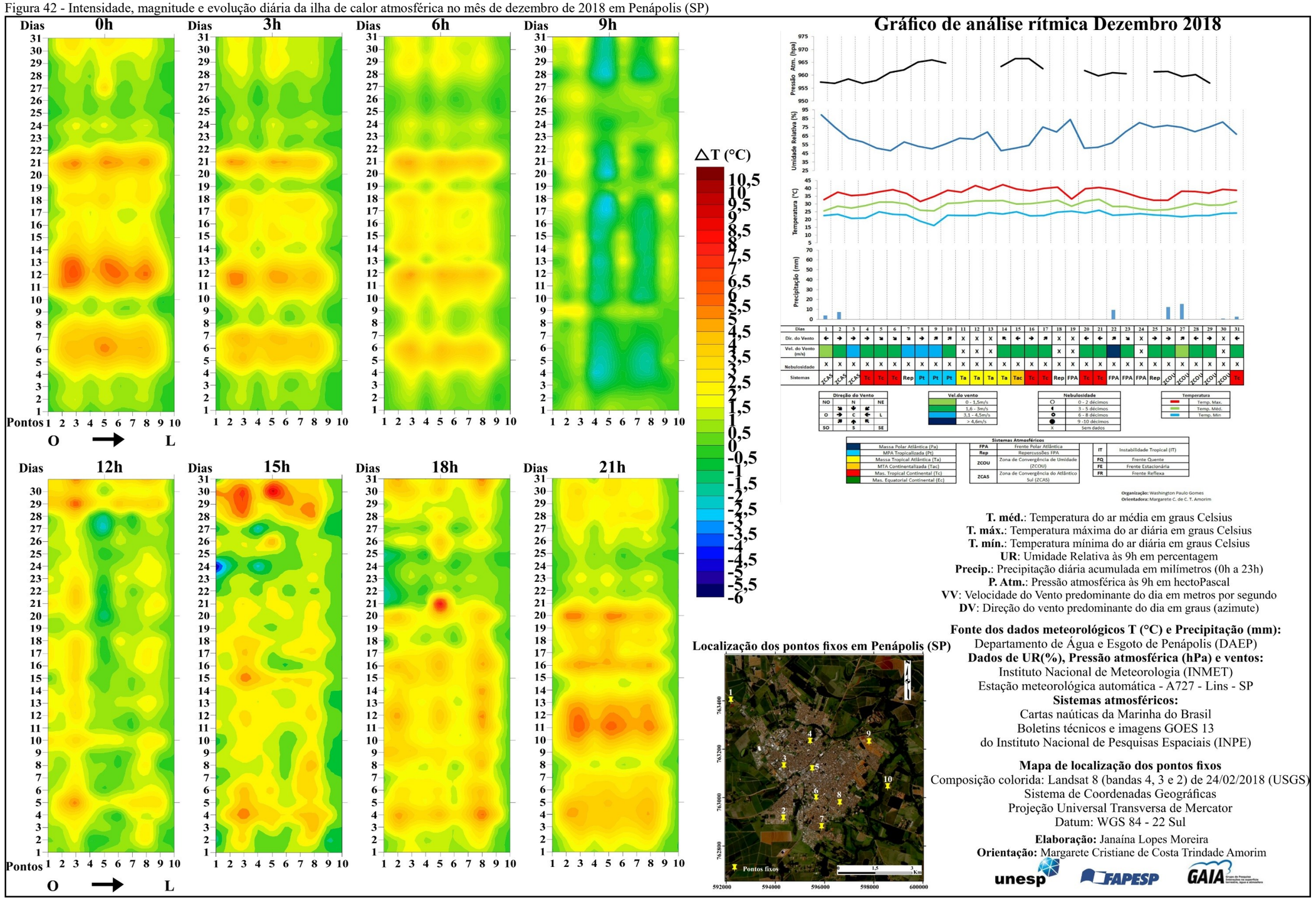
Fonte dos dados meteorológicos T (°C) e Precipitação (mm):
Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP)
Dados de UR(%), Pressão atmosférica (hPa) e ventos:
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Estação meteorológica automática - A727 - Lins - SP
Sistemas atmosféricos:
Cartas naúticas da Marinha do Brasil
Boletins técnicos e imagens GOES 13
do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Localização dos pontos fixos em Penápolis (SP)

Mapa de localização dos pontos fixos
Composição colorida: Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2) de 24/02/2018 (USGS)
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Figura 42 - Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica no mês de dezembro de 2018 em Penápolis (SP)



T. méd.: Temperatura do ar média em graus Celsius
T. máx.: Temperatura máxima do ar diária em graus Celsius
T. mín.: Temperatura mínima do ar diária em graus Celsius
UR: Umidade Relativa às 9h em percentagem
Precip.: Precipitação diária acumulada em milímetros (0h a 23h)
P. Atm.: Pressão atmosférica às 9h em hectoPascal
VV: Velocidade do Vento predominante do dia em metros por segundo
DV: Direção do vento predominante do dia em graus (azimute)

Fonte dos dados meteorológicos T (°C) e Precipitação (mm):
Departamento de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP)
Dados de UR(%), Pressão atmosférica (hPa) e ventos:
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Estação meteorológica automática - A727 - Lins - SP
Sistemas atmosféricos:
Cartas naúticas da Marinha do Brasil
Boletins técnicos e imagens GOES 13
do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Mapa de localização dos pontos fixos
Composição colorida: Landsat 8 (bandas 4, 3 e 2) de 24/02/2018 (USGS)
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

5.8.3 As ilhas de calor atmosféricas em Penápolis a partir de transectos móveis: forma e intensidade

As medidas itinerantes de temperatura, também conhecidas de transectos móveis, são um tipo de técnica de investigação da temperatura do ar da cidade já consolidada pela literatura (OKE e MAXWELL, 1975; OKE, 1978; GOMEZ e GARCIA, 1984; JOHNSON, 1985; MONTEIRO, 1990a; PITTON, 1997; AMORIM, 2005). É uma metodologia de baixo custo que permite a aquisição da temperatura do ar na baixa atmosfera (UCL) de diversos pontos da cidade. Quando combinada com os pontos fixos de mensuração, aperfeiçoa a compreensão do campo térmico urbano.

Assim, com base nessa metodologia foram realizadas as medidas móveis de temperatura do ar em Penápolis. Ao total foram realizados 15 transectos entre fevereiro e dezembro de 2018, todos em dias sem precipitação e com ventos fracos (Tabela 2).

Tabela 2 - Características gerais das medidas itinerantes em Penápolis (SP)

Episódio	Data 2018	Temp. Máxima (°C)	Temp. ponto 10 às 21h (°C)	Intensidade (°C)	Sistema atmosférico
1	08/02	32,1	25,3	6,8	Tropical Atlântica (Ta)
2	16/02	28,3	24,6	3,7	Instabilidade Tropical (IT)
3	23/02	28,5	23,3	5,2	Polar Tropicalizada (Pt)
4	01/05	26,3	20,3	6	Polar Tropicalizada (Pt)
5	02/05	25,8	21,0	4,8	Polar Tropicalizada (Pt)
6	03/05	26,1	20,3	5,8	Polar Tropicalizada (Pt)
7	04/05	27	21,6	5,4	Tropical Atlântica (Ta)
8	23/06	26,1	22,2	3,9	Tropical Atlântica (Ta)
9	24/06	25,3	18,7	6,6	Tropical Atlântica (Ta)
10	25/06	23,1	17,7	5,4	Tropical Atlântica (Ta)
11	26/06	22,4	18,2	4,2	Tropical Atlântica continentalizada (Tac)
12	04/12	29,8	25,4	4,4	Tropical Continental (Tc)
13	05/12	30,8	25,2	5,6	Tropical Continental (Tc)
14	09/12	29	25,8	3,2	Polar Tropicalizada (Pt)
15	14/12	33,3	24,2	9,1	Tropical Atlântica (Ta)

Fonte: Autoria própria.

Esses episódios foram selecionados devido às condições de tempo, pois se caracterizaram como dias sem precipitação e com ventos calmos. Além disso, procurou-se a realizar as medidas móveis em todas as estações do ano para fins de compreensão da sazonalidade da temperatura do ar urbano e rural no município.

Como pode ser observado pela Tabela 2, as maiores intensidades da ICU foram registradas em episódios com a atuação de massas de ar, principalmente, a massa Polar Tropicalizada (Episódios 4) e Tropical Atlântica (Episódios 1, 9 e 15). As menores intensidades foram registradas nos episódios 2, 8 e 14, tendo o menor valor de 3,2°C no dia 09 de dezembro (Episódio 14), sob atuação da massa Polar Tropicalizada.

As diferenças de intensidade entre os episódios podem ser compreendidas através da velocidade e frequência dos ventos durante o dia da coleta da temperatura (Gráficos 3 e 4). Nos episódios com menores intensidades (Episódios 2, 8 e 14), ocorreu maior frequência de ventos mais velozes. Nos Episódios 2 e 14, por exemplo, ocorreram ventos de 3 m/s a 4 m/s e sua frequência foi de 37,5%.

Em contrapartida, nos episódios de maiores intensidades (1, 4 e 9) os ventos foram predominantemente calmos (velocidade até 0,5 m/s) com frequência de 54,2%, 66,7% e 70,8%, respectivamente. Nesses dias, os ventos mais velozes não ultrapassaram 2m/s. Assim, as situações de calmaria proporcionaram os movimentos convectivos do ar e a maior intensidade da ICU, enquanto que ventos mais rápidos causaram movimentos horizontais que auxiliaram na dispersão do calor e a diminuição da intensidade.

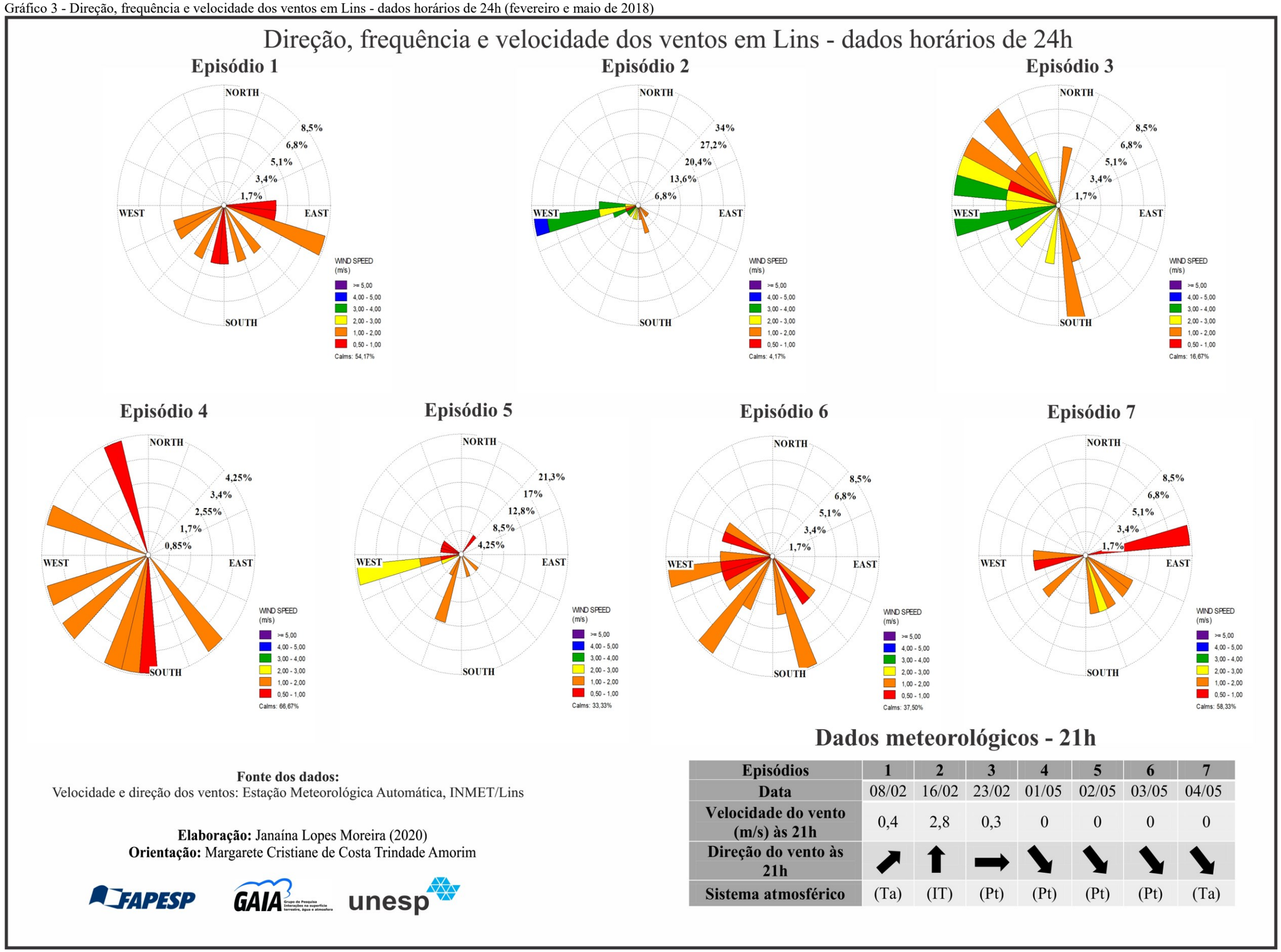
A intensidade mais elevada da ICU no episódio 15 também está associada às condições de vento, uma vez que a velocidade dos ventos não ultrapassou os 2 m/s com frequência de 80%. Além disso, as condições de precipitação colaboraram para a maior diferença térmica, visto que os totais pluviométricos que antecederam o episódio foram baixos (11,5 mm) e se concentraram apenas nos dias 1 e 2 de dezembro. Durante o dia 14 de dezembro o céu estava limpo e os ventos fracos com velocidade de 1,4 m/s às 21h. Nesse mesmo dia, o DAEP registrou o maior valor de temperatura máxima do mês, 42,3°C. Em contrapartida, no episódio 4, além da maior velocidade dos ventos, os dias que antecederam totalizaram 108,7 mm de chuva, ou seja, a umidade do ar estava elevada, variando entre 51 a 86%.

As Figuras 43 e 44 apresentam a espacialização dos dados e permite visualizar que em Penápolis ocorreu o padrão de aquecimento semelhante ao clássico da ICU, caracterizado pelo aquecimento mais intenso no centro da cidade e queda da temperatura afastando-se em

direção a periferia. O núcleo da ICU, onde ocorreram as maiores intensidades, oscilou quanto à localização nas vias, porém sempre se situou no bairro Centro (Figura 19, n° 1). Os bairros adjacentes ao centro a noroeste (n° 33 e 34), a sudoeste (n° 67, 68 e 138) e a sul (n° 84 e 101) (Figura 19) tiveram aquecimento secundário. Assim, o bolsão de ar quente esteve localizado na área central de comércio e serviços com prolongamento nos bairros circunvizinhos.

As áreas frescas se localizaram em áreas periféricas, principalmente nos fundos de vale rurais a nordeste e sul da malha. Nessas localidades, as intensidades chegaram a ser negativas, sendo portanto, mais frio que o próprio entorno rural (ponto 10, LCZ 9), com exceção dos episódios 1 e 15. O Ribeirão Lajeado, no início do percurso Nordeste-Sudoeste, teve as maiores intensidades negativas, característica que é justificada pela elevada densidade de vegetação arbórea e pela dimensão do espelho d'água nesse trecho (33 metros).

Gráfico 3 - Direção, frequência e velocidade dos ventos em Lins - dados horários de 24h (fevereiro e maio de 2018)



Fonte dos dados:
Velocidade e direção dos ventos: Estação Meteorológica Automática, INMET/Lins

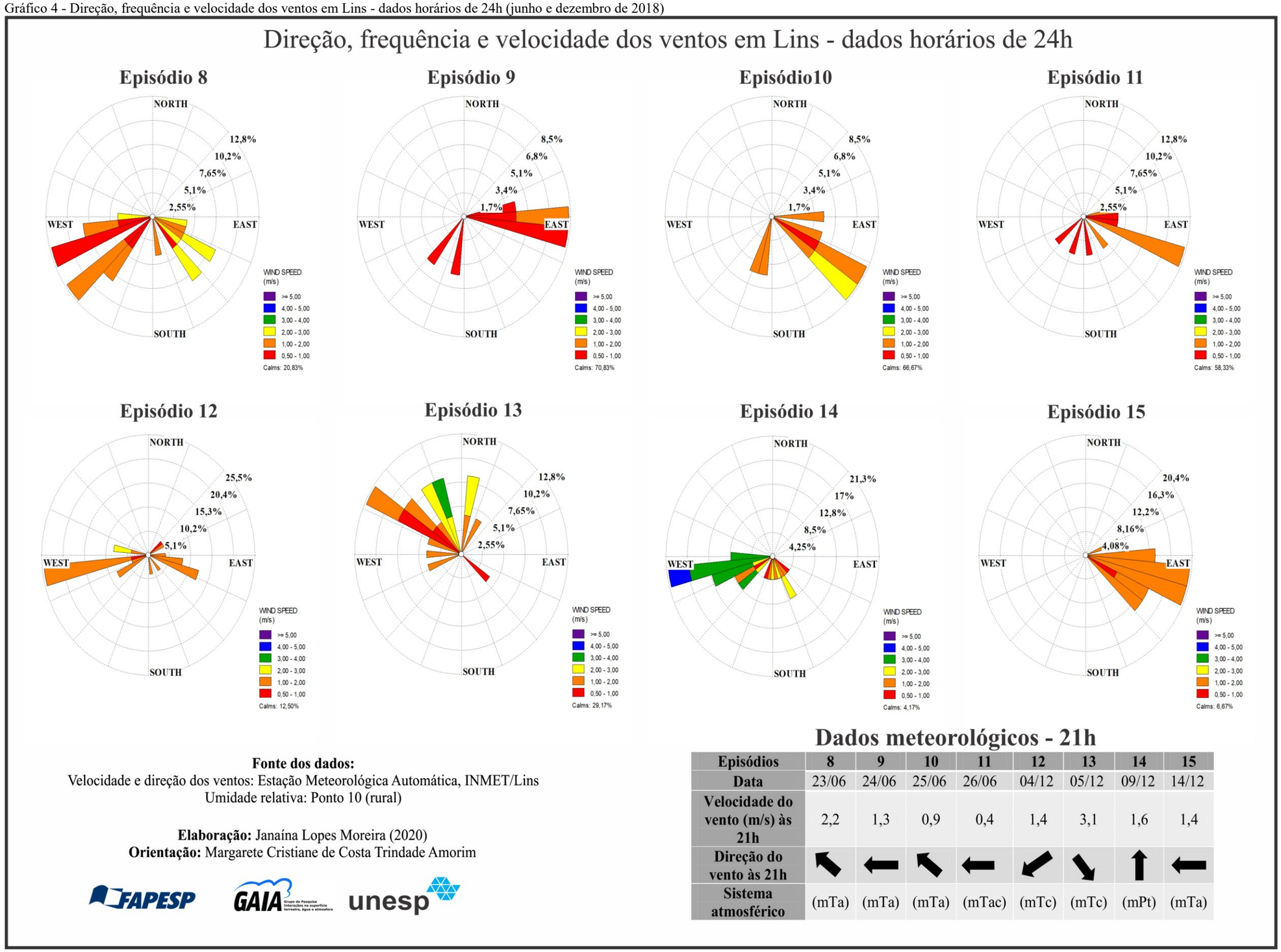
Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2020)
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

FAPESP GAIA Grupo de Pesquisa Interações na superfície terrestre, água e atmosfera unesp

Dados meteorológicos - 21h

Episódios	1	2	3	4	5	6	7
Data	08/02	16/02	23/02	01/05	02/05	03/05	04/05
Velocidade do vento (m/s) às 21h	0,4	2,8	0,3	0	0	0	0
Direção do vento às 21h	↗	↑	→	↘	↘	↘	↘
Sistema atmosférico	(Ta)	(IT)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Ta)

Gráfico 4 - Direção, frequência e velocidade dos ventos em Lins - dados horários de 24h (junho e dezembro de 2018)



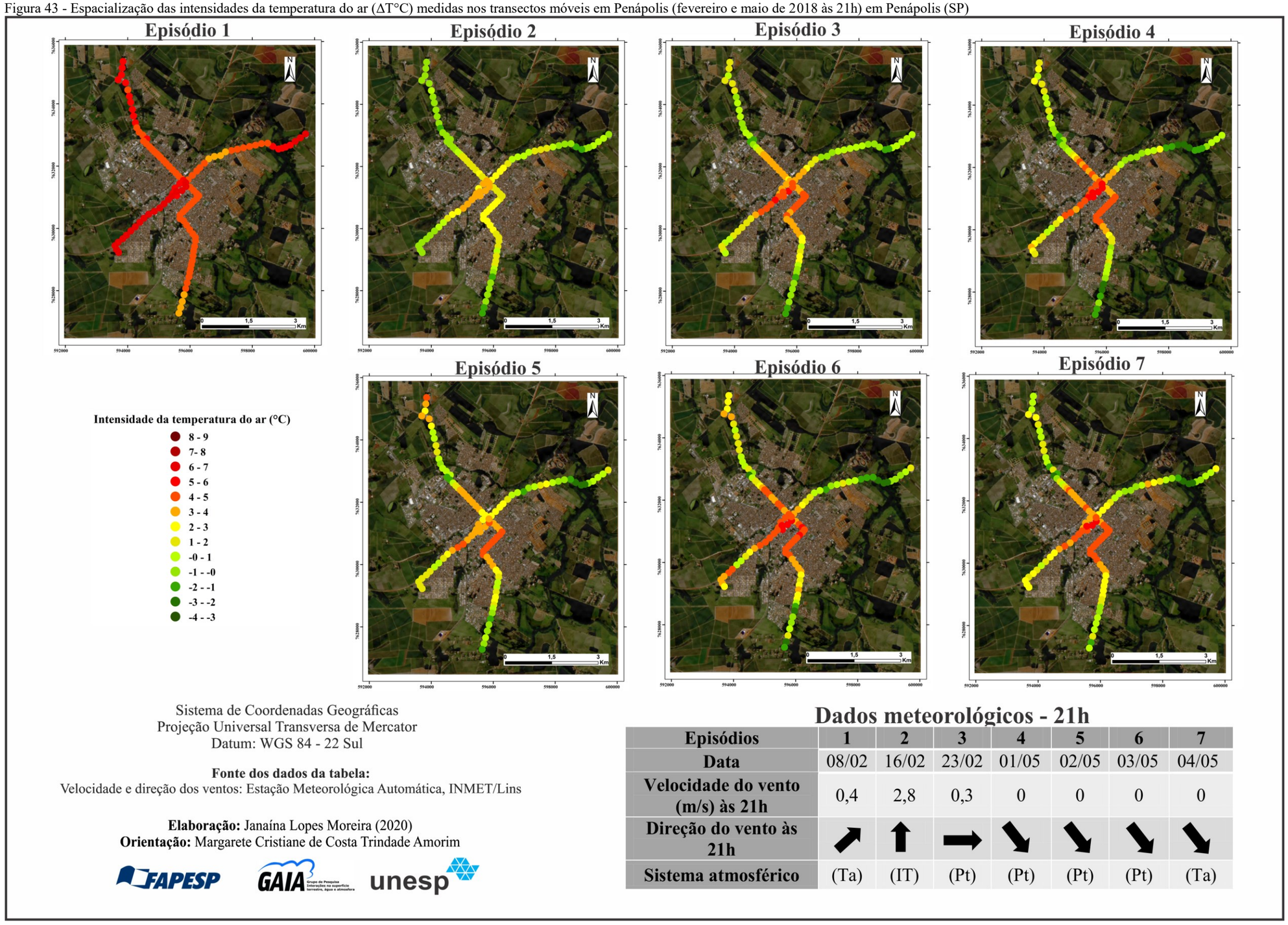
Fonte dos dados:
Velocidade e direção dos ventos: Estação Meteorológica Automática, INMET/Lins
Umidade relativa: Ponto 10 (rural)

Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2020)
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Dados meteorológicos - 21h

Episódios	8	9	10	11	12	13	14	15
Data	23/06	24/06	25/06	26/06	04/12	05/12	09/12	14/12
Velocidade do vento (m/s) às 21h	2,2	1,3	0,9	0,4	1,4	3,1	1,6	1,4
Direção do vento às 21h	↖	←	↖	←	↙	↘	↑	←
Sistema atmosférico	(mTa)	(mTa)	(mTa)	(mTac)	(mTc)	(mTc)	(mPt)	(mTa)

Figura 43 - Espacialização das intensidades da temperatura do ar (ΔT°C) medidas nos transectos móveis em Penápolis (fevereiro e maio de 2018 às 21h) em Penápolis (SP)



Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

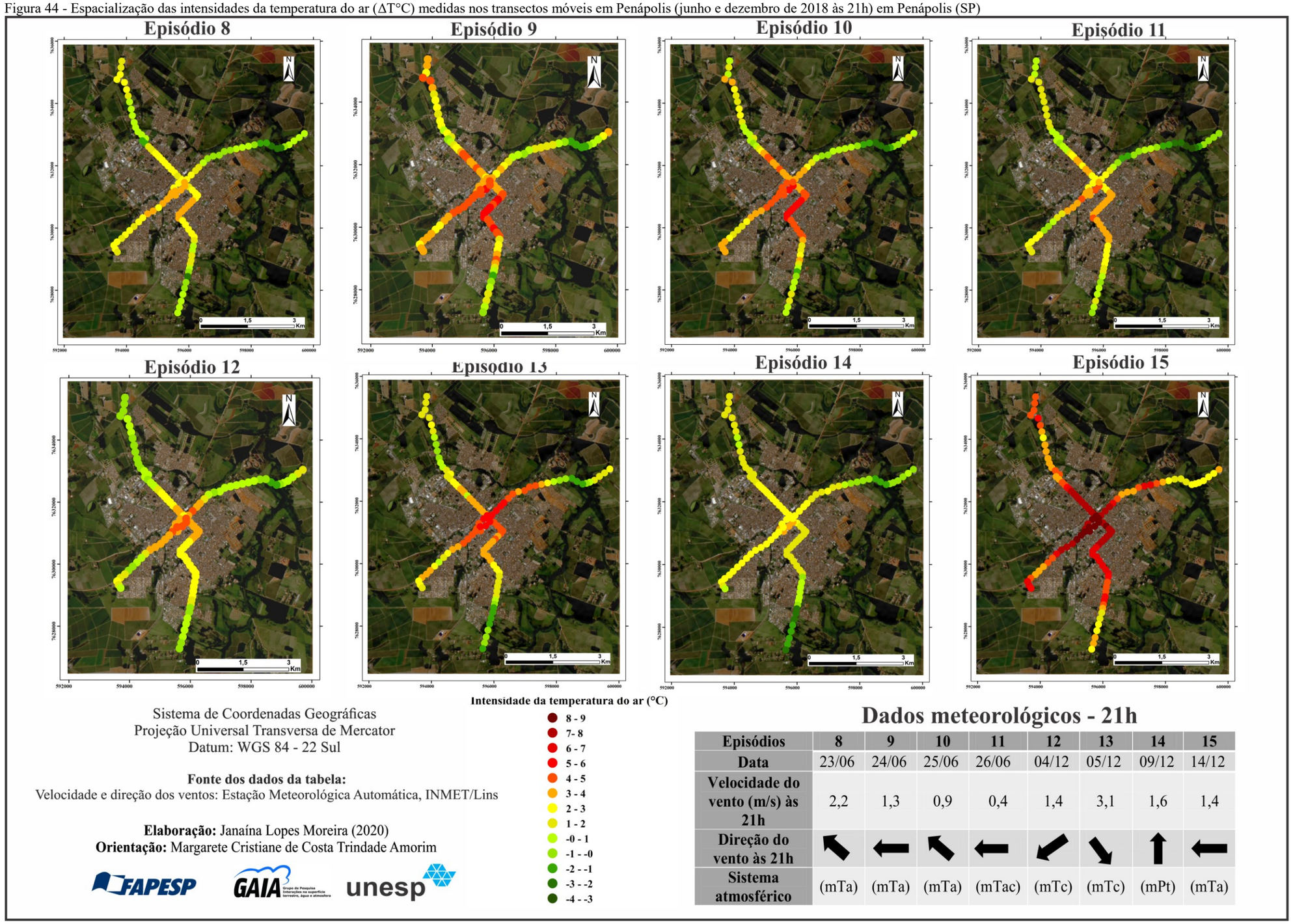
Fonte dos dados da tabela:
Velocidade e direção dos ventos: Estação Meteorológica Automática, INMET/Lins

Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2020)
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Dados meteorológicos - 21h

Episódios	1	2	3	4	5	6	7
Data	08/02	16/02	23/02	01/05	02/05	03/05	04/05
Velocidade do vento (m/s) às 21h	0,4	2,8	0,3	0	0	0	0
Direção do vento às 21h	↗	↑	→	↘	↘	↘	↘
Sistema atmosférico	(Ta)	(IT)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Ta)

Figura 44 - Espacialização das intensidades da temperatura do ar (ΔT°C) medidas nos transectos móveis em Penápolis (junho e dezembro de 2018 às 21h) em Penápolis (SP)



Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Fonte dos dados da tabela:
Velocidade e direção dos ventos: Estação Meteorológica Automática, INMET/Lins

Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2020)
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

FAPESP GAIA Grupo de Pesquisa Interações na superfície terrestre, água e atmosfera unesp

Dados meteorológicos - 21h

Episódios	8	9	10	11	12	13	14	15
Data	23/06	24/06	25/06	26/06	04/12	05/12	09/12	14/12
Velocidade do vento (m/s) às 21h	2,2	1,3	0,9	0,4	1,4	3,1	1,6	1,4
Direção do vento às 21h	↖	←	↖	←	↙	↘	↑	←
Sistema atmosférico	(mTa)	(mTa)	(mTa)	(mTac)	(mTc)	(mTc)	(mPt)	(mTa)

Além das condições sinóticas, as características de densidade de edificação/vegetação e topografia foram muito importantes para a análise da ICU em Penápolis. No Gráfico 5, as intensidades dos episódios mais significativos (Episódios 3, 4, 8, 9, 10, 13 e 15) foram representadas em gráficos, nos quais também foi adicionado o perfil topográfico dos percursos percorridos, bem como as características de uso e ocupação da terra por meio das LCZs identificadas.

Foi possível observar um padrão na distribuição das temperaturas de acordo com as características urbanas e de relevo. O percurso Nordeste-Sudoeste passou por 8 LCZs, sendo que os primeiros pontos, de 1 ao 4, LCZ B_D, apresentaram intensidades baixas, até 3,0°C. A partir do ponto 5 ao 8, LCZ A, teve-se a influência do relevo por meio da presença do fundo de vale com corpo d'água (Ribeirão Lajeado), onde até foram registradas as intensidades negativas, que variaram de 0,8°C até -2,9°C. Esse padrão só não foi visualizado no episódio 16, quando não foram registradas temperaturas negativas, porém foi uma área de redução da temperatura, entre 1,6°C a 2,9°C.

Entre os pontos 9 e 12, LCZ B, as temperaturas permaneceram negativas devido ainda a influência do fundo de vale, ficando entre 2,5°C e -2,3°C. Dos pontos 13 ao 16, LCZ 7_B, as intensidades aumentaram, tornando sempre positivas, atingindo a máxima de 6,5°C no episódio 16. Na LCZ 9, pontos 17 ao 20, a temperatura volta a declinar, as intensidades variaram entre -1,5 até 4,5°C.

Em direção ao centro, já na LCZ 3, as intensidades aumentaram significativamente atingindo a máxima de 8°C no episódio 15 e mínima de 1,8ºC no episódio 4. Esses pontos correspondem aos bairros residenciais densamente edificados a nordeste do centro comercial. Ainda na LCZ 3, pontos 25 ao 34, adentrou-se o centro comercial, onde a ICU registrou a máxima intensidade. O ponto 31 foi onde se identificou a maior intensidade de 9,1°C (episódio 15), porém também foi o local onde se obteve valores elevados nos outros episódios, com mínima de 4,8°C no episódio 3.

As intensidades caíram conforme foi-se afastando da área do centro comercial, ficando em torno de 3,6°C a 8,7°C na LCZ 3_8, pontos 35 ao 38. Esse trecho caracteriza-se pela alta densidade de edificações com grandes construções cobertas por telhas metálicas sem pintura. Os pontos 39 ao 42, ainda na LCZ 3_8, as intensidades decresceram ainda mais, entre 1°C e 4°C, com exceção para o episódio 16, que registrou 7,7ºC nesse trecho. Essa diminuição se deve, principalmente, à cobertura vegetal arbórea existente nas laterais da linha férrea. A parte

final do percurso Nordeste-Sudoeste, caracterizada pela LCZ 3D, as intensidades oscilaram entre 0,7°C e 3,6°C.

O percurso Noroeste-Sul retrata as intensidades de ICU de 9 LCZs identificadas. Os 6 primeiros pontos correspondem à LCZ E_D e as intensidades oscilaram entre 0,1°C a 5,9°C. É uma área cujo uso da terra predominante é rural e com plantações (pontos 1 ao 3), passando pela rodovia Assis Chateaubriand (pontos 4 ao 6) para adentrar a cidade. Em virtude disso, é possível observar o aumento da intensidade nos pontos que se referem à passagem pela rodovia.

As intensidades diminuíram nos pontos 7 ao 9, LCZ 3_A, como consequência da grande quantidade de cobertura vegetal arbórea que se encontra em frente a um conjunto residencial densamente edificado. Nesses pontos, com exceção do episódio 15, as intensidades oscilaram entre -0,4°C e 2,6°C. Esses valores permaneceram semelhantes na LCZ 3_D, pontos 10 ao 12.

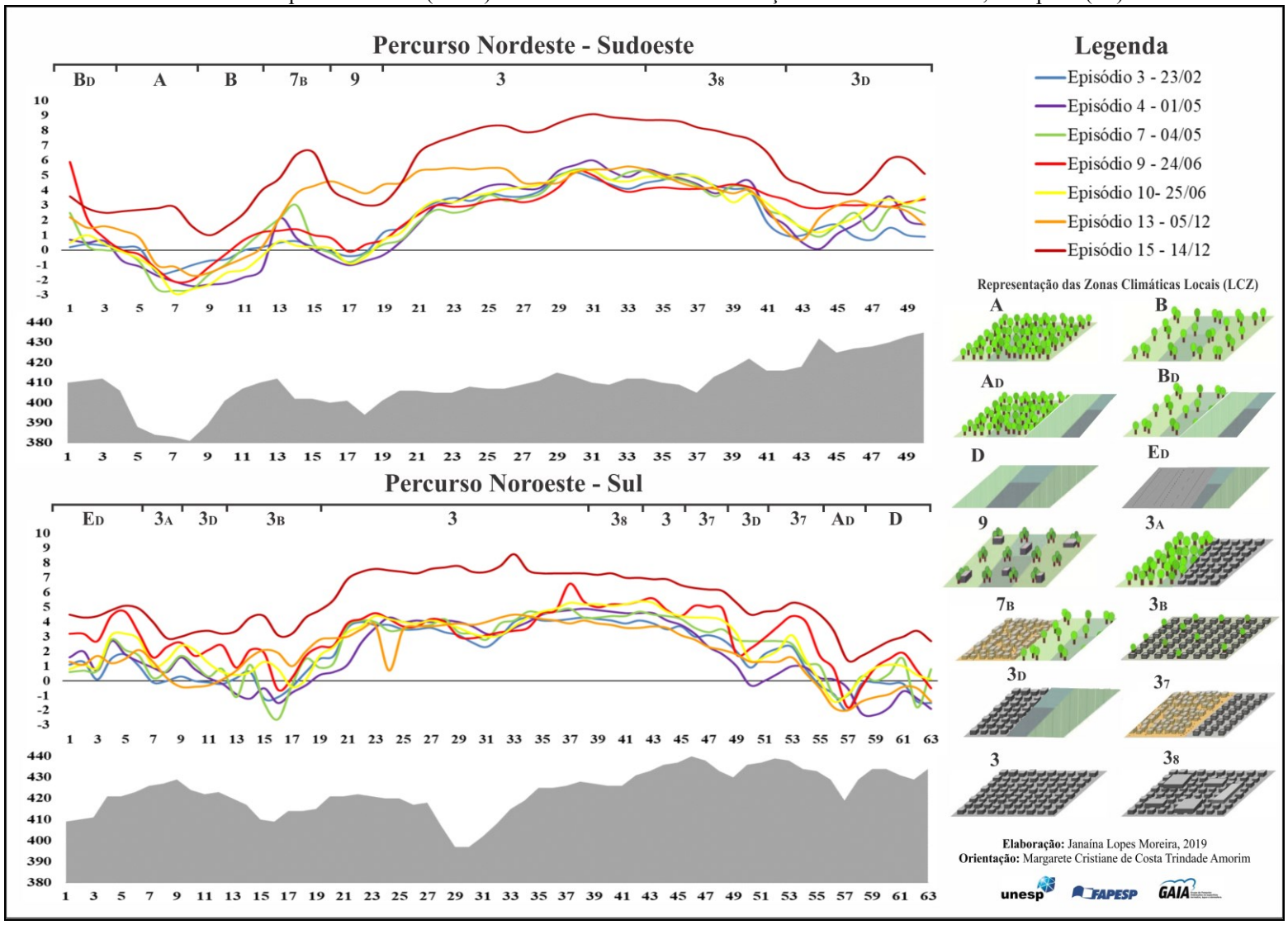
A partir do ponto 13, ocorreu a influência do relevo sobre a temperatura, as intensidades diminuíram, ficando entre -1,5°C 2,1°C. As intensidades diminuíram ainda mais, atingindo a mínima no ponto 16, onde se situa um pequeno fundo de vale com curso d'água. Esse trecho caracteriza-se pela LCZ 3_B e os valores de intensidade oscilaram entre -2,6°C a 3,1°C nesses episódios.

Os pontos 20 ao 38, LCZ 3, correspondem ao centro da cidade e é o trecho de maiores intensidades da ICU nesse percurso, com máxima de 8,6°C no episódio 15. Esse trecho apresenta um decréscimo das intensidades entre os pontos 30 e 31 (entorno de 0,5°C) devido à passagem pelo fundo de vale do Córrego Maria Chica. Todavia, a canalização desse córrego e suas margens totalmente ocupadas por alta densidade de edificações faz com que ele tenha pouca influência na temperatura do ar.

A LCZ 3_8, identificada entre os pontos 39 e 42, também apresentou elevadas intensidades entre 3,6°C e 7,3°C. Do ponto 43 ao 45, LCZ 3, o padrão de aquecimento se manteve com intensidades em torno de 4°C a 6°C.

.

Gráfico 5 - Intensidades das temperaturas do ar (ΔT°C) medidas nos transectos em relação a altitude e as LCZs, Penápolis (SP)



Do ponto 46 em diante, se adentrou uma área de ocupação menos consolidada, classificada como LCZ 3_7, fato que repercutiu na temperatura por meio do declínio das intensidades (entre 2°C e 5°C). Os pontos 49 ao 51, LCZ 3_D, é um setor de ocupação consolidada e compacta, porém que se apresenta na periferia da malha, recebendo, portanto, a influência do rural próximo. Além disso, apresenta altitudes mais baixas, configurando-se como um pequeno fundo de vale. Tais fatores influenciaram as intensidades desse trecho, que foram mais baixas que o percurso anterior, entre -0,3°C e 5,3°C. Esses valores permanecem semelhantes entre os pontos 52 ao 55, LCZ 3_7.

Outro trecho que revela a influência do relevo na temperatura local ocorreu entre o ponto 56 ao 58, LCZ A_D. A queda de 10 metros na altitude aliada à presença de vegetação arbórea densa diminuiu as intensidades, que variaram entre -2°C a 1,4°C. Por fim, as intensidades tiveram um leve aumento em virtude das altitudes maiores dos pontos 59 ao 63, LCZ D, onde se registrou intensidades entre -1,8°C e 3,4°C.

5.8.4 As ilhas de calor atmosféricas em Penápolis a partir da modelagem espacial: intensidade e magnitude

Compreender a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos geográficos constitui-se um grande desafio para elucidar questões centrais de diversas áreas do conhecimento. Esses tipos de estudos se tornam cada vez mais comuns em virtude da disponibilidade de sistemas de informação geográfica (SIG) de baixo custo e com interfaces de fácil compreensão (CÂMARA et. al., 2012).

Na climatologia urbana, os avanços ocorreram, e em grande parte, pela inserção do sensoriamento remoto como ferramenta de pesquisa tanto para a obtenção de dados quanto para confirmação de dados coletados em campo. Os avanços são notórios no que se refere à identificação de usos e coberturas da terra (CARDOSO, 2015), ao conhecimento da temperatura superficial (DORIGON e AMORIM, 2013) e sua dinâmica sazonal (AMORIM, 2017b; AMORIM e MOREIRA, 2019), bem como na representação (interpolação) das medidas móveis e fixas de temperatura do ar (TEIXEIRA, 2015; DORIGON, 2015; CARDOSO, 2015; MOREIRA, 2016).

No entanto, para a melhor compreensão do campo térmico urbano, ainda se faz necessário o aperfeiçoamento das formas de representação, privilegiando, sobretudo, àquelas que considerem as características de uso e ocupação da terra. Por esse motivo, frequentemente

as pesquisas de climatologia urbana não são devidamente utilizadas pelo poder público em decorrência da falta de detalhamento da distribuição da temperatura do ar na cidade. (AMORIM et al., 2015).

Oferecendo um avanço significativo às formas tradicionais de representação cartográfica, a modelagem espacial das temperaturas urbanas é uma técnica de representação das ilhas de calor atmosféricas, pautada nos valores medidos e nas características da superfície, fato que permite o maior detalhamento das características das temperaturas em locais onde não foram coletadas informações (AMORIM et al. 2015; GOMES et al., 2017).

Nesse sentido, a realização da modelagem espacial teve como objetivo a espacialização da ICU para áreas não abrangidas pelas medidas fixas e itinerantes de temperatura do ar (°C). O intuito foi identificar os setores urbanos que apresentam as maiores magnitudes do fenômeno, os quais foram considerados o aspecto negativo do indicador Ilha de calor urbana.

A modelagem espacial, também conhecida como multicriterial (TEIXEIRA, 2019), combina dados primários registrados em campo e provenientes de imagens de satélite por meio do uso do sensoriamento remoto. Para a aplicação, a cidade de Penápolis utilizou a temperatura do ar medida por meio de pontos fixos e transectos móveis e informações espaciais de cobertura da terra extraídas a partir do processamento das imagens de satélite *Landsat* 8, especificamente das bandas multiespectrais (banda 3 - verde, banda 5, infravermelho próximo, e banda 4 – vermelho) do sensor OLI, com resolução espacial de 30 metros. Além disso, a imagem SRTM topodata proporcionou informações quanto à altitude da área. A partir do processamento dessas imagens, foram elaborados os mapas de entrada do modelo, especificados a seguir.

Composição colorida

A composição colorida não se apresenta como um mapa de entrada do modelo, porém é de grande importância para o reconhecimento da área, uma vez que permite diferenciar as áreas urbanas (tons de rosa) e rurais (tons de verde). É um mapeamento feito a partir da combinação das bandas multiespectrais 3, 5 e 4 do satélite *Landsat* 8 que também auxilia na diferenciação dos tipos de vegetação, rasteira e arbórea, e consequentemente, serve para comprovação visual do mapa de cobertura da terra (Mapa A da Figura 45).

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Por meio da junção das bandas 4 e 5 do satélite *Landsat* 8 foi realizado o procedimento para obtenção do NDVI, que permitiu identificar a distribuição da densidade de vegetação (Mapas B e C da Figura 45). O vigor e desenvolvimento da vegetação não é igual ao longo do ano em decorrência da distribuição das chuvas na região. Na área de estudo essa variação é sazonal e notadamente caracterizada por dois períodos: seco e chuvoso.

Assim sendo, para a inserção no modelo, escolheram-se imagens representativas desses períodos, que foram adicionadas de acordo com o episódio modelado. O período seco foi representado pela imagem de inverno datada de 25 de junho de 2018 enquanto que a imagem de verão do dia 09 de dezembro de 2018 representou o período chuvoso. Os valores mais elevados, próximos a +1 se referem às áreas com grande densidade de vegetação (tons de verde), localizadas nos fundos de vale rurais, as áreas urbanas (tons de amarelo e laranja) apresentaram valores mais baixos, próximos a 0. Os corpos d'água apresentam os valores mais baixos, próximos a -1 (vermelho).

Classificação não-supervisionada: análise de *cluster*

Esse mapeamento foi resultado da classificação automática do uso da terra a partir do das bandas espectrais (composição colorida) e do NDVI. A classificação ocorreu a partir da técnica de *cluster*, que agrupa os dados (*pixels*) em intervalos de classe de acordo com suas características espectrais, resultando na identificação dos tipos de cobertura da terra (GOMES, 2017; SAMPAIO, 2019). No caso de Penápolis, utilizou-se a imagem representativa de inverno, já mencionada anteriormente, a qual gerou oito classes (*clusters*) como demostra Mapa D da Figura 45.

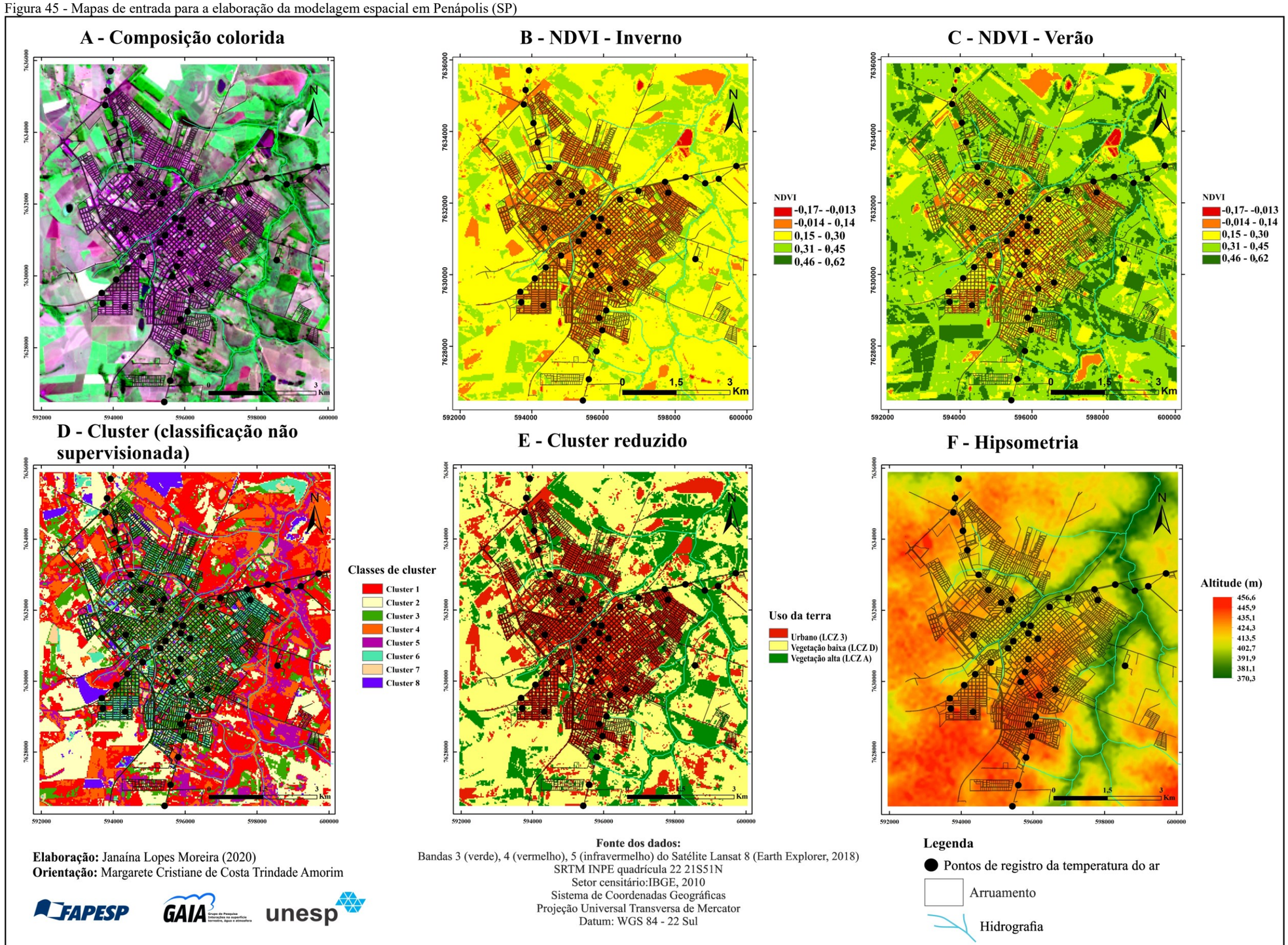
O agrupamento desses *clusters* foi realizado com base no mapa de composição colorida, extrações de NDVI de cada *cluster* gerado e do conhecimento de campo adquirido durante o desenvolvimento da pesquisa. A reclassificação levou em consideração o elemento que predominou em cada *pixel* e gerou o mapa de três categorias: Urbano, Vegetação baixa e Vegetação alta (Mapa E da Figura 45). A classe de "Vegetação alta" contemplou as áreas de cobertura arbórea densa, que estiveram associadas em grande parte aos fundos de vale localizados em áreas rurais. As áreas de pastagens, plantações e terrenos urbanos sem construções e com presença de gramíneas foram representadas pela classe "Vegetação baixa".

A classe “Urbano” reuniu todas as áreas impermeabilizadas e edificadas de todos os tipos de densidade.

Relevo

Como o relevo é um fator explicativo da variação da temperatura do ar (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007), a carta de hipsometria gerada a partir de imagem SRTM Topodata foi incorporada ao modelo. Corresponde ao Mapa F da Figura 45.

Figura 45 - Mapas de entrada para a elaboração da modelagem espacial em Penápolis (SP)



Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2020)
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

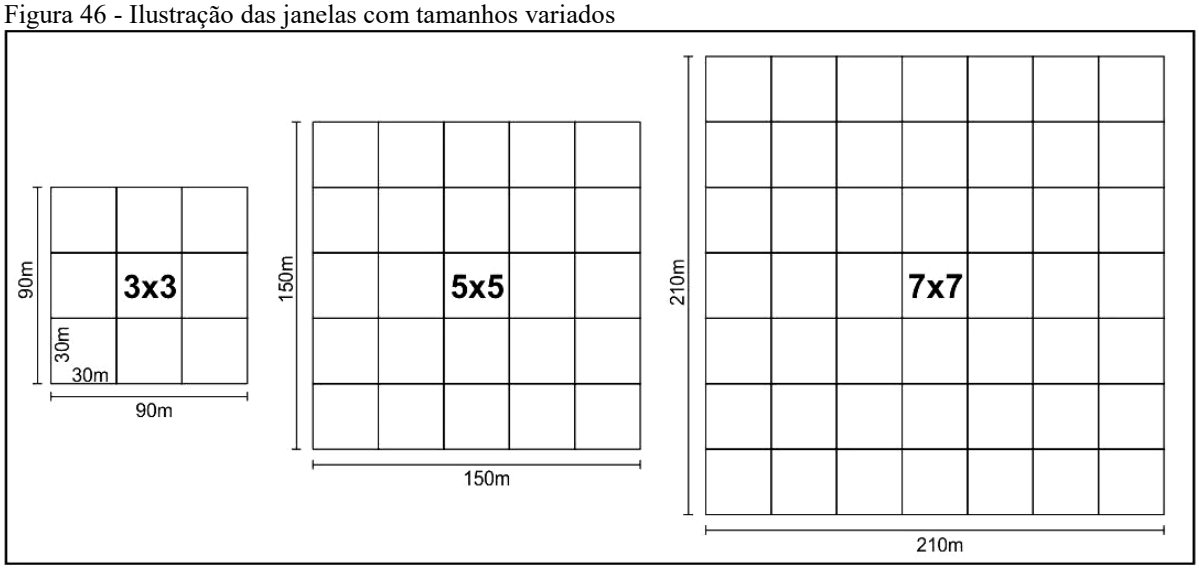
Fonte dos dados:
Bandas 3 (verde), 4 (vermelho), 5 (infravermelho) do Satélite Lansat 8 (Earth Explorer, 2018)
SRTM INPE quadrícula 22 21S51N
Setor censitário:IBGE, 2010
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Legenda
- Pontos de registro da temperatura do ar
- Arruamento
- Hidrografia

Na modelagem espacial a técnica de interpolação ocorre por meio da generalização por *pixel* entre o uso da terra e a temperatura do ar com base na correlação estatística entre as variáveis. A estatística utilizada é a regressão linear simples e múltipla e a variável considerada dependente é a temperatura do ar, enquanto as classes de uso da terra, relevo e o NDVI são tomadas como variáveis independentes (AMORIM et al., 2015; GOMES et al., 2017).

Inicialmente, a modelagem espacial baseia-se na regressão linear simples buscando as maiores correlações entre a temperatura do ar medida e a frequência de cada classe de uso da terra em janelas com tamanhos variados entre 3x3 *pixels* (90 x 90 metros), 5x5 *pixels* (150 x 150 metros) e de 9x9 *pixels* (270 x 270 metros) e assim por diante, considerando que a resolução espacial do *Landsat* 8 nas bandas selecionadas é de 30 metros (GOMES et al., 2017; DORIGON, 2019) (Figura 46).

Figura 46 - Ilustração das janelas com tamanhos variados



Fonte: Cardoso (2015, p. 108).

Essas janelas representam a frequência medida em porcentagem (%) de cada classe de cobertura da terra em *pixel* e tem como finalidade identificar a representatividade dos pontos de registro das temperaturas por meio da correlação entre a distribuição das temperaturas e a fração de cobertura da terra no entorno de cada ponto (GOMES et al., 2017). Essa etapa gera os coeficientes numéricos de correlação que indicaram se houve relação entre as variáveis, bem como a força e a intensidade de associação, resultando na seleção das classes preditoras do modelo (TEIXEIRA, 2019).

Para Penápolis a janela 49 X 49 (1.470 por 1.470 metros) apresentou a melhor correlação estatística entre os dados, como pode ser confirmado pelos coeficientes de correlação (*r*) e determinação (r^2) das classes e variáveis preditoras do modelo (Gráficos 6, 7 e 8). Para a composição do modelo, foram selecionadas as variáveis independentes: classe urbana, vegetação alta, relevo e NDVI.

Dentre as variáveis adotadas, a classe urbana foi a que demonstrou a maior correlação em relação à variável temperatura (variável dependente y). Essa correlação foi positiva, isto é, à medida que havia a maior frequência de cobertura urbana ocorria o acréscimo da temperatura. Os coeficientes de determinação (r^2) dessa classe foram elevados em quase todos os episódios apresentando valores acima de 54%, com exceção do dia 14/12/2018, quando o coeficiente foi de 25%. Entre os episódios, destacaram-se os dias 23/02/2018 e 25/06/2018 com valores de 81% e 72%, respectivamente. Como consequência da elevada correlação desta variável em relação à temperatura, a média de todos os episódios apresentou o coeficiente de determinação também elevado, no valor de 79%.

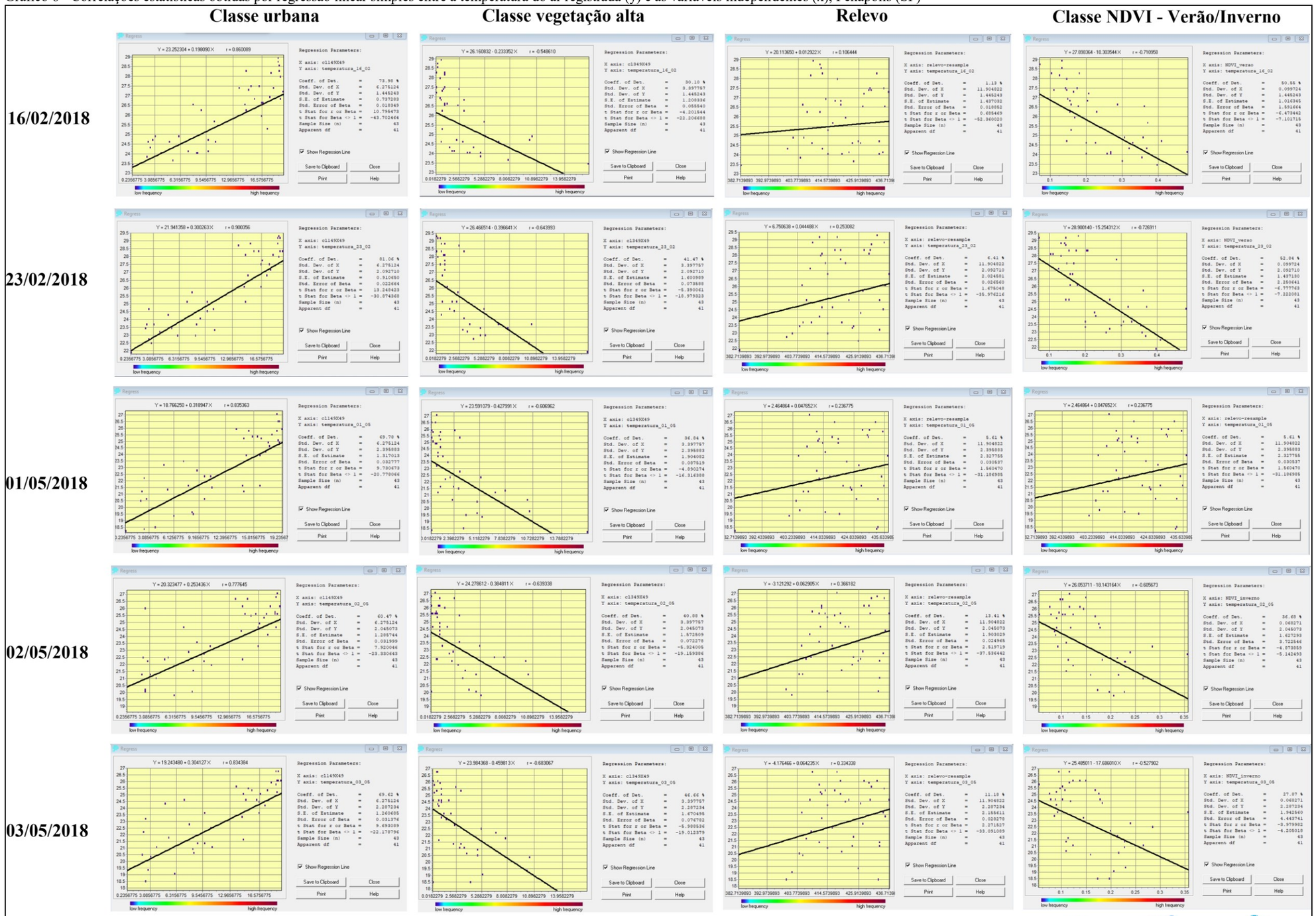
A vegetação alta foi outra classe que compôs o modelo e seu uso foi justificado pela presença desse tipo de vegetação tanto na malha urbana quanto no entorno rural próximo de Penápolis, bem como devido aos valores dos coeficientes individuais de correlação linear simples que se demonstraram elevados. A correlação foi negativa, como pode ser observado pela disposição da reta e também pelo valor de correlação negativo (*r*). Isso significa que quanto maior a frequência de cobertura de vegetação alta, mais ocorria o decréscimo da temperatura do ar. Os coeficientes de determinação (r^2) ficaram entre 30% e 50% nos episódios. O episódio do dia 14/12/2018 também demonstrou o valor mais baixo nessa classe, com o valor de 13%. Para a média dos episódios, o valor apresentado foi de 49%.

O relevo também foi considerado no modelo e estabeleceu correlação linear positiva com a temperatura. No tocante ao coeficiente de determinação (r^2) dessa variável, este apresentou maior variação entre os episódios com valores mais significativos nos episódios de sistemas estáveis como mTa (23/06/2018, 24/06/2018, 25/06/2018 e 26/06/2018). Esse resultado assemelha-se ao encontrado por Teixeira (2019), que identificou valores mais elevados de coeficiente de determinação (r^2) na variável relevo, em dias estáveis sob atuação da mPa, mTa e Tac em Presidente Venceslau (SP). Para o modelo da temperatura média dos episódios, o coeficiente de determinação (r^2) foi de 11% nessa variável. Os valores mais baixos nessa variável podem ter ocorrido devido à diferença de altitude do recorte, que é de 86 metros.

A última variável que foi incorporada ao modelo foi o NDVI, a fim de explicar as variações da vegetação entre as estações seca e chuvosa. O NDVI estabeleceu correlação negativa em relação à temperatura e os coeficientes de determinação (r^2) apresentaram valores entre 14% (14/12/2018) e 52% (23/02/2018). Os maiores valores foram identificados em episódios de estabilidade de tempo, porém representativos da estação chuvosa. Tal fato pode ser explicado pela exuberância da vegetação nesse período em decorrência da maior presença de água. Com base nesse resultado, elegeu-se o NDVI representativo do verão para compor o modelo com a temperatura média de todos os episódios, o que resultou em um coeficiente de determinação de (r^2) 50%.

Por fim, de maneira geral, por meio dos resultados da regressão linear simples das classes e das variáveis dos mapas de entrada, verificou-se que a classe urbana é a que estabelece a maior participação na estimativa da temperatura do ar no recorte delimitado para Penápolis

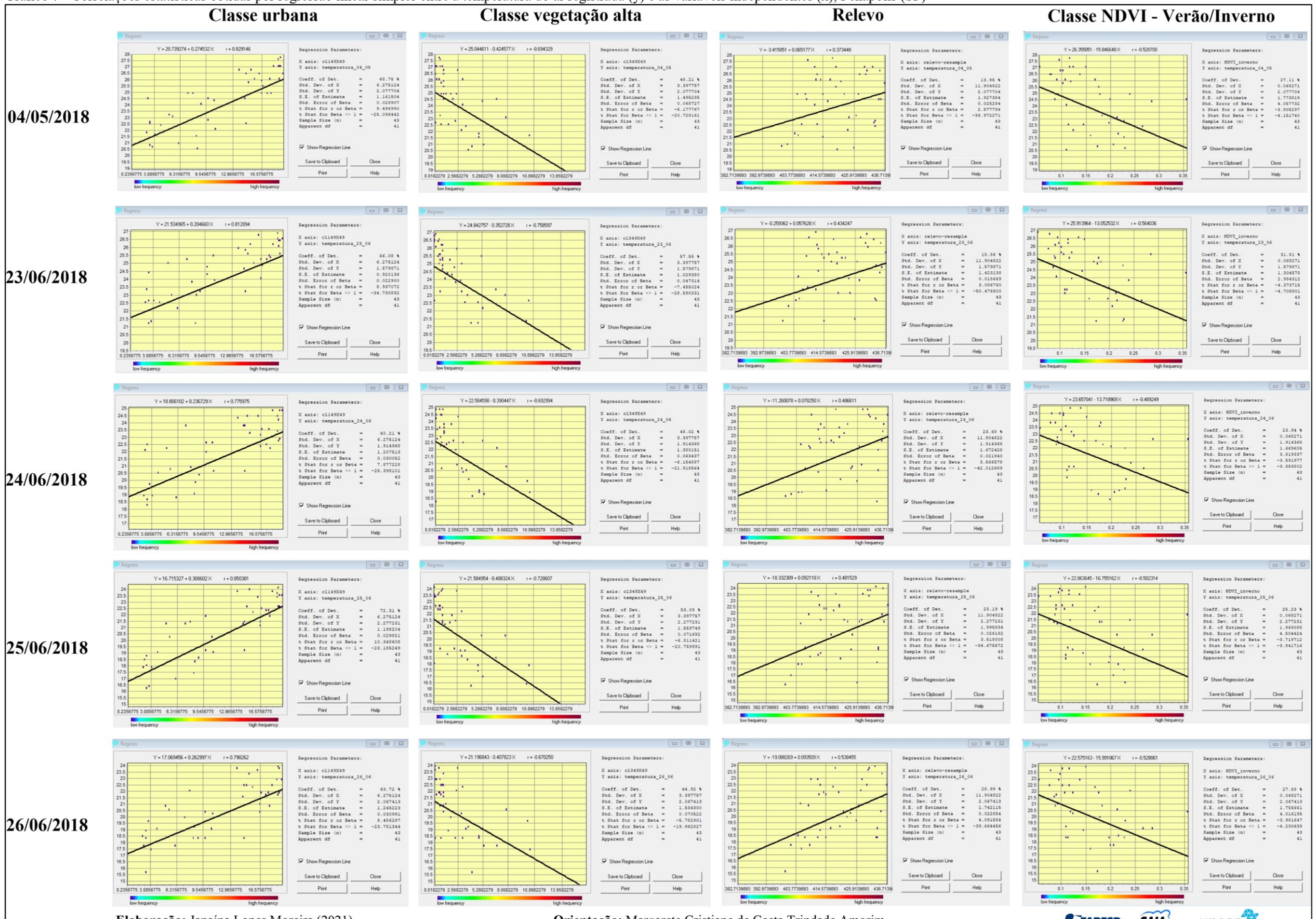
Gráfico 6 - Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada (y) e as variáveis independentes (x), Penápolis (SP)



Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2021)

Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

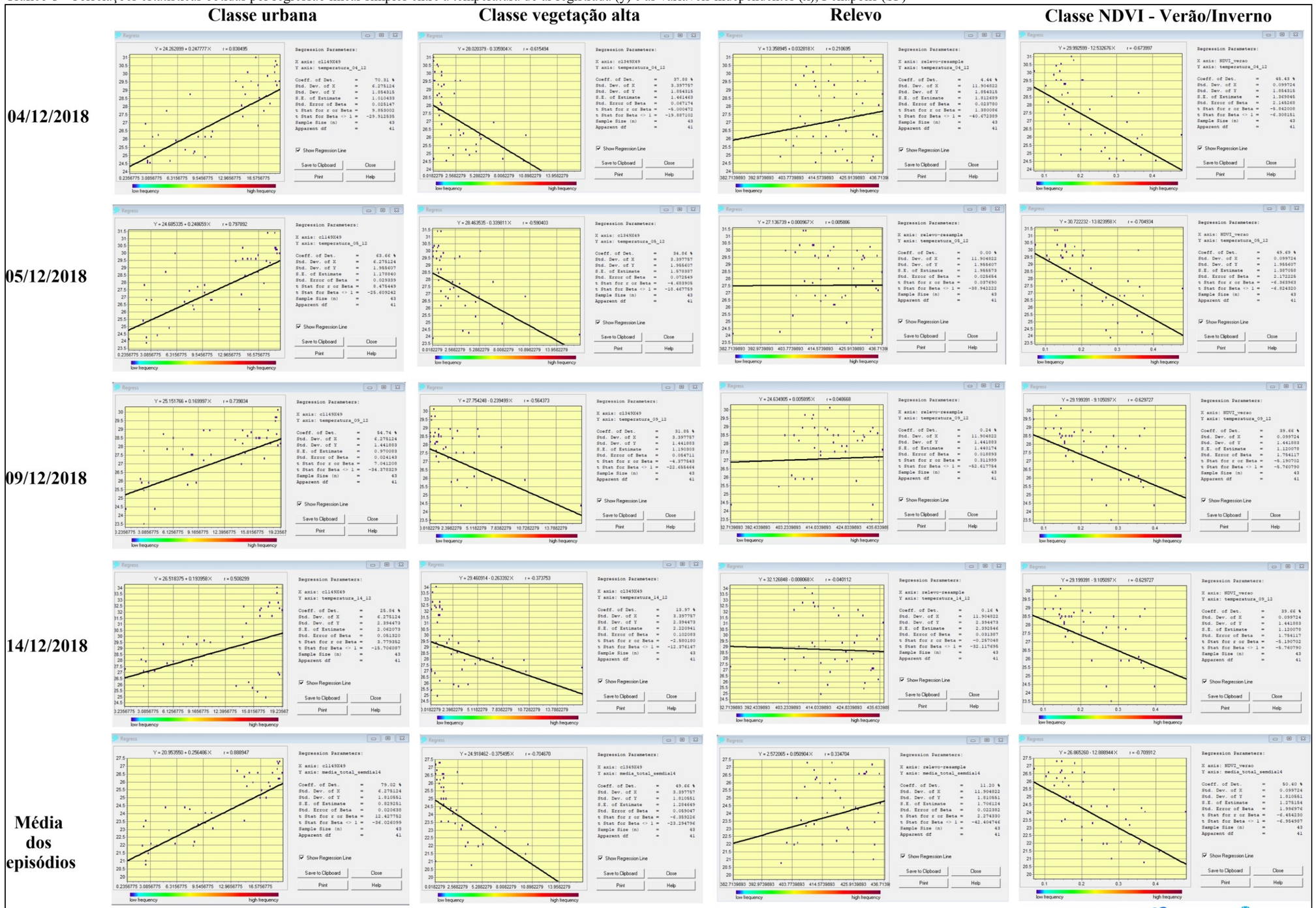
Gráfico 7 - Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada (y) e as variáveis independentes (x), Penápolis (SP)



Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2021)

Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Gráfico 8 - Correlações estatísticas obtidas por regressão linear simples entre a temperatura do ar registrada (y) e as variáveis independentes (x), Penápolis (SP)



Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2021)

Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Assim, a partir desses resultados foram elaborados os procedimentos de regressão linear múltipla a fim de identificar a relação entre as variáveis geográficas “explicativas” (ocupação da terra) e a variável a ser “explicada” (temperatura) pelo modelo (GOMES et al., 2017). Para Penápolis, a correlação foi estabelecida entre a temperatura do ar, variável dependente, e a classe urbana, vegetação alta, relevo e NDVI, variáveis independentes.

Como resultado, foi obtida a equação de regressão linear múltipla (Equação 6) que pode ser descrita da seguinte forma:

$$y = b0 + b1x1 + b2x2 + b3x3 + b4x4 \quad (6)$$

Essa equação é definida por y como variável dependente, no caso, a temperatura do ar, b0 sendo o intercepto (valor da variável dependente quando todas as variáveis independentes são iguais a zero), b1, b2, b3 e b4 são os coeficientes de inclinações (parâmetro que reflete a variação na variável dependente para uma unidade de variação na variável independente, mantendo todas as outras variáveis independentes constantes) e x1, x2, x3 e x4 são as variáveis independentes (CARDOSO, 2015). A título de exemplo para Penápolis gerou-se a seguinte Equação (7):

$$Ta\ 23/02 = 18.7878 + 0.2747*C1 - 0.0048*C3 - 1.6265*NDVIverão + 0.0092*Relevo \quad (7)$$

Onde:

Ta 23/02 é a temperatura do ar estimada para o episódio do dia 23 de fevereiro de 2018;

C1 é a frequência da classe “Urbano” (LCZ 3) no uso da terra dentro da janela 49x49;

C3 é a frequência da classe “Vegetação alta” (LCZ A) no uso da terra dentro da janela 49x49;

NDVIverão é a presença ou não de vegetação na estação chuvosa;

Relevo é a altitude em metros

Para cada episódio, foi gerada uma fórmula para a estimação da temperatura do ar, considerando o recorte de Penápolis. Os coeficientes de correlação (r) global das equações, bem os coeficientes de determinação (r^2) foram organizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação (*r*) e determinação (r^2) global obtidos por meio de regressão linear múltipla considerando a temperatura do ar, o uso urbano, a vegetação alta, o NDVI e o relevo

Data	*Coeficientes de correlação (r)*	*Coeficiente de determinação (r^2)*
16/02/2018	0,85	0,73
23/02/2018	0,89	0,80
01/05/2018	0,82	0,68
02/05/2018	0,80	0,65
03/05/2018	0,84	0,70
04/05/2018	0,84	0,71
23/06/2018	0,86	0,74
24/06/2018	0,83	0,69
25/06/2018	0,89	0,90
26/06/2018	0,87	0,76
04/12/2018	0,82	0,68
05/12/2018	0,82	0,68
09/12/2018	0,74	0,55
14/12/2018	0,49	0,24
Média	0,90	0,81

Fonte: Autoria própria.

De maneira geral, os coeficientes globais foram elevados, demonstrando uma correlação linear positiva entre as variações da temperatura do ar e classe de uso urbano, e negativa em relação à classe de vegetação alta. Essa correlação foi confirmada pelas escalas de temperaturas absolutas dos mapas de temperatura do ar gerados, que foram semelhantes às máximas e mínimas registradas pelos pontos. No entanto, optou-se pela representação das intensidades, que foram extraídas a partir da temperatura do ar estimada para o ponto 10 (LCZ 9 – construções pequenas e médias espaçadas), considerado ponto "0" nas análises anteriores dessa pesquisa.

As Figuras 47 e 48 apresentam as intensidades estimadas da ICU por meio da modelagem espacial em Penápolis. Com a análise episódica, foi possível identificar padrões no que se refere à distribuição espacial das intensidades e sua variação sazonal durante o ano. Ao contrário do que se verificou na análise das intensidades da ICU superficial, as maiores magnitudes da ICU ocorreram em episódios do período seco (Tabela 4). Essa característica foi observada nos mapas de maio e junho (Episódios 3, 4, 5, 6, 8, 9 e 10), nos quais as intensidades ficaram acima dos 5°C. Dentre esses, os episódios representativos de inverno tiveram maior destaque, com intensidades máximas de 6,6°C nos dias 25/06/2018 (Episódio 9) e 26/06/2018 (Episódio 10). Em contrapartida, nos dias de verão, a ICU demonstrou menores magnitudes com intensidades entre 3°C (Episódio 13) e 5°C (Episódio 2), característica térmica oposta à que foi encontrada na análise da ICU superficial.

Tabela 4 - Distribuição de precipitação dos 30 dias antecedentes à coleta de dados

Data	Precipitação (mm)				Intensidade modelizada
	05 dias	10 dias	15 dias	30 dias	
16/02/2018	26,1	41,3	41,3	146, 9	3,7°C
23/02/2018	67,4	89,9	108,7	198,5	5,6°C
01/05/2018	0	0	0	17,9	6°C
02/05/2018	0	0	0	10,6	5,8°C
03/05/2018	0	0	0	0	5,6°C
04/05/2018	0	0	0	0	5,2°C
23/06/2018	0	0	0	0	4°C
24/06/2018	0	0	0	0	5,2°C
25/06/2018	0	0	0	0	6,6°C
26/06/2018	0	0	0	0	6,6°C
04/12/2018	11,5	11,5	155,5	270,5	4,5°C
05/12/2018	11,5	11,5	155,5	270,5	5,1°C
09/12/2018	0	11,5	11,5	217,7	3°C
14/12/2018	0	0	11,5	211,2	4,2°C

Fonte: Autoria própria.

Esse padrão é comumente encontrado em estudos de cidades de porte médio e pequeno no ambiente tropical continental e está associado à quantidade de chuvas nos dias que antecedem os registros, e consequentemente, relaciona-se à sazonalidade do clima tropical continental (Tabela 4). No período seco, houve também maior influência dos fundos de vales localizados em áreas rurais na diminuição da temperatura do ar, como pode ser visto nos mapas dos episódios 4 ao 10, que esses locais demonstraram intensidades negativas, ou seja, temperatura do ar menor que o entorno rural próximo (ORTIZ PORANGABA, 2015; AMORIM, 2017a; TEIXEIRA, 2019).

No entanto, entre os episódios da mesma estação, também houve variações no que se refere à intensidade e à localidade da máxima. Essas diferenças são resultado das características dos sistemas atmosféricos atuantes no dia dos registros, que geraram condições de vento distintas. A velocidade do vento foi a principal causa dessas diferenças entre os episódios, como já foi verificado no item 5.8.3, na análise dos transectos móveis. A diferença de intensidade da ICU entre os dias 16/02/2018 (Episódio 1) e 23/02/2018 (Episódio 2) exemplifica bem essa relação, pois tratam-se de episódios de verão, próximos, cujos dias anteriores foram chuvosos (Tabela 4), porém com velocidades máximas dos ventos de 2,0 m/s e 5,0 m/s, respectivamente (Gráficos 3). Logo, o dia com ventos mais velozes durante o dia resultou em um ICU de menor intensidade durante a noite.

Sendo assim, as maiores intensidades da ICU foram observadas em dias com menor velocidade dos ventos, sendo essas condições propiciadas nos episódios de outono e inverno. Em maio, nos dias de registro (Episódios 3, 4, 5 e 6), os ventos não passaram de 2,0 m/s (Gráfico 3) e no horário da coleta às 21h a velocidade foi de 0 m/s. Já em junho (Episódios 7, 8, 9 e 10), a velocidade máxima durante os dias foi de 3,0 m/s, e no horário da coleta a máxima foi de 2,2 m/s no dia 26/06/2018 (Episódio 7) (Gráfico 4), que inclusive, foi quando a intensidade da ICU foi a mais baixa do período seco, com 4°C.

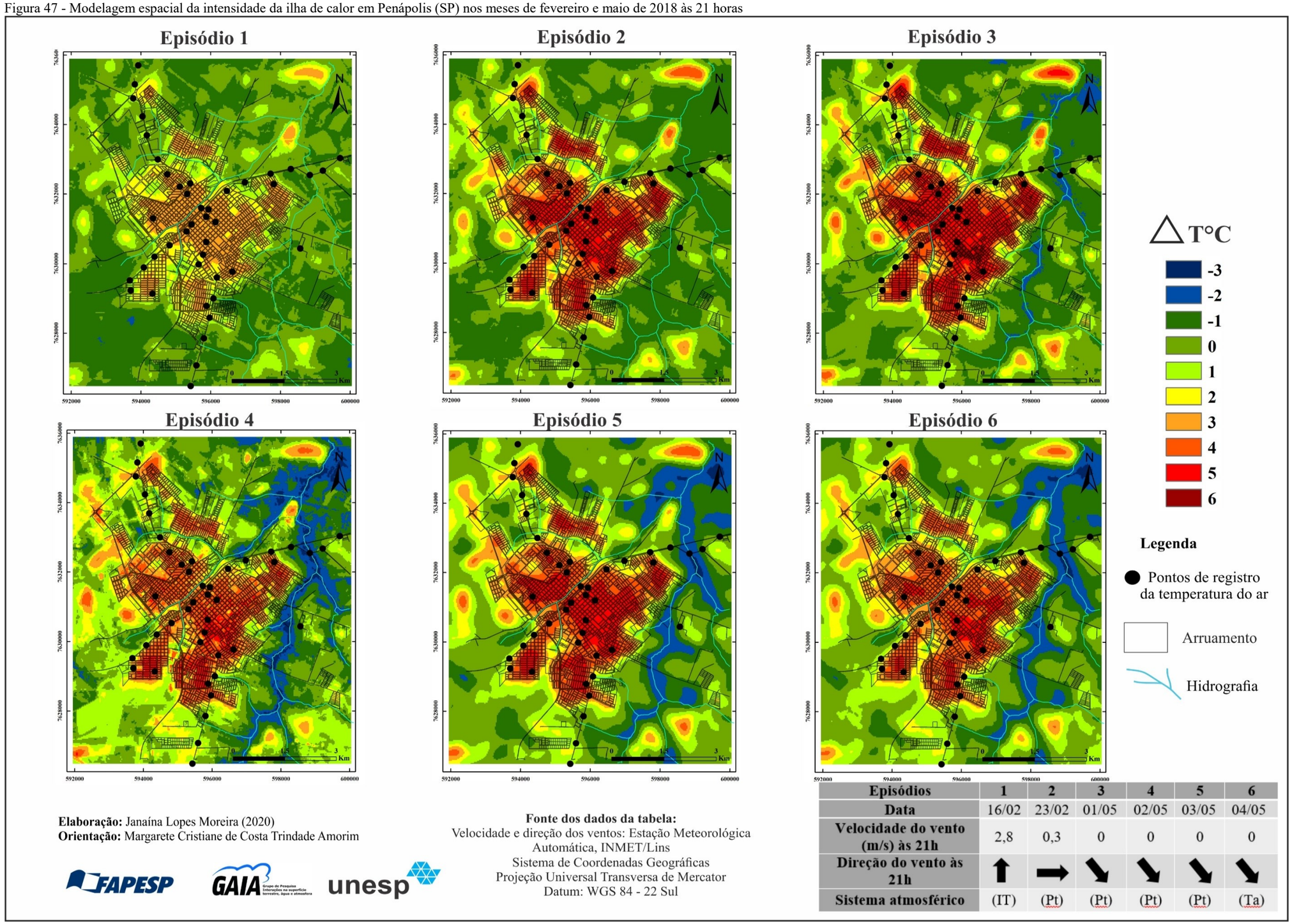
Nos episódios de verão as velocidades do vento são mais elevadas devido às instabilidades de tempo nos dias anteriores e posteriores aos registros. No dia do episódio 13, por exemplo, a velocidade do vento atingiu 5,0 m/s (Gráfico 4), o que influenciou a intensidade da ICU, que registrou o menor valor do período analisado, 3°C. Apesar da grande quantidade de chuvas nos dias anteriores ao registro (Tabela 4), em episódios verão (Episódios 11 e 12) com velocidades de vento mais baixas, entre 2 m/s e 3 m/s, as intensidades foram mais elevadas com 4,5°C e 5,1°C, respectivamente (Gráfico 4).

Os episódios também oscilaram no que tange à localização das intensidades máximas (pico) da ICU. Em alguns dias (Episódios 2, 5 e 11), os valores máximos estenderam-se por todos os setores urbanos de muito alta e alta densidade de edificação e baixa e média densidade de cobertura vegetal arbórea, dessa forma, praticamente toda a malha urbana adensada apresentou elevadas intensidades. No entanto, nos episódios 3, 4, 6, 7, 8, 9 e 10, os setores urbanos a sul foram os mais aquecidos. Estes se referem à localidade de bairros residenciais populares, tais como Vila Formosa, Jd. Del Rey, Jd. São Vicente, Jd. Primavera, Vila Martins, Vila Santa Casa, Vila Gardim entre outros (Figura 19, n° 89, 92, 100, 101, 103, 104, 112). Também nesses episódios, os bairros a sudoeste, como Jd. do Lago, Jd. do Lago III, Jd. do Lago IV e Jd. do Lago V (Figura 19, n° 62, 63, 64 e 65) também demonstraram intensidades máximas.

Nos episódios 12, 13 e 14, o pico da ICU esteve localizado mais no centro da malha e nos setores urbanos próximos a nordeste, mais especificamente nos bairros Centro, Jd. São Francisco, Vila América, Jd. Industrial, Pq. São Luiz, Vila Torres, Jd. Brasília, Distrito Industrial entre outros (Figura 19, n° 1, 35, 37, 39, 44, 46, 54 e 56). Bairros mais recentes como o Silvia Covas (n° 2), a norte, e Jd. Pevi II, Jd. Tino e Jd. Pevi (Figura 19, n° 139, 130 e 131), a leste, também apresentaram em alguns episódios (2, 3, 5, 9 e 10) as intensidades mais elevadas do dia.

Assim, com base nos resultados da modelagem espacial e tomando como referência a classificação de Férnandez García (1996), em Penápolis ocorreram ilhas de calor atmosféricas de magnitude moderada (entre 2° e 4° C), forte (entre 4°C e 6°C) e muito forte (acima de 6°C). As magnitudes muito fortes estiveram associadas ao período seco, mais especificamente ao inverno e à estabilidade do tempo, sobretudo, ventos fracos até 2 m/s, condições proporcionadas pela massa tropical atlântica (mTa).

Figura 47 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor em Penápolis (SP) nos meses de fevereiro e maio de 2018 às 21 horas

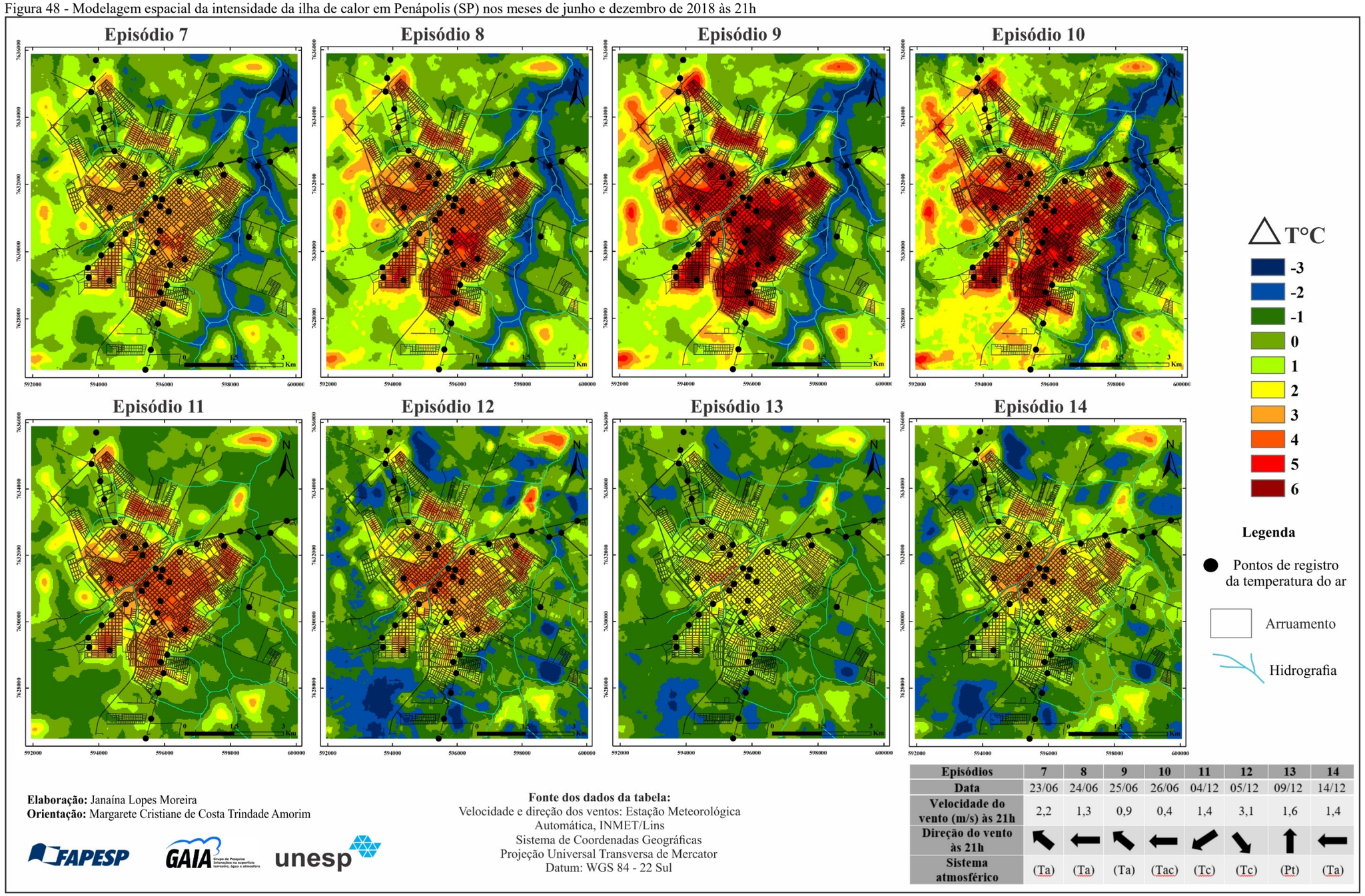


Episódios	1	2	3	4	5	6
Data	16/02	23/02	01/05	02/05	03/05	04/05
Velocidade do vento (m/s) às 21h	2,8	0,3	0	0	0	0
Direção do vento às 21h	↑	→	↘	↘	↘	↘
Sistema atmosférico	(IT)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Ta)

Elaboração: Janaína Lopes Moreira (2020)
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Fonte dos dados da tabela:
Velocidade e direção dos ventos: Estação Meteorológica Automática, INMET/Lins
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Figura 48 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor em Penápolis (SP) nos meses de junho e dezembro de 2018 às 21h



Episódios	7	8	9	10	11	12	13	14
Data	23/06	24/06	25/06	26/06	04/12	05/12	09/12	14/12
Velocidade do vento (m/s) às 21h	2,2	1,3	0,9	0,4	1,4	3,1	1,6	1,4
Direção do vento às 21h	↖	←	↖	←	↙	↘	↑	←
Sistema atmosférico	(Ta)	(Ta)	(Ta)	(Tac)	(Tc)	(Tc)	(Pt)	(Ta)

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

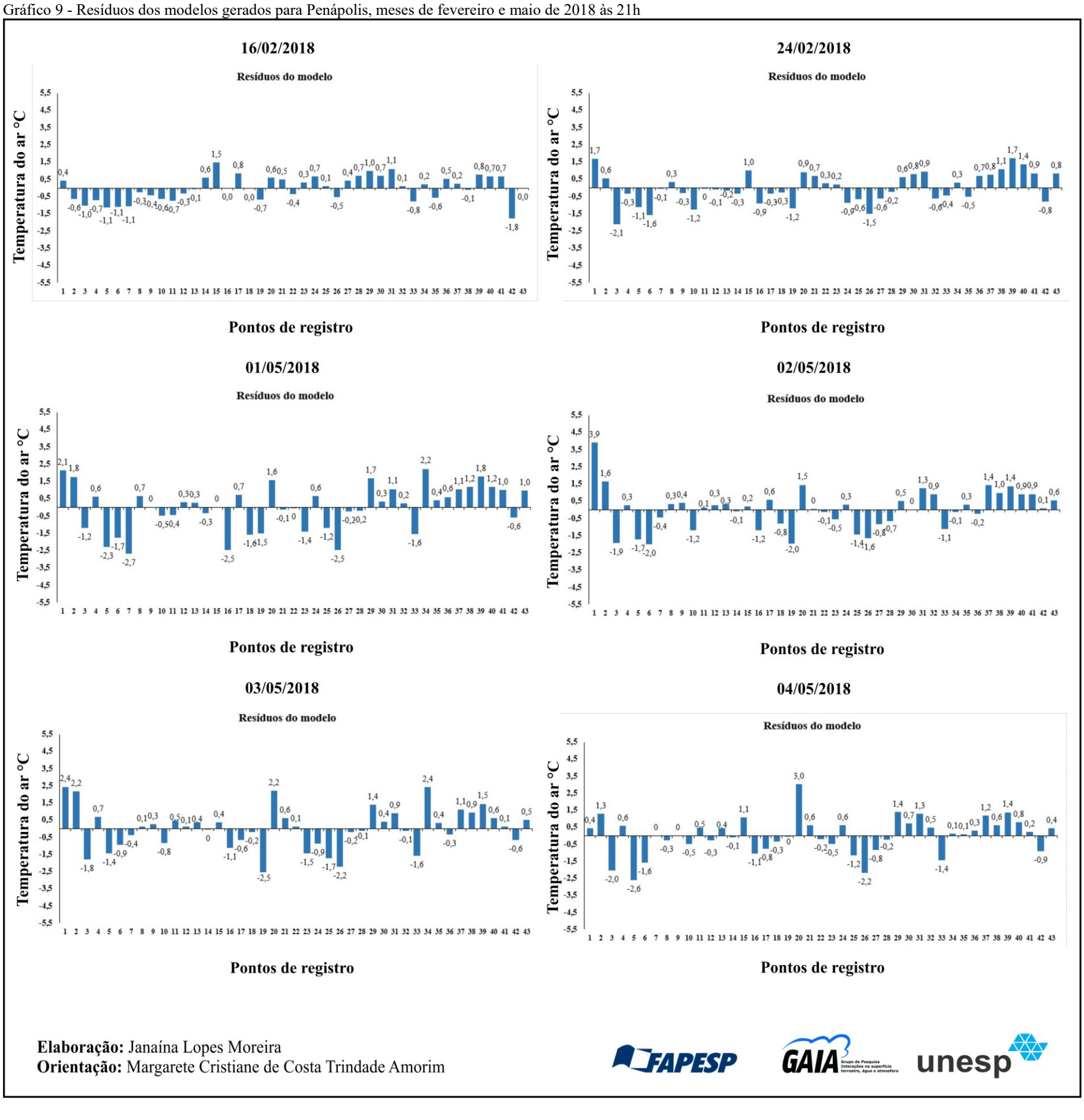
Fonte dos dados da tabela:
Velocidade e direção dos ventos: Estação Meteorológica Automática, INMET/Lins
Sistema de Coordenadas Geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 - 22 Sul

Uma das formas de confirmar a validade dos modelos gerados para a representação da ICU é a análise dos resíduos. O resíduo expressa a parte não explicada da variável dependente (temperatura do ar) em relação às variáveis independentes (QUININO; REIS; BESSEGATO, 2011). Sendo assim, a análise dos resíduos é importante para verificar a adequabilidade do modelo (GOMES et. al., 2017). Os resíduos foram calculados por meio da subtração do valor de temperatura do ar registrado e o valor estimado e os resultados foram organizados em gráficos de acordo com cada episódio (Gráficos 9 e 10)

Os resíduos que coincidiram com a reta (valor 0) expressaram a igualdade entre a temperatura observada em campo e a estimada pelo modelo. Os valores positivos representaram os pontos em que a temperatura estimada foi maior que a registrada. De maneira contrária, os valores negativos demonstraram os pontos em que a temperatura foi subestimada, ou seja, onde o valor estimado foi menor que o valor medido (GOMES et. al., 2017; TEIXEIRA, 2019; DORIGON, 2019).

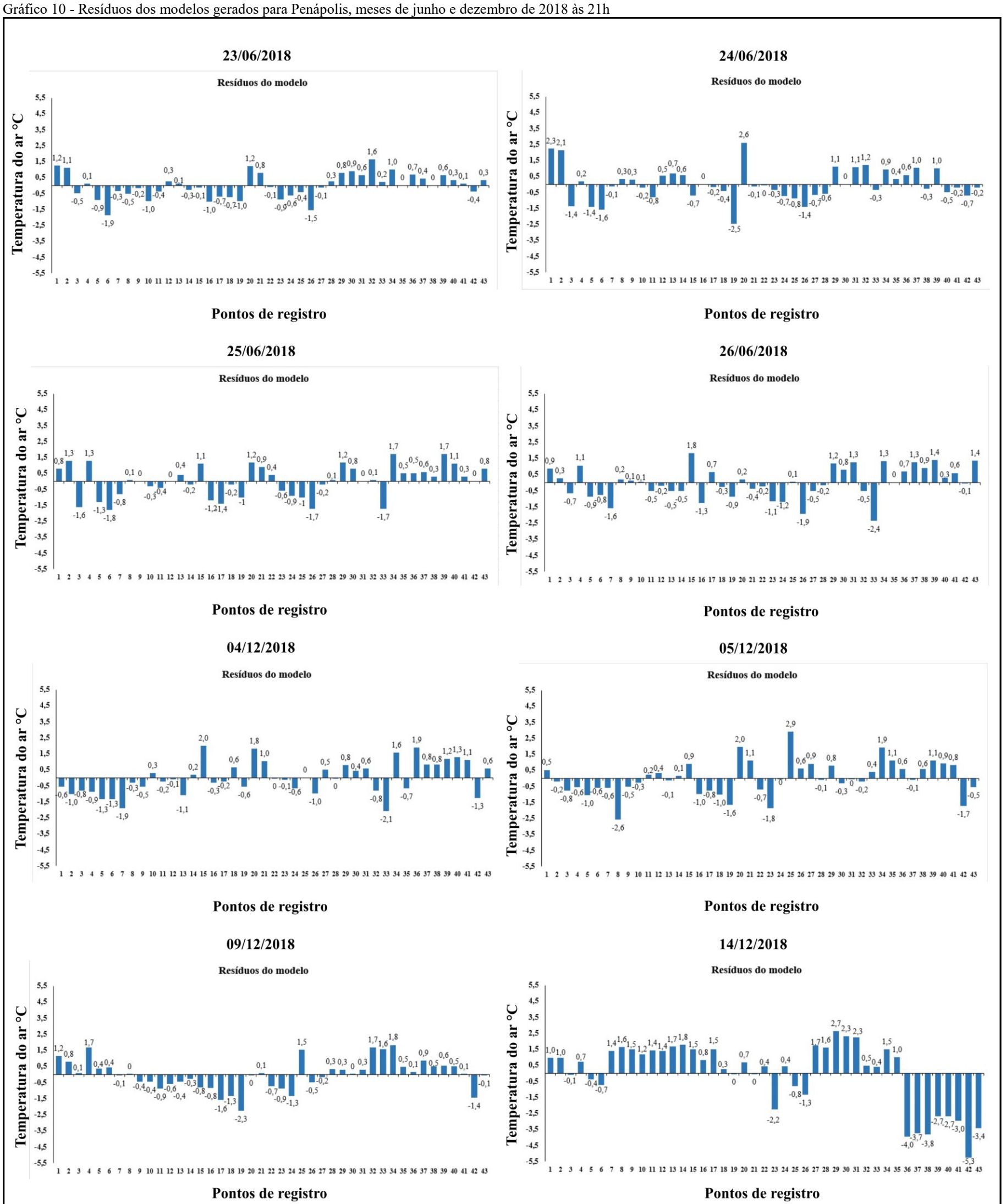
Os resíduos oscilaram entre +5,5°C e -5,5°C e os menores valores estiveram associados aos pontos urbanos, sobretudo àqueles que representam os setores de densidade de edificação muito alta e alta. Em contrapartida, os maiores resíduos foram encontrados nos pontos do entorno rural próximo, principalmente, os que se referem à localização de plantações e gramíneas. Na estação chuvosa, especificamente na primavera (14/12/2018), ocorreram os valores negativos mais elevados, com máxima de -5,3°C. Assim, os valores desse episódio determinaram os limites dos eixos dos gráficos, já que nos demais episódios as variações ocorrem entre +3°C e -3°C. Destacaram-se como episódios de menores resíduos os dias 16/02/2018, 23/06/2018 e 25/06/2018 com máximas entre +1,5°C e -1,9°C. Nesses dias, atuavam no munícipio a Linha de Instabilidade (IT) e as massas de ar polar tropicalizada (mPt) e tropical atlântica (mPa), respectivamente.

Gráfico 9 - Resíduos dos modelos gerados para Penápolis, meses de fevereiro e maio de 2018 às 21h



Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Gráfico 10 - Resíduos dos modelos gerados para Penápolis, meses de junho e dezembro de 2018 às 21h

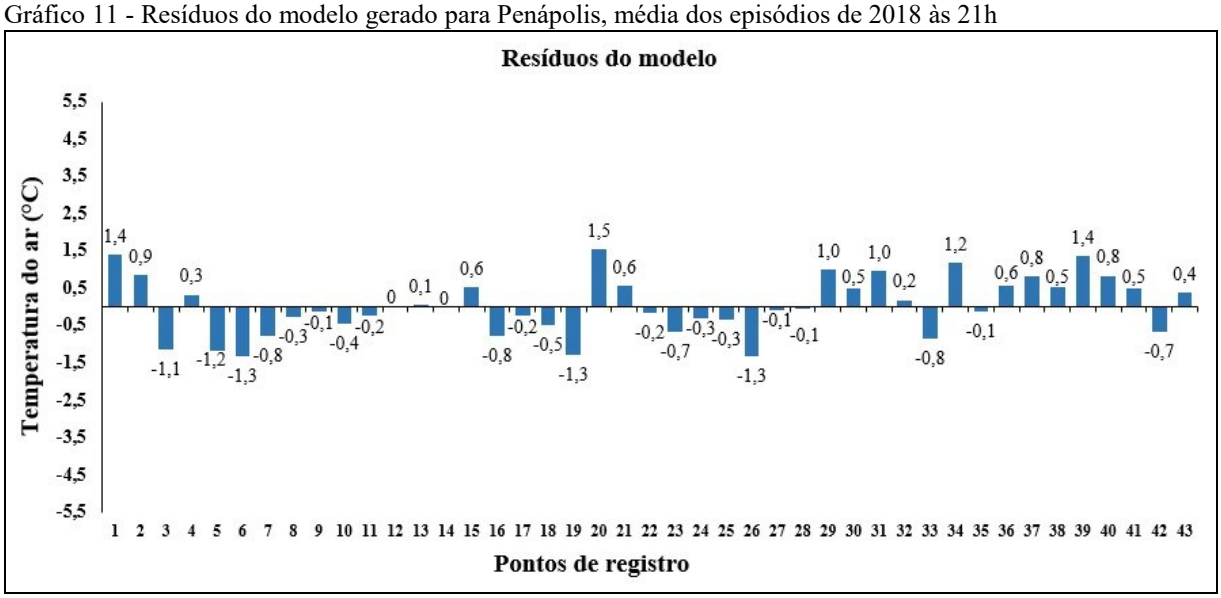


Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Nesse sentido, a partir das análises dos resíduos, confirmou-se que os modelos gerados cumpriram satisfatoriamente a estimação da temperatura do ar no recorte estabelecido para Penápolis. Para as áreas urbanizadas, a confiança do modelo é bastante elevada como comprovou os valores dos resíduos entre os pontos urbanos (entre +2°C e -2C) (Gráficos 9 e 10).

Por conseguinte, para elaborar a carta do indicador Ilha de Calor Urbana, calculou-se a média das temperaturas registradas nos episódios do ano de 2018[23]. O modelo gerado também foi sujeito à análise dos resíduos (Gráfico 11), que demonstrou desvios que oscilaram entre +1,5°C e -1,3°C, os quais asseguraram a confiabilidade da espacialização do fenômeno.

Gráfico 11 - Resíduos do modelo gerado para Penápolis, média dos episódios de 2018 às 21h



Fonte: Autoria própria.

Em suma, esse procedimento resultou na carta de Ilha de calor urbana de Penápolis para o ano de 2018 (Figura 49) que revelou uma ICU de magnitude forte, com intensidade máxima de 4,4°C. As máximas se localizaram nas áreas de densidade de edificação muito alta e alta, especialmente, na parte central, sul e sudeste da malha urbana. Essas localidades representam o bairro Centro (n° 1), tanto à parte destinada ao comércio e serviço quanto às áreas residenciais. Essas áreas também estão associadas à localização dos bairros residenciais Jardim, Vila Regina, Chácara Quatro Irmãs, Parque Residencial São Fernando, Residencial Gargione I, Vila Formosa II, Vila Formosa, Jd. Del Rey, Vila Paraíso, Jd. Primavera, Vila Gardim, Vila Santos, Vila Edejama, Jd. Paula Ferreira, Jd. Altimari, Residencial Boa Vista,

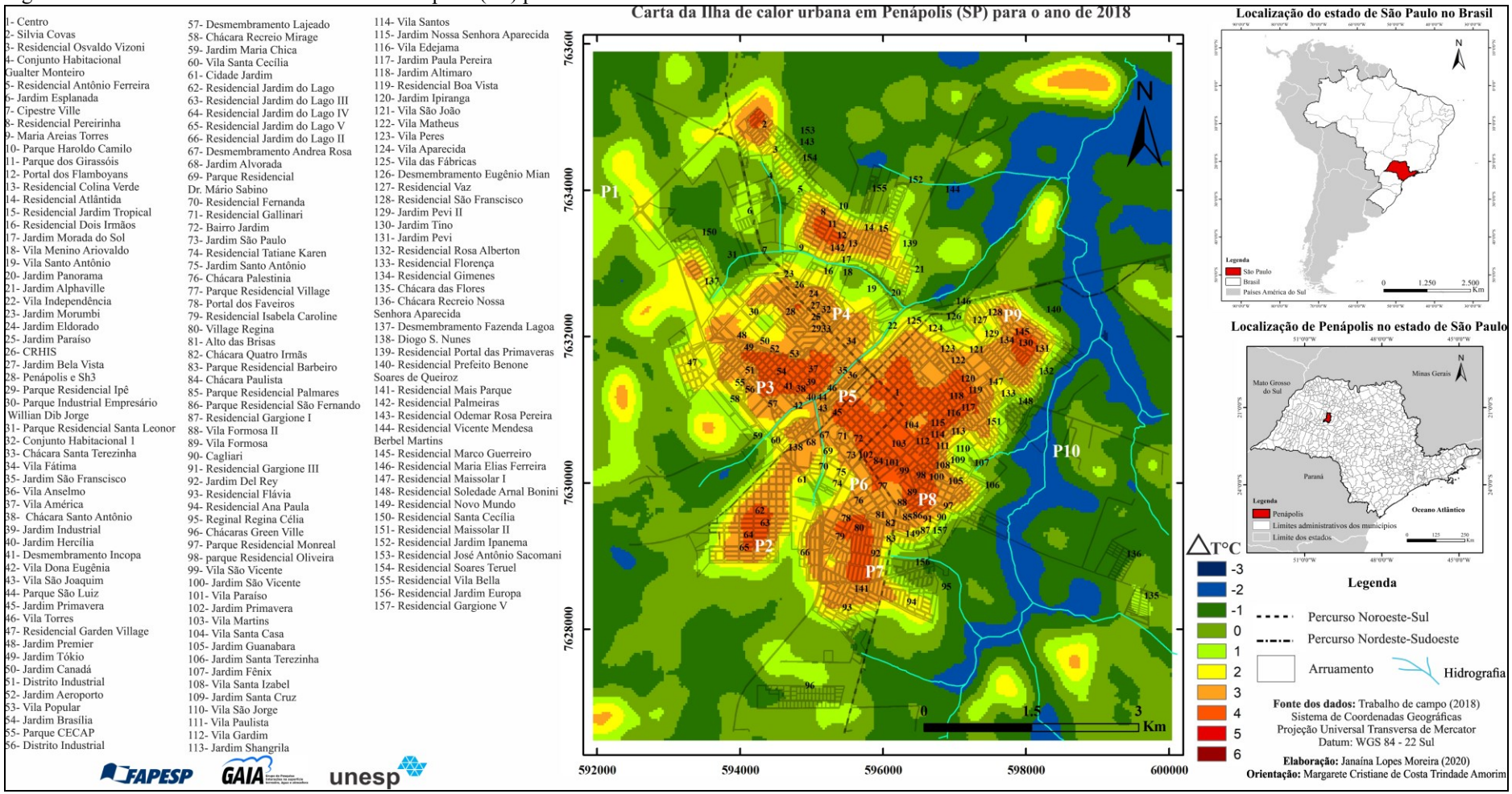
[23] Como descrito nos procedimentos metodológicos, o episódio do dia 14/12/2018 foi excluído do cálculo da média devido os valores mais elevados dos resíduos nos pontos rurais.

Jd. Ipiranga, Jd. Pevi II e Jd. Tino (n° 72, 80, 84, 86, 87, 88, 89, 92, 102, 101, 112, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 129 e 130).

As intensidades máximas ainda foram identificadas nos bairros Jd. do Lago I, III, IV e V (n° 62, 63, 64 e 65) a sudoeste, e Vila América, Chácara Santo Antônio, Jd. Industrial, Incopa, Jd. Tókio, Jd. Brasília e Distrito Industrial (n° 37, 38, 39, 41, 49, 54 e 56) a nordeste. Alguns bairros do setor norte, tais como Silvia Covas, Parque dos Girassóis e Portal dos Flamboyans (n° 2, 11 e 12) também demonstraram as maiores magnitudes.

Assim, para o indicador Ilha de calor urbana, a magnitude muito forte, ou seja, as áreas que apresentaram intensidades em torno de 4°C foram consideradas o fator negativo desse indicador.

Figura 49 - Carta de Ilha de calor urbana em Penápolis (SP) para o ano de 2018



6 QUALIDADE AMBIENTAL URBANA EM PENÁPOLIS (SP)

Para o estudo da QAU de Penápolis, não se teve o propósito de aplicar valores quantitativos aos atributos analisados. Com vistas à análise qualitativa da QAU, os atributos foram considerados como tendo o mesmo peso na capacidade de diminuir a qualidade ambiental devido à subjetividade de cada um deles, uma vez que a importância destes em relação à queda da qualidade do ambiente varia por pessoa. Portanto, a área que apresenta todos os atributos tem a pior qualidade ambiental em relação à que apresenta somente sete atributos, e assim por diante (NUCCI, 2001).

Para o cruzamento das cartas dos indicadores, foram considerados os aspectos tomados como negativos de cada indicador analisado (Quadro 13), e o resultado da sobreposição foi apresentado de forma quantitativa na carta de QAU de Penápolis (SP), por número de sobreposições (Figura 50).

Quadro 13 - Indicadores ambientais e seus respectivos aspectos negativos considerados na sobreposição das cartas

Indicador	Aspectos negativos de cada indicador considerados no cruzamento das cartas
Uso da terra	Usos mistos incompatíveis
Densidade de edificações	Muito alta densidade de edificações
Densidade populacional	Áreas com alta densidade demográfica
Ocorrência de enchentes	Áreas com ocorrência de enchentes
Poluição potencial	Áreas potencialmente poluidoras
Cobertura vegetal arbórea	Áreas com baixa cobertura vegetal arbórea
Espaços livres de edificação	Áreas com déficit de espaços livres de edificação
Ilha de calor urbana	Áreas com ilha de calor urbana de forte magnitude

Fonte: Autoria própria.

De maneira geral, a carta de QAU confirmou que Penápolis possui QAU baixa com a sobreposição de até sete indicadores. O centro da malha foi o local de maior ocorrência negativa com: usos mistos incompatíveis; muito alta densidade de edificações, áreas com alta densidade demográfica, áreas com ocorrência de enchentes, usos potencialmente poluidores, baixa cobertura vegetal arbórea e áreas com ilha de calor urbana de forte magnitude. Apesar de não ser uma área predominantemente residencial, é um setor urbano que gera preocupação,

uma vez que, por concentrar o comércio e os serviços, atrai grande quantidade de pessoas de todos os bairros.

Os setores da cidade com três sobreposições de indicadores, como uma parte do bairro Centro (n° 1) e seus bairros adjacentes a oeste, bem como o Parque industrial (n° 30) a noroeste, apresentaram a combinação dos aspectos negativos dos indicadores de cobertura vegetal arbórea, poluição e enchentes. Os bairros periféricos de construção recente a nordeste (n° 8, 11 e 12), sudeste (n° 115, 116 e 117) e sudoeste (n° 63, 64 65) da malha também apresentaram de três a quatro ocorrências negativas dos indicadores relacionados à baixa cobertura vegetal arbórea, ao déficit de áreas livres de edificação, ao número elevado de moradores e a ocorrência de ilhas de calor de forte magnitude. Tais setores correspondem à localização dos bairros Res. Pereirinha, Parque dos Girassóis, Portal dos Flamboyans, Jd. Nossa Senhora Aparecida, Vila Edejama, Jd. Paula Pereira, Jd. Lago III, Jd. Lago IV e Jd. do Lago V.

Alguns bairros periféricos demonstram a incidência de apenas um indicador, no entanto, alguns se referiam ao aspecto número de moradores (Figura 26, n° 25, 25, 27, 32 e 33) e outros a ausência de cobertura vegetal arbórea (Figura 28, n° 47, 56, 58, 59, 90, 93, 94, 139 e 151). A ausência de incidência dos aspectos negativos aponta a melhor qualidade ambiental em relação às outras áreas, fato que foi encontrado nos bairros a norte (n° 34) e a sul do centro (n° 77), cujas localizações referem-se ao bairro Vila Fátima e ao Residencial Village, onde o uso residencial é predominante e a cobertura vegetal arbórea é significativa.

Autores que se utilizaram da mesma concepção teórica e metodológica desta tese apresentaram resultados bastante semelhantes quanto à localização do maior número de sobreposição dos indicadores. Ugeda Júnior (2012), ao estudar a cidade de Jales (SP), identificou a sobreposição máxima de cinco indicadores no quadrilátero central e em alguns de seus bairros residenciais adjacentes, que inclusive foram as mesmas áreas de maior incidência de ilha de calor atmosférica. Já na análise da QAU de Araçatuba (SP), Minaki (2014) diagnosticou a incidência máxima de quatro indicadores na área central, sobretudo nas quadras no entorno comercial, onde também estiveram localizadas as maiores temperaturas do ar na análise do campo térmico urbano.

Objetivando a melhor interpretação por parte dos gestores públicos na identificação dos setores urbanos que necessitam de intervenções imediatas, também foi elaborada a Carta de QAU de Penápolis, por categoria (Figura 51). A definição das classes baseou-se no número de sobreposições do aspecto negativo dos indicadores. Os setores urbanos de seis a sete

sobreposições foram considerados de péssima QAU, enquanto os de cinco sobreposições foram classificados como de QAU ruim. Quadras com três a quatro sobreposições foram representadas como de QAU regular. Já a boa QAU correspondeu à duas sobreposições. Por fim, as classes excelente e ótima QAU representaram nenhuma ou uma sobreposição, respectivamente.

Figura 50 - Carta de Qualidade Ambiental Urbana de Penápolis (SP), por número de sobreposição

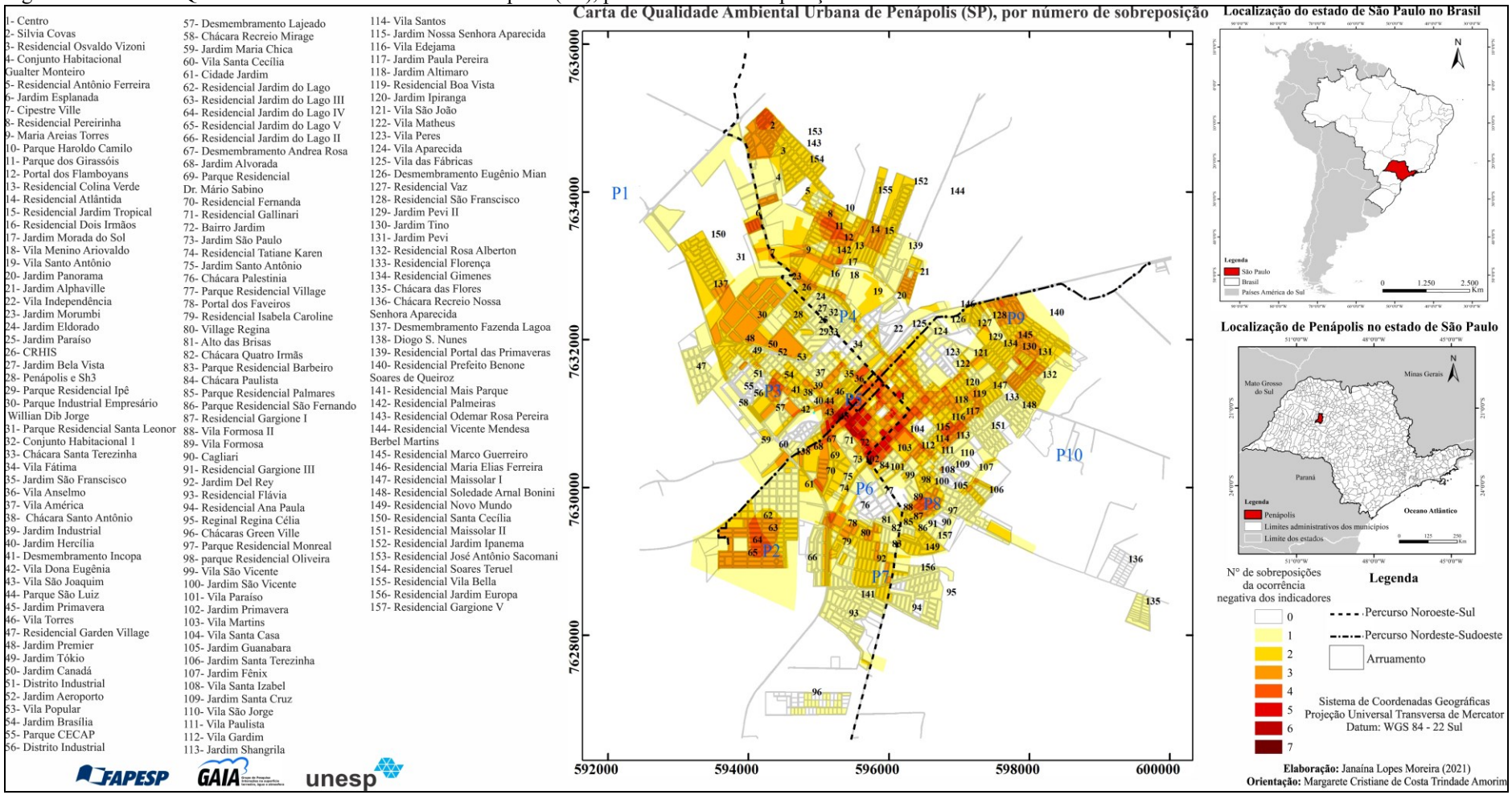
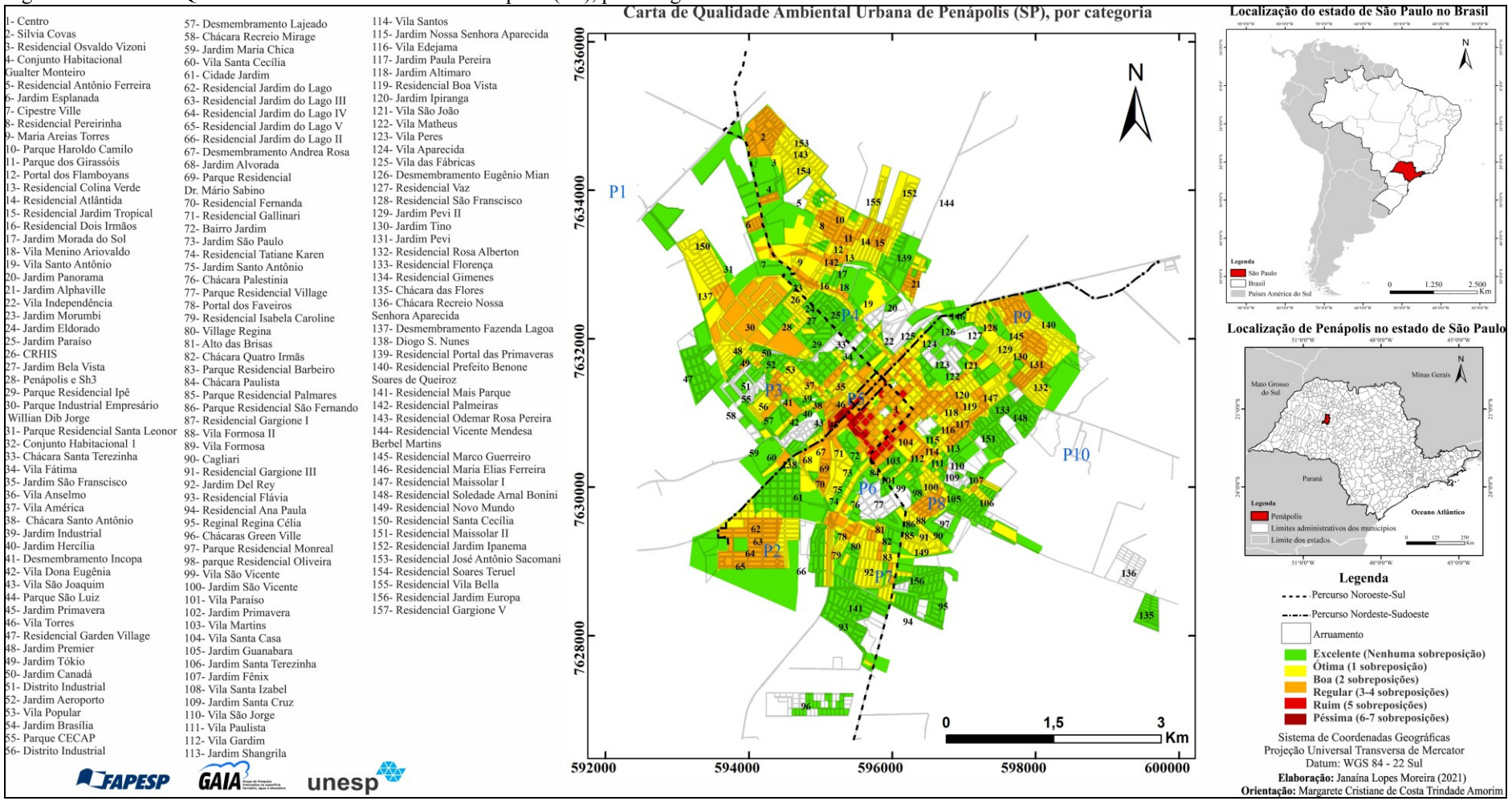


Figura 51 - Carta de Qualidade Ambiental Urbana de Penápolis (SP), por categoria



7 CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM

A classificação de Penápolis em Unidades de Paisagem (UP) ocorreu de acordo com as semelhanças dos problemas urbanos identificados por meio da incidência dos aspectos negativos dos indicadores ambientais (Quadro 14). Sendo assim, foram delimitados 6 setores que possuem semelhanças quanto aos problemas ambientais que geram a queda da qualidade ambiental urbana (Figura 52).

Quadro 14 - Descrição das Unidades de Paisagem delimitadas em Penápolis (SP) de acordo com os indicadores ambientais

UP	Descrição	Problemas urbanos identificados
1	Área de fundo de vale urbano de uso comercial e residencial com elevado fluxo de veículos e pessoas	Ilha de calor urbana; Poluição; Enchentes; Usos mistos incompatíveis; Elevado número de moradores elevado, Densidade de edificação muito alta e Baixa vegetação arbórea.
2	Área de uso residencial e industrial	Ilha de calor urbana; Poluição; Número de moradores elevado e Baixa vegetação arbórea.
3	Área de fundo de vale urbano de uso residencial	Ilha de calor urbana; Enchentes; Déficit de espaços livres de edificação e Baixa vegetação arbórea.
4	Área de uso residencial de ocupação intensificada	Ilha de calor urbana; Número de moradores elevado; Densidade de edificação muito alta e Baixa vegetação arbórea.
5	Áreas de uso residencial, de interesse econômico para expansão urbana e de ocupação intensificada	Déficit de áreas livres de edificação, Número de moradores elevado e Baixa vegetação arbórea.
6	Áreas de transição	Número elevado de moradores e Baixa vegetação arbórea.

Fonte: Autoria própria.

A UP 1, denominada de "Área de fundo de vale urbano de uso comercial e residencial com elevado fluxo de veículos e pessoas", refere-se ao centro comercial e de serviços que apresentou o maior número de sobreposições na carta de QAU (Figura 50). Abrange a parte canalizada do Córrego Maria Chica, afluente do Ribeirão Lajeado. É um setor urbano que atrai grande fluxo de pessoas da cidade e de outros municípios, pois concentra alguns serviços importantes, como os bancários e administrativos municipais (Prefeitura e Câmara Municipal). Portanto, é um setor urbano que demanda ações imediatas para amenizar a situação.

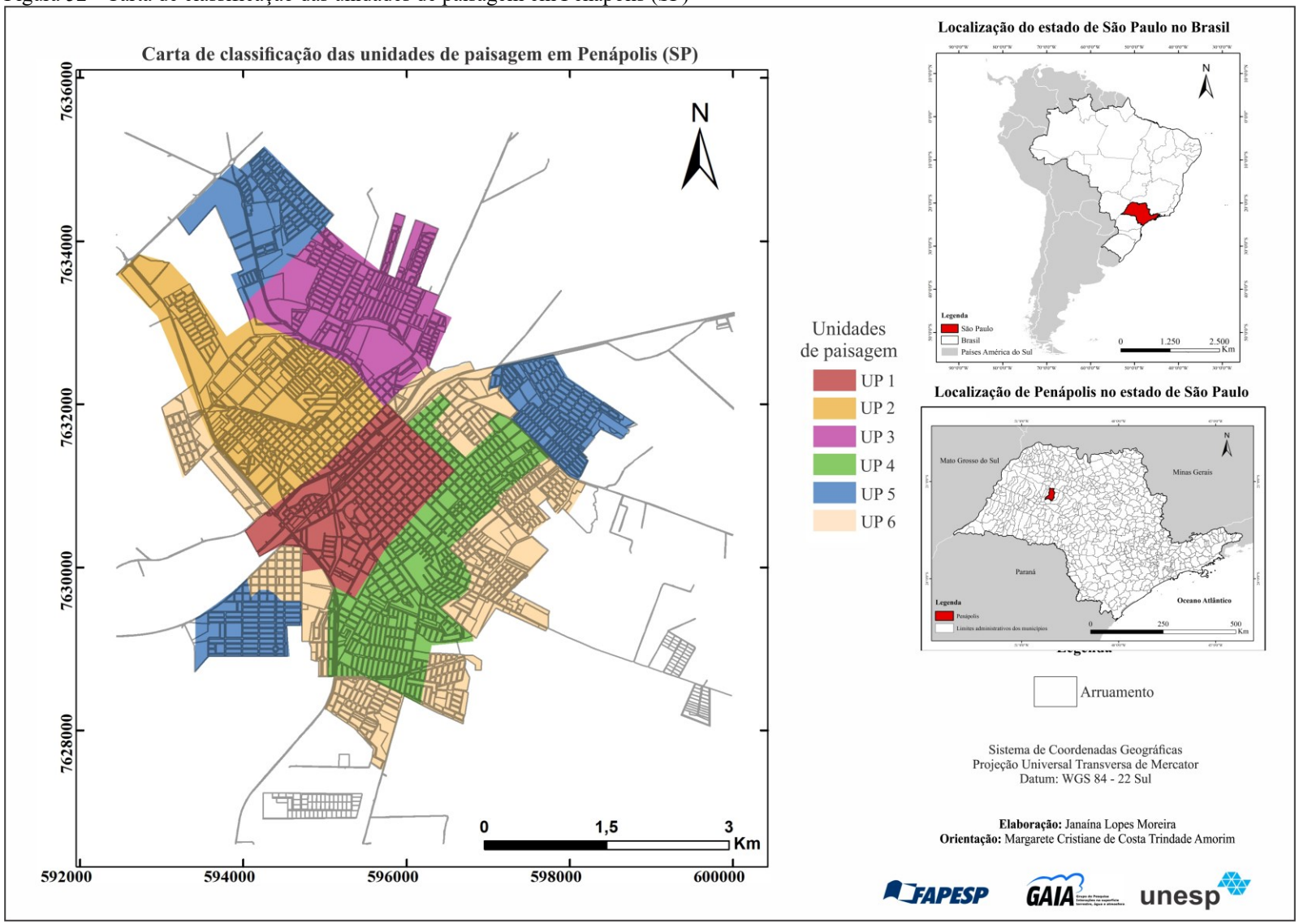
A “Área de uso residencial e industrial”, UP 2, é caracterizada pela presença de várias indústrias, sobretudo serralherias, marmorarias, além de concessionárias e retíficas. Dessa forma, é um setor urbano com maior potencial à poluição. Em conjunto a isso, apresentou baixa densidade de vegetação arbórea em alguns bairros mais próximos ao Distrito Industrial. Esses problemas devem ser considerados relevantes, uma vez que é uma área com elevado número de moradores.

A UP 3, “Área de fundo de vale urbano de uso residencial”, é outro setor que se assemelha à UP 1 devido aos problemas das enchentes, porém, em virtude das características do relevo, são mais amenizados em comparação ao centro da malha. Além disso, os bairros dessa UP apresentaram a formação de ilha de calor urbana e baixa vegetação arbórea, problemas que estão intimamente relacionados ao déficit de áreas livres de edificação, sobretudo para recreação da população, mesmo contendo vários espaços vazios em seu interior.

Dentre os problemas urbanos identificados na UP 4, “Área de uso residencial de ocupação intensificada”, a ilha de calor urbana se destaca, pois teve grande dimensão espacial nos bairros da unidade. São bairros já consolidados de muito alta e alta densidade de edificação e vegetação arbórea baixa. Apesar de possuir espaços livres de edificação, como praças, são bairros residenciais com lotes menores e de ocupação elevada. Esses fatores influenciaram diretamente a formação da ilha de calor urbana de forte magnitude, que apresentou intensidade semelhante, e por vezes, até maior que o centro comercial da cidade. Também é um setor de elevado número de moradores, o que gera preocupação pela quantidade de pessoas que estão submetidas à essas características térmicas.

Os bairros de construção mais recente, UP 5, foram denominados de “Áreas de uso residencial, de interesse econômico para expansão urbana e de ocupação intensificada” pois tendem à expansão e caracterizam-se pela alta densidade de edificação, vegetação arbórea baixa e déficit de espaços livres de edificação. Os problemas urbanos nessas localidades são, de certa forma, resultado do modo de expansão da cidade, isto é, a completa retirada da cobertura vegetal arbórea antecede a instalação de novos conjuntos residenciais. As “´Áreas de transição”, UP 6, são os bairros de transição entre o rural e o urbano, que apresentaram a menor quantidade de sobreposições na carta de QAU (Figura 50). Dentre os problemas mais frequentes, estão a vegetação arbórea baixa e o número elevado de moradores.

Figura 52 - Carta de classificação das unidades de paisagem em Penápolis (SP)



7.1 Propostas de ordenamento urbano com base com base nas soluções da natureza

Os problemas ambientais urbanos proporcionam à sociedade a dimensão da interferência na paisagem e o grau de comprometimento da qualidade do ambiente e de vida nas cidades. Os habitantes das cidades são submetidos diariamente a uma grande diversidade de problemas físicos, psicológicos e espirituais derivados do viver em áreas densamente edificadas (HERZOG; ROSADO, 2019). Pensar em alternativas para amenizar o grau de desconforto e diminuir os prejuízos ao bem estar humano se faz cada vez mais necessário e emergente.

As propostas de mitigação para áreas urbanas requerem não somente eficácia, mas também baixo custo e fácil execução. Portanto, não há nada mais adequado do que pensar na natureza como resposta a esses problemas, pois é nela que se encontra a garantia da manutenção da vida. É nessa perspectiva que tem surgido as Soluções Baseadas na Natureza (SBN), termo que a União Europeia define como:

> [...] soluções inspiradas e apoiadas na natureza, custo-eficazes e que, simultaneamente, proporcionam benefícios ambientais, sociais e económicos e ajudam a criar resiliência. Estas soluções trazem um leque cada vez mais diversificado de elementos e processos naturais para as cidades e para as paisagens terrestres e marítimas, através de intervenções adaptadas ao local, eficientes em termos de recursos e sistémicas (HERZOG; ROSADO, 2019, p. 8).

As SBN já foram aplicadas em diversos projetos urbanos de múltiplas escalas a nível mundial com o intuito de melhorar os processos e as funções ambientais e regenerar sistemas urbanos. Trata-se de um investimento inteligente que torna possível desenvolver soluções sem haver necessidade de recorrer à tecnologia dispendiosa. Podem ser aplicadas desde o nível do edifício até a cidade e arredores. Entretanto, sua aplicação exige a participação de várias partes interessadas no planejamento, na concepção, na execução, no manejo, na manutenção e no acompanhamento (HERZOG; ROSADO, 2019).

Sendo assim, é uma proposta de ordenamento da cidade que se adequa à realidade de Penápolis, que se mostra aberta ao diálogo com as instituições de pesquisa e a comunidade. Ademais, o munícipio apresenta conduta positiva no que tange às políticas ambientais, em especial as de saneamento básico. Sendo, portanto, mais fácil a ampliação dessas políticas para as outras dimensões da qualidade ambiental da cidade.

No Brasil, já existem experiências exitosas de SBN que demonstraram ser capazes de responder a múltiplos desafios. Dentre eles, estão a renaturalização de rios com itinerários verdes, jardins de chuva e biovaletas, telhados e paredes verdes, tratamento biológico de águas residuais de floresta urbanas, bacias naturalizadas de detenção e retenção (várzeas) para tratar poluição difusa e pavimentos permeáveis entre outros (HERZOG; ROSADO, 2019).

Com base nessas possibilidades de mitigação dos problemas ambientais urbanos, elaborou-se em uma proposta de ordenamento para Penápolis tomando como base as SBN e de acordo com as UPs definidas. O Quadro 15 descreve as medidas propostas a fim de minimizar os problemas diagnosticados, porém, para o êxito na execução, faz-se necessário a participação da comunidade. A Figura 53 ilustra as tipologias de infraestrutura verde de acordo com as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) propostas para Penápolis.

Quadro 15 - Proposta de ordenamento por meio SBN de acordo com as UPs

UP	SBN	Descrição
1	Corredor verde ao longo córrego urbano Maria Chica; Biovaleta; Canteiros Pluviais; Jardins de chuva Pavimentos drenantes.	Construção de um corredor verde ao longo do Córrego Maria Chica e construção de ciclovias com pavimentação drenante. Construção de Biovaletas e Lagoas Pluviais nos dois parques dessa UP. Construção de canteiros pluviais nas praças existentes e nos arredores da linha férrea. Substituição por pavimentos drenantes em praças, parques e das áreas externas das instituições públicas (Prefeitura e Câmara Municipal).
2	Sistema contínuo de vegetação; Biovaletas; Canteiros Pluviais.	Plantio de vegetação arbórea conectando os espaços livres de edificação já existentes na UP. Construção de Biovaletas e Canteiros pluviais nas praças e canteiros de avenida que já possuem vegetação arbórea.
3	Corredor verde ao longo dos Córregos Estiva e do Curtume; Implantação dos espaços livres de construção não efetivados: Jardins de chuva.	Construção de um corredor verde com redimensionamento dos Córregos, inserção de vegetação nativa nos leitos e infraestrutura para a recreação e a prática de atividade física. Efetivação dos espaços livres de edificação: construção de um Jardim de chuva e Praças com vegetação arbórea nativa.
4	Sistema contínuo de vegetação; Tetos e paredes verdes.	Plantio de vegetação arbórea conectando os espaços livres de edificação já existentes na UP. Incentivo ao uso de tetos de paredes verdes nas instituições públicas.
5	Sistema contínuo de vegetação; Implantação dos espaços livres de construção; Tetos e paredes verdes.	Construção de praças, parques e áreas de recreação com vegetação arbórea. Incentivo ao uso de tetos de paredes verdes nas escolas, creches e postos de saúde dos bairros.
6	Sistema contínuo de vegetação.	Plantio de vegetação arbórea conectando os espaços livres de edificação já existentes na UP.

Fonte: Herzog (2013).

Figura 53 - Tipologias de infraestrutura verde de acordo com as Soluções Baseadas na Natureza (SBN)





Corredor verde ao longo do rio principal em Freiburgo na Alemanha. Fonte: Herzog (2013, p. 170 e 188)



Biovaleta para coletar água da chuva em Wageningen, Holanda.
Fonte: Herzog (2013, p. 160)



Canteiro pluvial no bairro de Whiere Öst, em Freiburgo, na Alemanha.
Parte de um sistema integrado de drenagem naturalizada.
Fonte: Herzog (2013, p. 161)





Teto verde no edifício sustentável Lumen da Alterra em Wageningen, Holanda e muro vegetal no mercado municipal de Avignon, França.
Fonte: Herzog (2013, p. 164 e 165)



Vista dos jardins de chuva que tratam as águas residuais da fábrica de cosméticos na região metropolitana de Belém na Amazônia. Fonte: Herzog; Rosado, 2019, p.105.





Sistema contínuo de vegetação: vista parcial do projeto adjudicado para o bairro do Recreio (RJ) - a rua verde com projeto paisagístico restinga e elementos ecológicos que ligam as pessoas e a biodiversidade. Fonte: Herzog; Rosado, 2019, p.95.



Piso drenante no estacionamento do Teatro da Ópera de Bayreuth, Alemanha.
Fonte: Herzog (2013, p. 165)

FAPESP GAIA unesp

Elaboração: Janaína Lopes Moreira
Orientação: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

CONCLUSÃO

A concepção teórica dessa tese baseou-se na relação sociedade *versus* natureza, construída e moldada pelo sistema de produção capitalista, que embasa o modo de produção dos espaços urbanos. Entendeu-se, portanto, que a gênese dos desconfortos do viver urbano, em virtude dos problemas ambientais, decorre da maneira de produzir a cidade, que reflete a relação predatória e desigual estabelecida entre sociedade e natureza.

A qualidade ambiental urbana (QAU) tenta avaliar as características da paisagem urbana derivadas dessa relação, a fim de alertar condições e direcionar medidas de mitigação. O estudo em Penápolis revelou que, apesar do pequeno porte populacional, a sua qualidade ambiental urbana está comprometida, comprovando a hipótese inicial dessa tese. Portanto, o processo de urbanização ocorrido, e ainda reproduzido no município, gera a queda da qualidade ambiental urbana, como confirmou a incidência negativa dos indicadores analisados.

Dentre os oito indicadores ambientais considerados e analisados, ocorreram a incidência de até sete dos seus aspectos negativos. O setor urbano mais afetado é o centro da malha urbana, local onde se iniciou o processo de urbanização, no qual atualmente se localiza o centro comercial e de serviços, ou seja, local onde há grande fluxo de pessoas.

De maneira geral, a cidade apresentou a maior parte de sua malha entre um a três ocorrências negativas, o que indica uma situação não tão alarmante. No entanto, considerando o tamanho da cidade, a incidência de até sete aspectos negativos é preocupante, sobretudo devido à localização destes (centro comercial), o que mostra que uma grande quantidade de pessoas é afetada por essa condição de qualidade ambiental.

Por meio da espacialização e análise dos indicadores, foi possível identificar padrões quanto à distribuição das características dos aspectos urbanos e naturais na malha de Penápolis. Pelo indicador de cobertura vegetal arbórea, foi possível identificar grande ausência e/ou insuficiência de vegetação arbórea em toda a malha, pois poucos foram os setores urbanos com média e alta vegetação arbórea. Essa característica é comumente encontrada nas cidades brasileiras e desencadeia uma série de prejuízos à qualidade de vida, tanto na saúde quanto no bem estar.

O indicador densidade de edificação também foi bastante abrangente, demonstrando que a configuração dos bairros negligencia o verde e prioriza a impermeabilização desenfreada dos lotes. Este fato causa, sobretudo, o aquecimento do ar por meio da

manifestação da ilha de calor atmosférica urbana e o escoamento superficial, resultando em episódios graves de enchentes.

Nesse sentido, a drenagem urbana do munícipio, marcada pelas constantes enchentes, evidencia a ineficiência das medidas tomadas para amenizar e resolver o problema. Ao mesmo tempo, enfatiza a importância de se considerar aspectos naturais e suas dinâmicas no processo de produção do espaço urbano.

O indicador densidade populacional adicionou a dimensão social para a compreensão das repercussões das características espaciais identificadas na comunidade. Logo, verificou-se que os setores censitários de maior número de moradores correspondem aos setores urbanos de cobertura de vegetação arbórea baixa e de edificação alta. Além disso, também se referem aos bairros com déficit de áreas livres de edificação.

O indicador de poluição potencial não demonstrou uma situação grave com base nos aspectos analisados nessa tese, porém exige cuidados como a inserção de vegetação no entorno das fontes para compensar a emissão dos poluentes na atmosfera. Da mesma forma, os usos incompatíveis não se caracterizaram como um problema sério, sendo mais presentes no centro comercial. Como alternativa, deve-se estabelecer limites mais rígidos na implantação de usos de serviço e comerciais com potencial à poluição do ar e sonora, próximos às áreas residenciais.

O indicador de ilha de calor urbana apresentou correspondência espacial com os outros indicadores ambientais, principalmente, com a densidade de edificação, cobertura vegetal arbórea e os espaços livres de edificação. A ilha de calor atmosférica se manifestou com maior magnitude nos setores urbanos com déficit de espaços livres de edificação, muito alta e alta densidade de edificação e cobertura vegetal arbórea baixa. Assim, demonstrou-se que a formação de um clima tipicamente urbano está estreitamente ligada à conexão dos aspectos físicos e naturais que compõem a cidade, os quais são modificados no processo de produção das cidades.

Deste modo, o comprometimento da qualidade do ambiente urbano tem como raiz a falta de equilíbrio entre o uso da terra urbana para o desenvolvimento das atividades da sociedade e construções de moradias, além das dinâmicas naturais que também constituem a cidade. A retirada da cobertura vegetal, a concentração de pessoas e edificações em espaços de ocupação e tamanhos inadequados, a falta ou inapropriada infraestrutura de drenagem urbana são os principais problemas urbanos que interferem diretamente na qualidade ambiental das cidades, e, por conseguinte, na qualidade de vida urbana.

Comprova-se, portanto, que esses problemas urbanos e suas derivações na vida dos citadinos evidenciam a relação existente entre qualidade ambiental e planejamento urbano, bem como assinalam a maneira ineficaz de produzir cidades agradáveis à saúde e ao bem estar da população, haja vista que os prejuízos do viver urbano poderiam ser previstos e minimizados pelos processos de planejamento adequado.

Por fim, na avaliação QAU a intenção é identificar os problemas que acarretam a queda da qualidade do ambiente e analisar o grau de comprometimento. Nesse sentido, estudos dessa natureza oferecem subsídios ao poder público para a elaboração de propostas de intervenção e ordenamento do território específicas a cada setor da cidade, tendo como resultado a manutenção da qualidade de vida de todos os habitantes, assim como é previsto e evidenciado pelas legislações locais. Portanto, acredita-se que o diagnóstico realizado por este estudo é um primeiro passo para a construção de um ambiente de maior qualidade para os citadinos de Penápolis.

A proposta de ordenamento urbano com soluções baseadas na natureza (SBN), elaborada nessa tese, é um caminho importante e bastante vantajoso, pois reúne o baixo custo, a eficácia na mitigação dos problemas identificados e também a possibilidade de uma mudança de perspectiva no tocante à natureza presente na cidade. Esses fatores são essenciais para o avanço a um modo de vida urbano mais respeitoso com a natureza e com a própria vida humana.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Número especial, p. 71-90, dez. 2010.

_____. et al. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins online**, 7, p. 1-16, 2009. Disponível em: <http://confins.revues.org/6070>. Acesso em: 13 mar. 2019.

_____. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: Episódios de Inverno. **Geosul**, Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

_____. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____. O sensoriamento remoto no diagnóstico das ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical/Brasil. **Finisterra**, Lisboa, v. 52, p. 111-133, 2017b.

_____. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. Tese (Tese de Livre-Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017a.

_____.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, 2015.

_____.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins** [Online], 13, p. 1.18, 2011. Disponível em: <http://confins.revues.org/7284>. Acesso em: 04 abr. 2018.

ANDRADE, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, Lisboa, v. XL, n. 80, p. 67-91, 2005. Disponível em: <http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/2005-80/80_05.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

ANDRADE, L. L. et al. Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do *Landsat*-5 e o aerotransportado HSS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Santa Catarina, **Anais** […] Florianópolis: INPE, p. 473-480, 2007.

ANJOS, M. W. B. **Orientações climáticas para o planejamento urbano numa cidade costeira do nordeste do Brasil: Aracaju-SE**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2017.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do *Landsat*7 Etm+: estudo de caso em São Carlos (SP). **Rev. Minerva 6**, n. 3, p. 273-278.

BORJA, P. C. **Avaliação da qualidade ambiental urbana**: uma contribuição metodológica. 1997. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1997.

BORTOLOZZI, A.; PEREZ FILHO, A. Crise ambiental da modernidade e a produção espaço- lugar do não cidadão. **Boletim Paulista de Geografia**, USP: São Paulo, v. 76, p. 07-21, 1999.

CÂMARA, G. et al. **Análise espacial e geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2002.

CAMARGO, C. E. S. **Qualidade ambiental urbana em Presidente Prudente/SP**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

CAPRA, F. **O ponto de mutação**: a ciência, a sociedade e a cultura emergente. Editora Cultrix, 1982.

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

CARNEIRO, R. A. **História de Penápolis**: 110 anos de fundação. Penápolis: Suprema, 2018.

CARVALHO, M. G. Tecnologia e Sociedade. In: BASTOS, João Augusto (Org.). **Tecnologia & Interação**, Curitiba: CEFET-PR, 1998, p. 89-102. (Coletânia "Educação & Tecnologia" CEFET-PR).

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CHOW, T. et al. Some perceptions on typical weather year: from the observations of Hong Kong and Macau. **Solar energy**, v. 80, n. 4, p. 459-467, abr. 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X05001647>. Acesso em: 4 dez. 2018.

COLL, M. et al. The biodiversity of the mediterranean sea: estimates, patterns, and threats. **PLoS One**, v. 5, n. 8, p. 1-36, 2010.

CONSTANTINO, N. R. T. Rios urbanos no oeste paulista. In: Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo, 3., 2014, Belém. **Anais APPURBANA III Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo**. Belém: UFPA, 2014. p. 1-17. Disponível em: <http://www.appurbana2014.com/anais/ARQUIVOS/GT5-147-21-20140515175753.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2015.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. 4. ed. São Paulo: Ática, 2003.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiaí**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2019.

DORIGON, L. P., AMORIM, M. C. C.T., 2013. Estrutura térmica da superfície de Paranavaí/PR através do *Landsat* 7. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, p. 110-129.

DUBREUIL, V. et al. 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://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 06 jun. 2019.

ESTÊVEZ, L. F.; NUCCI, J. C. A questão ecológica urbana e a qualidade ambiental urbana. **Revista Geografar**: Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em geografia da UFPR, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 26-49, jun./2015.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatologia aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Síntesis, 1996.

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

FERREIRA, M. B. P. **Cobertura da terra como indicador de qualidade ambiental urbana: estudo aplicado ao município de Curitiba-PR**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/38333/R%20%20D%20%20MANOELLA%20BARROS%20PEDREIRA%20FERREIRA.pdf?sequence=3>. Acesso em: 15 de fev. de 2017.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. São Paulo: Ed. UNESP, 2014.

FOISSARD, X. **L'îtlot de chaleur urbain et le changement climatique**: application à l'agglomération rennaise. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Université Rennes 2 Haute-Bretagne, Rennes, 2015.

FRAGA, N. C. et al. De princesinha do noroeste paulista ao mar de cana: uma análise do espaço geográfico de Penápolis, SP. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 2, número especial, p. 467-479, jul./dez. 2014.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010.

GHIRARDELLO, N. **À beira da linha**: formações urbanas da Noroeste Paulista. São Paulo: Ed. Unesp, 2002.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira**: análise do clima urbano em Ubatuba-SP. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

_____.; 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.

GOMEZ, A. L.; GARCIA, F. F. La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano. **Estudios Geográficos**, Madrid, v. 45, n. 174, p. 5-34, enero-marzo 1984.

HECHT, A. A. **História de Penápolis**. Araçatuba: Ed. Somos, 2008.

HERZOG, C. P. **Cidades para todos**: (re) aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: Mauad X Inverde, 2013.

.; ROZADO, C. A. **Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza**. Bruxelas: Comissão Europeia, 2019.

HOWARD, L. **The Climate of London**: **Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis**. 2. ed. Londres: W. Phillips, George Yard, Lombard Street, 1833. Disponível em: <http://www.urban-climate.org/documents/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **[Malha de setores censitários e faces de logradouros]**. [2017]. Bases cartográficas da cidade do estudo. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 19 jul. 2017.

_____. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2017.

_____. **Censo demográfico** [2010]: Sinopse. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=353730&idtema=1&search=sao-paulo|penapolis|censo-demografico-2010:-sinopse->. Acesso em: 12 mar. 2015.

_____. **Cidades**: história & fotos. [2016]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/penapolis/historico>. Acesso em: Acesso em: 12 jul. 2016.

_____. **Cidades**: panorama [2019]. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/penapolis/panorama. Acesso em: 09 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. [**Rede de estações automáticas**]. [2019]. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTcwNw==>. Acesso em: 10 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Penápolis, São Paulo**. Catálogo de imagens *Landsat* 5 e *Landsat* 7. Lat. – 21°42’ 22°07’S, Long. - 50°78’W. São José dos Campos:

INPE, 2018. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 15 jan. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

JOHNSON, D. B. Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U. K. **Journal of climatology**, v. 5, p. 221-225, 1985.

KAMP, I. V. et al. Urban environmental quality and human well-being: towards a conceptual framework and demarcation of concepts: a literature study. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdã, v. 65, n. 1-2, p. 5-18, 2003.

KEUCHEYAN, R. **La naturaleza es un campo de batalla**. Madrid: Clave intelectual, 2016.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998.

LEFF, E. **Epistemologia Ambiental**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2006.

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

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

LUENGO, G. F. Elementos para la definición y evaluación de la calidad ambiental urbana: una propuesta teórico-metodológica. In: SEMINÁRIO LATINOAMERICANO DE CALIDAD DE VIDA URBANA. **Anais...** Tandil, 1998, p. 1-9. Disponível em: <http://www.perfilciutat.net/fitxers/IVSL_A4.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2018.

MACHADO, L. M. C. P. Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. In: MAIA, N. B.; LESJAK, H. (Coord.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: s.n., 1997. p. 15-21.

MARIANO, Z. F. et al. A relação homem-natureza e os discursos ambientais. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 22, s.n., p. 158-170, 2011.

MARINHO, J. A. **História da Revolução Liberal de 1842**. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2015.

MARTINELLI, P. **Qualidade ambiental urbana em cidades médias**: proposta de modelo de avaliação para o Estado de São Paulo. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

MENDONÇA, F. A. Clima e planejamento urbano em Londrina: proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. A. (Org.). **Clima urbano**: São Paulo: Contexto, 2009. p. 93-120.

MENDONÇA, F. A. **Geografia e meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 1993.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental**: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2014.

MONTEIRO, C. A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 61-79, 1990a.

_____. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

_____. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 5, n. 9. p. 7-19, 1990b.

_____. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e Monografias, 25).

_____. Teoria e clima urbano. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. In: MENDONÇA, F. A.; MONTEIRO, C. A. F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. p. 9-67.

MOREIRA, J. L. **O clima urbano em Penápolis/SP**: análise da temperatura e umidade intraurbana. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2016.

_____.; AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and frequency of surface heat island in a small Brazilian city with continental tropical climate. **European Journal of Climate Change**, v. 2, p. 1-10, 2020.

MOREIRA, R. Da espacidade ao espaço real: o problema da teoria geral a propósito do simples e do complexo em Geografia. In: MENDONÇA, F.; LOWEN-SAHR, C. SILVA, M. (Org.). **Espaço e tempo**: complexidade e desafios do pensar e do fazer geográfico. Curitiba: ADEMADAN, 2009.

_____. **Para onde vai o conhecimento geográfico**: por uma epistemologia crítica. São Paulo: Contexto, 2006.

MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 1981.

_____. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MOTTA, D. Crescimento das cidades médias. **Boletim Regional e Urbano**, Brasília, n. 1, p. 33-38, dez. 2008.

MOURA, A. R. **Qualidade ambiental urbana no bairro de Santa Cecília (centro de São Paulo/SP)**: estudo comparativo e de monitoramento dos anos de 1992 e 2008. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2010. Disponível em: <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25053/DISSERTACAO_GEOGRAFIA_

MURA_2010_QUALIDADE%20AMBIENTAL%20URBANA.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 fev. 2017.

NAHAS, M. I. P. Indicadores intra-urbanos como instrumentos de gestão da qualidade de vida urbana em grandes cidades: uma discussão teórico-metodológica. In: VITTE, C. C. S.; KEINERT, T. M. M. **Qualidade de vida, planejamento e gestão urbana**: discussões teórico-metodológicas. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2009. p. 123-153.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). 2. ed. Curitiba: Ed. O Autor, 2008.

OKE, T. R. et al. **Urban climates**. Cambrigde: Cambrigde University Press, 2017.

_____. Inadvert Climate Modification. In: **Boundary layer climate**. London: Methuen & Ltd A. Halsted Press Book, 1978.

_____. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly journal of the royal meteorological society**, v. 108, p. 1-24, 1982.

_____.; MAXWELL, G. B. Urban heat island dynamics en Montreal and Vancouver. **Atmospheric Environment**, v. 9, p. 191-200, 1975.

OLIVEIRA, A. M. S.; THOMAZ JÚNIOR, A. A relação homem/natureza no modo de produção capitalista. **Revista Pegada Eletrônica [Online]**, Presidente Prudente, v. 3, número especial, p. 123-130, 2002.

ONU. ONU-HABITAT. From Habitat II to Habitat III: Twenty Years of Urban Development. In: **ONU. ONU-HABITAT**: Relatório "World cities 2016. Produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos, 2016, p. 3-26. Disponível em: <http://wcr.unhabitat.org/wp-content/uploads/sites/16/2016/05/Chapter-1-WCR-2016.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

ORTIZ, G. F., AMORIM, M. C. C.T. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), temperatura da superfície e do ar na cidade de Tarumã/SP. In: Encuentro de Geógrafos de América Latina: reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos, 14., 2013, Lima/Peru. **Anais...** Lima/Peru: UGI. XIV, p. 1-20.

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, Maracaí e Tarumã. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

PATZ, J. A. et al. The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S. **National assessment: environmental health perspectives**, v. 108, p. 367-376, 2000.

PECHINCHA, M. G. H.; ZAIDAN, R. T. Análise da qualidade ambiental urbana através de ambiente SIG: uma aplicação no município de Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 68, n. 2, p. 355-371, fev. 2016.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas.** São Paulo, 1997. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 1997.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e clima urbano**: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **(Des)caminhos do meio ambiente**. 14. ed. São Paulo: Contexto, 2006.

_____. **Desafio ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Record, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade**: História [2014]. Disponível em: <http://www.penapolis.sp.gov.br/cidade.php?codigo=1>. Acesso em: 12 mar. 2014.

QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. Coeficiente de determinação R^2 como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla. Belo Horizonte: UFMG, 2011. Relatório técnico. Disponível em: <http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/PD_28102011_Final.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2018.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço**: problemática ambiental urbana. São Paulo: Hucitec, 1998.

_____. **Produção e consumo do e no espaço: problemática ambiental urbana**. São Paulo: Hucitec, 1998.

RODRIGUES, J. C.; RODRIGUES, J. C. Relação sociedade-natureza no pensamento geográfico: reflexões epistemológicas. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 27, s.n., p. 211-232, 2014.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E. D. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. In: CONGRESSO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais eletrônicos...** Belém: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. Disponível em: <http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/695_86757.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2018.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 45-60, jan./jun. 2011.

SANTOS, M. **Espaço e sociedade: Ensaios**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1982.

_____. **Técnica, espaço, tempo**: globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: Hucitec, 1994.

SCARLATO, F. C. População e urbanização brasileira. In: ROSS, J. L. S. (Org.). **Geografia do Brasil**. 6. ed. São Paulo: Edusp, 2009.

SCHRÖDER, P. H. **Qualidade ambiental urbana e políticas territoriais na Amazônia**: estudo de caso dos distritos de Jaci-Paraná e Calama, Porto Velho - Rondônia. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SILVA, L. T.; TOMMASELLI, J. T. G.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Penápolis-SP: um episódio de inverno. In: João Lima Sant'Anna Neto (Org.). **Os climas das cidades brasileiras**, Presidente Prudente: UNESP/FCT/Programa de Pós-graduação em Geografia, 2002, v. 1, p. 197-227.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011. Tese (Doutorado em Filosofia) - The University of British Columbia. Vancouver, 2011.

_____.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso em: 14 dez. 2019.

_____.; _____. 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**, Phoenix, AZ, 11-15, Jan. 2009.

STURARO, J. R. **Apostila de geoestatística básica**. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, 2015. Disponível em: <https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SUERTEGARAY, D. Espaço uno e múltiplo. **Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**, Barcelona, n. 93, p. 1-10, 2001.

SWYNGEDOUW, E. A cidade como um híbrido: natureza, sociedade e urbanização-cyborg. In: ACSELRAD, H. (Org.). **A duração das cidades**: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. Rio de Janeiro: DP&A, 2001.

SZALAI, A. The meaning of comparative research on the quality of life. 1980. In: SZALAI, A.; ANDREWS, F. M. (Ed.). **The quality of life**. Sage Beverly Hills, CA, United Nations, 1987. p. 7-24.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de cidades de pequeno do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santa Anastácio e Álvares Machado, Brasil**. 2019. Tese (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2019.

_____. **O clima urbano de Rancharia - SP**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

_____.; AMORIM, M. C. C. T. Modelagem espacial da temperatura do ar em cidade de pequeno porte: o exemplo de Presidente Venceslau - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 13., 2018, Juiz de Fora. **Anais...**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018. p. 2158-2167.

_____.; AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Modelagem da ilha de calor para cidade pequena (Rancharia-SP) a partir de imagens do satélite *Landsat* 7 e de medidas de temperatura do ar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 1-8.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Porto Alegre: Ministério das Cidades; UNESCO, 2005.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales – SP**. 2011. Tese (Tese de doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente (SP), 2012.

_____. Correlação entre a temperatura da superfície e a temperatura do ar na cidade de Jales-SP. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (Org.). **Climatologia urbana e regional**: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 291-316. v. 1.

_____. **Qualidade ambiental e planejamento da paisagem na cidade de Jales-SP**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2007.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Penápolis, São Paulo**. [Reston]: USGS, 2018. 1 imagem de satélite. Satélite *Landsat* 8, instrumento OLI TIRS. Ponto 221-222, órbita 075. Intervalo de tempo: de 24 fevereiro 2018 a 09 dezembro 2018. Lat. 21°42'16"S, Long. -50°08'26"W. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 25 dez. 2018.

VALASKI, S. **Avaliação da qualidade ambiental em condomínios residências horizontais com base nos princípios do planejamento da paisagem**: estudo de caso: bairro Santa Felicidade-Curitiba/PR. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs/?pg=publicacoes-php>. Acesso em: 10 fev. 2017.

VALENTE, O. F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. **Minha Cidade**, São Paulo, ano 10, n. 109.01, ago. 2009. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/10.109/1839>. Acesso em: 01 mar. 2021.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.

VOOGT, J. Urban heat island. **Encyclopedia of global environmental change**. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric engineering & remote sensing**, v. 69, n. 5, p. 555–566, 2003.