

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM
CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA METODOLÓGICA
ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – *ZCLs*.

OTÁVIO REIS MEGDA

São Carlos
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM
CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA METODOLÓGICA
ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – ZCLs.

OTÁVIO REIS MEGDA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Érico Masiero

Otávio Reis, Megda

**IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM
CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA
METODOLÓGICA ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS
LOCAIS – ZCLs. / Megda Otávio Reis – 2020.
202f.**

**Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos,
campus São Carlos, São Carlos**

Orientador (a): Érico Masiero

**Banca Examinadora: Erico Masiero, Francisco
Mendonça, Grace Tibério, Ricardo Victor Rodrigues,
Fábio Noel Staganini**

Bibliografia

**1. Ilhas de calor. 2. Vants. 3. Zonas Climáticas Locais -
ZCLs. I. Otávio Reis, Megda. II. Título.**

**Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)**

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Otavio Reis Megda, realizada em 26/11/2020.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Érico Masiero (UFSCar)

Profa. Dra. Grace Tibério Cardoso (IMED)

Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa (UFAL)

Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini (UFSCar)

Prof. Dr. Francisco de Assis Mendonça (UFPR)

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

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

Aos amores mais significativos da minha vida: minha família;
À Professora Léa Cristina Souza, por me acolher na UFSCar e me orientar;
Ao Professor Érico Masiero, por continuar minha orientação de forma ética e por vibrar
tanto quanto eu;
A Unesp, pelo início de tudo, pelas amizades e pelo ensino;
A Ariclènes Polo Souza (in memoriam), pelo meu despertar na
Geomorfologia e Climatologia;
Ao Professor Antônio Carlos Tavares, o primeiro que acreditou comigo;
A UFSCar, pela possibilidade de continuar e crescer academicamente;
Aos colegas e companheiros da Unesp, que desde o início acompanharam as batalhas
e meandros efusivos da minha pesquisa;
Ao povo brasileiro, que, no dia a dia, indiretamente, financiaram minhas “balbúrdias”;
Aos estudantes do Brasil, que continuem buscando forças contra o ataque a nossa
educação e patriotismo. Não somos “idiotas úteis”, somos a revolução. Não
deixemos nos abalar pelo errado e desprovido do real conhecimento.
Foi golpe sim, e, depois, ele nunca me representou.
Sobrevivamos ao desmonte do bem estar, à pandemia do COVID-19 e ao mito.
Nunca foi isso que o povo brasileiro de bem mereceu.
O castelo de mentiras ruinará e nele haverá o levante do povo brasileiro de bem.

AGRADECIMENTOS

Fujo do tradicionalismo teórico nessa etapa da tese, de frases curtas e pontuais, pois acredito que o homem deve ter humildade em agradecer aos que lhe ajudam, que lhe querem bem e, claro, aos que transpassam conhecimento, sintonia e paz.

Em primeiro lugar, agradeço a minha família – Sofia, papai, mamãe, Isabela e Mayara – pela paciência e compreensão nesta etapa e, concomitantemente, um dos períodos mais difíceis de nossas vidas, em todos os aspectos. Eu amo vocês da forma mais difícil possível de explicar, mas certamente nossos sentimentos recíprocos se entendem mais que palavras.

No mistério da fé, acredito que uma força superior, divina, manifestou-se inúmeras vezes pela minha família. Portanto, Deus e família somam um só ponto de agradecimento, que será sempre levado por este pesquisador que vos escreve.

Em especial, à minha mãe, para a qual abro um parágrafo para agradecer a mulher mais excepcional que já conheci e que é a “rainha do castelo”. A senhora me salvou diversas vezes, e o apreço e o amor que tenho pela senhora é muito grande, pois, meus pais, minha vida. Obrigado por hoje e sempre, mamãe.

Ao meu pai, grande homem, companheiro, amigo e batalhador, só lhe digo que o que consegui foi pela sua ajuda, e pode ficar feliz junto comigo, pois o primeiro doutor em toda a família é seu filho.

A minha filha, tão companheira e compreensiva em muitos momentos mais duros e que demandou minha ausência física, mas nunca sentimental. Obrigado por entender esse período, mesmo que algumas vezes de “bico” comigo. Sempre estaremos conectados, o amor faz isso, filha. *Guds, chilindróviska!*

A Mayara Santos Okamoto, *meu bem, minha preta*, companheira, namorada, amiga e hoje minha noiva (logo minha esposa), que sempre terá um lugar especial em meu peito e pensamento. Perto ou não, sempre teve seu papel por trás de tudo.

A minha primeira orientadora, a Professora Dr^a. Léa Cristina Lucas Souza, uma das mulheres mais inteligentes e atuantes que conheci, “arretada”, sempre muito ética e solícita. Muito obrigado, professora, por sua dedicação, ajuda, paciência e seriedade na elaboração desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Érico Masiero, que assumiu a minha orientação e, com um papel imprescindível, conduziu-me no final desta tese com muita paciência, compartilhando imensamente seu conhecimento sobre o tema.

Agradeço aos professores Dr. Francisco Mendonça (UFPR); Dr. Grace Tibério (IMED); Dr. Ricardo Victor Rodrigues (UFAL); Dr. Fábio Noel Staganini (UFSCAR) pela participação na banca desta tese, pelos apontamentos e observações, tão valiosas para a concretude deste trabalho.

Aos amigos, professores e colegas que sempre me ajudaram e vibraram comigo, desde os tempos de graduação: aos professores e amigos Antônio Carlos Tavares, Aline Aquino, Homero Borba, Giovani Silva; Rita de Cassia Gromoni; Vera Lúcia de Carvalho, Márcio Mendonça e Carlos e Carlos César Fernandes (Kaka).

Aos colegas de maior convívio na Pós-Graduação em Engenharia Urbana, do laboratório do *NUPA*, em especial ao Lucas Penteado e a Ana Paula Favretto. Ao Professor da Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo (USP), Prof. Dr. Antônio Nelson da Silva Rodrigues

Ao colega do PPGEU – UFSCAR, geógrafo, Bruno Coury (*in memoriam*), que faleceu pouco tempos antes de defender seu mestrado, nos deixando de forma repentina. Que sua luz brilhe e sua alma seja acolhida. Um colega sereno, educado e de bom coração.

A Dona Fran e a Natália, da limpeza do PPGEU, sempre que podíamos tomávamos um café e conversávamos um pouco nos intervalos e horários de almoço.

Ao Carlos Pepino (Pépe) e ao Alex Rogério Silva, secretários do PPGEU, ambos sempre muito solícitos e atenciosos. Em especial ao Alex, sempre muito solícito e atencioso, mesmo em período de pandemia.

Agradeço ainda à Mara Dickel, pela ajuda com a revisão desta tese.

Ao meu filho canino, Marvin, um bom companheiro, deitado aos meus pés, esperando eu levantar e tomar café pra me falar um “Oi” com carinho.

Se esqueço de alguém nos agradecimentos, que teve relevância em minha formação, peço desculpas, certamente o dia a dia me fez esquecer no papel, mas não na gratidão.

Obrigado.

Tá rebocado meu compadre
Como os donos do mundo piraram
Eles já são carrascos e vítimas
Do próprio mecanismo que criaram
[...]

Buliram muito com o planeta
E o planeta como um cachorro eu vejo
Se ele já não aguenta mais as pulgas
Se livra delas num sacolejo
Eu que sou vivo pra cachorro
No que eu estou longe eu tô perto
Se eu não estiver com Deus, meu filho
Eu estou sempre aqui com o olho aberto
A civilização se tornou complicada
Que ficou tão frágil como um computador
Que se uma criança descobrir
O calcanhar de Aquiles
Com um só palito *pára* o motor
Tem gente que passa a vida inteira
Travando a inútil luta com os galhos
Sem saber que é lá no tronco
Que está o coringa do baralho
[...]

Acredite que eu não tenho nada a ver
Com a linha evolutiva da Música Popular Brasileira
A única linha que eu conheça
É a linha de empinar uma bandeira
Eu já passei por todas as religiões
Filosofias, políticas e lutas
Aos onze anos de idade eu já desconfiava
Da verdade absoluta
[...]"

Raul Seixas

Letra de *As aventuras de Raul Seixas na Cidade de Thor*. Álbum: Gita, 1974.

RESUMO

MEGDA, Otávio Reis. *Identificação de ilhas de calor urbano em cidade de porte médio: proposta metodológica adaptada às Zonas Climáticas Locais – ZCLs*. 2020. 202f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana). Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

Os espaços urbanos, crescentes de estruturas verticalizadas e impermeabilizadas, tornaram-se cada vez mais comuns dentre as cidades, configurando-se como densas áreas excessivamente construídas, com uma alta variabilidade do padrão climático decorrente de configurações físicas, muitas vezes, caóticas. Desde os anos 90, com os avanços no setor geotecnológico específicos, a demanda de análises em clima urbano aumentou significativamente. Sendo assim, a proposta metodológica do uso de um veículo aéreo não tripulado (vant) ou “drone” expressando uma adequação no cenário de análises na área. Propõe-se então nessa pesquisa uma metodologia agregadora, ao nível do pedestre um termômetro e, com o uso de um vant, medições verticais da temperatura em diferentes estratos (30, 60 e 75 metros de altura), aplicando os dados dentro do conceito das Zonas Climáticas Locais – ZCLs (*Local Climate Zones – LCZs*) proposta por Stewart e Oke (2012), afim de melhor compreender as diferentes composições das ilhas de calor urbano em espaços com diferentes níveis de ocupação do solo, bem como seus componentes físicos. Sendo assim, este trabalho analisa as ZCLs em Franca, no estado de São Paulo, sob a ótica da formação da ilha de calor na escala vertical, evidenciando até onde o ar citadino fica comprometido, podendo auxiliar diversas pesquisas no cunho de planejamento e ordenamento territorial. Os dados evidenciaram a formação da ilha de calor urbana não só à nível do pedestre, mas em pontos até em 75 metros de altura em verões e condições sinóticas favoráveis, bem como alguns pontos com ilhas de frescor dentro da área urbana. Os períodos de inverno de 2017 e 2018 deixaram evidente uma variação térmica de 2,9°C no trajeto analisado, com poucas diferenças significativas nas diferentes alturas, enquanto os períodos de verão de 2018 e 2019 evidenciaram uma variação térmica de 7,9°C a nível do pedestre e a 30 metros de altura, valores de 17°C, o que evidencia a formação da ilha de calor urbano na camada de dossel Urbano.

Palavras-chave: ilha de calor urbana, vants, zonas climáticas locais - ZCLs.

ABSTRACT

Urban spaces, growing in verticalized and waterproofed structures, have become increasingly common among cities, configuring themselves as dense over-built areas, with a high variability in the climatic pattern resulting from physical configurations, often chaotic. Since the 1990s, with advances in the specific geotechnological sector, the demand for analyzes in urban climate has increased significantly. Therefore, the methodological proposal for the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) or “drone” expressing an adequacy in the analysis scenario in the area. In this research, an aggregating methodology is proposed, at the pedestrian level, with a thermometer and, with the use of an vant, vertical temperature measurements in different strata (30, 60 and 75 meters high), applying the data within the concept of Local Climate Zones – LCZs, proposed by Stewart and Oke (2012), in order to better understand the different compositions of urban heat islands in spaces with different levels of land occupation, as well as their physical components. Therefore, this work analyzes the LCZs in Franca, in the state of São Paulo, from the perspective of the formation of the heat island on the vertical scale, showing how far the city air is compromised, and can assist several researches in the nature of planning and territorial ordering. The data showed the formation of the urban heat island not only at the pedestrian level, but at points up to 75 meters high in summers and favorable synoptic conditions, as well as some points with freshness islands of within the urban area. The winter periods of 2017 and 2018 made evident a thermal variation of 2.9°C in the analyzed route, with few significant differences in the different heights, while the summer periods of 2018 and 2019 showed a thermal variation of 7.9°C at the pedestrian level, and at 30 meters high, values of 17°C, which shows the formation of the urban heat island in the Urban canopy layer

Key-words: urban heat islands, drones, local climate zones – LCZs.

RESUMEN

Los espacios urbanos, creciendo en estructuras verticalizadas e impermeabilizadas, se han vuelto cada vez más comunes entre las ciudades, configurándose como áreas densas construidas, con una alta variabilidad en el patrón climático resultante de configuraciones físicas, a menudo caóticas. Desde la década de 1990, con los avances en el sector geotecnológico específico, la demanda de análisis en clima urbano ha aumentado significativamente. Por tanto, la propuesta metodológica para el uso de un vehículo aéreo no tripulado (vant) o “drone” expresa una adecuación en el escenario de análisis en la zona. En esta investigación se propone una metodología de agregación, a nivel peatonal, con termómetro y, con el uso de un vant, medidas verticales de temperatura en diferentes estratos (30, 60 y 75 metros de altura), aplicando los datos dentro del concepto de Zonas Climáticas Locales - ZCLs (Local Climate Zones - LCZs) propuestas por Stewart y Oke (2012), con el fin de comprender mejor las diferentes composiciones de las islas de calor urbano en espacios con diferentes niveles de ocupación del suelo, así como sus componentes físicos. Por lo tanto, este trabajo analiza los ZCLs en Franca, en el estado de São Paulo, desde la perspectiva de la formación de la isla de calor en la escala vertical, mostrando hasta qué punto el aire de la ciudad está comprometido, y puede ayudar a varias investigaciones en el naturaleza de la planificación y ordenamiento territorial. Los datos mostraron la formación de la isla de calor urbana no solo a nivel peatonal, sino en puntos de hasta 75 metros de altura en veranos y condiciones sinópticas favorables, así como algunos puntos con islas de frescura dentro del área urbana. Los periodos invernales de 2017 y 2018 evidenciaron una variación térmica de 2,9°C en el recorrido analizado, con pocas diferencias significativas en las distintas alturas, mientras que los periodos estivales de 2018 y 2019 mostraron una variación térmica de 7,9°C a nivel peatonal. Y a 30 metros de altura, valores de 17°C, que muestra la formación de la isla de calor urbano en la capa de dosel Urbano.

Palabras clave: isla de calor urbano, vants, zonas climáticas locales - ZCLs

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma didático do plano de pesquisa, tendo como base o campo térmico urbano.	26
Figura 2 - Representação de Oke (1987) para as duas camadas de modificação urbana.	34
Figura 3 - Composição figurativa para evidenciar a Mesoescala em um ambiente urbano.	35
Figura 4 - Composição figurativa para evidenciar a Escala local em um ambiente urbano.	36
Figura 5 - Composição figurativa para evidenciar o microclima em um ambiente urbano.	37
Figura 6 - Zonas Climáticas Locais (ZCLs) definidas a partir da metodologia de Oke (2006) e redefinidas por Stewart e Oke (2012).	47
Figura 7 - Fluxos envolvidos no balanço de energia em um volume representativo urbano – construção – ar.	53
Figura 8 - Fluxograma didático do plano de pesquisa, detalhando os processos por fases.	66
Figura 9 - Mapa com a localização do município de Franca, no Estado de São Paulo.	68
Figura 10 - Mapa de declividade da região da cidade de Franca, com destaques para o limite territorial, área urbanizada, hidrografia e o trajeto dos pontos de coleta da pesquisa.	71
Figura 11 - Médias térmicas e pluviométricas de Franca – 1981 a 2018.	73
Figura 12 - Trajeto com os pontos coletados em campo na cidade de Franca – SP.	75
Figura 13 - Caracterização do ponto de comparação exemplificado na região SE.	77
Figura 14 - Caracterização do ponto de comparação exemplificado na região NE.	78
Figura 15 - Termômetro Digital Incoterm, com haste externa.	79
Figura 16 - Especificações técnicas do vant utilizado nas pesquisas de campo.	80
Figura 17 - Vant – veículo aéreo não tripulado com o Hobo acoplado na parte inferior.	81
Figura 18 - Controle de comando remoto com um smartphone acoplado.	82
Figura 19 - Vant em fases de teste de voo baixo em área aberta e com visibilidade direta nas dependências da UFSCar.	82
Figura 20 - Vant em fases de teste de voo baixo em área aberta e com visibilidade direta nas dependências da UFSCar.	83
Figura 21 : Estruturas da montagem do aparato do sensor HOBO Pro v2 U21- 001, com base, acoplado ao sensor térmico e transferidor de dados via cabo.	83
Figura 22 - Perfil vertical do cânion urbano representando a relação H/W/L.	86
Figura 23 - (a) Sensor fixado na haste de coleta e (b) coletor fixo à estrutura de proteção e captação dos dados de temperatura e umidade.	93
Figura 24 - Exemplificação da trajetória do vant em campo, tomando rota vertical nos pontos selecionados para a captação térmica.	94
Figura 25 - Mapa com as os setores censitários de Franca (SP), segundo Censo de 2010.	97
Figura 26 - a) Mapa da distribuição do total de domicílios por setor censitário e; b) Mapa com o total de edificações em construção por setor censitário.	97
Figura 27 - Zonas Climáticas Locais - ZCLs aplicadas a cidade de Franca (SP), a partir da metodologia de Stewart e Oke (2012).	101
Figura 28 - Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 03, 04, 06 e 07 de julho de 2017.	102
Figura 29 -Variação da temperatura rural → urbana das ICUs ao nível do pedestre.	105
Figura 30 - Correlação linear entre variação de temperatura da ICU X FVC a nível do pedestre.	105
Figura 31 - Correlação linear entre variação da temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre.	106
Figura 32 - Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2017 com transecto móvel.	107
Figura 33 - Imagens representando respectivamente os pontos 5, 6 e 7, com fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC; fotografias ao nível do pedestre, tiradas do centro da rua e imagem aérea com a representação da área construída. A última imagem da sequência mostra a representação da ZCL 9, de Stewart e Oke (2012).	108

Figura 34- Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 14 a 23 de janeiro de 2018.....	110
Figura 35: Variação da temperatura rural → urbano das ICUs a nível do pedestre.	114
Figura 36: Correlação linear entre variação de temperatura da ICU X FVC nível do pedestre.....	115
Figura 37: Correlação linear entre variação de temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre.	116
Figura 38- Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro de 2018 com transecto móvel.....	117
Figura 39- Imagens representando respectivamente o ponto 18 ao nível do solo com fotografia do centro da rua; fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC e imagem aérea com a representação da área construída.	118
Figura 40- Imagens representando respectivamente o ponto 24 ao nível do solo com fotografia do centro da rua; fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC e imagem aérea com a representação da área construída.	119
Figura 41- Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 03 e 06 de julho de 2018.....	120
Figura 42– Variação de temperatura rural → urbana das ICUs aos níveis do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura.....	122
Figura 43 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU X FVC a nível do pedestre.	123
Figura 44 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre..	124
Figura 45 - Correlação linear entre a variação da temperatura da ICU x FVC a 30 metros de altura.	125
Figura 46 - Correlação linear entre a variação da temperatura da ICU x H/W a 30 metros de altura.	125
Figura 47 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU x FVC a 60 metros de altura.	126
Figura 48 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU x H/W a 60 metros de altura.	127
Figura 49 - Correlação linear entre a variação da temperatura da ICU x FVC a 75 metros de altura.	127
Figura 50 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU x H/W a 75 metros de altura.	128
Figura 51- Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com o transecto móvel.....	130
Figura 52- Imagens representando respectivamente o ponto 22 ao nível do solo, com fotografia do centro da rua; fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC, imagem aérea com a representação da área construída, e a última imagem da sequência mostra a representação da ZCL 5, de Stewart e Oke (2012).	131
Figura 53- Mapa com as temperaturas médias a 30 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com uso do vant.....	133
Figura 54- Mapa com as temperaturas médias a 60 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com uso do vant.....	135
Figura 55- Mapa com as temperaturas médias a 75 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com uso do vant.....	137
Figura 56- Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 28 de janeiro a 06 de fevereiro de 2019.	138
Figura 57– Variação temperatura rural → urbana das ICUs aos níveis do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura.....	143
Figura 58 - Correlação linear da variação da temperatura da ICU X FVC a nível do pedestre.....	144
Figura 59- Correlação linear da variação da temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre.	144
Figura 60 - Correlação linear da variação da temperatura da ICU x FVC a 30 metros de altura.	145
Figura 61- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x H/W a 30 metros de altura.	146
Figura 62- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x FVC a 60 metros de altura.	146

Figura 63- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x H/W a 60 metros de altura.	147
Figura 64- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x FVC a 75 metros de altura.	148
Figura 65- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x H/W a 75 metros de altura.	148
Figura 66 - Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro / fevereiro de 2019 com o transecto móvel.	150
Figura 67- Imagens representando respectivamente os pontos 8, 15 e 23, com fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC; fotografias ao nível do pedestre, tiradas do centro da rua e imagem aérea com a representação da área construída. A última imagem da sequência mostra a representação da ZCL 5, de Stewart e Oke (2012).	151
Figura 68- Mapa com as temperaturas médias a 30 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro/fevereiro de 2019 com uso do vant.	153
Figura 69 - Mapa com as temperaturas médias a 60 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro/fevereiro de 2019 com uso do vant.	155
Figura 70- Mapa com a temperaturas médias a 75 metros de altura em Franca – SP durante os dias de coleta em janeiro/fevereiro de 2019 com uso do vant.	157
Figura 71: Médias das ICUs por pontos e alturas: A - Inverno de 2017; B – Verão de 2018; C - Inverno de 2018 e; D – Verão de 2019	160
Figura 72: Distribuição das ZCLs com os destaques dos valores máximos dos ICUs durante todo o período pesquisado.	161
Figura 73: Quantificação com os valores mais elevados das ICUs identificados por ponto durante os períodos da pesquisa.	162

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias Taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano.	33
Quadro 2: Influência comum urbana no balanço de energia.	54
Quadro 3 - Aspectos da urbanização que alteram o ambiente físico e provocam alterações na troca de energia e condições térmicas, em comparação com áreas periféricas.	55
Quadro 4 - Características de cada ponto estabelecido na coleta de dados na cidade de Franca (SP), segundo Stewart e Oke (2012).	76
Quadro 5: Especificações técnicas e a descrição do vant utilizado na pesquisa.	80
Quadro 6 - Cronograma técnico de calibração e testes dos aparelhos utilizados.	84
Quadro 7- Classificação das Zonas Climáticas Locais dos pontos monitorados.	89
Quadro 8 - Cronograma das coletas térmicas para cada um dos campos propostos.	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos parâmetros geométricos e de cobertura do solo para as.....	49
Tabela 2 - Valores dos parâmetros termiais, radiativos e metabólicos para as ZCLs.	49
Tabela 3 - Temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no inverno de 2017.	104
Tabela 4 - Variação das temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no verão de 2018.....	112
Tabela 5 - Variação das temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no inverno de 2018.....	121
Tabela 6 - Variação das temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no verão de 2019.....	141
Tabela 7: Distribuição dos valores máximos das ICUs, alturas de medição, pontos de coleta, ZCLs e estação do ano das campanhas.	159

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AL:	Alagoas
AM:	Amazonas
ANAC:	Agencia Nacional de Aviação Civil
ANATEL:	Agencia Nacional de Telecomunicações
AP:	Amapá
BA:	Bahia
BDMEP:	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BR:	Brasil
CAVE:	Certificado de Autorização de Voo Experimental
CLU:	Camada de Limite Urbano
CNEFE:	Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos
CO:	Centro Oeste
CPTEC:	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DECEA:	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ES:	Espírito Santo
EUA:	Estados Unidos da América
FVC:	Fator de Visão do Céu
GPS:	<i>Global Position System</i>
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilha de Calor Urbano
INMET:	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE:	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT:	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IS:	Instrução Suplementar
L:	Leste
LCZ:	<i>Local Climate Zone</i>
MG:	Minas Gerais
MS:	Mato Grosso do Sul
MT:	Mato Grosso
N:	Norte
NE:	Nordeste
NO:	Norte
O:	Oeste
PE:	Pernambuco
PNA:	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PR:	Paraná
RBACE:	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial
RETA:	Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo

RJ:	Rio de Janeiro
RN:	Rio Grande do Norte
RO	Rondônia
RPA:	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
S:	Sul
SC:	Santa Catarina
SE:	Sudeste
SIG:	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS:	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISANT:	Sistema de Aeronaves Não Tripuladas
SO:	Sudoeste
SP:	São Paulo
SVF:	<i>Sky View Factor</i>
UBL:	Urban Boundary Layer
UCL:	<i>Urban Canopy Layer</i>
UCZ:	<i>Urban Climate Zones</i>
UFSCar:	Universidade Federal de São Carlos
vant:	Veículo aéreo não tripulado
VCAN:	Vórtice de Convergência do Atlântico Norte
VLOS:	<i>Visual Line-Of-Sight</i>
ZCAS:	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT:	Zona de Convergência Intertropical
ZCL:	Zona Climática Local
ZCOU:	Zona de Convergência de Umidade
ZCU	Zonas Climáticas Urbanas

LISTA DE SIMBOLOS

Δ:	Delta
C°:	Graus Celsius
DQ:	Fluxo de calor sensível de condução do solo
H/W	Altura / Largura [relação]
KM/H	Quilômetro por hora
KM:	Quilômetro
KM²:	Quilômetros quadrados
M:	Metros
M²:	Metros quadrados
Q:	Fluxo de radiação líquida
QA:	Advecção líquida
QE:	Fluxo de calor turbulento latente
QF:	Fluxo de calor antropogênico
QH:	Fluxo de calor turbulento sensível
QS:	Densidade do fluxo de armazenamento de energia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos gerais	23
1.2 Objetivos específicos	23
1.3 Problemática da pesquisa	23
1.4 Justificativa	24
1.5 Estrutura da Tese	25
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 Clima Urbano	29
2.2 Ilhas de calor urbano – Histórico e conceitos	37
2.3 Ventilação e Geometria Urbana	49
2.4 Balanço Energético Urbano	51
2.5 Influência do organismo urbano e as modificações no relevo na composição das Ilhas de Calor Urbano – ICUs	54
2.6 Procedimento de coleta dos dados	56
2.6.1 Uso de vants (veículos aéreos não tripulados) na coleta de dados atmosféricos	60
2.6.2 Análise Temporal / Climática Regional	63
2.6.3 Apresentação, leituras e interpretação de dados	65
3 METODOLOGIA / MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.1 Descrição e caracterização geográfica e morfológica da área pesquisada	68
3.2 Caracterização climática e meteorológica de Franca – SP	72
3.3 Procedimentos para classificação espacial das ZCLs	74
3.4 Instrumentação	79
3.5 Variáveis coletadas	86
3.5.1 Relação altura / largura - W/H (width/height)	86
3.5.2 Superfície construída	87
3.5.3 Fator Visão do Céu (FVC) ou <i>Sky View Factor</i> (SVF)	87
3.6 Metodologia da coleta dos dados	88
3.7 Tratamento estatístico dos dados coletados	95
3.8 Caracterização física de Franca (SP)	96
3.9 Classificação espacial	99
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS COLETAS DE DADOS MICROCLIMÁTICOS	102
4.1 Análises das coletas do período de Inverno de 2017	102
4.2 Análises das coletas do período de verão de 2018	109
4.3 Análises das coletas do período de inverno de 2018	119
4.4 Análises das coletas do período de Verão de 2019	138
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	158
6 CONCLUSÕES	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
ANEXOS	183

1 INTRODUÇÃO

A expansão das áreas urbanas modificou de maneira significativa a paisagem natural. A substituição da vegetação por construções e a impermeabilização generalizada do solo, associadas às atividades humanas, proporcionam o aumento da temperatura nas cidades, formando as ilhas de calor urbano (AMORIM; DUBREUIL, 2017).

Desde o final do século XIX, os cientistas têm se preocupado com vários fatores que tangem o cenário climático mundial, desde escalas globais (como os gases de efeito estufa, grande causador do aumento do aquecimento global) até as desregulações climáticas locais (como as Ilhas de Calor Urbano e as chuvas ácidas).

Os estudos envolvendo as ilhas de calor urbano (ICU) implicam em dois dos mais graves problemas socioambientais da transição do século XX para o XXI: o crescimento das populações e as mudanças climáticas, tanto locais quanto globais. Desde então, vem sendo um dos fenômenos mais evidentes da modificação climática causada por atividades antrópicas, que se manifesta através do aquecimento das áreas centrais das cidades em relação ao ambiente natural (ARNFIELD, 2003; OKE; MILLS; CHRISTEN; VOOGT, 2017).

A ilha de calor urbano é uma anomalia térmica que tem dimensões horizontais, verticais e temporais (OKE, 1982). Das diversas escalas embutidas nesses impactos, muito se associa ao ambiente urbano, o qual é decorrente de atividades humanas, como a industrialização, o transporte e a alteração do uso do solo. A produção antrópica que, combinada com fatores climáticos, muitas vezes naturais, vêm gerando uma perda significativa na qualidade de vida das populações destas áreas.

Para Stewart e Oke (2012), numa escala mundial, em parte isso explica o porquê da notável forma de crescimento dos estudos sobre as ilhas de calor urbano, principalmente nas últimas décadas. Os mesmos autores exemplificam a transferência dessa preocupação de estudos em cidades com caracterizações do ambiente físico urbano industriais que fomentaram o foco das discussões acerca destes fenômenos, tais como: Cairo para Tóquio, Londres para Dallas, e Délhi para Nairóbi.

A expressão "ilha de calor urbano" foi cunhada pela primeira vez na década de 1940, como utilizaram Balchin e Pye (1947) para se referirem ao calor na atmosfera de uma cidade em comparação a sua área rural. As ilhas de calor urbano ocorrem em quase todas as áreas urbanas, grandes, médias ou pequenas, em climas diversos, sendo tradicionalmente medidas à altura padrão (1-2m acima do solo), chamada de camada dossel urbano. Precusores, como Luke Howard, no século XIX, propuseram os estudos referentes a esta temática e, com a evolução da ciência, estudiosos como Atkinson (1970; 1971; 1975), Bornstein (1968), Chandler (1961), Changnon (1969), Landsberg (1981), Lowry (1967) e Oke (1972) contribuíram acadêmica e intelectualmente com estudos que beneficiaram o mundo todo na compreensão das ilhas de calor urbano.

As ilhas de calor urbano são fenômenos decorrentes da combinação entre a meteorologia e as características físicas de uma cidade, e, portanto, apresentam variação espacial e temporal (OKE,1987). Desde os anos 80, a dedicação ao tema tem sido maior e, nessa perspectiva, aliando diversas técnicas e conceitos, pesquisadores se debruçaram ao temário. Amorim et al. (2009, p. 2) afirmam que:

Caracterizada por uma cúpula de ar quente que cobre a cidade, a ilha de calor urbano (ICU) é a manifestação do aumento das temperaturas causado por características físicas (alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e reflectância) e as atividades urbanas.

Especificamente ao que tange às ilhas de calor urbano, Oke (1972) ressaltou que estas constituem parte do estudo do clima urbano, fenômeno resultante das modificações provocadas pela urbanização sobre os parâmetros da superfície e da atmosfera.

Eriksen (1978) resalta que a formação da ilha de calor urbano pode ser atribuída a alguns fatos, tais como ao efeito de transformação de energia no interior da cidade (diante de toda sua estruturação); à redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação e à produção de energia antropogênica. Segundo o pesquisador, esta ação ultrapassa o calor do balanço médio de radiação e a emissão da ação humana nas grandes cidades alcança suma importância.

Oke (1981), citando que as causas da ilha de calor urbano estão no calor antropogênico, na poluição do ar, nas superfícies urbanas e nas propriedades térmicas destas e na geometria urbana, estabelece uma correlação entre a

geometria urbana e a máxima intensidade da ilha de calor. Oke (1982) e Lowry e Lowry (2001) salientam a importância da liberação de calor e seus agravantes, pois alteram os balanços energéticos da superfície natural e da radiação, intensificando o calor nas cidades. Sendo assim, a ilha de calor urbano corresponde a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, o que propicia o surgimento de circulação local.

A forma da estrutura afeta o clima local através da modificação dos fluxos de ar, do transporte do calor atmosférico e de saldos de radiação de ondas curtas e longas. Por sua vez, a cobertura das superfícies tem a capacidade de alterar o albedo, a disponibilidade potencial de umidade e o aquecimento e o arrefecimento do solo, tal como pontua Masiero (2014). Dentre os efeitos do clima urbano, as ilhas de calor são as mais percebidas pela população urbana, por estarem diretamente ligadas ao campo de percepção humana e influenciarem até mesmo no desempenho físico e em atividades do dia a dia e, em casos mais graves, na saúde das pessoas.

Sailor et al. (2016) estudaram uma região insular do Nordeste dos EUA, onde estabeleceram parâmetros como: falta de compreensão da área espacial com os fatores naturais, negligência da avaliação de parâmetros meteorológicos e comparação do clima atual X projeção do clima futuro, todos esses dentro da possibilidade de impactar a saúde humana, diante de estudos de modelagem das ilhas de calor na região. Ainda, este estudo resultou em recomendações sobre como as políticas locais podem otimizar o desempenho de suas atuações, programas de mitigação de calor urbano, com base na mitigação integrada com o conhecimento científico no desenvolvimento de estratégias específicas para os locais elencados.

Com o desenvolvimento dos estudos, muitos pesquisadores têm alertado para a simplificação do conceito de ICU como sendo a diferença entre a temperatura do ar entre a área rural e a urbana, tendo em vista que tais ambientes podem ser muito diversos, tal como as pesquisas de Givoni (1989), Gartland (2010), Kruger e Drach (2017), Fernandes e Masiero (2020) apontam essa temática altamente diversificada.

Assim, Oke (2006) sugeriu uma classificação em Zonas Climáticas Urbanas (ZCU) (*Urban Climate Zones - UCZ*). Essa classificação auxiliou na descrição de áreas representativas, tendo como intenção uma melhor identificação do potencial de cada área em alterar o clima local e caracterizar a transição entre as diferentes

áreas. As escalas são conferidas pelas dimensões das características morfológicas que compõem uma paisagem urbana.

Entre uma das causas da formação das ICUs, pode-se citar a geometria urbana, a qual é representada pela relação entre largura e altura do cânion urbano (H/W) e pelo Fator de Visão do Céu (FVC) (*Sky View Factor* - SVF). Este consiste em uma unidade que leva em conta a contribuição do papel da abóbada celeste no balanço da energia em um determinado ponto da cidade. A capacidade de resfriamento e aquecimento de uma fração urbana está relacionada à sua exposição ao céu. A exposição do cânion pode ser representada por uma relação entre a área aberta e obstruída do céu, considerando a concentração de construções e outros elementos urbanos. Ou seja, quando o FVC é igual a 1.0, implica que a superfície horizontal está livre de qualquer obstrução de elementos físicos; já quando o valor do FVC é igual a zero, indica que o céu está totalmente obstruído por elementos urbanos.

Teoricamente, quanto menor o FVC, maior o acúmulo de calor nas superfícies e maior a temperatura do ar, impedindo a liberação de calor, principalmente durante o período noturno. Adaptando o modelo de Oke (1981) e Oke (1988), Nakata Osaki (2016) incorporou um algoritmo de cálculo a uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG)¹, possibilitando o mapeamento do potencial de influência da geometria urbana sobre o microclima. Assim, é necessário descrever as propriedades das áreas urbanas que podem afetar a atmosfera em relação à estrutura, à cobertura das superfícies, ao tecido e ao metabolismo urbano.

Masiero (2014) aponta que os principais aspectos levantados se voltam, sobretudo, à escala de abordagem, à caracterização física dos locais representativos dos efeitos microclimáticos, aos métodos de análise climática regional, às diversas formas de apresentação, de leitura e de interpretação de resultados e à formulação de diretrizes de ocupação territorial e de acordo com as

¹ O **SIG** (ou GIS, do acrônimo em inglês *Geographical Information System*), segundo Silva et al. (2008, p.77), “envolve elementos de *software* e *hardware* que permite criar bases de dados sobre as quais é possível efetuar inúmeras tarefas, tais como aquisição, verificação, manipulação, compilação, armazenamento, atualização, alteração, gerenciamento, apresentação, combinação ou análise”. Os SIGs, portanto, possibilitam vários tipos de estudos como ferramenta de análise, principalmente em pesquisas sobre o planejamento urbano.

características detectadas em cada zona climática local, tanto em relação ao clima quanto ao espaço físico. Para Monteiro e Mendonça (2009, p.112):

Não obstante o conhecimento da sociedade acerca das trocas de influências entre o clima e as atividades humanas, esta relação toma novos matizes no momento histórico presente. Muitos elementos entram em jogo na tessitura dos diferentes arranjos sócios espaciais e socioambientais do espaço geográfico atual, cabendo à ciência e à técnica um papel destacado na investigação dos processos que resultam no mosaico e palimpsético objeto de estudo da geografia.

Neste contexto, a cidade e os fenômenos físicos que a ela estão associados são compreendidos a partir de um conjunto de variáveis que incluem tanto os elementos construídos, a ocupação do solo, a dinâmica de uso, quanto os elementos naturais. Ou seja, a compreensão da formação da paisagem como um todo é essencial para a compreensão dos fenômenos climáticos urbanos.

Posteriormente, Stewart e Oke (2012) basearam-se em estudos da paisagem para uma nova classificação climática, especificamente para estudos em áreas urbanas. Ou seja, determinam-se unidades com características antrópicas, que conferem à paisagem propriedades que podem influenciar a temperatura na camada urbana.

Dessa forma, Stewart e Oke (2012) consideram que é possível classificar a paisagem dividindo-a em estruturas com propriedades aproximadamente homogêneas e gerar dezessete (17) classes de protótipos semelhantes, ao que os autores caracterizam como as Zonas Climáticas Locais (ZCLs) (*Local Climate Zones - LCZs*). Essas classes são mais detalhadamente apresentadas na fundamentação teórica desta pesquisa.

De uma forma geral, as ZCLs podem ser definidas como regiões com estrutura, materiais, atividades humanas, cobertura de superfície uniformes, que se estendem por centenas de metros horizontalmente e verticalmente. Cada ZCL é caracterizada de acordo com um determinado regime de temperatura sobre superfícies secas, com atmosfera calma, noites claras, em áreas com relevo suave.

Stewart e Oke (2012) melhoraram os métodos e desenvolveram um sistema de avaliação de sítios urbanos, com base em diversos critérios, como FVC; relação entre altura e largura dos *cânions* urbanos – H/W; irregularidades do relevo; fração da superfície construída; fração da superfície impermeável do solo; proporção de área permeável do solo e da rugosidade dos elementos que compõem a paisagem.

Compondo uma parte fundamental do estudo da cidade, o clima, em particular o clima urbano, aparece então como um recorte fundamental à compreensão dos problemas urbanos e à sua gestão no presente e no futuro, aliado à técnicas e bases metodológicas específicas voltadas para a engenharia urbana, fundamentalmente associado às tecnologias recentes.

Ainda, nos últimos anos, o uso das chamadas geotecnologias dinamizou o processo de estudos acerca do cenário do clima urbano. Essas, que se referem ao sensoriamento remoto e aos SIGs estão cada vez mais interligadas e suas aplicações nos diferentes campos do conhecimento têm aumentado. *A priori*, essas tecnologias têm uma vasta aplicação em áreas como a Geografia e a Engenharia Urbana. Entretanto, o potencial delas nos estudos geográficos não tem sido suficientemente explorado. A própria área de estudos de clima urbano demanda novas metodologias para poder melhor se usar da confiabilidade e técnica nas pesquisas, principalmente em estudos de campo que exigem levantamentos de grande quantidade de informações.

Para Monteiro (2009), o clima urbano exige uma estrutura teórica capaz de alcançar e enquadrar tanto fatores amplos e complexos como os mais simples e restritos.

O contexto teórico procurado para expressá-lo requer tal elasticidade ou amplitude no tempo e no espaço. Assim, a moldura teórica deve ser capaz de orientar a investigação em qualquer cidade do globo – Londres, São Paulo, Tóquio ou Catmandu. Por isso mesmo, será extremamente importante uma abertura a todas as escalas de tratamento espacial-temporal e diferentes graus de complexidade urbana (MONTEIRO, 2009, p.18).

Sendo assim, entende-se que a análise aqui inserida deve-se conduzir na conjunção entre teoria e ideografia (expressão dos resultados de cada realidade urbana específica). Do ponto de vista lógico, trata-se de uma tarefa bastante complexa, pois se propõe a tentar estudar o clima da cidade em um viés investigativo, para o qual se observa não um antagonismo entre o homem e a natureza, mas uma coparticipação, ou seja, uma preocupação da teoria em auxiliar o estudo de clima urbano como algo singular e necessário.

Portanto, para o desenvolvimento do estudo aqui proposto, foi alçada uma vasta revisão bibliográfica para apoiar a realização de trabalhos de campo com levantamento e recolhimento de dados. A partir de então, foram definidas etapas de

análise dos dados obtidos para a produção de material gráfico e cartográfico, de forma a melhorar a visualização e a compreensão didática e mais profunda dos fenômenos detectados.

1.1 Objetivos gerais

Esta pesquisa objetiva identificar as relações entre ilha de calor urbano e a geometria da cidade através da aplicação de geotecnologias e propõe uma nova metodologia, com base em ferramentas tecnológicas, atualizada na mensuração da temperatura do ar e nas suas formas de representação e espacialização do fenômeno das ilhas de calor urbano.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise têmporo-espacial definida sobre as ilhas de calor urbano;
- Desenvolver e aplicar o método com uso da geotecnologia na cidade de Franca – São Paulo;
- Produzir informações tridimensionais da camada intraurbana (*urban canopy layer*) que possam auxiliar no planejamento urbano, contribuindo para mitigar os impactos da ocupação do solo no ambiente térmico.

1.3 Problemática da pesquisa

A ocorrência de ICU, associada ao ambiente físico de Franca - SP, ocasiona efeitos climáticos que carecem de estudos aprofundados para sua compreensão. Portanto, a possível mitigação dos efeitos térmicos na cidade depende, sobretudo, do incremento na precisão de informações dos fenômenos que ocorrem nas camadas intraurbanas, para que, então, as propostas de planejamento físico territorial incorporem variáveis relacionadas ao clima urbano.

Assim, o uso de uma nova metodologia específica para coleta de dados na camada intraurbana elevará os dados obtidos a uma melhor fidelidade espacial e térmica na área proposta.

1.4 Justificativa

O processo de urbanização, em diferentes regiões do globo, ocorreu sem o devido planejamento. Evidentemente regiões com aglomerações humanas tiveram um foco maior nesse processo.

Nesse contexto, as cidades de médio e pequeno porte têm apresentado problemas ambientais e sociais que se refletem no comprometimento da qualidade de vida do homem urbano, e o clima é um importante indicador de qualidade ambiental a qual a população pode estar submetida (AMORIM, 2011).

Sob este aspecto, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) muito bem se aplica ao uso de novos métodos propostos à identificação de impactos, diretrizes e ações, nos quais se projetem as cidades como setores prioritários para o desenvolvimento sustentável do país (PNA, 2016/2017).

O texto do PNA reconhece a existência de uma lacuna de informações sobre os impactos climáticos nas cidades, além do mais, poucos municípios atualmente possuem estrutura e recursos humanos para manejar as questões climáticas em nível local em países em desenvolvimento. Contudo, indícios das alterações climáticas geradas pelas cidades são observados desde o século XIX (Howard, 1833; Balchin e Pye, 1947; Chandler, 1961; Bornstein, 1968; Changnon, 1969; Atkinson, 1970, 1971 e 1975; Landsberg, 1981; Lowry, 1967; Oke, 1972; Mills, Christen e Voogt, 2017, dentre muitos outros), porém muito pouco rebatimento desse conhecimento científico pode ser constatado sobre as ações práticas de planejamento urbano.

Visando uma gestão urbana inteligente e competitiva, é de fundamental importância a criação e a implantação de ferramentas de apoio aos gestores urbanos, as quais possam orientar de maneira efetiva ações para a o planejamento de combate às mudanças climáticas, contribuindo para tornar as cidade mais resilientes.

É, portanto, imprescindível melhorar as condições de disponibilidade de ferramentas voltadas para a detecção de fenômenos microclimáticos que apoiem e facilitem os processos de tomadas de decisão no planejamento físico territorial dos municípios brasileiros.

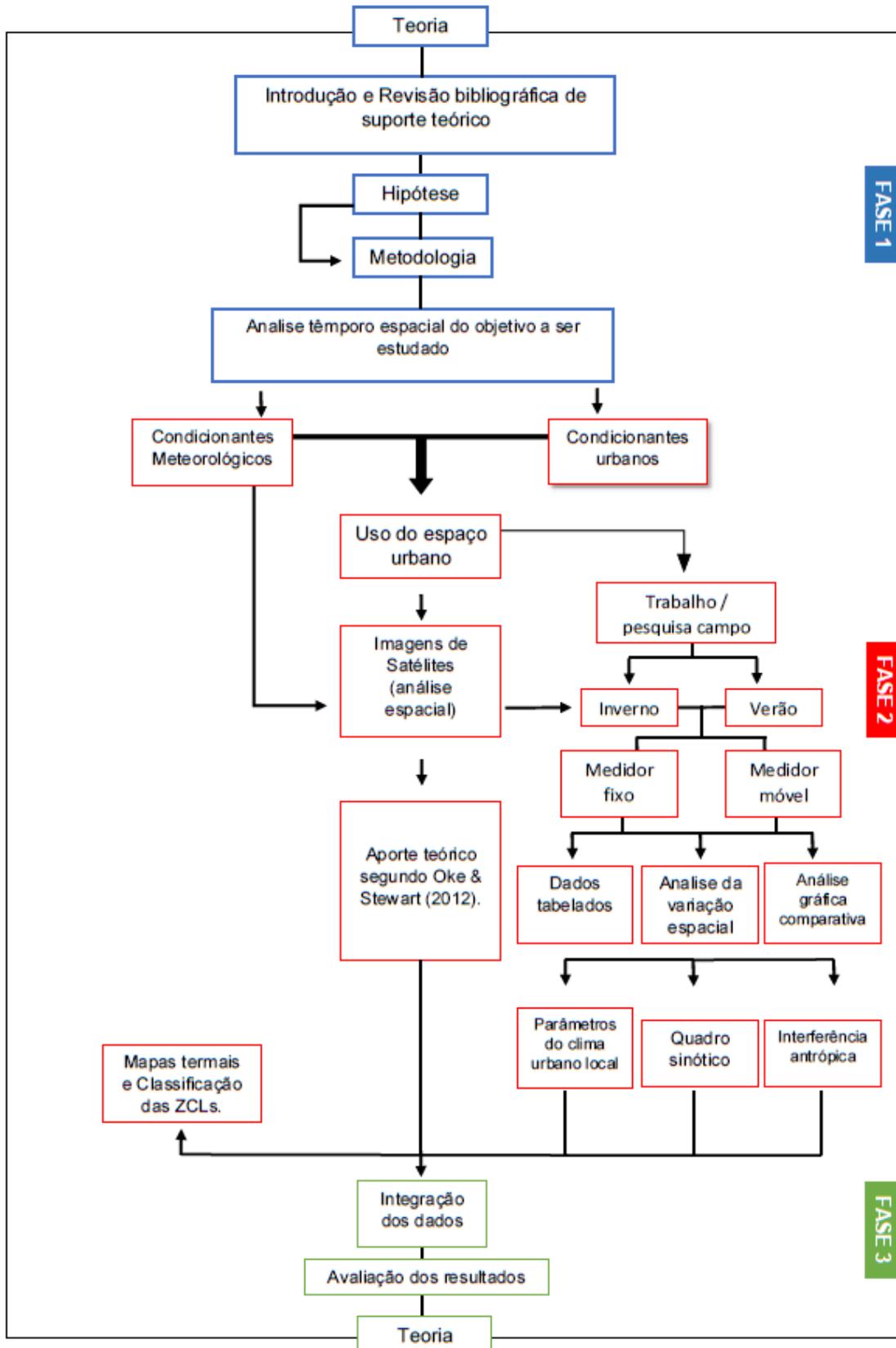
Informações como a variação da temperatura do ar, da umidade e de situações sinóticas típicas na área superficial urbana sobre o uso do solo e o

domínio das técnicas de modelagem de fenômenos climáticos devem apoiar a composição de uma discussão mais embasada e pautada na análise das ICUs.

1.5 Estrutura da Tese

A proposta metodológica para a compreensão dos efeitos de ilha de calor urbano na cidade de Franca - SP adota uma organização pautada em etapas para melhor competência das discussões. Esta se dividirá em três grandes etapas, descritas por fases no fluxograma representado na **figura 1**: fase 1 - base teórica; fase 2- metodologia aplicada à pesquisa e fase 3 – integração dos dados e avaliação dos resultados.

Figura 1 - Organograma didático do plano de pesquisa, tendo como base o campo térmico urbano.



Elaboração e organização do roteiro: Megda (2016).

Dentro de cada uma das “fases”, foram elaboradas divisões por capítulos, somando-se 6 Capítulos com subdivisões pertinentes às discussões tratadas em cada um destes.

O capítulo 1, compondo parte da Fase 1 - Base Teórica - é composto desta introdução ao tema central, bem como da apresentação dos objetivos gerais e específicos desta pesquisa. De modo geral, os objetivos, o problema de pesquisa e a justificativa se complementam. A justificativa tem como protagonismo as pesquisas científicas elaboradas na área e as discussões que priorizam o tema.

No Capítulo 2, será elencada a discussão dos aspectos teóricos – clima e população, onde será explanada a base que teorizará as questões que envolvem e caracterizam as ICUs, bem como sua relação com a área estudada e características gerais que darão sustentação para as aplicações, tais como o balanço energético, ventilação urbana, as ZCLs e as características climáticas locais que acompanharão estes fenômenos.

Ainda no capítulo 2, uma subdivisão foi elencada para melhor discutir a aplicação das abordagens metodológicas, como as escalas de abordagens e informações que vão compor todo o procedimento que estruturará e explicará a Metodologia. Neste capítulo se encerra a Fase 1 da pesquisa.

O Capítulo 3 abará os procedimentos metodológicos da pesquisa, bem como dará início a Fase 2 - Metodologia, Caracterização Meteorológica e urbana - subdividida em 6 etapas que vão desde a caracterização morfológica urbana do local estudado até as análises climáticas e sinóticas regionais, passando pelos procedimentos de coleta dos dados, pelas análises microclimáticas das ICUs na cidade em questão, além das análises macroclimáticas sob diferentes níveis de ZCLs. Encerra-se, neste capítulo, a Fase 2.

No Capítulo 4 inicia-se a Fase 3 – Integração dos dados e avaliação – e apresentam-se os resultados do comportamento climático da cidade pesquisada, as divisões das ZCLs e as formações das ICUs.

No Capítulo 5 são apresentadas, somando-se à discussão dos resultados, as relações da ocupação, morfologia urbana e os diferentes níveis das ZCLs das ICUs nas condições climáticas e sinóticas da área estudada. A partir do aprofundamento na literatura especializada, serão tecidas considerações e até mesmo

recomendações para uma melhor qualidade térmica e diretrizes de ocupação para a cidade de Franca – SP.

O Capítulo 6, último capítulo da Fase 3, apresenta as conclusões finais desta pesquisa, onde propõe-se a aplicação de uma nova metodologia, associada à tecnologia dos veículos aéreos não tripulados (vants), para uma melhor qualidade dos dados obtidos e a importância dos estudos climáticos urbanos na organização espacial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A procura e as descobertas do domínio natural, do espaço físico e de sua organização fizeram com que uma gama considerável do conhecimento humano fosse focada em estudar a atmosfera e a sua relação com a superfície. Dentro dos espaços urbanizados, esses tipos de ocorrências ficaram cada vez mais comuns e necessários, tangenciando uma abertura necessária para estudos sobre a melhoria da qualidade de vida.

Dentro dessa perspectiva, os estudos e pesquisas se tornaram cada vez mais direcionados e abertos ao entrelaçamento com outras linhas de análise, possibilitando melhores interpelações e interpretações sobre temas, evidenciando, de maneira mais concreta, os problemas a serem estudados e a forma como são, pois naturalmente ocorre uma evolução dos métodos.

2.1 Clima Urbano

Danni - Oliveira (2007) explica que nos primórdios da humanidade, diante da dificuldade de abstração na época, o conhecimento da atmosfera era irrisório. Assim, muito se associava às condições de deuses, de forma que fenômenos como raios, relâmpagos, trovões, chuvas e secas foram reverenciados como entidades mitológicas. Com a evolução do conhecimento humano, compreensões mais fundamentadas se fortaleceram e suportaram as bases iniciais para os estudos sobre a atmosfera.

Antes da era cristã, ainda segundo Danni - Oliveira (2007), no Ocidente, estudos da composição e divisão das camadas da atmosfera se desenrolaram de várias maneiras. Um dos exemplos mais evidentes dessas compreensões foi o dos regimes de cheias e vazantes da bacia do rio Nilo. Essa questão levou os egípcios a refletirem sobre os elementos do ar, dos quais derivou a umidade, e, portanto, sobre a fertilidade dos solos das planícies alagáveis, usada por centenas de anos nas chamadas sociedades hidráulicas.

Sendo assim, a interação entre clima e população se torna indissociável, pois praticamente tudo depende das condições climáticas de um determinado local para que ocorra uma relação de desenvolvimento ou falta deste.

Nesta perspectiva, a adaptação dos assentamentos humanos a partir das condições do clima não tem sido observada com facilidade. Com o advento da Revolução Industrial e o desenvolvimento das tecnologias, o crescimento da população e o respectivo aumento das unidades de habitação humana, já perfazendo ali suas necessidades de assentamento – urbanização –, criou um mundo com qualidades mais acessíveis e inteligentes, porém, do ponto de vista ambiental, esses fatos ocasionaram degradação do meio natural.

Santos (1991, p.78) considera que possíveis repercussões do processo de urbanização sobre o meio ambiente geraram em cada local um *meio geográfico artificial*, nos quais se desenvolve “um quadro de vida onde as condições ambientais são ultrajadas, com agravo à saúde física e mental das populações”.

Barbirato, Souza e Torres (2007) pontuam que em decorrência de processos que vão desde a exploração até a transformação da matéria, ocorrem impactos danosos ao meio ambiente, como: poluição das águas, por despejos industriais; aumento da temperatura, devido aos adensamentos urbanos, provocando o surgimento de “ilhas de calor”, entre outros. Estes exemplos demonstram uma série de graves consequências intensas à qualidade de vida e podem não ficar restritos apenas ao local de ocorrência.

Assim, criou-se, ao redor dos assentamentos urbanos, uma real dificuldade de encarar o planejamento urbano e, por mais que questões de suma vitalidade para a qualidade ambiental ainda sejam prioritárias, elas acabam se sucumbindo aos interesses do crescimento urbano. Contudo, cresceu uma preocupação com a qualidade do meio ambiente envolvido e, em especial, o impacto dos assentamentos humanos sobre o clima urbano é motivo de inúmeras pesquisas, sobretudo com o avanço de tecnologias e estudos que possibilitam avanços nessas questões.

Além disso, pesquisas recentes sobre o clima urbano enfatizam que a qualidade ambiental das edificações depende fundamentalmente da qualidade urbana. Sendo assim, esse aspecto deve ser considerado nos estudos produzidos que envolvem a relação de conforto e desempenho dos ambientes (SANTAMOURIS, 2001; STHATHOPOULOS, 2004).

Megda (2014) afirma que no Brasil a evolução urbana se deu de forma heterogênea diante dos diferentes tempos e regiões, e sempre ficou claro que, nas suas complexas estruturas, as cidades permanecem vulneráveis diante de eventos

atuais extremos, o que acarreta grandes perdas e prejuízos às populações afetadas. Gonçalves (1992) explica que no Brasil os principais responsáveis pelos desastres que têm repercussão nas atividades humanas são de natureza climática. As variações bruscas de temperaturas (geadas, ondas de calor) e as oscilações hídricas (episódios pluviais extremos negativos e positivos) são os fatores mais significativos, que causam um verdadeiro impacto no meio ambiente e na vida social e econômica do país.

O clima urbano, portanto, deriva de uma escala macro climática e, para Monteiro (2009, p. 32), a própria concepção de clima que se prende como os estados médios dos elementos atmosféricos sobre o dado lugar prende-se a existência de uma cidade. Monteiro (1963) reforça a ideia da adoção de uma concepção dinâmica conduzida pelo paradigma do ritmo de sucessão habitual dos estados atmosféricos sobre os lugares, apoiado na crítica tecida de Max Sorre (1934,1951).

Somada a essa ideia, Monteiro (2009) pontua que a mensuração meteorológica básica para registrar ao ar livre dados pertinentes à atmosfera, que segue normas técnicas estabelecidas para o funcionamento de postos meteorológicos padrão, é diferente daquela medida na cidade e que releva uma série de alterações ou mudanças que contrastam com o campo circundante.

Dessa maneira, a definição de clima fica estabelecida como uma sucessão habitual dos tipos de tempos atmosféricos e, o “*tempo atmosférico*” é fator determinante na definição de clima de um determinado lugar. Este terá como atributos de caracterização naquele momento: a radiação (insolação), temperatura e umidade do ar atmosférico, precipitação, nebulosidade, pressão atmosférica, regime de ventos, entre outros fatores. Esta definição surge das ideias escritas por Landsberg (1956), que procura deixar claro a necessidade do ponto de vista meteorológico na observação da cidade, conectando aspectos das medidas intraurbanas e aquelas de entorno no espaço maior no qual se insere a cidade (MONTEIRO, 2009).

Givoni (1976) explica que, dentre os elementos do clima, os que mais afetam a relação do conforto humano são a temperatura e a umidade do ar, sendo a radiação solar e a ventilação os fatores climáticos mais representativos neste processo. Nessa perspectiva, pode-se atribuir, aos elementos climáticos, a

qualidade de definir e fornecer componentes do clima, e, aos fatores climáticos, a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Fatores locais inserem as variações no clima condicionado e determinam e originam os diferentes “microclimas”, verificados em ambientes restritos a bairros ou até mesmo ruas. Compõem-se então pelos fatores climáticos globais e locais e pelos elementos climáticos. Monteiro (1976) e Oke (1987) estabeleceram classificações em relação às escalas climáticas, embora estes autores mostrem formas diferentes de abordar e classificar cada uma delas.

Para Monteiro (1976), é imprescindível o estabelecimento com as unidades espaciais climáticas, e estas estarão diretamente ligadas às formas de relevo, este por ser um dos fatores de maior influência no clima. Sendo assim, Monteiro (2009) adapta as escalas climáticas à proposta taxonômica de Tricart e Cailleux (1956), explanada no **quadro 1**.

Danni-Oliveira (2007) esclarecem que o Macroclima é a maior das unidades climáticas que abrange o planeta, em nível global, estabelecendo as grandes zonas climáticas, superior à dimensão de milhões de km², obedecendo a circulação geral da atmosfera e respondendo aos fatores geográficos do clima (latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, atuação das correntes marinhas e das massas de ar).

O mesoclima é a unidade intermediária entre o macro e o microclima, tendo o clima local e o topoclima como concepções dessa subunidade, enquadrados no clima regional e tendo como grandeza desde km² a dezenas de km².

Quadro 1 - Categorias Taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano.

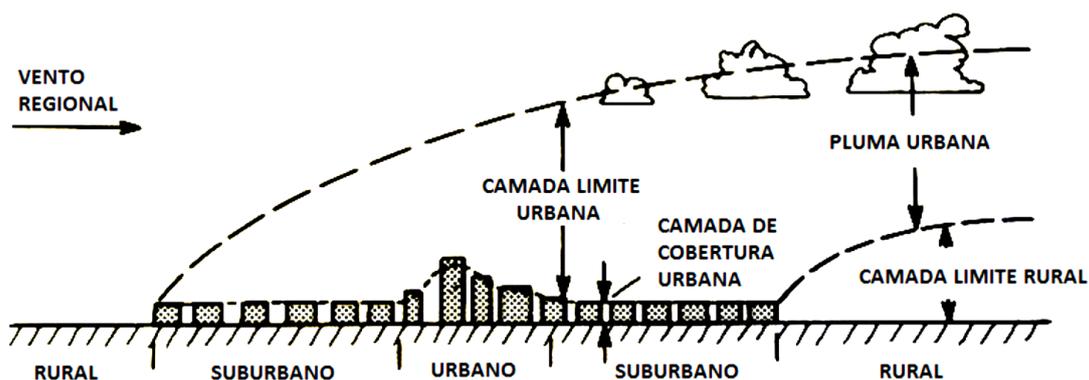
Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de Superfície	Escala Cartográfica de tratamento	Espaços Climáticos	Espaços Urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	Milhões de Km	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	Milhões de km	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas Sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes Transectos
IV	Centenas de km	1:1.000.000 1:5.000.000	Sub-regional (fáceis)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede Meteorológica de Superfície	Fatores Geográficos	Mapeamento Sistemático
V	Dezenas de km	1:250.000. 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede Complementar	Integração Geológica Ação Antrópica	Análise Espacial
VI	Centenas de km	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registro Móveis	Urbanismo	
-	Dezena de Metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fáceis de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	Especiais
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias e instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Mendonça e Danni - Oliveira (1976), adaptado pelo autor.

O clima local pode abranger desde uma metrópole até uma região agrícola e o topoclima, que pode ter a influência do relevo, categoriza uma pequena cidade ou até mesmo um bairro. O microclima, por sua vez, meandra desde alguns centímetros até centenas de m² e está associado diretamente às condições de movimento do ar na superfície e à ocupação e uso do solo.

Adicionalmente, Oke (1987) estabelece os limites – horizontais e verticais – das camadas atmosféricas dentro da escala intraurbana. A **figura 2** apresenta a esquematização de Oke (1987). A explicação das camadas definidas por Oke serão tratadas de maneira sucinta neste subcapítulo e aprofundada adiante, no histórico e conceituação das Ilhas de calor urbano.

Figura 2 - Representação de Oke (1987) para as duas camadas de modificação urbana.



Fonte: Adaptado de Oke (1987).

Como se pode ver, este autor preconiza que as transformações produzidas pelo processo urbanizador levaram a formar diferentes camadas atmosféricas. Para ele, três são as divisões para explicar a interação entre elas. Foram geradas três figuras (3, 4 e 5 – Mesoescala, Escala local e Microescala, respectivamente) afim de exemplificar as interações entre camadas, troca de calor entre elas e direções dos ventos, baseadas na **figura 2**, de Oke (1987).

A **figura 3** apresenta o que Oke (1987) propõe como Mesoescala, tendo a camada limite planetária, que compreende a camada superior ao limite urbano, onde todas as características são acondicionadas pela circulação da atmosfera regional. Para Gartland (2010), a camada limite urbana é mais

espessa durante o dia, quando as superfícies quentes aquecem o ar, que, sendo mais leve, sobe até a atmosfera mais fresca e se mistura - o chamado movimento convectivo do ar. Durante a noite, a superfície terrestre tem a tendência de perder o calor e se resfriar, tendo então uma contração dessa camada.

Como destaque, Oke (1987) explica que nas cidades, durante o período noturno, a superfície tende a se tornar mais fria do que o ar acima, gerando uma camada de ar frio abaixo do ar quente - fenômeno conhecido como inversão térmica. Essa situação é mais comum e evidenciada nos períodos inverniais, pela passagem de frentes frias pelos territórios que as conduzem.

Figura 3 - Composição figurativa para evidenciar a Mesoescala em um ambiente urbano.

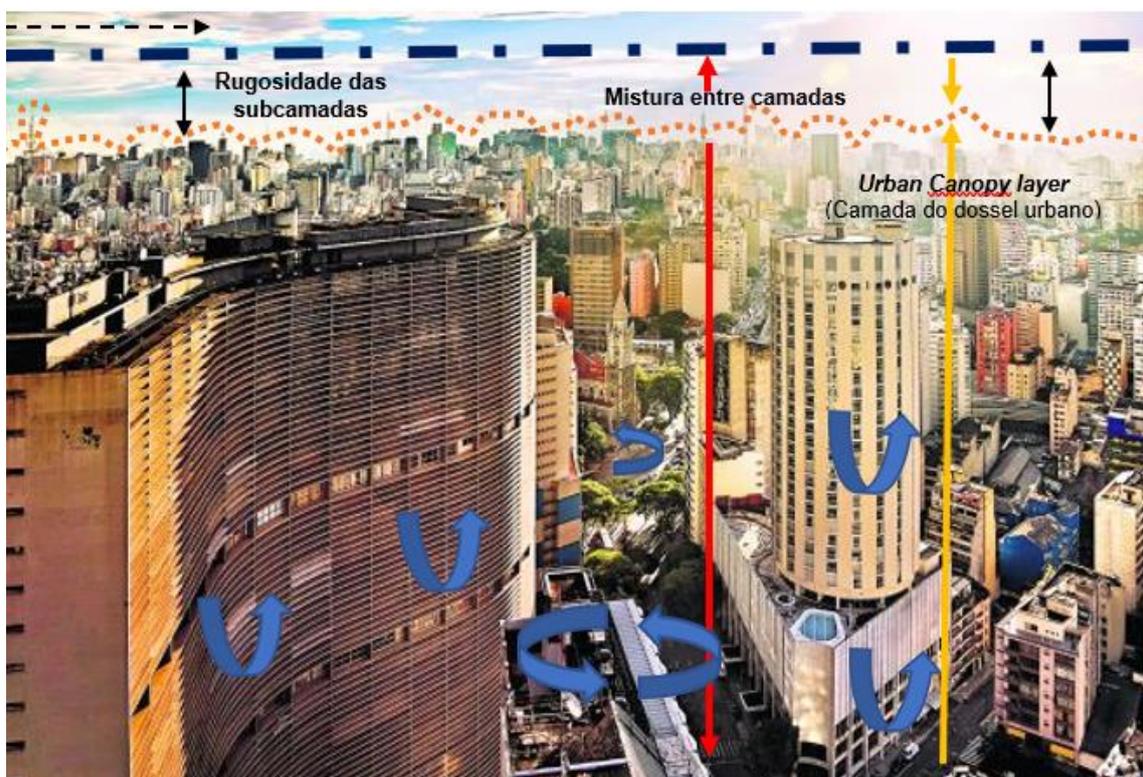


Fonte: Adaptado de OKE (1997). **Foto:** Prefeitura Municipal de Franca – Acervo. **Composição:** Megda (2018).

Na **figura 4**, pode-se observar a escala local abaixo da camada limite urbana, localizada acima dos topos dos telhados. Na prática, a escala local é composta por conjuntos de diversos microclimas e topoclimas que trabalham

dentro do meio urbanizado, que se formam em função direta da heterogeneidade propiciada pela produção do espaço urbano, pois o mesmo é contido a uma enorme variedade de elementos que o compõe. Monteiro (2015, p.106) explica que “um clima local se diversifica inicialmente ao nível de compartimentação geocológica, passando a organizar-se no nível dos topoclimas e especializar-se nos microclimas”. As setas azuis descritas nas figuras 4 e 5 representam o fluxo de vento da área exemplificada, deslocando-se pelas diversas rugosidades do espaço urbano.

Figura 4 - Composição figurativa para evidenciar a Escala local em um ambiente urbano.

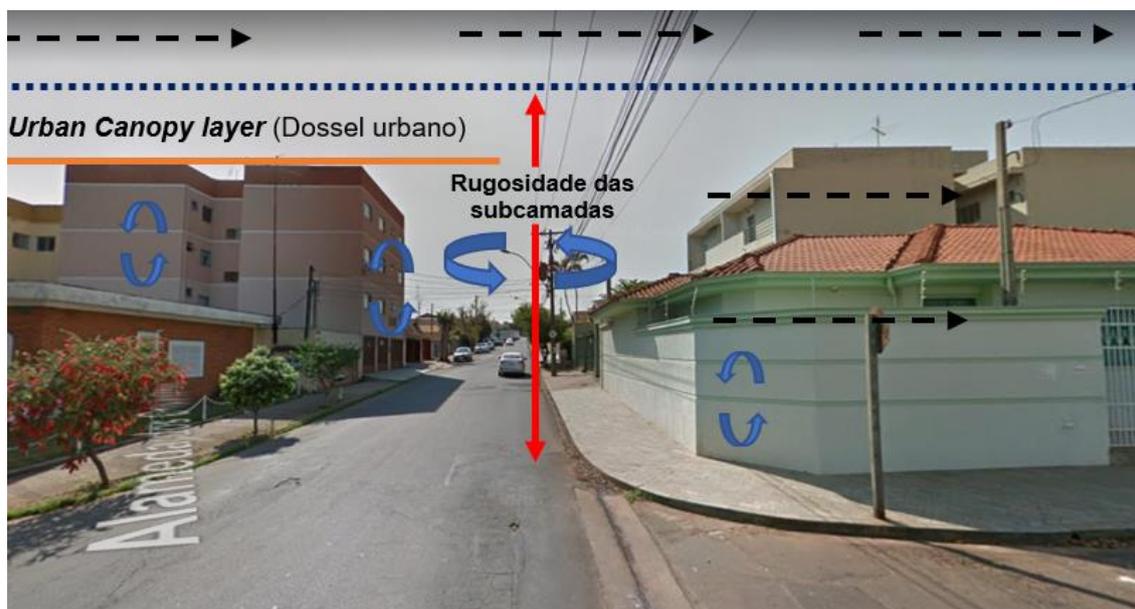


Fonte: Adaptado de OKE (1997). **Foto:** Prefeitura Municipal São Paulo – Acervo. **Composição:** Megda (2018).

Os processos atmosféricos vão ocorrer em diferentes escalas espaciais urbanas e Grimmond (2006) explica que estas se iniciam pela camada limite planetária (*planetary boundary layer*), percorrendo a camada limite urbana (*urban boundary layer*) e finalizando na camada limite do dossel urbano (*urban canopy layer*).

Na **figura 5**, a camada do dossel urbano é um tipo de subcamada da camada de limite urbano, abrangendo o que se denomina de microescala. Esta se restringe da altura do nível basal (solo) até o limite dos níveis dos telhados, abrangendo as construções baixas, edificações, arruamentos e áreas verdes. Essa é uma camada associada diretamente às influências microclimáticas do local urbanizado, desde composição material até uso do solo.

Figura 5 - Composição figurativa para evidenciar o microclima em um ambiente urbano.



Fonte: Adaptado de OKE (1997). **Foto:** Google *street view* – São Carlos - SP. **Imagem** de 12 de maio de 2017. Acesso em 12 de julho de 2018. **Composição:** Megda (2018).

Esta camada tem uma participação direta na qualidade de vida da população e, como destaca Amorim (2000, p. 26), “esta camada de ar pode atingir entre 1 e 3 vezes a altura do topo dos elementos existentes à superfície, e pode apresentar uma turbulência forte de pequena escala, dependendo da rugosidade da superfície”.

2.2 Ilhas de calor urbano – Histórico e conceitos.

Segundo Megda e Souza (2016), este fenômeno que hoje se espacializa no cenário propriamente urbano viu sua teoria mudar em uma metamorfose

conjunta aos efeitos da urbanização: desigual, descompassada e atrelada a diversos fatores, muitos deles antrópicos.

A pesquisa feita por Chandler (1965) tornou-se um clássico da pesquisa na área. No entanto, o estudo realizado por ele tem uma abordagem que resulta em uma visão muito mais meteorológica, gerando uma análise compartimentada, sem a correlação dos fenômenos meteorológicos urbanos (LOMBARDO, 1985).

Landsberg (1956) analisa as alterações que ocorrem com os elementos meteorológicos naturais – tais como o vento, a temperatura, o nevoeiro, a umidade relativa, a precipitação – quando adentram o espaço urbanizado. A cidade então é vista e tida como uma modificação do clima, ao passo que, nas alterações através das superfícies, produz aumento do calor e da precipitação. Esse argumento foi enfatizado em muitos trabalhos do século XX, que consideram a “cidade como um organismo gerador de chuvas”, tal como apresenta Chandler (1965). Este ainda destaca que há alteração na composição da atmosfera e aborda o problema da concentração de poluentes em cidades industrializadas. Estudos que, nos Estados Unidos, Europa e Japão, dos anos 1950 para 1960, fomentaram essa discussão e expandiram as áreas correlatas nesse tema.

Nos estudos de grandes centros urbanos, é evidenciado que as estações do ano influenciam significativamente a intensidade das ilhas de calor, tornando-as no verão mais intensas (VUKOVICH, 1983; LOMBARDO, 1985, CARNAHAM; LARSON, 1990; OKE et al., 1991; GOLDREICH, 1995; PEREZ, 2001; WENG, 2001; MONTEIRO; MENDONÇA, 2003, ARNFELD, 2003; PONGRACZ et al., 2005).

No entanto, em cidades de médio e pequeno porte, a influência das estações não é marcante, já que as condições do entorno podem influenciar diretamente o microclima local (COLTRI, 2006; CARNAHAM; LARSON, 1990).

Destaque do cenário urbano também foi feito por Lowry (1977) em grandes cidades. Nessa vertente, Clarke e Peterson (1973) usaram uma análise de regressão simples e outra de regressão linear múltipla para relacionar as observações de temperatura, uso do solo e variáveis meteorológicas. Esses dados consistiram em informações colhidas no período noturno em Saint Louis, nos EUA.

Durante o inverno, primavera e verão de 1952-1953, foram estabelecidos 17 pontos padrão de coletas e verificou-se que a configuração espacial da ilha de calor está associada diretamente ao uso do solo e às variáveis meteorológicas, sobretudo, à ação do vento.

Lombardo (1985) ressalta que, em uma escala sub-regional ou até mesmo local, a modificação do clima pelo homem exerce influência mais qualitativa que quantitativa. Esta autora exemplifica que fatores como insolação, temperatura do ar e precipitações são mais acentuados nas cidades que nos campos mais afastados destas.

Para sustentar a teoria, medidas itinerárias foram obtidas na cidade francesa de Annecy, de 2 em 2 horas, em diferentes tipos de tempo atmosférico, com a obtenção de perfis térmicos matinais e noturnos. Esse trabalho teve efetiva importância em análises horárias, provendo a importante observação das variações durante os períodos analisados.

Com uma influência notória nos estudos de Bornstein (1968), Kratzer (1956 *apud* Oke, 1973) atribui à ilha de calor, primariamente, o efeito da poluição atmosférica urbana. A concentração de poluição nas nuvens noturnas deveria absorver e reemitir radiação térmica para a cidade, de forma a ocasionar excesso de temperatura à noite.

Sendo assim, Bornstein (1968) considerou que o auto aquecimento deveria contribuir predominantemente para a ilha de calor em Nova Iorque no período invernal. Este estudioso representou esquematicamente o balanço de energia nas áreas rural e urbana e verificou que o calor conduzido pelos edifícios nas cidades é maior à noite, já demonstrando o efeito da inversão térmica.

Escourrou (1991) considera a ilha de calor urbano a mais fantástica mudança do clima pela urbanização. Tal apontamento é evidenciado por Oke, 1972 que define tal fenômeno como o “resultado direto da modificação dos parâmetros da superfície e da atmosfera pela urbanização, conduzindo assim alterações no balanço de energia”.

Essas considerações salientam a revisão do tema de formação das ilhas de calor, assim como Frisken (1973) e Oke (1976) propõem. O primeiro comparou a ilha de calor ao relevo, tendo um pico, geralmente no centro da

cidade, descendo gradativamente em direção à periferia (platô) e bruscamente na área rural (escarpa).

Posteriormente, Oke (1976), no artigo *The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands*, levanta a hipótese de que existem no mínimo duas diferentes camadas na ilha de calor, produzidas pelo efeito da urbanização.

Brevemente discutida no último subcapítulo, Oke (1976) aponta que há uma camada (*urban canopy layer* - UCL) que é a *copa ou dossel urbano*, norteada por processos atuantes em microescala. Essa camada consiste no ar contido entre os elementos de rugosidade urbana – materiais, geometria urbana e espaçamento entre os obstáculos. A outra camada, chamada de *urban boundary layer* (UBL), seria o limite da camada urbana, ou seja, estaria acima da copa urbana, com seus processos ocorrendo em uma mesoescala.

Oke (1976) definiu essa segunda camada como a porção da camada-limite planetária, influenciada por uma área urbana imediatamente abaixo e sendo concebida pelos mecanismos de advecção desenvolvidos internamente.

Esse apontamento de Oke (1976) estabelece relação direta entre tamanho da cidade e intensidade da ilha de calor e, além de gerar polêmica sobre a ilha de calor, tornou-se uma concepção defendida por muitos autores. Kratzer (1956 *apud* OKE, 1973) é um dos que apregoam que existe tal relação, enquanto Chandler (1964) acredita não haver relação direta e enfatiza que muitas pesquisas mensuraram mudanças no clima regional, e não propriamente na intensidade da ilha de calor. Este autor defende sua posição argumentando que, mesmo em pequenas cidades, o efeito térmico é elevado.

Oke (1973), em *City Size and the Urban Heat Island*, pesquisou tal relação e qual a sua magnitude. Em 10 locais, entre grandes cidades, como Montreal, com uma população de 2 milhões de habitantes no ano da pesquisa – e pequenos povoados – como Santa Madalena, com população de 1.100 –, procurou eliminar a influência topográfica ou corpos d'água. Mesmo ocorrendo visivelmente limitações à pesquisa, concluiu que existe relação de ordem fundamental entre o tamanho da cidade e a intensidade da ilha de calor.

No que tange à dinâmica espacial, Bornstein (1968) trata do perfil vertical da ilha de calor. Seus estudos foram aplicados na metrópole nova iorquina e indicam que a intensidade média do fenômeno tem um máximo

próximo à superfície, decrescendo para zero a aproximadamente 300 metros de altitude.

Yamada (1959 *apud* PAZERA JR., 1976) considera que o perfil vertical pode chegar, excepcionalmente, até 1.000 metros de altura, oscilando em média entre 50 e 400 metros. Vale considerar aqui o clima do local, com sua dinâmica atmosférica e rugosidade urbana. Nessa linha, Chandler (1960) ressalta a importância da velocidade e da direção dos ventos no controle da intensidade e da forma da ilha térmica.

Imamura-Bornstein (1991) chama a atenção, ao destacar o papel exercido pelos espaços verdes, para o arrefecimento da ilha de calor. Para a autora, a cobertura vegetal reduz a intensidade da ilha térmica durante o dia, pelo resfriamento proporcionado pela evapotranspiração. Exemplifica uma pequena área verde nos arredores de Frankfurt, que consegue abaixar em até 3,5 °C e aumentar a umidade relativa em até 10%, efeito que denomina “oásis urbano”.

Na década de 80, contrapondo essa ideia, Lombardo (1985) pontua que a rugosidade urbana, associada à grande condutibilidade térmica dos materiais, como o concreto, causa efeito de albedos muito complexos. Pazera Jr. (1976) deixa implícito que no simples adensamento humano é liberado um calor pelo metabolismo, que contribui para a chamada energia antropogênica, associado, ainda, à utilização de automóveis, atividades industriais, entre outros, o que eleva a temperatura das cidades.

Monteiro (1976) e Lombardo (1985) são pioneiros de trabalhos no cenário de clima urbano brasileiro. Eles estudaram cenários de grandes cidades brasileiras, sobretudo a cidade e região metropolitana de São Paulo, que, devido a seu rápido crescimento, passou a ter problemas de poluição do ar e inundações como situações cotidianas.

Assim, encontra-se em Monteiro (1976) uma das primeiras abordagens que integram relações humanas com relações físico-climáticas. Megda e Souza (2016) apontam que este autor considera um tratamento natural e social integrado para constituir a base da compreensão dos estudos geográficos urbanos. Ainda, o autor indica que uma abordagem sistêmica definiria o clima urbano como um “sistema singular”, abrangendo um fato natural (clima local) e um fato social (cidade), analisado através de canais da percepção humana.

Dessa maneira, todas as variáveis nos climas urbanos, tais como ilhas de calor, poluição atmosférica e inundações no espaço urbano são analisadas através de canais abstratos – conforto térmico, qualidade do ar e impacto meteórico –, os quais definem os subsistemas fundamentais ao sistema clima urbano (termodinâmico, físico-químico e hidrodinâmico), atuantes no complexo energético (MONTEIRO, 1976).

Lee (1984) fez um levantamento da produção científica sustentada nas anomalias pluviais e observou que após o trabalho de Changnon, no fim da década de 1960, em Chicago, foi este o principal articulador com outras cidades americanas, e depois ampliando esse leque de pesquisas para cidades europeias, como, por exemplo, Londres (ATKINSON, 1968; 1969; 1971). Changnon ainda cita os progressos nesse campo em virtude do projeto Metromex (*Metropolitan Meteorological Experiment*), desenvolvido inicialmente em Saint Louis, nos EUA.

Em pesquisas realizadas em Washington, Harnack e Landsberg (1975), focaram o papel da componente termal. Eles analisaram 9 episódios pluviais e concluíram que o efeito da ilha de calor urbano é de importância relevante no desenvolvimento da precipitação convectiva, ou seja, a cidade como um organismo gerador de chuvas.

Changnon, Huff e Semonin (1986) constataram que a cidade de Saint Louis foi mais afetada em um determinado sentido e com picos registrados, um vespertino e outro noturno, o que gerou um diagnóstico de que tal área ficou sujeita aos efeitos de fortes chuvas e que o efeito urbano se fazia mais atuante sob tais circunstâncias.

Estes pesquisadores já tinham a comprovação, em 1972, por meio dos dados da Metromex, da elevação pluvial em todas as estações do ano, porém, com um ápice no verão. Isso corrobora a ideia de que o efeito urbano demonstra maior atividade nos dias de chuvas, com intensidade moderada a pesada.

A principal causa do incremento pluvial demonstrou ser o efeito térmico. Os três autores notaram que a influência da cidade de Saint Louis no incremento das precipitações se faz presente em todas as estações, ao passo que o efeito topográfico ficou detectado apenas em estações como outono e inverno, ou seja, períodos de inversão térmica.

Entre outros trabalhos versados na temática das cidades como dinamizadoras do efeito térmico e associações dos efeitos, Braham (1981) descreve os processos de precipitação também em Saint Louis (EUA) e nos arredores, mediante o uso de radar, modelagem numérica e dados de superfície.

No caso do radar, as maiores frequências obtidas localizaram-se no centro da cidade e estendiam-se para o norte e nordeste, ao longo do vale do Rio Mississippi, sobretudo os modelos numéricos enfocando a camada limite dossel (*border layer*). Os valores pluviais recebidos de diferentes áreas foram usados para estimar os possíveis efeitos da topografia local. Braham (1981) ainda pondera que a topografia é importante, mas definitivamente não é a causa principal na determinação do padrão pluviométrico da área de Saint Louis.

Semonin (1981), outro pesquisador da Metromex, é enfático ao dizer que a precipitação máxima em Saint Louis ocorreu a nordeste e leste da ilha de calor urbano evidenciado naquela cidade, cujo centro está no setor comercial dela. A ilha de calor está associada ao déficit de umidade observado na área. Observou que as precipitações aumentaram de oeste para leste da cidade, apresentando picos a norte e a leste do Rio Mississippi.

Conti (1982), no mesmo meandro de raciocínio da cidade como influenciadora das alterações atmosféricas locais, mostra-se firme em dizer que estas tendem a receber mais chuvas nos arredores, em virtude da maior presença de núcleos higroscópicos na atmosfera urbana, catalisando, dessa forma, os processos de condensação e precipitação. Essa pesquisa confirmou a tendência na cidade inglesa de Rochdale, de diminuição de chuva aos domingos, dia em que as fábricas não operavam.

Em uma pesquisa centrada no cenário atmosférico urbano da Cidade do México, Jauregui (1986) observa os efeitos da urbanização sobre a pluviosidade local. O autor frisa a chamada “ilha de chuva” e pontua que é frequentemente observada. Quando dados pluviais diários foram levantados e analisados, a diferença do urbano-rural chegou a patamares de 300%. Todavia, em média, observou-se um aumento na ordem de 25% no total das precipitações.

Jauregui (1986) pondera ainda que é difícil avaliar a influência das cidades na precipitação e acredita que atribuir tal fato ao fenômeno da ilha de calor ou liberação de calor antropogênico é uma visão limitante. Ele explica que talvez os materiais poluentes (atuantes como núcleos de condensação) e/ou a rugosidade superficial desempenhem papel mais importante na indução de chuvas convectivas em áreas urbanas tropicais, como no caso da Cidade do México.

No Brasil, Castro (1995), com enfoque nas precipitações pluviais na cidade de Rio Claro, SP, relata que o efeito urbano influenciou diretamente 20% dos dias de chuva analisados. Esse pesquisador ressalta a importância da ilha térmica – que atingiu o gradiente máximo de 2,6°C – e considera que a rugosidade urbana não tem grande influência sobre as chuvas, mas enfatiza o seu papel topográfico, responsável diretamente por 34% das chuvas e, indiretamente, associado ao efeito urbano, por 46%.

Contudo, diversas pesquisas em climatologia e engenharia urbana vêm evidenciando que as precipitações nas cidades aumentaram no decorrer das últimas décadas, fruto da instauração de fatores climáticos locais, tais como as “ilhas de calor”, o efeito obstáculo, representado pela rugosidade urbana formada pela topografia e pelas edificações, e a dispersão de poluentes - muitos dos quais atuam como núcleos de condensação, assim como afirma Lombardo (1985).

Entretanto, torna-se necessário levar em consideração que o aumento dos totais pluviométricos não ocorre somente dentro das cidades, pois, devido às características específicas da circulação atmosférica, pode acontecer também a sotavento delas. Essas modificações, percebidas ao longo dos estudos nas áreas específicas, levaram a que algumas revisões e classificações fossem observadas com maior atenção, a fim de produzir teorias dinâmicas ante as novas comprovações pesquisadas.

Assim, dá-se o peso da participação em alterações climáticas regionais, considerando a forma em que a estrutura afeta o clima local, através da modificação dos fluxos de ar, do transporte do calor atmosférico e de saldos de radiação de ondas curtas e longas.

O método das ZCLs é aplicável eficazmente em diferentes áreas, numa nomenclatura clara e lógica, podendo ser utilizada em diversas cidades do

globo como base para estudos climáticos urbanos. Para Oke (1987), as diferentes temperaturas do ar e das superfícies que compõem a área estudada podem variar em diversas escalas. Diferentes vegetações, vias, rodovias, parques, jardins e até pequenos obstáculos podem variar o microclima de um ambiente e gerar condições que possam ser positivos ou negativos ao conforto humano.

No tocante a estudos de clima urbano, Oke (1987) estabelece as seguintes escalas: microescala, 10cm a 1.000m; escala local, 100m a 50km; mesoescala, 10km a 500km; macroescala, 10km a 10.000km.

O acesso e o entendimento em relação aos dados pertinentes à infraestrutura dos espaços construídos e dos dados macro, meso e microclimáticos oferecem informações e proporcionam uma compreensão mais ampla da dinâmica urbana, tal como discute Mills (2010), inclusive sob os aspectos econômicos sociais.

Portanto, a vulnerabilidade climática e os possíveis efeitos negativos da apoderação do espaço urbano podem ser vistos nos projetos de intervenção na escala proposta por cada pesquisador, este conhecedor do espaço estudado. Cada zona é a representação de uma área homogênea com parâmetros climáticos característicos e, para que isso pudesse fazer relação, Stewart e Oke (2012) criaram 17 classes de ZCLs (**figura 6**) separadas em dois grandes grupos. As ZCLs classificadas de 1 a 10 são representadas segundo o tipo da construção (*Built Types*), que é definida principalmente pela altura dos edifícios (baixo, médios ou altos) e pela densidade construtiva (compactos ou abertos), sendo apenas a classe 10 para zona industrial.

As ZCLs classificadas de A até G representam áreas ou superfícies onde não se encontram prédios, edifícios, arruamentos, etc., sendo estas determinadas pelo tipo de superfície (pavimentação, água, solo exposto ou pedra exposta) e pela densidade das árvores (densas ou dispersas).

Desta maneira, as ZCLs são definidas como regiões ou zonas com uma cobertura da superfície uniforme e com estrutura, materiais e atividades humanas uniformes, com metragens variadas, de metros a quilômetros, mas com raio mínimo recomendando de 200 a 500 metros. Assim, permite-se que o sistema assumira uma escala local, uma natureza climática e uma apresentação zonal (STEWART; OKE, 2012).

De acordo com esta definição, cada tipo de ZCL corresponde a um valor específico para os diferentes parâmetros da geometria urbana, propriedades da superfície, estrutura da superfície (**tabela 1**). Do mesmo modo, cada ZCL estará relacionada a valores de várias propriedades térmicas, de radiação e antropogênicas.

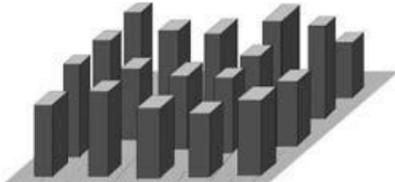
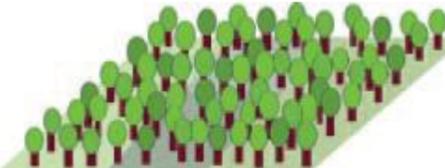
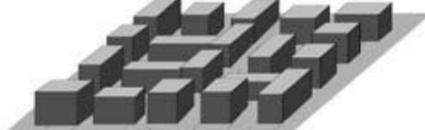
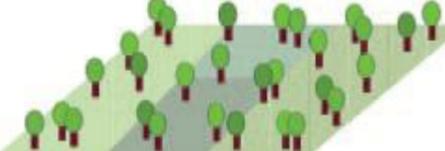
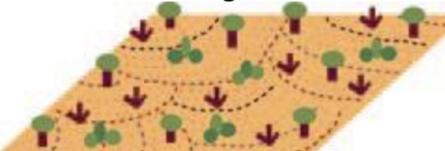
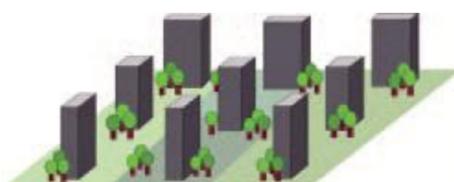
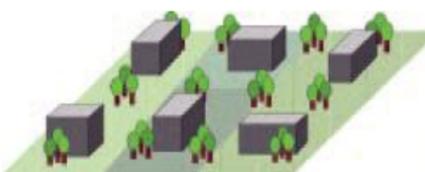
A **figura 6** evidencia os tipos de ZCLs descritos. É notável que para cada ZCL há uma composição simples de edifícios, ruas, plantas e solos, formando a base estrutural de análise. As ZCLs têm um conjunto de propriedades climáticas para cada uma de suas classes (**tabela1**).

Os parâmetros que serviram de propriedades que distinguirão a geometria urbana são as propriedades térmicas e a atividade antrópica da cidade, o que corrobora para que as ZCLs sejam quantificáveis e objetivas (STEWART; OKE, 2012). As ZCLs agrupam 7 parâmetros que definem a geometria urbana e a cobertura da superfície e 3 parâmetros (**tabela 2**) que concentram as propriedades térmicas, as de radiação e as antropogênicas das áreas urbanizadas.

Stewart e Oke (2012) propõem um método de classificação em uma zona ou setor homogêneo dentro das ZCLs onde se pretende pesquisar. O primeiro ponto consiste em coletar dados do lugar, a partir de um campo de coleta e utilizar-se de fotos aéreas ou imagens de satélites. Após esse levantamento, é necessária a obtenção das temperaturas da ZCL, tendo efetivamente um setor homogêneo à classificação para obtê-la.

Assim, por último, consiste-se em selecionar o tipo de ZCL, analisando os dados e valores térmicos do ar coletado. Nos resultados, pode-se ainda combinar tipos de edificação e de cobertura, criando ainda as subclasses (**figura 6**).

Figura 6 - Zonas Climáticas Locais (ZCLs) definidas a partir da metodologia de Oke (2006) e redefinidas por Stewart e Oke (2012).

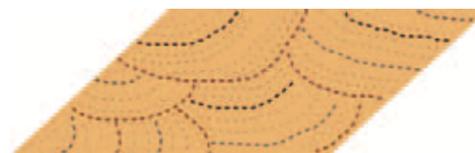
Tipos de construções	Definição	Tipos de cobertura do solo	Definição
<p>1. Arranha céus Concentrados - ZCL 1</p> 	<p>Densa mistura de edifícios, construções históricas e recentes (até 10 andares) com poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte é pavimentada. Materiais: Concreto, aço, pedra e materiais de construção de vidro.</p>	<p>A. Elevada densidade de árvores</p> 	<p>Paisagem densamente arborizada de vegetação decídua e/ou árvores verdes. A cobertura da terra na maior parte é permeável (baixo plantas). Função: zona de floresta natural, com cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>2. Prédios médios Concentrados - ZCL 2</p> 	<p>Densa mistura de edifícios médios concentrados (3-9 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte é pavimentada. Materiais: Pedra, tijolo, telha, e materiais de construção de concreto.</p>	<p>B. Árvores dispersas</p> 	<p>Paisagem levemente arborizada de vegetação decídua e/ou árvores verdes. A cobertura da terra na maior parte é permeável (baixo plantas). Função: zona de floresta natural, com cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>3. Prédios baixos Concentrados - ZCL 3</p> 	<p>Densa mistura de edifícios baixos (1-3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte é pavimentada. Materiais: Pedra, tijolo, telha, e materiais de construção de concreto.</p>	<p>C. Arbustos e matagal</p> 	<p>Arbustos espaçados com árvores baixas dispersas. Cobertura do solo (solo nu ou areia) na maior parte é permeável. Função: zona de vegetação de cerrado ou zona voltada à agricultura.</p>
<p>4. Prédios altos espaçados com arborização - ZCL 4</p> 	<p>Arranjo espacial aberto de edifícios de alto porte; Significativa cobertura da terra (plantas baixas, árvores espalhadas) aumentando a área permeável. Materiais: destaque para concreto, aço, vidro e materiais de construção.</p>	<p>D. Plantas baixas (rasteiras)</p> 	<p>Paisagem com presença de gramíneas ou plantas herbáceas / culturas agrícolas. Poucas árvores ou, ausência destas. Função: zona é pastagem natural, destaque para a agricultura ou parques urbanos.</p>
<p>5. Prédios médios espaçados com arborização - ZCL 5</p> 	<p>Arranjo espacial aberto de edifícios de médio porte (3-9 andares). Significativa cobertura da terra (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais: Concreto, aço, pedra, vidro, e materiais de construção.</p>	<p>E. Rocha exposta, ou pavimento impermeável</p> 	<p>Paisagem com traços característicos de rochas expostas ou áreas pavimentadas. Poucas ou nenhuma árvore ou plantas. Função: zona sem vegetações e rochas expostas.</p>

6. Prédios baixos espaçados com arborização – ZCL 6



Arranjo espacial aberto de edifícios baixos (1-3 andares). Abundância de cobertura da terra (plantas baixas e árvores dispersas).
Materiais: madeira, tijolo, pedra, azulejo, concreto e materiais de construção.

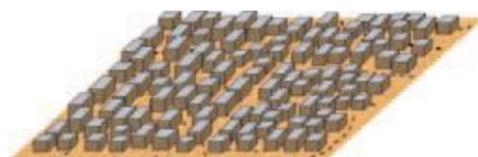
F. Solo nu exposto ou areia



Paisagem com traços característicos da terra ou coberto de areia. Poucas ou nenhuma árvore ou plantas.

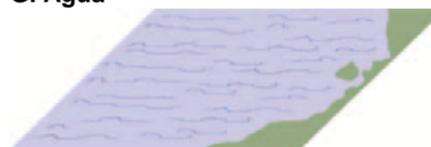
Função: Zona está deserto singular ou agricultura.

7. Área densamente construída com destaque para sub moradias (periféricas) – ZCL 7



Densa mistura de residências com prédios de 1-2 andares. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura superficial de terra, solo exposto "batido", sem pavimentação, construções leves
Materiais: madeira, palha, metal corrugado.

G. Água



Corpos hídricos de grande porte, como mares e lagos, ou pequenos reservatórios artificiais, como lagoas de contenção.

8. Galpões baixos de grande porte espacial – ZCL 8



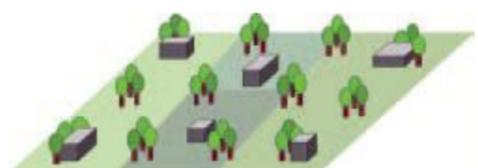
Galpões baixos de grande porte espacial, alguns edificadas (1-3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentado com material impermeável.
Materiais: Aço, concreto, metal, pedra e materiais de construção.

Variáveis coberturas de solo

Propriedades de cobertura de solos variáveis que mudam significativamente com os padrões meteorológicos sinóticos, práticas agrícolas e/ou ciclos sazonais.

- **b (bare trees)** - Árvores nuas ou árvores com folhas caducifólias nas estações mais frias (por exemplo, inverno). Aumento do fator de visão do céu. Baixo valor de albedo.
- **s (snow cover)** - Zona cobertura de neve > 10cm de profundidade. No Brasil, situações excepcionais e sazonais no Sul do Brasil, sem grande significância. Alto valor de albedo.
- **d (dry ground)** - Terra seca com solo ressecado. Baixa admissão. Elevada razão no valor de *ratio Bowen*. Elevação do albedo.
- **w (wet ground)** - chão molhado e solos encharcados. Alta admissão. Pequena razão no valor de *ratio bowen*. Albedo reduzido.

9. Área com construções escassas – ZCL 9



Arranjo escasso de pequenas construções ou edifícios de médio porte em configuração espacial mais natural. Abundância de terra permeável com plantas baixas e arbustivas e árvores espalhadas junto às construções.

10. Área de indústrias pesadas ZCL 10



Baixo crescimento e estruturas industriais medianas, como torres, tanques e chaminés verticais. Pouca ou nenhuma árvore e, escassa cobertura da terra na maior parte das áreas, com destaque para o alto grau de pavimentação.
Materiais: metal, aço, e materiais de construção.

Fonte: Stewart e Oke (2012). Adaptado pelo autor.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros geométricos e de cobertura do solo para as ZCLs.

ZCL	Fator de Visão do Céu	Relação H/W	Fração de Superfície Edificada (%)	Fração de Superfície Impermeável (%)	Fração de Superfície Permeável (%)	Altura dos elementos de Rugosidade	Classe de Rugosidade
1	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8
2	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7
3	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6
4	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8
5	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6
6	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6
7	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5
8	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5
9	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6
10	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6
A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
B	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6
C	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5
D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4
E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2
F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	< 0.25	1–2
G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	–	1

Elaborado pelo autor. Adaptado de Stewart e Oke (2012).

Tabela 2- Valores dos parâmetros termiais, radiativos e metabólicos para as ZCLs.

ZCL	Admitância da Superfície	Albedo Superficial	Calor Antropogênico
1	1,500–1,800	0.10–0.20	50–300
2	1,500–2,200	0.10–0.20	<75
3	1,200–1,800	0.10–0.20	<75
4	1,400–1,800	0.12–0.25	<50
5	1,400–2,000	0.12–0.25	<25
6	1,200–1,800	0.12–0.25	<25
7	800–1,500	0.15–0.35	<35
8	1,200–1,800	0.15–0.25	<50
9	1,000–1,800	0.12–0.25	<10
10	1,000–2,500	0.12–0.20	>300
A	Desconhecido	0.10–0.20	0
B	1,000–1,800	0.15–0.25	0
C	700–1,500	0.15–0.30	0
D	1,200–1,600	0.15–0.25	0
E	1,200–2,500	0.15–0.30	0
F	600–1,400	0.20–0.35	0
G	1,500	0.02–0.10	0

Elaborado pelo autor. Adaptado de Stewart e Oke (2012).

2.3 Ventilação e Geometria Urbana

Existe uma relação direta entre a ventilação e a geometria do meio urbano, uma vez que o movimento do ar (resultante das diferenças de pressão atmosférica, e quando observado por fatores que influenciam diretamente a temperatura do ar) desloca-se horizontalmente e verticalmente. A disposição dos locais edificados, a componente vegetação, o relevo e a rugosidade das

superfícies interferem na direção e na intensidade dos ventos em uma área urbana. No geral, a velocidade média dos ventos é mais baixa em áreas abertas ou ruralizadas, pois os cânions urbanos podem concentrar os fluxos de ventos de uma área densamente ocupada.

A diminuição da ventilação urbana está diretamente ligada à rugosidade da superfície edificada na cidade. Com algumas exceções, a configuração de vias e edifícios pode acelerar a velocidade do vento urbano, tal como o efeito de canalização das ruas, cânions formados pelas casas e prédios, ou seja, desvio do fluxo de ar até o solo por edifícios mais altos.

Mills et al. (2010) destacam que os padrões de fluxos de ar na camada intraurbana são altamente turbulentos e difíceis de caracterizar, devido à alta complexidade do espaço construído e à variação da rugosidade do tecido urbano. Todavia, é importante destacar também o papel das camadas atmosféricas mais elevadas, condicionadas estas pelo quadro sinótico em macroescala e pelo fator urbano e suas características microescalares.

Portanto, a camada intraurbana tem sua função na regulação da ventilação natural dos edifícios e dos espaços externos, gerando assim um favorecimento para a qualidade térmica do ar e do conforto ambiental humano, tal como pontua Masiero (2014).

Essa convergência dos fluxos de ar – periferia centro – pode ser classificada como brisa urbana, uma vez que esse vento regional está no estágio de calmaria. Assim se estabelece um gradiente horizontal de temperatura, favorecendo a instalação de uma ilha de calor urbano. O ar com maior frescor, oriundo das áreas periféricas em comparação às áreas urbanas, minimiza temporalmente o efeito de ilha de calor. Nessa lógica, produz-se um sistema de circulação do ar local, modo que o ar mais fresco procedente das áreas periféricas é conduzido ao centro urbano, sendo que ali, ascendente, retorna para a área periférica (ruralizada), onde, já mais resfriado, novamente descende. É importante salientar que este fenômeno é temporário, uma vez que são analisados efeitos temporais da atmosfera basal.

Existem alguns exemplos de pesquisas que adotam essa abordagem, como Amorim, Barros Filho e Cruz (2009), que propuseram o uso de imagem de satélite para a análise da textura urbana, no sentido de destacar padrões morfológicos representativos de áreas urbanas em Recife, PE, a partir de

diferentes dinâmicas sociais e urbanas.

Lima e Assis (2003) descreveram o uso de SIG como um processo para estimar a massa de construção e prever o balanço de energia na cidade de Belo Horizonte - MG.

Mendonça e Assis (2003), na tentativa de atenuar o impacto da ocupação do solo no clima local, identificaram e registraram características locais, definindo áreas urbanas homogêneas que serviram de base para formular uma hipótese de ventilação urbana local. Souza et al. (2010) avaliaram o papel do fator de visão do céu na intensidade de ilhas de calor em um bairro residencial de Bauru, SP.

2.4 Balanço Energético Urbano

O balanço energético é o estudo dos processos de fluxo de energia, umidade e massa em ambiente urbano e que permite uma melhor caracterização da superfície atmosférica atrelada à urbanização. Pesquisas como a de Kalanda e Spittlehouse (1980), Oke (1987), Weber e Kuttler (2005), Assis (2006) e Gartland (2010) enfatizam o processo de evaporação da água desencadeado pelos corpos d'água e regiões periféricas, potencializador principal dos fluxos de calor latente pelo ambiente.

A compreensão do balanço energético de uma superfície urbana possibilita uma melhor compreensão do clima urbano e é representado eficientemente por fluxos de energia através do volume do solo – construções de ar, até uma altura onde as trocas verticais de calor são desprezíveis para o período de interesse (KALANDA; SPITTLEHOUSE,1980).

Os modelos de balanço de energia são usualmente classificados como unidimensionais, porque aceitam que não há advecção de calor ou umidade. Nessa perspectiva, Bornstein (1986) classifica duas categorias de modelos climáticos urbanos de balanço de energia: os modelos da camada intraurbana (*Urban Canopy Layer* - UCL), ou modelos de microescala, que calculam o balanço de energia de um 'canyon' urbano ou edifício; e os modelos da camada limite urbana (*Urban Boundary Layer* - UBL), ou modelos de mesoescala, que dizem respeito a resposta da camada limite urbana com a presença da cidade.

O balanço de energia de uma superfície urbana proporciona uma melhor compreensão da lógica do clima urbano e é representado eficazmente por diversos fluxos de energia através de um volume solo - construções - ar, se projetando até uma altura onde as trocas verticais líquidas de calor são consideradas desprezíveis para análise do mesmo, tal como descreve Barbirato, Souza e Torres (2007).

Constitui um fracionamento da energia radiante absorvida na superfície da terra (Q^*) em fluxos de calor que controlam o clima da superfície: fluxos turbulentos de calor sensível e latente QH e QE , respectivamente, e fluxo de calor sensível de condução do solo DQs . São componentes da equação do balanço, o fluxo de calor de origem antropogênico (combustão, condicionamento do ar, etc.) QF e a advecção líquida DQA .

Sendo assim, destaca-se e pontua-se com maior descrição os seguintes componentes da equação do balanço de energia ao topo da camada intraurbana:

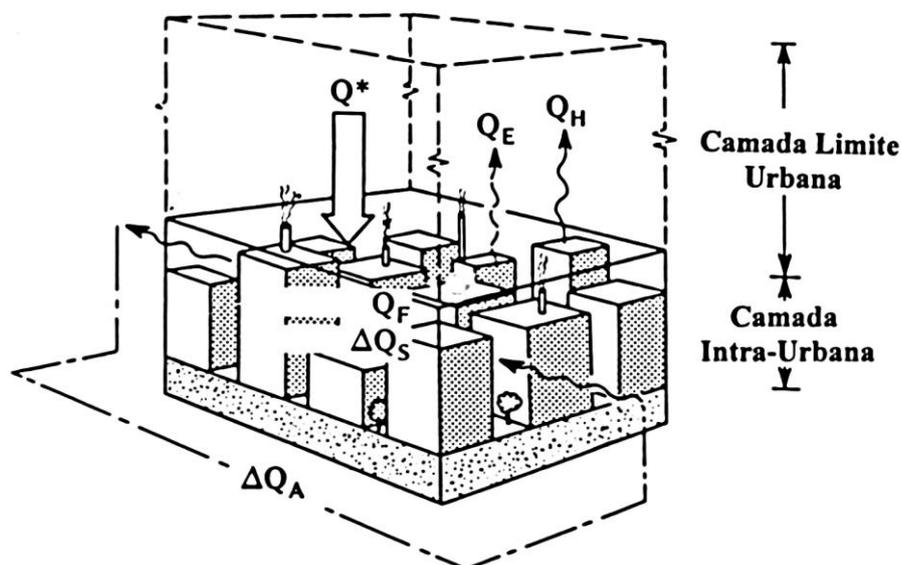
$$Q^* + QF = \Delta QS + \Delta QA + QH + QE$$

Onde:

- Q^* = Fluxo de radiação líquida, em função do albedo, energia solar direta ou difusa, radiação infravermelha emitida pelo topo da camada intraurbana e ainda a densidade de fluxo infravermelho da atmosfera;
- QF = Fluxo de calor antropogênico;
- ΔQS = Densidade de fluxo de armazenamento de energia na camada intraurbana → solo;
- ΔQA = Advecção (movimento horizontal da atmosfera) líquida;
- QH = Fluxo de calor turbulento sensível;
- QE = Fluxo de calor turbulento latente.

A descrição dos fluxos envolvidos pode ser observada na **figura 7**.

Figura 7 - Fluxos envolvidos no balanço de energia em um volume representativo urbano – construção – ar.



Fonte: Adaptado de Oke (1996, p. 75).

Pesquisas desenvolvidas por Oke (1996) destacam-se por formularem o balanço energético completo.

Mediante pesquisas anteriores, constata-se que a obtenção dos fluxos de calor sob o solo torna-se mais difícil em ambiente urbano, já que este apresenta maior complexidade e várias distinções construtivas e ambientais. De qualquer forma, se todos os outros termos da equação são independentemente avaliados, o armazenamento pode ser obtido através das parametrizações, em função de Q^* (OKE; CLEUGH, 1987 *apud* BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Portanto, os efeitos comuns das áreas urbanas em cada um dos termos da equação de balanço de energia e como os componentes unitários da radiação líquida sob a comum influência da área urbana, estes são explorados e sintetizados no **quadro 2**, com base em Dufner et al. (1993) *apud* Barbirato, Souza e Torres (2007).

Quadro 2: Influência comum urbana no balanço de energia.

TERMO DO BALANÇO DE ENERGIA	EFEITO URBANO COMUM	JUSTIFICATIVA
Radiação líquida	Entrada diminuída durante o dia	Acima da camada intraurbana, aumento das perdas; dentro do “canyon” urbano, diminuição de perdas.
Calor antropogênico	Aumento	Alta densidade de aquecimento dos espaços, transporte, processos industriais.
Alteração do armazenamento de energia na superfície e na camada intraurbana	Aumento	Efeitos combinados da geometria urbana e materiais de construção.
Advecção	Variado	Depende da variação das propriedades da superfície
Fluxo de calor turbulento sensível	Aumento	Disponibilidade de umidade reduzida, aumento de turbulência.
Fluxo de calor turbulento latente	Redução	Redução da disponibilidade de umidade.

Fonte: Barbirato (2007) *apud* Dufner et al. (1993).

2.5 Influência do organismo urbano e as modificações no relevo na composição das Ilhas de Calor Urbano – ICUs

Diversos estudos acerca da formação das ilhas de calor a definem como resultado e causa de distorções climáticas, sendo ela própria passível de ser considerada uma forma de poluição térmica (TITARELLI, 1982).

Dentre as principais causas da ilha de calor, estão diversos fatores que influenciam e, tais como os componentes naturais do relevo e o organismo urbano, esse último modificador do espaço físico, até mesmo do relevo antes estabelecido ali. As construções – verticais ou horizontais, alteram totalmente o padrão de relevo, criando circulações de ar; barreiras e canais de ventilação.

Sendo assim, Givoni (1989), ao destacar as causas principais das ilhas de calor, aponta a diferença no balanço total da radiação entre área urbana e rural, em particular a baixa taxa de resfriamento noturno; o armazenamento de energia solar em edificações durante o dia e liberada à noite; produção

concentrada de calor pelas atividades de transporte e indústrias, etc.; baixa evaporação do solo e vegetações em áreas de densa ocupação urbana e fontes temporárias de calor – tal como o aquecimento e o resfriamento do ar consequente do desprendimento de calor para o ar urbano.

Esses aspectos da urbanização que alteram o ambiente físico e provocam alterações na troca de energia e condições térmicas, em comparação com zonas periféricas podem ser observados no **quadro 3**

Quadro 3 - Aspectos da urbanização que alteram o ambiente físico e provocam alterações na troca de energia e condições térmicas, em comparação com áreas periféricas.

Poluição do ar	Aumento da radiação de ondas longas omitida pela atmosfera, devido a maior absorção das ondas curtas recebidas e radiação de ondas longas emitidas pelos poluentes.
Calor antropogênico	Calor desprendido no processo de combustão
Superfícies impermeáveis	Diminuição do fluxo de calor latente, aumentando o calor sensível.
Propriedades térmicas das superfícies	Aumento da admitância térmica das superfícies e materiais construtivos, aumentando o calor acumulado durante o dia e desprendimento do calor armazenado, à noite.
Geometria das Superfícies	Aumento da absorção de ondas longas devido à retenção entre as edificações; diminuição da perda de calor por turbulência causada pela estagnação entre as edificações; diminuição da perda da radiação por ondas longas do espaço entre edificações pela redução de área de céu azul.

Fonte: Adaptado de Oke (1996, p. 238). **Organização:** Megda (2018), com base em Barbirato, Souza e Torres (2007).

Mesmo que estudos pioneiros tenham provado que a causa da geração da ilha de calor em meio urbano tem como ocasionador de maior importância a mudança no balanço de energia, tal como já apontou Bryson e Landsberg (1974), a troca do albedo de superfícies naturais para espaços construtivos no

que tange à condutividade, capacidade calorífica e o relevo, diante das construções e alteração do padrão antes existentes ali, têm capacidade de armazenar mais energia que o solo natural e, conseqüentemente, mais radiação.

Barbirato, Souza e Torres (2007) elucidam que alguns desses fatores podem ser observados facilmente por instrumentos de medição, outros são teóricos e de difícil determinação na prática, muitas vezes pelas características das próprias superfícies, o que corrobora o uso de uma nova metodologia para análises destas em meio urbano.

Nunez e Oke (1977), em estudos envolvendo a incidência solar em área urbana, comprovaram que aproximadamente 60% do excedente de radiação é perdido como calor sensível para o ar e 30% é armazenado nos materiais que compõem a camada de cobertura urbana, sendo 10% consumido na evaporação. Sendo assim, o balanço de energia das paredes e do solo é fortemente condicionado pela influência da configuração geométrica do espaço entre edificações e da orientação nas trocas de calor por radiação.

O relevo natural, já definido com suas características diante de inúmeras condições (desde a geologia até o clima local), dispõe o espaço de implantação do organismo urbano. Diante disso, as edificações urbanas ali inseridas passam a interferir em grande quantidade na radiação solar que atinge as superfícies da estrutura urbana, pois uma grande parte desta radiação é bloqueada pelas diversas edificações, criando regiões com concentração de calor.

Peterson e Stoffel (1980) explicam que, quanto mais altas e mais compactas são as edificações, menor o acesso do entorno à radiação solar e pode haver uma redução do acesso solar provocado pela emissão de poluentes em áreas urbanas.

2.6 Procedimento de coleta dos dados

Como critério de escolha diante das práticas metodológicas para a presente pesquisa, foi feito um vasto levantamento bibliográfico e prático para que houvesse uma base mais concreta.

Como proposta, a Teoria Geral dos Sistemas (Monteiro, 1976), sob a ótica do Método da Consistência, tendo como prioridade o agrupamento metodológico unindo o cunho geográfico e o da engenharia urbana, proporcionando um sentido prioritário na organização do espaço e a análise das interações com o meio físico e construído se mostra a melhor opção.

Para Monteiro (2009), o clima urbano exige uma estrutura teórica capaz de alcançar e enquadrar tanto fatores amplos e complexos como os mais simples e restritos.

O contexto teórico procurado para expressá-lo requer tal elasticidade ou amplitude no tempo e no espaço. Assim, a moldura teórica deve ser capaz de orientar a investigação em qualquer cidade do globo – Londres, São Paulo, Tóquio ou Catmandu. Por isso mesmo, será extremamente importante uma abertura a todas as escalas de tratamento espacial-temporal e diferentes graus de complexidade urbana (MONTEIRO, 2009, p.18).

Sendo assim, entende-se que a análise aqui inserida deve-se conduzir na conjunção entre teoria e ideografia (expressão dos resultados de cada realidade urbana específica). Portanto, entende-se que a Teoria Geral dos Sistemas se comporta como a base metodológica capaz de oferecer margem a essa consistência, pelas suas relações de fundamentação elementar, estruturação e funcionalidade.

Pontua-se ainda que, do ponto de vista lógico, trata-se de uma tarefa bastante complexa, pois se propõe a tentar estudar o clima da cidade em um viés investigativo, para o qual se observa não um antagonismo entre homem e natureza, mas uma coparticipação, ou seja, uma preocupação da teoria em auxiliar o estudo de clima urbano como algo singular e necessário.

Diversos autores desenvolveram metodologias de medições em pontos fixos e móveis, relacionadas aos diversos parâmetros urbanos em cidades brasileiras, dentre os quais: Katzschner et al. (1999), em Salvador; Duarte (2000), em Cuiabá; Pezzuto et al. (2005), em Campinas; Costa et al. (2007), em Natal; Monteiro e Mendonça (2009), em Londrina; Barbugli e Roriz (2003), em Araraquara, Rossi (2012), em Curitiba, e Masiero (2014) em São José do

Rio Preto.

O uso de aparelhos e sensores portáteis de temperatura e umidade do ar, solo, evapotranspiração, direção e velocidade do vento, é necessário para o desenvolvimento dos campos de coletas de dados climáticos em áreas urbanas.

Somente as estações meteorológicas fixas na determinada região de estudo não são suficientemente eficazes, uma vez que, dentro do organismo urbano, os processos atmosféricos sofrem interação e mudanças de comportamento. O que se propõe sempre é que os dados coletados em um local específico possam ser comparados e analisados juntamente com os dados históricos da região.

Sendo assim, a coleta por transectos móveis é uma ótima alternativa para esse tipo de procedimento. Prioritariamente na captação de dados no espaço urbano, com sua homogeneidade física e estrutural, é um método efetivo e eficaz, largamente utilizado em pesquisas do tema.

Oke (2006) também recomenda que os sensores devam permanecer protegidos da irradiação global horizontal, de preferência ventilados mecanicamente e dispostos em locais afastados de quaisquer interferências atípicas, como, por exemplo, muito próximos à cobertura dos edifícios ou demasiadamente expostos à poluição do ar. O raio de influência de temperatura e umidade captadas pelos sensores é, no geral, em torno de 0,5 km, embora este valor possa variar, dependendo da densidade construída da área a ser estudada.

Uma das etapas consideradas por Monteiro e Mendonça (2009) na metodologia é a elaboração dos campos de levantamento de informações, comparações com informações meteorológicas e de imagens de satélites, que contribui para a compreensão dos fenômenos macroclimáticos atuantes em cada momento.

Ainda, como método de aprimoramento na coleta de dados para análise, para os dados não captados na escala vertical pelo transecto móvel ou pelos postos meteorológicos, um mecanismo aéreo não tripulado se mostra bem eficaz em áreas urbanas, não somente pela capacidade de coleta, mas, sobretudo, pelo dinamismo e rapidez na captação.

A variação dos ventos, a advecção microclimática do calor das

superfícies e as dificuldades de se obter coeficientes de ajustes adequados das redondezas podem ser fatores que limitam o uso, tanto dos equipamentos quanto dos modelos teóricos, sobretudo, fixos.

Portanto, a necessidade do deslocamento para coleta dos dados é imprescindível para a qualidade destes. Destaca-se que a técnica com o uso dos populares “drones” vem crescendo nos mais diversos segmentos, desde o agrícola e de monitoramento até o de defesa civil.

Há diversas técnicas para registrar e caracterizar os fenômenos associados ao clima urbano. Muitos estudos de classificação de áreas urbanas têm sido realizados com técnicas de sensoriamento remoto, as quais se baseiam na leitura de imagens térmicas captadas por satélites em resoluções, muitas vezes, insuficientes para retratar a complexidade de um tecido urbano. Naughton e McDonald (2019) avaliaram a variabilidade espacial da temperatura da superfície através de imagens térmicas capturadas em alta resolução por vants nas cidades de Milwaukee, Wisconsin e El Paso, Texas.

Os resultados mostraram que os erros associados ao método de coleta de temperaturas de superfície podem ser de até 15,8°C, sendo que a variabilidade pode ser influenciada pelas propriedades dos materiais de superfície, pelo tráfego e, principalmente, pela geometria urbana.

A coleta de informações de variação de temperatura e umidade do ar para análises espaciais pode ser aprimorada com o uso de vant, devido a sua eficiência para registrar rapidamente informações de diversos pontos em um mesmo recorte urbano. Os sensores de registro de informações de temperatura do ar, acoplados a um sistema de GPS, permitem registrar detalhes das variações térmicas de uma cidade. O uso de vants tem se destacado devido a sua facilidade de operação e seu baixo custo para os mais diversos segmentos, tanto nas áreas rurais quanto urbanas, tal como Brússolo, Pezzopane e Vechhia (2018) e Amorim (2019) mencionam.

Segundo Gaitani et al. (2017), a integração de informações microclimáticas e balanço energético dos materiais no desenho urbano é essencial para enfrentar adequadamente os desafios relacionados às mudanças climáticas e à adaptação do ambiente. As medições detectadas remotamente devem considerar a atmosfera intermediária e as propriedades

radiativas da superfície que influenciam a emissão e a reflexão da radiação interna aos cânions urbanos.

Assim, estes autores desenvolveram estudos com o uso de vants para caracterizar fisicamente as propriedades de refletância em uma variedade de ambientes urbanos em Atenas, Grécia, e verificar o efeito da vegetação e dos materiais sobre os parâmetros microclimáticos, entre outros. Os resultados mostraram que os estudos observacionais contribuíram para uma melhor validação dos parâmetros efetivos de superfície para estudos em escala urbana.

Geralmente, as medições da temperatura do ar e de superfícies ao nível do pedestre são realizadas com transectos móveis ou com sensores em pontos fixos. Embora a precisão dos dados coletados *in loco* tenda a ser maior que daqueles coletados por sensoriamento remoto, as dificuldades em trafegar pelas vias e o número limitado de pontos, muitas vezes, impossibilitam uma interpretação mais aprofundada dos fenômenos climáticos locais.

Fabbria e Costanzo (2020) propuseram o uso de vants para capturar imagens térmicas infravermelhas e medir a temperatura da superfície em Medicina, na Itália. Em seguida, usaram esses valores para calibrar numericamente modelos microclimáticos urbanos. Segundo os autores, a aplicação destes procedimentos contribuiu para o aprimoramento e para o detalhamento das informações em simulações computacionais de modelos microclimáticos.

A partir de tais conceitos e experiências, pode-se afirmar que, quanto mais precisas forem as informações, mais eficientes serão as propostas de intervenções em áreas urbanas. Ou seja, o potencial das medidas de mitigação dos efeitos das ICUs está associado ao conhecimento dos efeitos das diversas alternativas de ocupação espacial de uma cidade.

2.6.1 Uso de vants (veículos aéreos não tripulados) na coleta de dados atmosféricos

O termo “*drone*”, originado nos EUA, vem se difundindo mundo afora para caracterizar todo e qualquer objeto voador não tripulado, seja ele de

qualquer propósito (profissional, recreativo, militar, comercial etc.), origem ou característica.

Trata-se de um termo genérico, sem amparo técnico ou definição na legislação, surgido da língua norte americana, uma vez que *drone* significa “zumbido”, uma alusão ao som produzido pelos motores quando ativados. Aqui, denominou-se de *vant* (veículo aéreo não tripulado), definição considerada legal, segundo a legislação do Ministério da Defesa e Comando da Aeronáutica (BRASIL, 2015).

Os *vants* podem reduzir a exposição humana a tarefas longas, monótonas ou perigosas, bem como proporcionar possíveis economias financeiras e benefícios ambientais (redução do consumo de combustível, menos emissões de CO²) (BRASIL, 2017).

Assim como observa Mileski (2007), diante das inúmeras formas de utilização dos *vants*, pode-se elencar seu potencial uso na agricultura para a análise de solo e de campo. Eles são capazes de produzir mapas com altíssima precisão, permitindo a análise inicial do solo.

Trata-se de um instrumento com relativo baixo custo operacional, que poderá ser operado via controle remoto por terra ou, dependendo do modelo do *vant*, a partir de um plano de voo pré-determinado por controle ou mesmo por *tablets* ou *smartphones*, tornando muito prático o seu uso. De acordo com os equipamentos instalados, poderá executar missões até então realizadas única e exclusivamente por aeronaves tripuladas.

Faria e Costa (2015) explicam que se trata de um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo e que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano, operado por controle remoto.

Existe uma gama de projetos envolvendo o desenvolvimento e emprego de *vants* para diversas aplicações no Brasil. Mesmo que a experiência dos *vants* seja recente, já se começou a desenvolver uma rede de usos e pesquisas, tanto civis quanto militares, nos quais se inserem desde o monitoramento de áreas agrícolas e criações de animais até mesmo a resposta para desastres naturais, monitoramento de linhas de transmissão de energia, monitoramento de trânsito, entre tantos outros usos.

Quanto à tecnologia empregada nos *vants*, Faria e Costa (2015) pontuam que estes poderão ter maior ou menor grau de inteligência, isto é, a

capacidade de automação dessa máquina poderá gerar uma comunicação com o seu operador a partir de instrumentos tecnológicos acoplados a ele, como, por exemplo: câmeras de visão termal para o envio de dados; *GPS* para informações sobre a velocidade, altitude, localização, ou, como em alguns modelos, os dados coletados (vídeos ou fotografias) são recuperados após o retorno do vant à base de lançamento. Outros modelos mais atuais já detêm até mesmo um mecanismo de transmissão de informações por meio de dados móveis.

Dessa forma, sendo o vant um aeromodelo de controle remoto, sem piloto embarcado, manipulado por controle remoto, à distância e com diversos usos, que vão desde o lazer até o uso militar, verifica-se que é uma tecnologia bastante útil. Os vants militares possuem tecnologia distinta e, como cérebro, possuem um micro controlador com processador e memória com *software*; são utilizados para voos no interior de prédios e construções fechadas, para verificar a normalidade ou anormalidade (SILVA, 2013).

Por serem equipamentos sem piloto e poderem ser monitorados à distância, os vants auxiliam muito, pois podem chegar a lugares que o homem, em sistema convencional, não chegaria ou demoraria muito mais tempo para chegar.

Nesse sentido, o uso se torna mais cômodo e seguro, pois eles agilizam ações e, como é um compactador inteligente, registra fotografias e mapeiam o ambiente, facilitando o trabalho e proporcionando melhor resultado, pois têm maior precisão. Podem, assim, auxiliar nas inspeções ambientais, prevenindo danos futuros e alertando sobre os danos presentes. Como vantagens dos vants, destaca-se a capacidade de monitorar áreas fora do alcance dos seres humanos e ter uma visão absolutamente mais ampla do habitat dos animais ou das áreas de preservação, o que os tornam mais eficazes no envio de informações (FONTES; POZZETTI, 2016).

Apesar dos vants terem se tornado populares no Brasil recentemente, com um foco para recreação, no país o seu uso data desde os anos 80 com os mais variados modelos, muitos voltados já para a área militar. Nos EUA, desde os anos 30 já se demonstrava familiaridade com tal componente de uso estratégico, tal como pontua Munaretto (2017).

Os usos dos vants priorizam diversos setores e áreas, tendo sua atuação em uma escala bem ampla, como verificação de áreas de riscos, especificação de elementos visíveis e configuração espacial. Consequentemente, permitem a execução de levantamento planialtimétrico de forma mais rápida em assentamentos irregulares para que famílias de baixa renda sejam beneficiadas com a titulação de seus lotes, titulação essa que ocasiona amplitude dos direitos sociais e qualidade de vida, uma vez que a equipe responsável terá condições de planejar as metodologias de execução do levantamento a partir das especificações identificadas por meio do vant, que registra detalhes da área por meio de fotografias (fotogrametria).

Lima e Neto (2016) explica que na aplicação direta na regularização fundiária de interesse social, os vants podem ser utilizados como ferramentas de controle e gestão municipal das áreas regulares e irregulares, permitindo investigação de áreas propensas a alagamentos, desmoronamentos e que não atendem especificações de faixas de domínios e localizadas em áreas de preservação permanente, podendo ser utilizados também na detecção da evolução e da deficiência infraestrutural dos municípios. Ou seja, o uso em área urbana se mostra como um grande auxiliador na organização e prevenção de problemas.

2.6.2 Análise Temporal / Climática Regional

O clima urbano é resultado *in loco* de uma série de variáveis que atuam em um sistema muito mais complexo e dinâmico, sendo ele apenas uma parcela da vasta relação com o clima.

Em tese, a circulação das massas de ar é o ponto fundamental da chamada climatologia dinâmica, abarcando desde os fenômenos dinâmicos da circulação atmosférica, tal como movimentos das massas, zonas de pressão, análise rítmica, até mesmo às projeções de atuações, tendo também auxílio meteorológico.

Monteiro e Mendonça (2009) discutem uma abordagem de suma importância para as cidades de médio porte. Nela é enfatizada a importância da definição da área de estudo e da abordagem do subsistema como, por exemplo, termodinâmica, físico-química ou hidrometeorológica.

Neste ponto da abordagem do subsistema, analisam-se os movimentos usuais das massas de ar em macroescala, caracterizando os principais fenômenos climáticos regionais que possivelmente possam interferir ou contribuir com a qualidade das coletas de dados e, concomitantemente, com a escolha dos fenômenos urbanos a serem estudados.

Sobre o clima regional, uma importante relação com o ambiente urbano e com a circulação atmosférica é feita por Monteiro (1973), que associa o fenômeno pluvial e térmico à sua gênese, caracteriza sua distribuição sazonal e propõe uma classificação regional do clima. Nesse trabalho, o autor conclui que a circulação atmosférica regional, sobretudo que atinge o estado de São Paulo, é decorrente da circulação atmosférica junto à fachada Atlântica da América do Sul, ou seja, do confronto entre massas polares e massas tropicais, proporcionando mais chuvas e oscilações térmicas. Como o autor enfatiza, a frente polar atlântica é a principal responsável pela gênese das chuvas caídas e incremento da atividade térmica das cidades.

A caracterização de fenômenos climáticos associados ao meio urbano torna necessário para sua análise o estabelecimento de recortes sazonais para avaliação dos dados obtidos. Para tanto, tendo em vista a necessidade da pesquisa a ser realizada, parâmetros de horários, de dimensões e até mesmo a escolha dos dias da semana são exemplos de critérios já abarcados em pesquisas e metodologias voltadas às coletas térmicas. De qualquer maneira, é necessário que se entenda as condicionantes climáticas comuns, para se estabelecer os recortes temporais específicos, apresentados detalhadamente no capítulo de Metodologia.

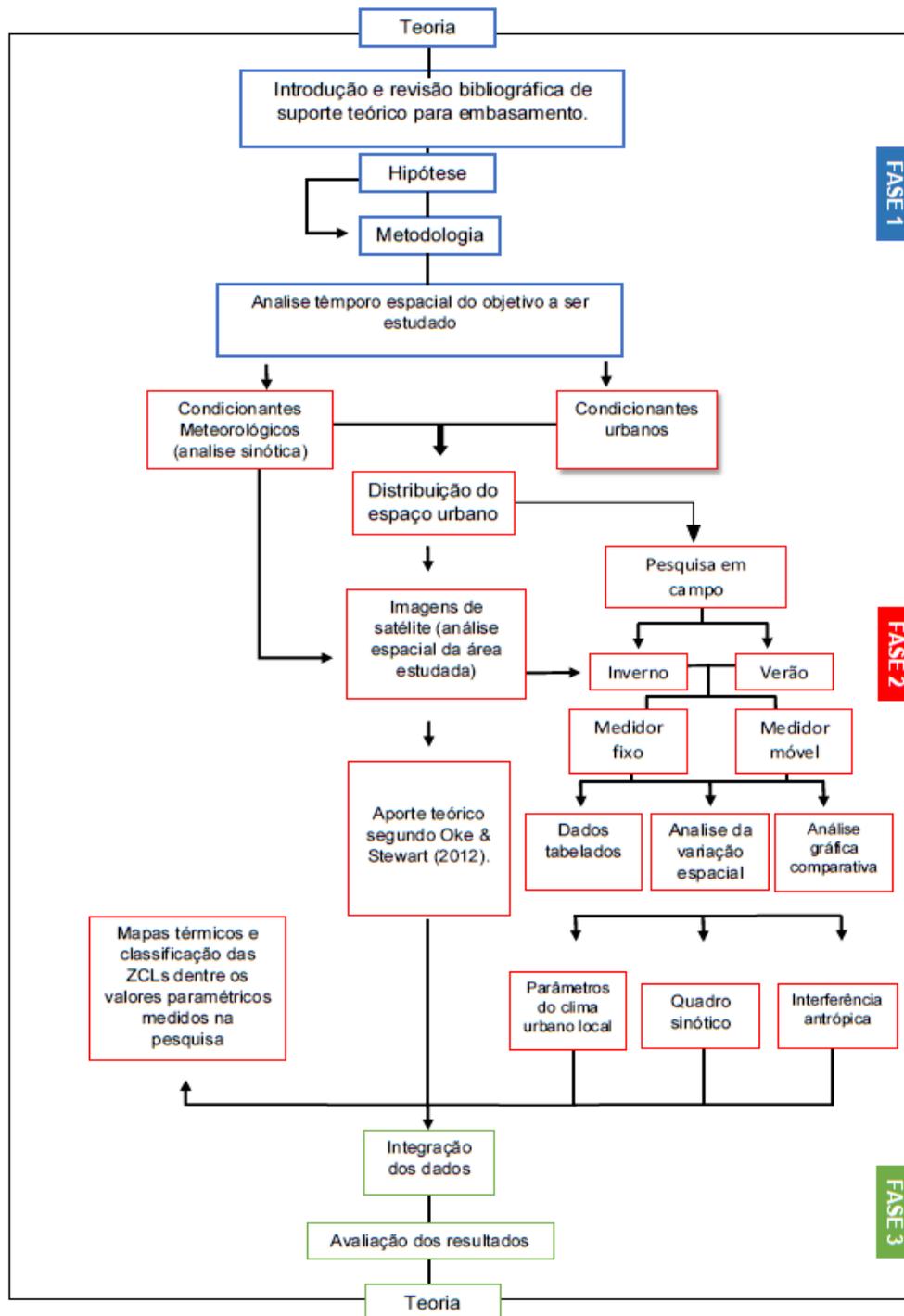
Masiero (2014) mostra que situações peculiares do tempo atmosférico podem ser analisadas por meio de episódios climáticos representativos de determinado período e que a magnitude, a intensidade, a extensão e a duração da atuação de um sistema atmosférico se alteram de acordo com a estação do ano.

O comportamento térmico dos espaços construídos e abertos pode ser avaliado por intermédio da análise de uma sequência característica da massa de ar atuante no local e entende-se que as subseqüentes influências de elementos urbanos possam alterar, em escala microclimática, o comportamento físico dos ambientes.

2.6.3 Apresentação, leituras e interpretação de dados

Os inúmeros dados obtidos pela análise móvel e os captados pelas estações meteorológicas fixas incrementam os dados obtidos para a análise. São eles: cálculo de amplitude térmica diária e temperatura horária; umidade relativa e absoluta; velocidade e direção do vento são os mais utilizados em estudos de clima urbano, motivados pela confiabilidade quando esses dados são manuseados e gerados por produtos de análises. O fluxograma apresentado na **figura 8** apresenta com detalhes as fases da pesquisa dentro do roteiro elaborado para a efetiva aplicação.

Figura 8 - Fluxograma didático do plano de pesquisa, detalhando os processos por fases.



Elaboração e organização do roteiro: Megda (2016).

Outras variáveis oferecem ainda influências diretas na composição do comportamento microclimático urbano, uma vez que esta se configura a partir dos componentes naturais e antröpicos, exemplificados como umidade do solo, índice de evapotranspiração, sazonalidade da vegetação, entre outros, os

quais dependem tanto das condições macroclimáticas quanto dos efeitos provocados por elementos, sobretudo, locais.

Estas análises levantadas com os dados microclimáticos usualmente são elaboradas com a produção de gráficos e mapas comparativos, ordenando que as relações de dependência entre variáveis de estudo sejam postas e analisadas de maneira estatística nos pontos de coleta da pesquisa, os mesmos estabelecidos fixamente diante dos diversos campos realizados.

Sendo assim, com as comparações entre dados coletados nas áreas urbana e rural, passando pelas diferentes ZCLs da cidade, é possível estabelecer os graus de influência de uma variável sobre outra.

Os SIGs são de muita utilização nos estudos da climatologia urbana para localizar especificamente os efeitos microclimáticos e associá-los ao ambiente urbano. Para Castro e Lopes (2010), os SIGs são conjuntos de ferramentas de coleta, armazenamento, análise e representação de informações geográficas que se associam a um determinado local, ferramentas estas que possibilitam análises espaciais cruzadas de conjuntos de dados e auxiliam na modelagem do comportamento de determinados fenômenos num dado território. Enfim, estas permitem definir padrões e comportamentos espaciais que podem ser analisados em conjunto com outros dados territoriais.

3 METODOLOGIA / MATERIAIS E MÉTODOS

Após a caracterização física da região de Franca, foram realizadas coletas de informações sobre temperatura e umidade do ar na superfície e em camadas superiores com uso de transecto móvel e vant. A intenção é evidenciar as diferentes escalas da *Urban Canopy Layer* e a transição para a *Urban Bondary Layer*. A partir de então, serão estabelecidas as relações entre ZCLs e a ocorrência de ICUs para mapear os principais fenômenos microclimáticos e desenvolver as análises de mitigação de efeitos do clima urbano sobre o espaço construído.

3.1 Descrição e caracterização geográfica e morfológica da área pesquisada

A área estudada é o município de Franca, localizado na porção Nordeste do Estado de São Paulo (SP), tendo seu limite interestadual com o estado de Minas Gerais. É sede da 14^o Região Administrativa do Estado de São Paulo, tal como apresentado na **figura 9**.

Figura 9 - Mapa com a localização do município de Franca, no Estado de São Paulo.



Fonte: Megda (2018).

A cidade de Franca está distribuída sobre o Planalto arenítico-basáltico da Bacia Sedimentar do Paraná, no topo do relevo de *cuestas*, com altitudes que variam de 950 a 1050 metros.

Localmente, o planalto, que funciona como dispersor de águas para as bacias dos rios Sapucaí e Grande, possui um relevo de morros arredondados, com vales estreitos e encaixados, que compõem, ao sul de Franca, a bacia do ribeirão das Macaúbas, e, a oeste, as bacias dos ribeirões Salgado, Bom Jardim e Santo Antônio.

Para Ab'Saber (1968), a leste do planalto de Franca estão as escarpas arenítico-basálticas, festonadas, com desníveis de 250 a 300m em relação ao vale do rio Canoas, localizado na depressão periférica. Tais escarpas, que se desfazem na forma de anfiteatros separados por pequenos espigões, exibem topos angulosos e maior densidade de drenagem em relação ao setor de colinas médias, intensamente erodidas pelas chuvas orográficas das bordas nas *cuestas*.

Para Ab'Saber (1968), é este um dos últimos remanescentes mais bem preservados dos chapadões do setor norte-oriental da Bacia do Paraná, constituindo uma área marcadamente transicional, tanto do ponto de vista das formas de relevo, como das condições ecológicas do solo, da vegetação e ainda da história do povoamento. A topografia regional pode ser visualizada na **figura 10**.

A maior parte da cidade se desenvolveu em relevo suave ondulado, que se desdobra em três colinas densamente urbanizadas, conhecidas como os Bairros Estação, Centro e Vila Santa Rita.

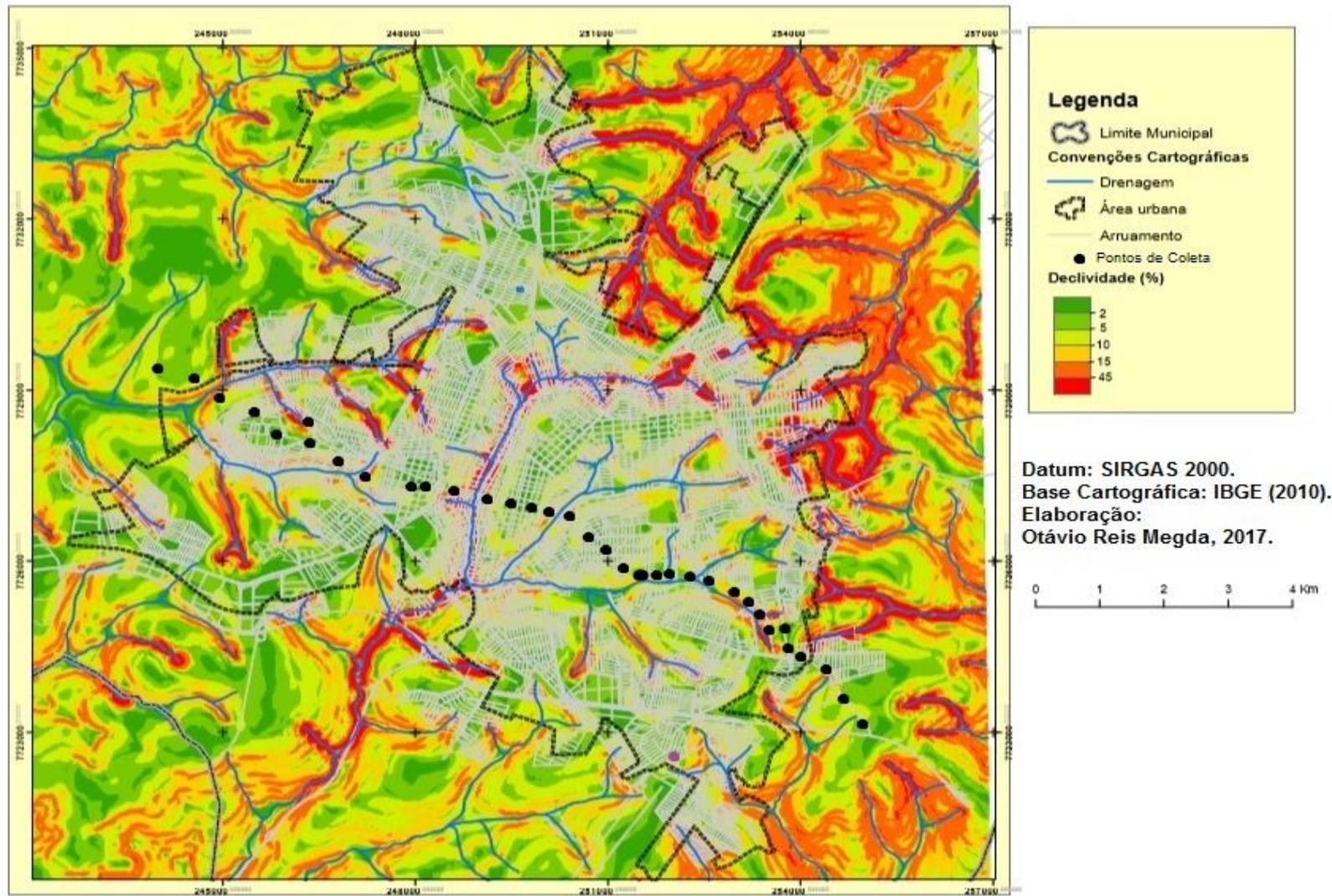
Elas se confrontam a leste com a *cuesta* (Serra de Franca), que se tornou uma barreira natural para a expansão da cidade, e são cortadas pelos córregos dos Bagres, Espreado e Cubatão, que se juntam nas imediações do limite da cidade, onde a ocorrência de inundações é frequente.

A área de estudos é caracterizada por relevo de colinas médias, com topos suavemente aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos e declividade inferior a 15%. Nas vertentes em que a declividade ultrapassa 15%, verifica-se uma incidência maior de feições erosivas (IPT, 1998).

A expansão francana em sua área urbana projetou suas evoluções de crescimento urbano de 1893 até 1960, pontuando o crescimento específico em

alguns anos. Megda (2014) chamou atenção para o crescimento seguindo os cursos d'água e a proximidade com a antiga estação ferroviária, fator histórico na distribuição populacional do centro para o norte do município. Assim, essa porção do nordeste paulista rapidamente se desenvolveu, bem como todo o Estado de São Paulo.

Figura 10 - Mapa de declividade da região da cidade de Franca, com destaques para o limite territorial, área urbanizada, hidrografia e o trajeto dos pontos de coleta da pesquisa.



Fonte: Base Cartográfica SIRGAS, 2000. Elaborado no software ArcGIS. Organização e elaboração: Megda (2017).

3.2 Caracterização climática e meteorológica de Franca – SP

O clima de um determinado lugar é classificado por meio de uma série temporal dos elementos climáticos de 30 a 35 anos (AYOADE, 2004). Entretanto, quanto maior o período de dados para a composição das análises, maior será a confiabilidade do estudo.

Assim sendo, foram levantados e analisados os dados térmicos e pluviométricos médios (mensais e anuais) da cidade de Franca, de 1981 a 2018, a partir da estação automática fixa A708 de Franca, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), da mesma Instituição, e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), ligado ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

A área do estudo possui chuvas médias anuais entre 1.500 e 2.000mm em função das maiores altitudes e da disposição das vertentes, voltadas para sul e sudoeste, a barlavento dos sistemas frontais. (SANT'ANNA NETO e ZAVATINI,1996).

Em anos com maior atividade dos sistemas polares, há grande incremento no montante das precipitações (SOUZA, 2000). No caso oposto, isto é, em anos de fraca atividade das massas polares e conseqüente domínio dos sistemas intertropicais, há grande redução da pluviosidade no território paulista. Os anos que apresentam o padrão habitual refletem certo equilíbrio no domínio entre os dois diferentes sistemas, resultando comumente na variação térmica.

É observado em Franca que a concentração das precipitações ocorrem, sobretudo, na primavera (outubro a dezembro) e principalmente no verão (janeiro a março), período em que as médias térmicas também se destacaram, uma vez que esse incremento de chuvas vem associado ao maior período solar. No outono (abril a junho) e no inverno (julho a setembro) as chuvas diminuiram, mas, mesmo com essa queda, ainda se observam episódios com ilhas de calor urbano.

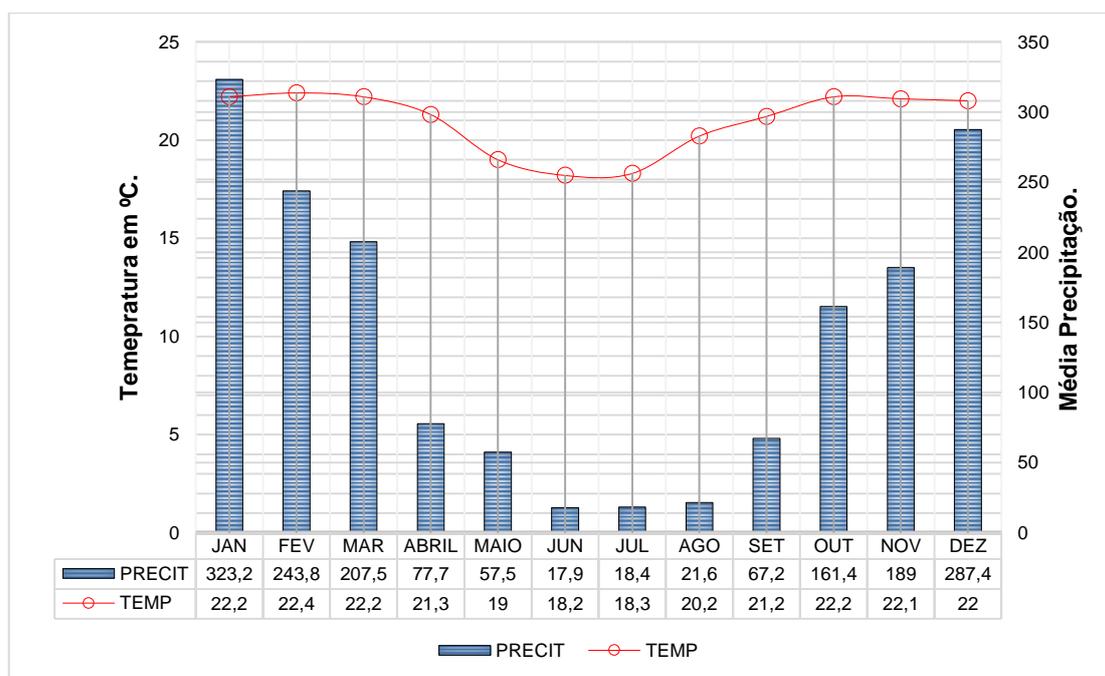
O relevo planáltico e a posição geográfica de Franca lhe conferem uma particularidade climática na região. Com altitude máxima de 1050m, o clima

tropical de altitude, com invernos secos, verões chuvosos e temperaturas moderadas durante todo o ano.

As temperaturas médias nos meses mais quentes são inferiores a 23°C e, nos meses mais frios, superiores a 18°C. As médias das máximas são mais elevadas em setembro e outubro, no início da estação chuvosa, quando alcançam 20°C, como mostra a **figura 11**.

Vieira (1973) afirma que os dados climáticos de Franca, se comparados aos de outras localidades próximas, como Ribeirão Preto - situada na Depressão Periférica Paulista, demonstram uma forte influência da altitude, quer amenizando o verão quer acentuando o inverno, através da interação do relevo com a circulação atmosférica.

Figura 11 - Médias térmicas e pluviométricas de Franca – 1981 a 2018.



Fonte: INMET, com base na normal climatológica de 1981-2018.

A cidade de Franca chega a ficar dois meses sem chuva, como aconteceu nos anos de 1984 e 1985, ou ainda no ano de 2003, que nos meses de junho e julho registrou 0 e 0,4 mm de chuva, respectivamente.

Megda (2014), em levantamento e análise de dados, apontou ocorrências de elevadas chuvas e temperaturas em meados do ano, como aconteceu em junho de 1997, com 84,4mm, e junho de 2012, com 96,2mm. Estes casos exemplificam a variabilidade no clima urbano.

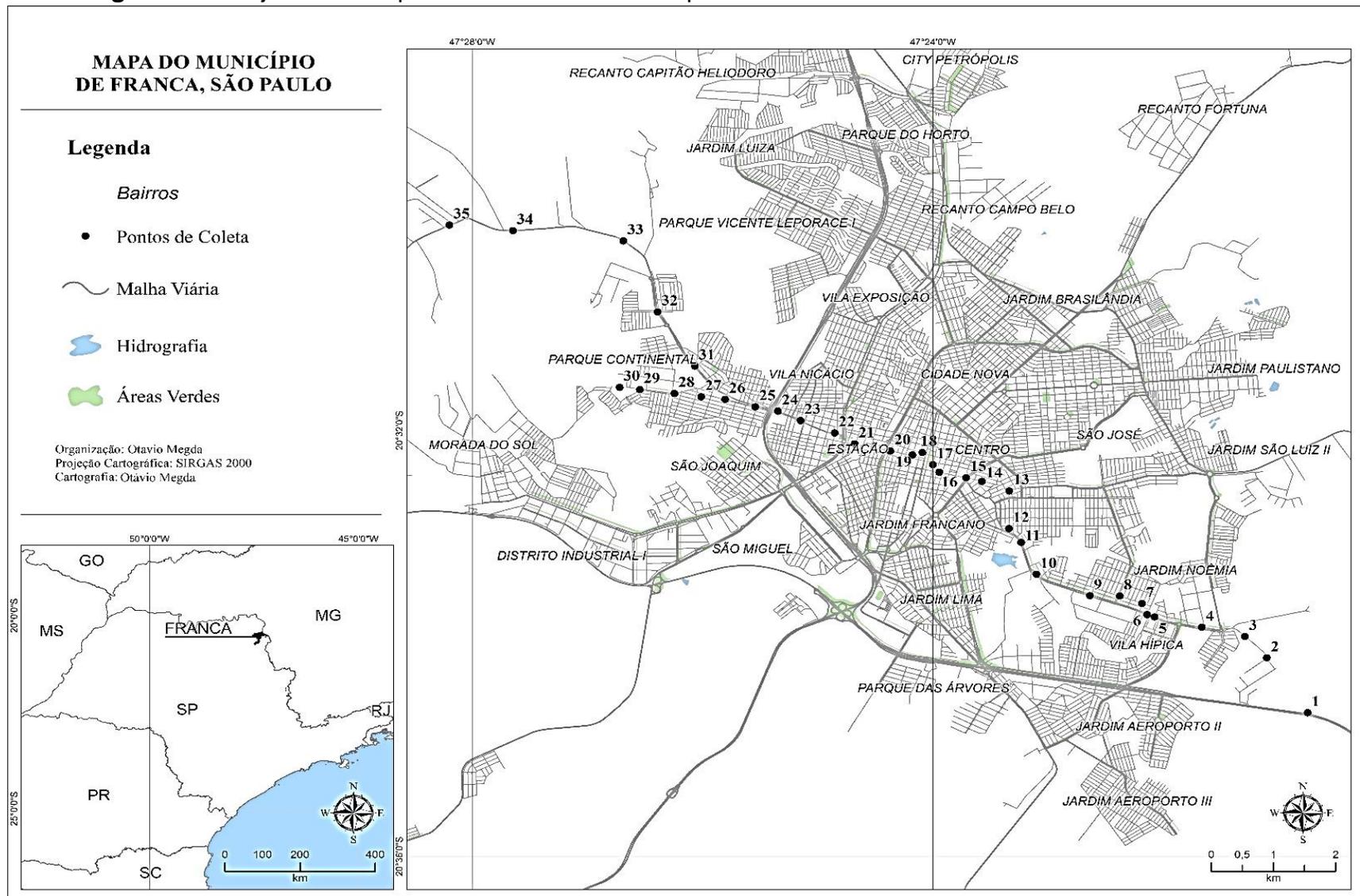
O relevo de Franca propicia a formação do clima regional. A atuação de frentes polares e a invasão das massas continentais no período de inverno são notórias. No verão, a zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a zona de convergência intertropical (ZCIT) são ativas no Sudeste do Brasil, sobretudo, na parte superior do altiplano paulista.

3.3 Procedimentos para classificação espacial das ZCLs

A compreensão da escala a ser tratada neste estudo depende das características ambientais e, sobretudo, antrópicas, uma vez que o espaço urbanizado foi intensamente modificado perante à ocupação histórica e, sendo assim, também dos recursos disponíveis em cada área de recorte para a análise.

A **figura 12** e o **quadro 4** mostram respectivamente o trajeto com os pontos coletados em campo e, as características de cada ponto estabelecido na coleta de dados na cidade de Franca – SP.

Figura 12 - Trajeto com os pontos coletados em campo na cidade de Franca – SP.



Fonte: Base Cartográfica SIRGAS, 2000. Elaborado no software ArcGIS. Organização e elaboração: Megda (2018).

Quadro 4 - Características de cada ponto estabelecido na coleta de dados na cidade de Franca (SP), segundo Stewart e Oke (2012).

Zonas Climáticas Locais (ZCLs) definidas a partir da metodologia de Oke (2006) e redefinidas por Stewart e Oke (2012.)	Ponto (s)	Fotos sequenciais dos pontos mensurados
<p>Prédios baixos Concentrados.</p> <p>ZCL 3</p> <p>Densa mistura de casas baixas (1-3 andares), com poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte pavimentada. Materiais como pedra, tijolo, telha e materiais de construção de concreto.</p>	7,9	
<p>Prédios altos espaçados com arborização.</p> <p>ZCL 4</p> <p>Arranjo espacial aberto de prédios de alto porte com significativa cobertura da terra (plantas baixas, árvores espalhadas) aumentando a área permeável. Materiais como concreto, aço, vidro e materiais de construção.</p>	18, 19, 20, 21, 22	
<p>Prédios médios espaçados com arborização.</p> <p>ZCL 5</p> <p>Arranjo espacial aberto de edifícios de médio porte (3-9 andares). Significativa cobertura da terra (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais como concreto, aço, pedra, vidro, e materiais de construção.</p>	14, 15, 16, 17	
<p>Prédios baixos espaçados com arborização.</p> <p>ZCL 6</p> <p>Arranjo espacial aberto de edifícios baixos (1-3 andares), abundância de cobertura da terra (plantas baixas e árvores dispersas). Materiais como madeira, tijolo, pedra, azulejo, concreto e materiais de construção.</p>	8, 10, 11, 12, 13, 14, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32	

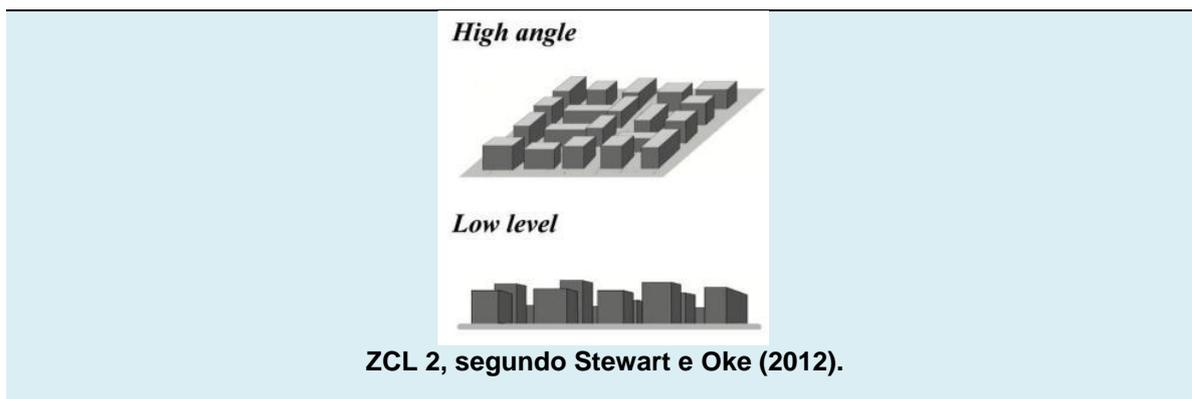
ZCL 6		
Área com construções escassas.	1, 2, 3, 4, 5, 6	
ZCL 9		
<p>Arranjo escasso de pequenas construções ou edifícios de médio porte em configuração espacial mais natural.</p> <p>Abundância de terra permeável com plantas baixas e arbustivas e, árvores espalhadas ao junto às construções.</p>		

Fonte: Fotos acervo de Megda, julho de 2017.

Para comprovar os padrões obtidos com o Censo (IBGE, 2010), foi feita uma comparação exemplificada entre dois pontos da cidade (**figuras 13 e 14**), que apresentaram padrões diferentes e densidades demográficas distintas, o que comprova as diferenças nos padrões.

Figura 13 - Caracterização do ponto de comparação exemplificado na região SE.

Foto região SE (Jd. Noêmia) – Franca (SP)	
Foto aérea	Tipologia
	



Parâmetros de análise

Altura média das edificações: 2- 5 metros

Classe rugosidade: 6-7

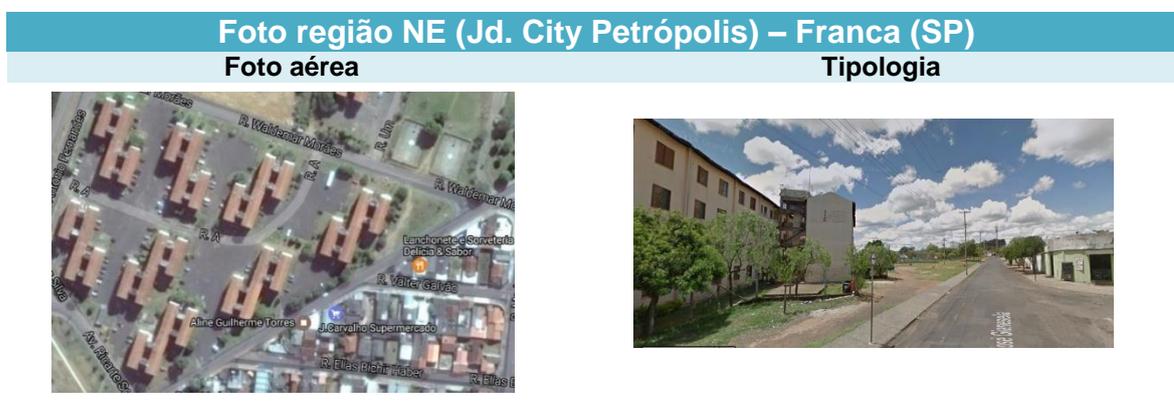
Altitude: 1010 m

Fonte: Elaborado por Megda (2019) com base em Stewart e Oke (2012). **Imagens** de satélite extraídas de Google Earth (2019)

A região Sudeste de Franca, vista na **figura 13**, possui uma série de qualidades que visualmente favorecem a concentração demográfica nessa região, visto que possui vias mais abertas e alameda arborizada, padrões de casa de 3 a 5 metros e um bairro de classe média, mas com edificações sem aglomerações subnormais.

A densidade demográfica dessa área gira entre 50 a 3.468 habitantes km², tal como consta no Censo Demográfico do IBGE (2010). A grande diferença de intervalo se justifica pelas áreas de chácaras urbanas presentes, sobretudo, nessa região, em comparação com outra região, Sul a exemplo, que possui áreas na faixa de 29.700 habitantes por km².

Figura 14 - Caracterização do ponto de comparação exemplificado na região NE.





Fonte: Elaborado por Megda (2019) com base em Stewart e Oke (2012). Imagens de satélite extraídas de Google Earth (2019).

3.4 Instrumentação

A metodologia da pesquisa apresenta um levantamento de dados para a elaboração de um perfil térmico, com dados coletados a nível do pedestre e nas camadas superiores da camada de dossel urbano, afim de evidenciar a formação de ilhas de calor urbano.

Na etapa metodológica, a coleta de dados foi dividida em 2 momentos: a coleta por transecto móvel em solo e o uso de um vant para a coleta até a altura das UCLs.

Com o transecto, foi utilizado um termômetro digital da marca *IncoTerm*, com o captador externo, com memória, contagem de tempo e máximas e mínimas, como mostra a **figura 15**.

Figura 15 - Termômetro Digital *IncoTerm*, com haste externa.



Fonte: Obtida em: www.incoTerm.com.br. Acessado em 14 de outubro de 2018.

Os testes de calibração do termômetro foram feitos diariamente antes do início das coletas, diante da função “Ca” (Calibração), onde o termômetro digital reinicia-se juntamente com a temperatura ambiente. Esse processo foi acompanhado de outros 2 medidores conjuntos, ambos também digitais e mostraram êxito nas comparações.

Na medição vertical, foi utilizado o sistema proposto detalhadamente na metodologia, com o uso do vant e um sensor térmico e de umidade do ar acoplados. O vant foi testado sempre antes dos períodos de coleta em campo, bem como verificada a projeção da bateria, feito o ajuste das hélices, comandos e distância do controle remoto. O quadro 05 contém as especificações técnicas e a descrição do vant utilizado nos campos de coleta de dados e a **figura 16** a foto do vant devidamente etiquetado com os códigos das especificações.

Quadro 5: Especificações técnicas e a descrição do vant utilizado na pesquisa.

Vant (Drone) FQ777 – Modelo ML 2123	Quadrícóptero.
Autonomia de cada bateria	12 – 15 minutos em operação total
Alcance de Comunicação	200 m
Velocidade de cruzeiro	40 km/h
Controle Remoto	Controle de comando central com 2.4 GHZ
Tipo de Decolagem	Vertical
Tipo de pouso	Vertical
Resistência a água	Garoa e Chuviscos
Peso máximo de decolagem	1,0 kg
Envergadura	30 cm
Material	Plástico resinado e componentes elétricos
Motor	Elétrico – 4 unidades – Quadrimotor
Bateria	Lítio (2 unidades acopladas).

Fonte: Megda (2018).

Figura 16 - Especificações técnicas do vant utilizado nas pesquisas de campo.



Fonte: Megda (2018).

A **Figura 17** mostra o *vant* com o “*hobo*” acoplado para a coleta de dados.

Figura 17 - Vant – veículo aéreo não tripulado com o Hobo acoplado na parte inferior.



Fonte: Megda (2018).

A câmera do *vant* será utilizada como auxiliar na subida e descida. O aplicativo *Exploration UFO* é um aplicativo com interface compatível com aparelhos de Sistema Operacional Android². Ele foi testado em diversos voos experimentais e na capacitação instrucional oferecida pelo site da ANAC.

A **figura 18** mostra o controle de comando remoto com um smartphone acoplado, já com o aplicativo.

² Android® é um sistema operacional (SO) baseado no núcleo Linux® e atualmente desenvolvido pela empresa de tecnologia Google Inc®. Com uma interface de usuário baseada na manipulação direta, o *Android*® é projetado principalmente para dispositivos móveis com tela sensível ao toque como smartphones e tablets; com interface específica para TV (*Android TV*), carro (*Android Auto*) e relógio de pulso (*Android Wear*).

Figura 18 - Controle de comando remoto com um smartphone acoplado.



Fonte: Megda (2018).

As **figuras 19** e **20** apresentam o vant já em voo baixo, nas fases de testes e aplicação dos comandos de direção.

Figura 19 - Vant em fases de teste de voo baixo em área aberta e com visibilidade direta nas dependências da UFSCar.



Fonte: Megda (2018).

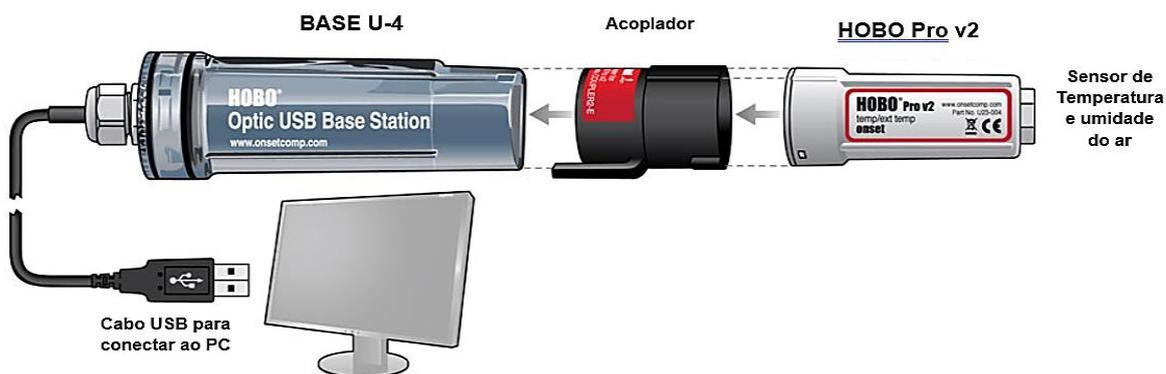
Figura 20- Vant em fases de teste de voo baixo em área aberta e com visibilidade direta nas dependências da UFSCar.



Fonte: Megda (2018).

Em relação ao sensor térmico (tipo *HOBO*, Modelo Pro V2 U 23 – 001), demonstrado na **figura 21**, os testes de calibração e manuseio das coletas de dados do sensor foram realizados sempre antes dos campos, com a limpeza do sensor, limpeza da memória de dados e comparação com sensores térmicos, como recomenda o fabricante.

Figura 21: Estruturas da montagem do aparato do sensor *HOBO* Pro v2 U21- 001, com base, acoplado ao sensor térmico e transferidor de dados via cabo.



Fonte: Extraído de: <https://www.onsetcomp.com>. Acesso em 15 de set. de 2018.

No quadro 6, estão relatados os testes e calibrações de todo aparato utilizado em cada um dos campos.

Quadro 6 - Cronograma técnico de calibração e testes dos aparelhos utilizados.

	<i>Campo Inverno</i>	<i>Campo Verão</i>	<i>Campo Inverno</i>	<i>Campo Verão</i>
	2017	2018	2018	2019
<i>Testes de voo</i>	-	-	X	X
<i>Teste bateria</i>	-	-	X	X
<i>Teste Captação HOBO</i>	-	-	X	X
<i>Calibração Termômetro Incoterm</i>	X	X	X	X
<i>Dia / mês</i>	Dia 02 de julho de 2017.	Dia 12 de janeiro de 2018.	Dia 01 de julho de 2018.	Dia 27 de janeiro de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Portaria nº. 415/2015, do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DCEA,) do Ministério da Defesa, aprovou a regulamentação do Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (*RPA*s – sigla em inglês) e o acesso ao espaço aéreo brasileiro, em conformidade com o previsto no Decreto nº. 6.834/2009. No subitem nº 214 a Portaria nº. 415/2015 define *RPA* como “aeronave não tripulada, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota” (BRASIL, 2015).

A legislação definiu regras para as operações de *vants*, por meio da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), sob o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E), de nº. 94/2017, orienta e regulamenta o uso destes, apresentando todas as especificações, procedimentos legais, técnicos e operacionais dos *vants* (BRASIL, 2017).

Para operações com *vant* no Brasil são necessárias as seguintes autorizações: a) Autorização da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), para exploração do serviço de telecomunicações e de uso de radiofrequências; b) Autorização da ANAC, para obtenção de um Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE), no caso de solicitação para operação experimental ou solicitação para Autorização Especial de Voo, no caso de operações com fins lucrativos e c) Autorização do DECEA para uso do espaço aéreo.

Dessa forma, destaca-se que, mesmo com a inscrição e posse de um certificado de autorização da ANAC, toda operação com *vant* é condicionada à autorização do DECEA, da ANATEL e, em alguns casos, do Ministério da Defesa ou

do Comando da Aeronáutica (vide §4º e §5º do Art. 8º da Lei 11.182, de 27 de setembro de 2005) (ANAC, 2012).

A operação dos vants só é permitida a quem possuir uma autorização expressa da ANAC ou um CAVE, emitido segundo a Instrução Suplementar (IS) nº 21-002A (ANAC, 2012). Além disso, para a obediência à legislação, as operações e qualificações do vant devem se enquadrar nas especificações propostas pela ANAC e pelo DECEA (tipo de operação, classe do *RPA* e enquadro do regulamento da classe) apresentadas abaixo:

- **Operação:** Tipo VLOS - *Visual Line-of-Sight* – Operação no qual o piloto mantém contato visual direto com o *RPA* sem auxílio de lentes ou outros equipamentos;
- **Classe:** *vant* não tripulado de Classe 3 (peso máximo de decolagem de até 25kg e até 120 metros de altura);
- **Regulamentação Classe 3:** Registro da aeronave junto a ANAC (*online*) pelo Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT); ter mais de 18 anos para pilotar; ter a aeronave identificada com o código e série gerada pelo cadastro; autonomia de bateria para início e fim da operação e possuir seguro do aparelho.

Sendo assim, o vant utilizado nesta pesquisa se enquadrou nas normas especificadas e recebeu a Certidão de Cadastro de Aeronave Não Tripulada – Uso Não Recreativo, cadastro PP-203247240 (Validade de 2 anos) e para mais 6 meses de voô, ainda objetivando a pesquisa, um novo cadastro da mesma aeronave na ANAC, com o cadastro PR203247240, sob ramo de atividade descrito como *Mensuração de temperatura em escala vertical*, com validade até 20 de julho 2020 e, o segundo cadastro, até Janeiro de 2023.

O vant foi devidamente registrado e incluso em um seguro de uso, na modalidade de *aeromodelismo*, sob a apólice 44585090447432260, com a seguradora MAPFRE, validado pelo mesmo período da certidão cadastral do vant, registrado sob o cadastro de pessoa física (CPF) do autor da pesquisa, maior de 18 anos e enquadrado nos requisitos solicitados.

Ainda, pelo site da do SISANT (ANAC), foram solicitados para o períodos de uso do vant os planos de voo, liberados e aprovados pela plataforma SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAS), respeitando as normas e legislações cabíveis ao uso do vant. Na área estudada, os raios

restritos foram respeitados, dando assim possibilidade do uso deste aparelho na cidade.

Os registros destas documentações constam nos anexos desta tese.

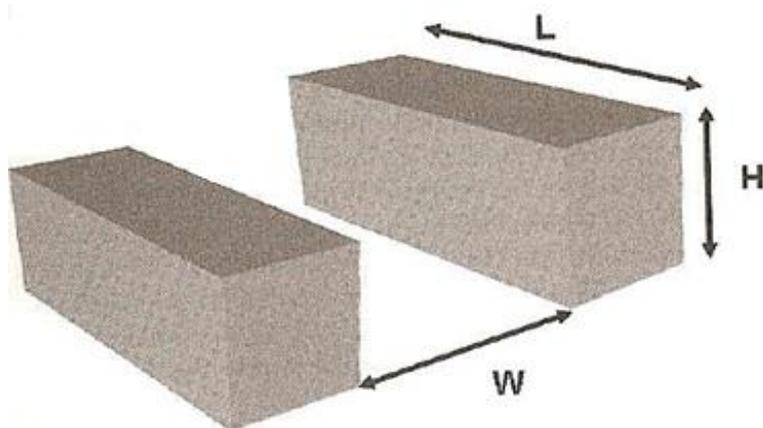
3.5 Variáveis coletadas

Com base em critérios já pontuados por Stewart e Oke (2012) dentre variáveis abordadas, para a presente pesquisa as variáveis mais relevantes na composição da classificação das ZCLs foram: altura/largura (*height/width*) com altura média da rugosidade e superfície construída. Além disso, as fotos com a lente olho de peixe (*fish eye*), juntamente com valores de FVC foram somadas aos dados, para melhorar a espacialização e para compor uma discussão fortemente embasada na metodologia proposta.

3.5.1 Relação altura / largura - W/H (width/height)

A proporção W/H trata da relação entre a largura (*width*) da via e a altura (*height*) do edifício para descrever a geometria urbana e seu desempenho térmico, como podemos ver na **figura 22**.

Figura 22- Perfil vertical do cânion urbano representando a relação H/W/L.



Fonte: Santamouris e Wouters (2006, p. 106).

Oke (2006) e Santamouris e Wouters (2006) consideram a relação W/H, sendo que incluem a dimensão L (*length*), onde discriminam o tamanho do cânion urbano.

Fatores como de fluxo de ventos, insolação, temperatura, sombreamento e trocas térmicas são diretamente influenciadas pelas proporções W/H/L, ao analisarmos os cânions urbanos, fundamentalmente constituídos por três superfícies e três lados abertos.

Dessa forma, quando se observa que as paredes são o H e o piso o W, além do L, que é o comprimento, essa análise da geometria urbana possibilita um melhor aprofundamento da compreensão dos cânions urbanos e as ICU.

3.5.2 Superfície construída

As coberturas das superfícies exercem papel direto na alteração da temperatura do ar. As superfícies naturais (permeáveis) ou vegetadas possuem menor potencial de armazenamento térmico e são em geral mais frias que as superfícies impermeabilizadas e artificiais (YAN et al., 2014). Sendo assim, entende-se que os ambientes construídos e com menor densidade de vegetação assumem maior armazenamento térmico, elevando as temperaturas de onde estão inseridos.

A importância dos fatores que influenciam o clima urbano está ligada diretamente à grande variedade das formas de adensamento e ocupação, que, em função da grande complexidade das interações térmicas entre os elementos da paisagem urbana faz com que o clima passe a assumir a microescala e a integrar com características específicas naquele local.

3.5.3 Fator Visão do Céu (FVC) ou *Sky View Factor* (SVF)

O Fator de Visão do Céu (FVC) é a medida da fração do céu visível em um ponto de observação no espaço urbano, isto é, o grau de obstrução gerado pelo entorno. O FVC compreende na sua análise a insolação, o sombreamento e a iluminação urbana, os quais deveriam ser mais frequentemente consideradas pelos projetistas, pois atuam principalmente nas alterações de trocas térmicas com o céu, dificultando o resfriamento das superfícies.

O FVC é uma razão aritmética entre zero e um, que pode ser obtido por métodos analíticos, fotográficos ou topográficos. Ele é extraído a partir de um ponto na altura do observador e representa a faixa de céu disponível para trocas térmicas em relação ao limite de céu obstruído por qualquer elemento físico, natural (vegetação) ou artificial (edifícios) (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2009; MINELLA; ROSSI; KRÜGER, 2009; SOUZA et al., 2010).

Por meio do FVC possibilita-se analisar o impacto espacial das edificações nas áreas urbanas, onde a obstrução maior do céu acarreta um aumento do calor na área e, conseqüentemente, quanto maior a visão do céu de uma superfície urbana, maior é a sua capacidade de resfriamento. Durante a noite esse tipo de ocupação apresenta maior dificuldade para a dispersão do calor acumulado pelas superfícies.

Um dos primeiros a estudar a experimentação foi Oke (1987), analisando várias configurações de H/W em modelos reduzidos, em uma câmara fechada com temperatura controlada. Este pesquisador conseguiu com êxito respostas, onde, na intensidade máxima de ilha de calor em cânions urbanos, está diretamente relacionada à razão entre altura dos edifícios e a largura das vias.

Dentro dessa temática do uso do FVC, um elemento de suma importância para o equilíbrio térmico, o céu é primordial para as trocas de calor e para dispersão de ondas longas emitidas pelas superfícies e fachadas durante a noite.

Mesmo após o sol se pôr, o céu pode continuar irradiando ondas longas para a terra por um curto intervalo de tempo. Após esse período de transição, a abóboda celeste apresenta taxas de radiação negativas, passando a ser naturalmente mais fria do que a camada terrestre (OKE, 1973).

3.6 Metodologia da coleta dos dados

O **quadro 7** mostra o elencamento dos dados levantados nos 35 pontos diferentes ao longo do trajeto proposto para a pesquisa. Ainda foram obtidos os dados de temperatura e umidade do ar a nível de solo e nas camadas superiores da UCL, bem como dados das direções do vento e nebulosidade para Franca (SP) na composição da série de dados climatológicos oferecidos pela Rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), uma vez que a cidade em destaque possui uma estação meteorológica automática instalada na região aeroportuária.

Quadro 7- Classificação das Zonas Climáticas Locais dos pontos monitorados.

Pontos	Cota Topográfica		FVC	H/W	Superfície construída	Altura média da Rugosidade	LCZ	Descrição	Imagem	Classificação
7	1010 m		0.803	0,4	13,5%	3	LCZ 3	Arranjo de residências com alturas entre 1-3 pavimentos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte pavimentada.		Compact low rise
9	1002 m		0.700	0,4	15,5%	3				
18	962 m		0.446	4	31,5%	8	LCZ4	Arranjo de edifícios de até 20 pavimentos com significativa cobertura vegetal e áreas permeáveis. Materiais: destaque para concreto, asfalto, coberturas metálicas e cerâmicas		Open high rise
19	952 m		0.411	4	34,5%	15				
20	990 m		0.407	3,8	34,0%	12				
21	1003 m		0.506	3,5	18%	25				
22	1002 m		0.290	3,0	37,8%	30				
14	982 m		0.567	0,35	18%	8	LCZ5	Arranjo de edifícios de médio porte, entre 3 e 9 pavimentos. Significativa cobertura vegetal arbórea. Materiais: Concreto, aço, cerâmica, pedra e vidro.		Open midrise
15	958 m		0.334	1,0	14,5%	10				
16	975 m		0.559	0,5	18%	6				
17	987 m		0.481	0,35	20%	8				
8	1006m		0.756	0,4	15,5%	5		Arranjo de edifícios de até 3 pavimentos,		Open low rise
10	1000m		0.750	0,4	10%	4				

IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA METODOLÓGICA ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – ZCLs.

11	998m		0.725	0,4	12%	4	LCZ 6	<p>abundância de cobertura vegetal e árvores dispersas. Materiais: madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto</p>		LCZ 6
12	1003m		0.498	0,35	21%	6				
13	990m		0.531	0,4	12,5%	4				
23	1000m		0.458	4,0	42,8%	12				
24	997m		0.530	1,0	14,5%	8				
25	990m		0.506	1,5	16,8%	8				
26	981m		0.518	2,0	16,0%	6				
27	987m		0.518	2,0	16%	6				
28	989m		0.486	2,5	23,5%	12				
29	1000m		0.385	2,0	18,6%	6				
30	1002m		0.475	1,5 %	22%	8				
32	1006m		0.617	0,4	8%	4				
1	1020m		0.782	0,5	10%	3	LCZ9	<p>Arranjo de pequenas construções e edifícios de médio porte. Abundância de solo permeável com vegetações arbustivas e árvores distribuídas junto às construções.</p>		Sparsely built
2	1018m		0.765	0,3	11%	3				
3	1018m		0.775	0,4	13,5	5				
4	1017m		0.765	0,2	9,5%	3				
5	1015m		0.802	0,3	9,0%	3				
6	1013m		0.812	0,5	11	3				

33	1006m		0,527	0,4	10,5%	4	
34	1007m		0,571	0,1	0	1	
35	1007m		0,577	0,1	0	1	

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012). Elaborado por Megda (2017).

Nas análises dos sistemas atmosféricos atuantes no período selecionado expostos no **quadro 8**, foram levadas em consideração as cartas sinóticas, disponíveis no site do CPTEC³ - do INPE, e das imagens de Satélite GOES⁴.

Esses dados meteorológicos foram cruzados com os dados obtidos com cartas sinóticas e imagens de satélites do CPTEC – do INPE, afim de serem estabelecidas condições concretas de tempo sob as quais serão colhidos os dados. Como o mecanismo de coleta da temperatura em escala vertical se dará com um mecanismo eletrônico, a passível influência do tempo atmosférico deve entrar na análise, o que torna necessário pela preocupação com os dados e até mesmo com a segurança operacional.

As cartas sinóticas dos dias pesquisados serão apresentadas e analisadas em cada estudo de caso apresentado posteriormente, porém, as condições sinóticas apresentaram baixa velocidade do vento e constância de direção, sem chuvas no horário das coletas e sem nebulosidade favoráveis à formação de ilhas de calor.

A quantidade de dias pesquisados se deu pelas condições sinóticas levantadas, ou seja, dias considerados favoráveis sinoticamente para as análises voltadas para a configuração das ilhas de calor urbano.

³ Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/>. Acessos realizados em diversos períodos, descritos no **quadro 8**.

⁴ Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/home>. Acessos realizados em diversos períodos, descritos no **quadro 8**.

Quadro 8 - Cronograma das coletas térmicas para cada um dos campos propostos.

	<i>Inverno</i>	<i>Verão</i>	<i>Inverno</i>	<i>Verão</i>
	2017	2018	2018	2019
<i>Qtd dias</i>	4	10	4	10
<i>Dia / mês</i>	03, 04, 06,07 de julho de 2017	14,15,16,17,18,19,20, 21,22,23 de janeiro de 2018	3, 4,5,6 de julho de 2018	28, 29,30, 31 de janeiro e 1,2,3,4,5 e 6 de fevereiro de 2019
<i>Horários da coleta</i>	16h às 17h	16h às 17h	16h às 17h	16h às 17h
<i>Tipos de coleta de dados</i>	Transecto móvel; dados estações INMET.	Transecto móvel; dados estações INMET.	Transecto móvel; dados estações INMET e vant.	Transecto móvel; dados estações INMET e vant.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Assim, aplicado aos estudos térmicos, Debiazi (2016) considerou diferentes raios de abrangências (25, 50 e 100 metros) em análises térmicas realizadas em São Carlos, tendo como parâmetros variáveis de análises como Coeficiente de Ocupação; Vegetação; FVC e Coeficiente de Cobertura de Solo em diferentes raios (ou escalas).

Portanto, considera-se que o FVC que desempenhou maior influência na temperatura do ar para as escalas mais ampliadas nos maiores raios de abrangência é o raio de 100 metros, a distância que melhor compete para a análise desta pesquisa.

A coleta de dados do período analisado deu-se de 2 maneiras diferentes ao longo da pesquisa. Os períodos de inverno de 2017 e verão de 2018 foram coletados dados somente com o uso do transecto ao nível do solo e somados a todos os outros dados oriundos da estação do INMET.

Diante da melhor capacidade de cruzamento de dados, para os campos de inverno de 2018 e verão de 2019, além do transecto ao nível do solo, foi utilizado um vant em 3 altitudes em cada ponto de coleta: a 30, 60 e 75 metros de altura em relação ao solo, para a análise da UCL, altura estabelecida como a maior altitude construída da cidade, com estruturas prediais no setor a Leste da cidade.

As medições com os transectos e com o vant foram realizadas em no máximo 1 hora de deslocamento, entre 16h até no máximo 17h, horário em que as temperaturas já não experimentam mudanças acentuadas, devido ao resfriamento basal urbano.

Para as mensurações, foi acoplado o termômetro digital em um suporte com o sensor de captação na ponta da haste com altura de 1,5 metros do solo, acoplado para fora de um veículo de passeio, com velocidade de deslocamento de no máximo 40 km/h, com proteção do sensor térmico para não haver distorção dos dados coletados, tal como recomenda o fabricante e como propuseram as pesquisas de Oke e Maxwell (1975), Gomez e Garcia (1984), Jonhson (1985), Pitton (1997) e Amorim (2005). O sensor foi protegido com um isopor com furos para haver circulação de ar e, após isso, acoplado para campo, como pode ser visto na **figura 23 (a e b)**.

Figura 23 - (a) Sensor fixado na haste de coleta e **(b)** coletor fixo à estrutura de proteção e captação dos dados de temperatura e umidade.



Fonte: Fotos do acervo de Megda, julho de 2017.

Os 35 pontos coletados foram acompanhados com o uso de um *GPS – Global Position System* – para posteriormente georreferenciar o trajeto e seus devidos pontos e compor as cartas bases com as específicas coordenadas.

O vant utilizado nas 2 estações já apontadas foi adquirido exclusivamente para a pesquisa, sendo um mecanismo que inicialmente comporta às necessidades propostas. Juntamente com o vant, foi acoplado um sensor “*hobo*”.

O sensor *hobo* é programável com o programa desenvolvido pelo fabricante, com o qual é captada a temperatura e a umidade por tempo determinado pelo pesquisador. Com base na proposta metodológica, foram programadas 4 mensurações por minuto, ou seja, 1 a cada 15 segundos, para que pudesse se ter uma captação a cada 15 metros de altura, gerando assim os dados a cada nível proposto pela pesquisa. As informações que foram coletadas pelo *hobo* (temperatura e umidade relativa do ar) foram programadas antes de alavancar voo.

O tempo de vida da bateria do vant varia de acordo com a situação sinótica, mas uma média ao longo dos campos foram de aproximadamente 12 minutos voando, perfazendo com a mesma bateria de 5 a 6 pontos, tendo também a diminuição do tempo pelo peso do sensor acoplado e a resistência do ar, sendo este um dos fatores de importância na análise de previsão temporal e análise das cartas sinóticas.

Portanto, o tempo de permanência de voo precisa cobrir a necessidade da pesquisa, sendo de aproximadamente 15 minutos a média de duração do voo do vant. Portanto, para cumprir o trajeto de campo, foram necessárias 4 baterias auxiliares. Todas estas levadas a campo com a carga máxima e, ainda, caso fosse necessário, uma carga elétrica portátil.

Na **figura 24** pode-se observar a trajetória de obtenção dos dados (vertical) e as alturas que serão pré-estabelecidas pela UCL de cada ponto, diante do relevo da cidade de Franca – SP.

Figura 24- Exemplificação da trajetória do vant em campo, tomando rota vertical nos pontos selecionados para a captação térmica.



Fonte: Arte elaborada pelo autor, 2018.

Os dados, após serem coletados no *hobo* programável, foram transferidos no final do dia para o computador, onde foram armazenados e depois tratados estatisticamente.

3.7 Tratamento estatístico dos dados coletados

Os dados térmicos coletados pelo transecto e pelo vant, somados aos dados obtidos pela estação do INMET foram interpolados e interpretados por meio do programa *ArcGis®* e *Qgis*, que geraram um arquivo matricial de superfície por meio do método de *krigagem*.

Os padrões espaciais de diferentes fenômenos, como a ICU, são analisados e visualizados aplicando-se ferramentas baseadas em um SIG, utilizando algoritmos de interpolação. Os dados coletados pelo transecto e pelo vant, somados aos dados da estação automática do INMET, puderam compor o conjunto necessário para qualificar e quantificar os dados térmicos, bem como evidenciar os fatores relacionados com a formação e distribuição das ilhas de calor urbano.

O uso de métodos geoestatísticos objetiva caracterizar a dispersão espacial e temporal de informações geográficas que determinam a quantidade e a qualidade dos recursos ou fenômenos físicos.

Portanto, fez-se a opção pelo método da *krigagem*, mais adequado para a maioria das séries estatísticas, pois é baseado numa interpolação global dos totais de informações antes de estimar os valores da variável nos pontos intermediários onde não há registros. Este modelo expressa a tendência sugerida pela série (MONTEIRO; FERNANDES, 1996).

A *krigagem* pode ser caracterizada como modelo geoestatístico determinístico, que é baseado em métodos matemáticos e pode incluir outras variáveis físicas, dando a possibilidade de explicar e predispor uma variável para cada ponto de acordo com o processo físico conhecido que causa a variação espacial do fenômeno a interpolar, nesse caso, as ICUs.

Sendo assim, para a produção dos mapas base e das cartas de georreferenciamento, foi utilizado o software *QGis*⁵, versão 2.18. Para tratamento dos dados e análise dos resultados, foram elaboradas cartas de isotermas através dos *Softwares Surfer*⁶ e *ArcMap*⁷, pelo então método geoestatístico da krigagem, permitindo assim a visualização das diferentes áreas e pontos coletados, com a variação de temperatura.

Os valores de temperatura do ar e umidade coletados ponto a ponto foram armazenados para a geração dos mapas isotérmicos. Foi inserida a carta base do município de Franca (SP), a partir da base do IBGE (2016). A carta foi georreferenciada – desenvolvida - no *ArcGis*® e inserida à malha urbana com a divisão de bairros, a partir de arquivos dispostos no site da Prefeitura Municipal de Franca (FRANCA - SP, 2014).

É de suma necessidade compreender que os métodos de interpolação espacial devem ser usados apenas para especializar os dados medidos e não usados para previsão de fenômenos como das ICUs, visto que, para cada método de interpolação, será gerado um resultado cartográfico único e, conseqüentemente, os resultados não são parecidos, portanto, resultando na particularidade de cada ICU (MONTEIRO; FERNANDES, 1996; SZYMANOWSKI; KRYZA, 2009).

A espacialização da ICU por isotermas possui uma prioridade na validade dos dados em âmbito local, no entanto, a informação é útil para estabelecer áreas de ar frio ou quente (OKE; MILLS; CHRISTEN; VOOGT, 2017).

3.8 Caracterização física de Franca (SP)

A **figura 25** evidencia a área municipal de Franca (SP), os setores censitários fragmentados de acordo com a metodologia do IBGE.

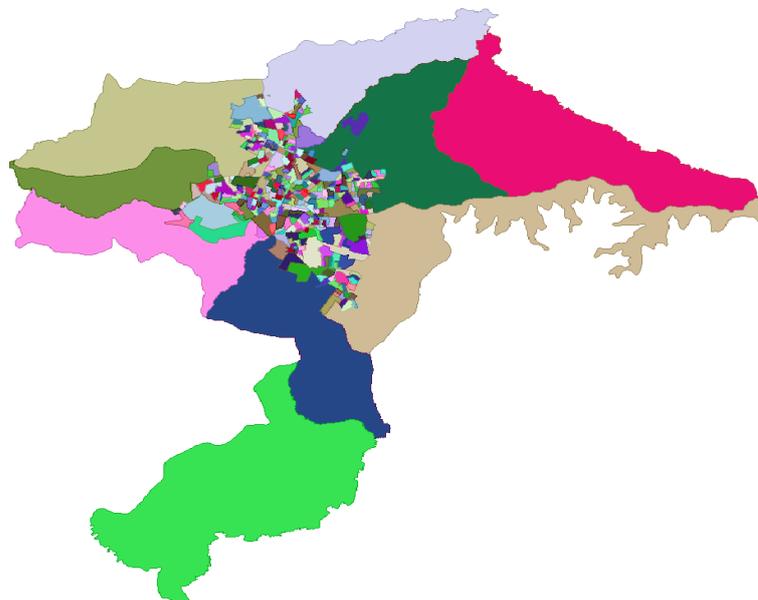
Fatores como densidade demográfica e as áreas de expansão urbana (já em andamento) podem evidenciar concretamente os novos focos de concentração térmica urbana. A **figura 26 (a) e (b)** evidencia, respectivamente, o total de domicílios por setor e o total de edificações em construção, perante dados de 2010.

⁵ *QGis* é um *free software* disponível para produção e manuseio de cartas, registrado por *Free Software Foundation*.

⁶ *Surfer* é marca registrada da *Golden Software, Inc.*

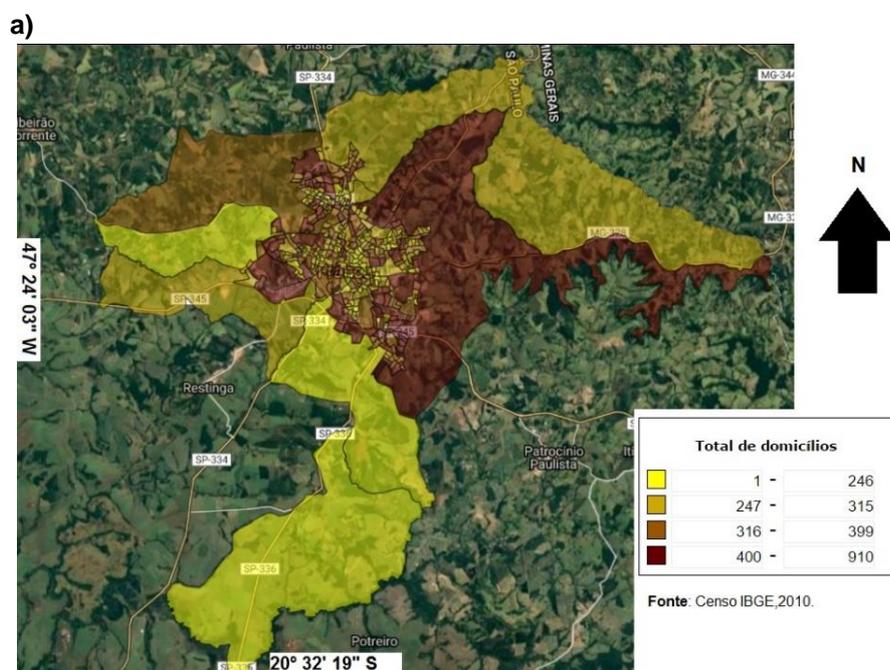
⁷ *ArcMap* é componente integrante do *Software ArcGis*, marca registrada da *Esri Software, Inc.*

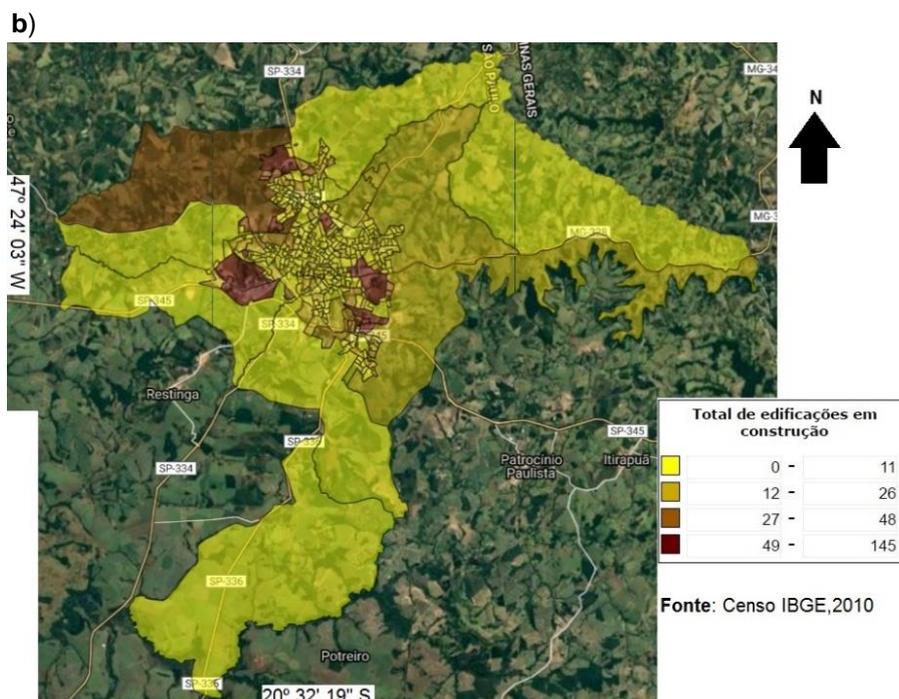
Figura 25 - Mapa com as os setores censitários de Franca (SP), segundo Censo de 2010.



Fonte: Banco de dados IBGE (2010). Elaborado pelo autor no *Software* Philcarto.

Figura 26- a) Mapa da distribuição do total de domicílios por setor censitário e; **b)** Mapa com o total de edificações em construção por setor censitário.





Fonte: Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE/IBGE), Censo 2010.
Elaborado pelo autor, 2017.

Sendo assim, pode-se observar que o total de domicílios na região central da cidade passou por uma expressiva expansão contínua durante o século passado e hoje se mostra saturado. Mesmo com tendência ao comércio, o centro das cidades ainda é uma área de densas concentrações populacionais, concentrando ali várias atividades de suma importância.

Os setores que estão na porção nordeste e sudeste, com alguns destaques pontuais a oeste, tem hoje os maiores crescimentos. Alguns exemplos dessa relação locacional são interessantes de discutir.

Dados do Censo (IBGE, 2000) mostram que a cidade de Franca, em sua área central, possuía 430 domicílios e 312 estabelecimentos comerciais, de diversos seguimentos. Assim, o último Censo (IBGE, 2010) revela que houve declínio para 311 domicílios e aumento para 484 estabelecimentos comerciais em pouco mais de 1.45 km².

Portanto, populações residentes fora da área central não significa diminuição de construções em tal área. Em 2000 eram 11 construções nessa região, já em 2010, eram 10. É sabido que as áreas centrais, pela saturação, dão espaço aos processos de gentrificação e, na grande maioria, ao crescimento vertical, um dos auxiliares das formações de ilhas de calor.

Fato que comprova isto é a análise da **figura 26 (a) e (b)**, que espacializa por setores o total de edificações em construção na cidade de Franca (SP). Alguns dos setores a Sudeste e a Nordeste têm características interessantes. A Nordeste, um dos setores possui, por exemplo, 522 domicílios, outras 16 edificações em construção e 49 estabelecimentos, muitos deles barracões industriais que ocupam um espaço maior, em aproximadamente 1.28 km²,

Já na região Sudeste, são 631 domicílios espacializados em uma área de aproximadamente 5.89 km², com destaques para condomínios de alto padrão e áreas de chácaras, 146 em construção e 96 estabelecimentos comerciais, na maioria de pequeno/médio porte.

Portanto, uma forte tendência de expansão do setor imobiliário chama atenção principalmente para os setores da região Centro-Leste da cidade, que são investimentos desde o setor imobiliário universitário e, atualmente, abrem caminhos para grandes condomínios de luxo e até para construções de áreas populares.

Sendo assim, pode-se considerar que, se houver a associação com o relevo urbano, as relações podem sim ter correlação, uma vez que, em áreas espaçadas e com construções modernas horizontais, tais como as zonas condominiais, há uma tendência muito menor à ocorrência de ilhas de calor, levando em conta fatores como albedo e tipo de material construtivo utilizado, o que Oke (2004) já apontava.

As áreas centrais, com sua miscelânea de construções e saturação de espaço, levam as construções a um patamar de concentração muito maior, associado à circulação e até permanência de trânsito nesses locais.

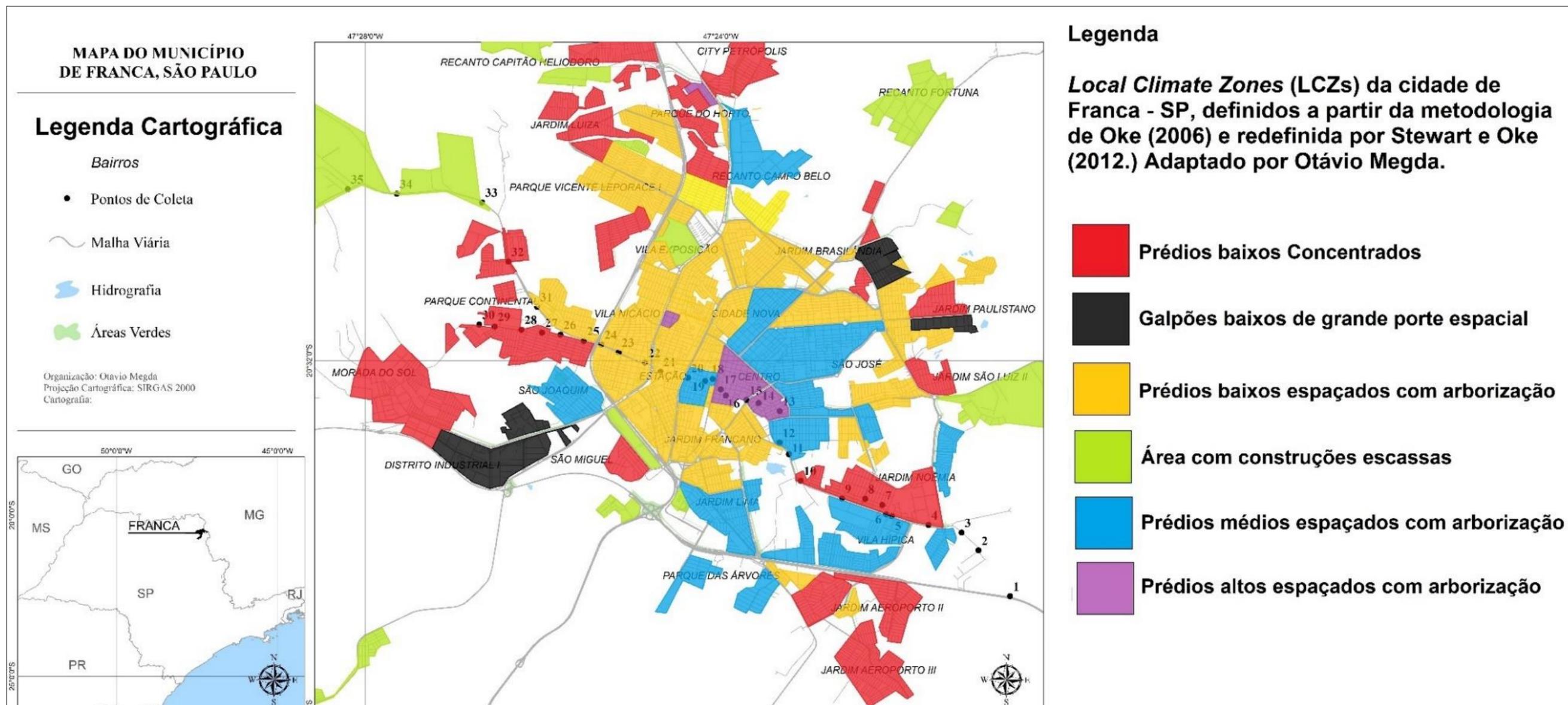
3.9 Classificação espacial

Diante dos dados levantados e analisados dentro da ocupação urbana da cidade de Franca, seguindo a ótica de classificação espacial de Stewart e Oke (2012), dentre as variáveis abordadas pelos autores, na composição desta pesquisa a classificação ZCLs foram determinantes na altura/largura (*height/width*) da superfície construída e altura média da rugosidade urbana.

Contudo, os valores do FVC foram agregados aos dados, compondo a **figura 27** - regiões com estruturas, composições de materiais, uso do espaço, cobertura de

superfície uniforme que se estendem por centenas de metros horizontalmente, com base nos dados distribuídos no **quadro 7**.

Figura 27- Zonas Climáticas Locais - ZCLs aplicadas a cidade de Franca (SP), a partir da metodologia de Stewart e Oke (2012).



Fonte: Elaborado Megda (2018).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS COLETAS DE DADOS MICROCLIMÁTICOS.

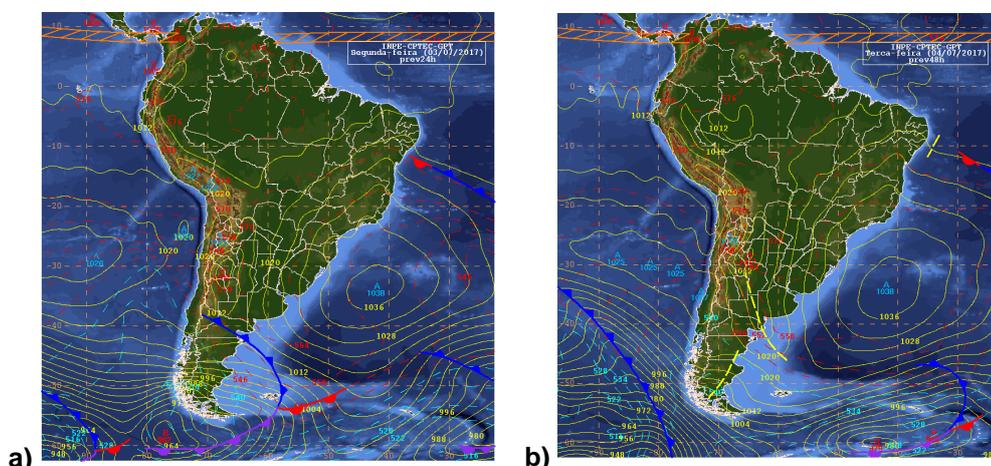
4.1 Análises das coletas do período de Inverno de 2017

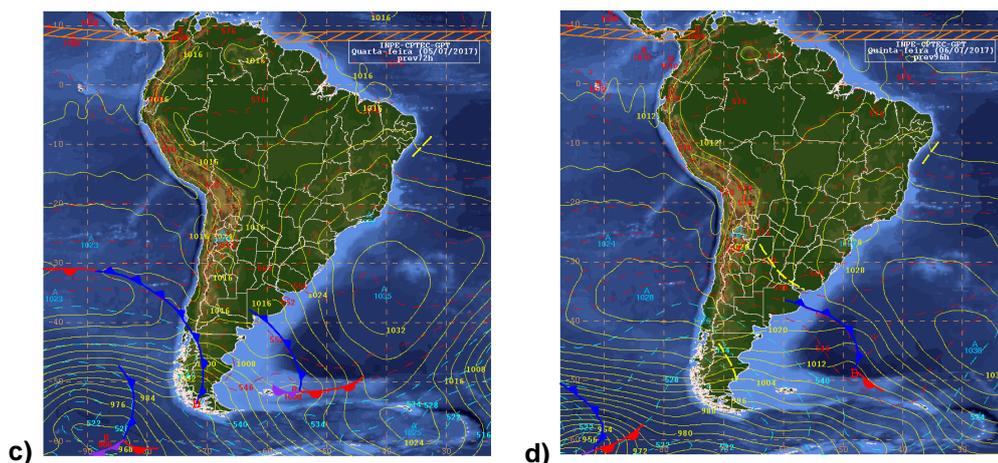
As medições de campo foram realizadas durante os dias 3, 4, 6 e 7 (4 dias) de julho de 2017. No dia 05/07 não foram realizadas medições, pois a cidade se encontrava em uma situação de inversão térmica no começo da noite, o que inviabilizou a coleta de campo com eficiência, uma vez que o trajeto de campo foi feito com um automóvel com o sensor acoplado. Com exceção do dia 05/07, as condições sinóticas mostraram-se favoráveis, sem interferência de nuvens, com ventos de 3 a 6km/h, 61% destes vindo da direção Sul para Norte.

A **figura 28** contém as cartas sinóticas do período, sendo A, B, C, e D correspondentes, respectivamente, aos dias 3, 4, 6 e 7 de julho de 2017.

O quadro sinótico deste período de inverno foi típico do hemisfério Sul tropical, com atuação direta e intensa de frentes frias, inversões térmicas e quadros de intensa amplitude térmica diária. Com base nas análises do boletim técnico do CPTEC (2017), o dia 03/07 mostra que uma frente fria ganhou força no cavado da Patagônia e se deslocou pelo litoral da BA, provocando chuvas isoladas.

Figura 28 - Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 03, 04, 06 e 07 de julho de 2017.





Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Acessado em: 18/07/2017. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Organização dos dados: Megda (2017).

Ainda, para CPTEC (2017), a massa de ar frio na retaguarda da frente fria, com centro sobre o Oceano Atlântico Sul, transportou umidade e nebulosidade, gerando chuvas isoladas principalmente entre o Rio de Janeiro (RJ) e o Espírito Santo (ES), e esse quadro se estendeu até a terça-feira (04/07).

Na sucessão das atuações sinóticas, de acordo com o CPTEC (2017), houve declínio de temperatura entre SP, RJ, centro-sul e leste de MG e ES e se mantiveram baixas as temperaturas sobre a região sul nos dias seguintes. Na região nordeste de SP ocorreu quadro de grande oscilação térmica no dia, motivado pela instabilidade desse sistema. Vale ressaltar que a queda acentuada de temperatura, principalmente das temperaturas mínimas, provocou formação de geada, estendendo-se até a quarta-feira (05/07), em áreas da região sul e na Serra da Mantiqueira, no sudeste. O avanço da frente fria, bem como a circulação anticiclônica dominante se manteve até a sexta (07/07).

Após a análise sinótica, a **tabela 3** apresenta as variações de ICU nos 35 pontos ao nível do pedestre a partir de situações típicas de inverno tropical, marcadas pela presença de frentes e baixa umidade do ar. As coletas de informações sobre a temperatura do ar ao nível do pedestre apontam claramente a formação de ICU no inverno, sobretudo nas áreas mais adensadas da cidade, mesmo com a atividade de uma frente fria se dissipando no estado. As amplitudes térmicas durante os dias superaram os 11°C, tendo seu maior registro na quinta (06/07), com 11,7°C.

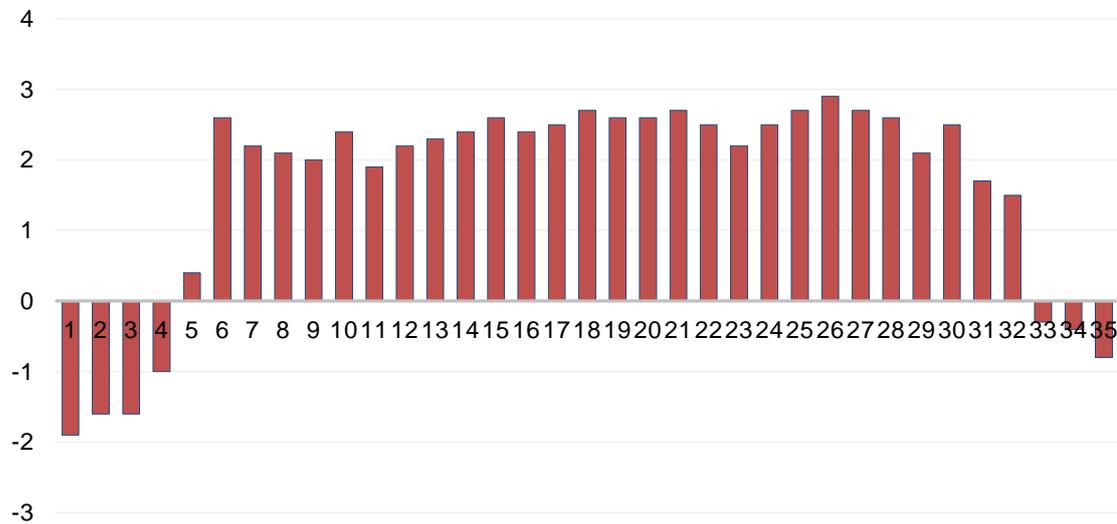
Tabela 3 - Temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no inverno de 2017.

Ponto	ZCL	Horário	Varição de temperatura rural → urbana Nível pedestre (°C)
P1	9	16h02min.	-1,9
P2	9	16h04min.	-1,6
P3	9	16h07min.	-1,6
P4	9	16h09min.	-1,0
P5	9	16h11min.	0,4
P6	9	16h13min.	2,6
P7	3	16h16min.	2,2
P8	6	16h19min.	2,1
P9	3	16h22min.	2,0
P10	6	16h24min.	2,4
P11	6	16h25min.	1,9
P12	6	16h26min.	2,2
P13	6	16h28min.	2,3
P14	5	16h29min.	2,4
P15	5	16h30min.	2,6
P16	5	16h32min.	2,4
P17	5	16h33min.	2,5
P18	4	16h35min.	2,7
P19	4	16h36min.	2,6
P20	4	16h38min.	2,6
P21	4	16h40min.	2,7
P22	4	16h41min.	2,5
P23	6	16h42min.	2,2
P24	6	16h42min.	2,5
P25	6	16h43min.	2,7
P26	6	16h45min.	2,9
P27	6	16h47min.	2,7
P28	6	16h48min.	2,6
P29	6	16h50min.	2,1
P30	6	16h51min.	2,5
P31	6	16h51min.	1,7
P32	6	16h53min.	1,5
P33	9	16h54min.	-0,3
P34	9	16h56min.	-0,4
P35	9	16h58min.	-0,8

Fonte: Coleta e organização dos dados por Megda (2017).

Comparando com dados térmicos, alguns pontos mostraram destaques fora do padrão observado nos campos de coleta de janeiro de 2017. A **figura 29** apresenta graficamente o comparativo entre a ocorrência das ICUs nos 35 pontos, entre as 16h00min e 17h00min.

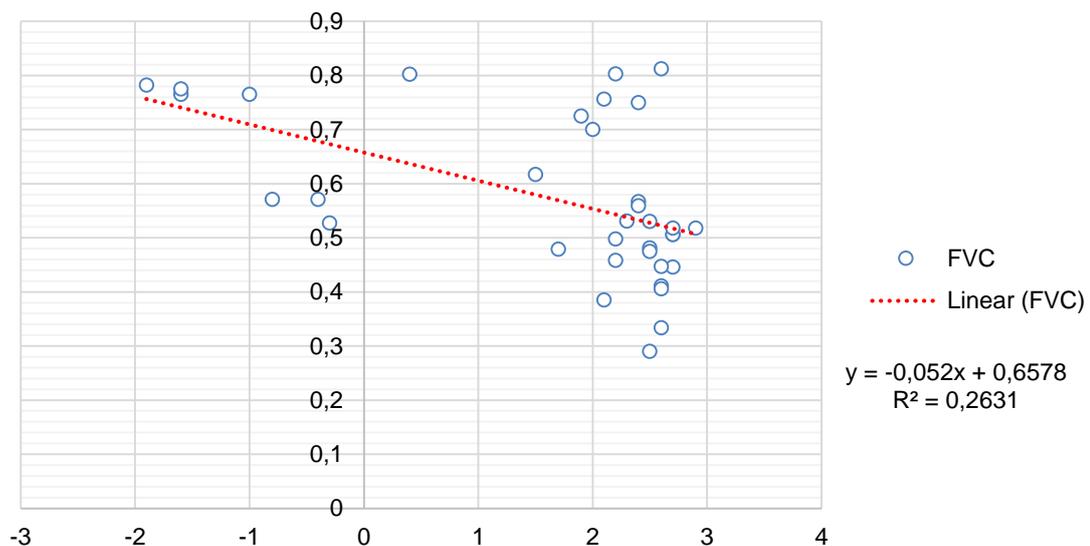
Figura 29 -Variação da temperatura rural → urbana das ICUs ao nível do pedestre.



Fonte: Elaborado por Megda (2017).

Na **figura 30**, a relação da variação da temperatura das ICUs comparada com o FVC a nível do pedestre, observa-se a correlação com valor do r^2 de 0,263. As maiores variações térmicas estão entre os pontos 17 a 20 (com o ponto 17 disposto na ZCL 5 e os pontos 19, 20 e 21 na ZCL 4).

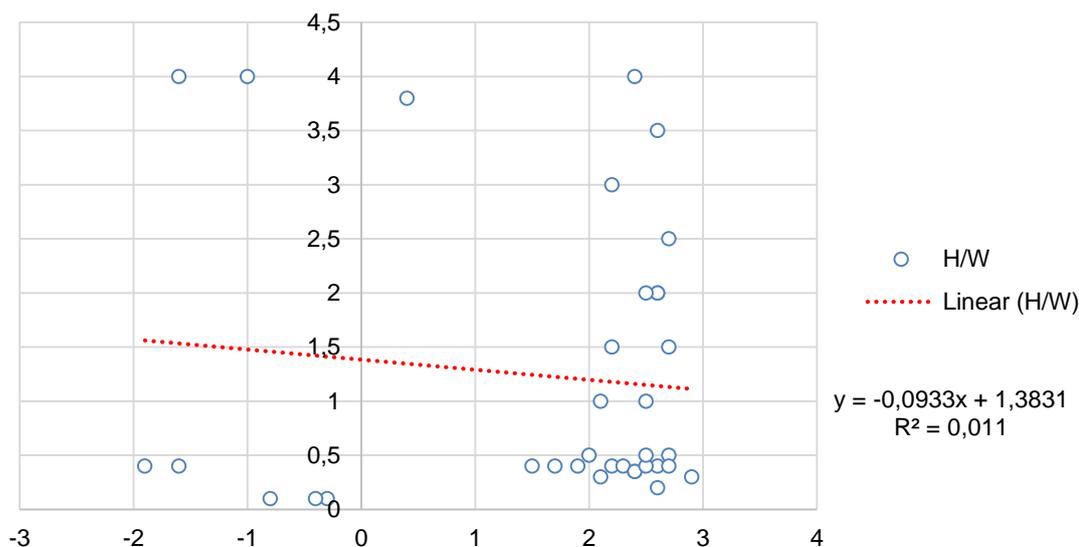
Figura 30- Correlação linear entre variação de temperatura da ICU X FVC a nível do pedestre.



Fonte: Elaborado por Megda (2017).

A **figura 31** evidencia a relação entre a variação da temperatura da ICU com a relação H/W no nível do pedestre, onde se pode constatar uma baixa correlação entre os valores de r^2 (0,011).

Figura 31- Correlação linear entre variação da temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre.



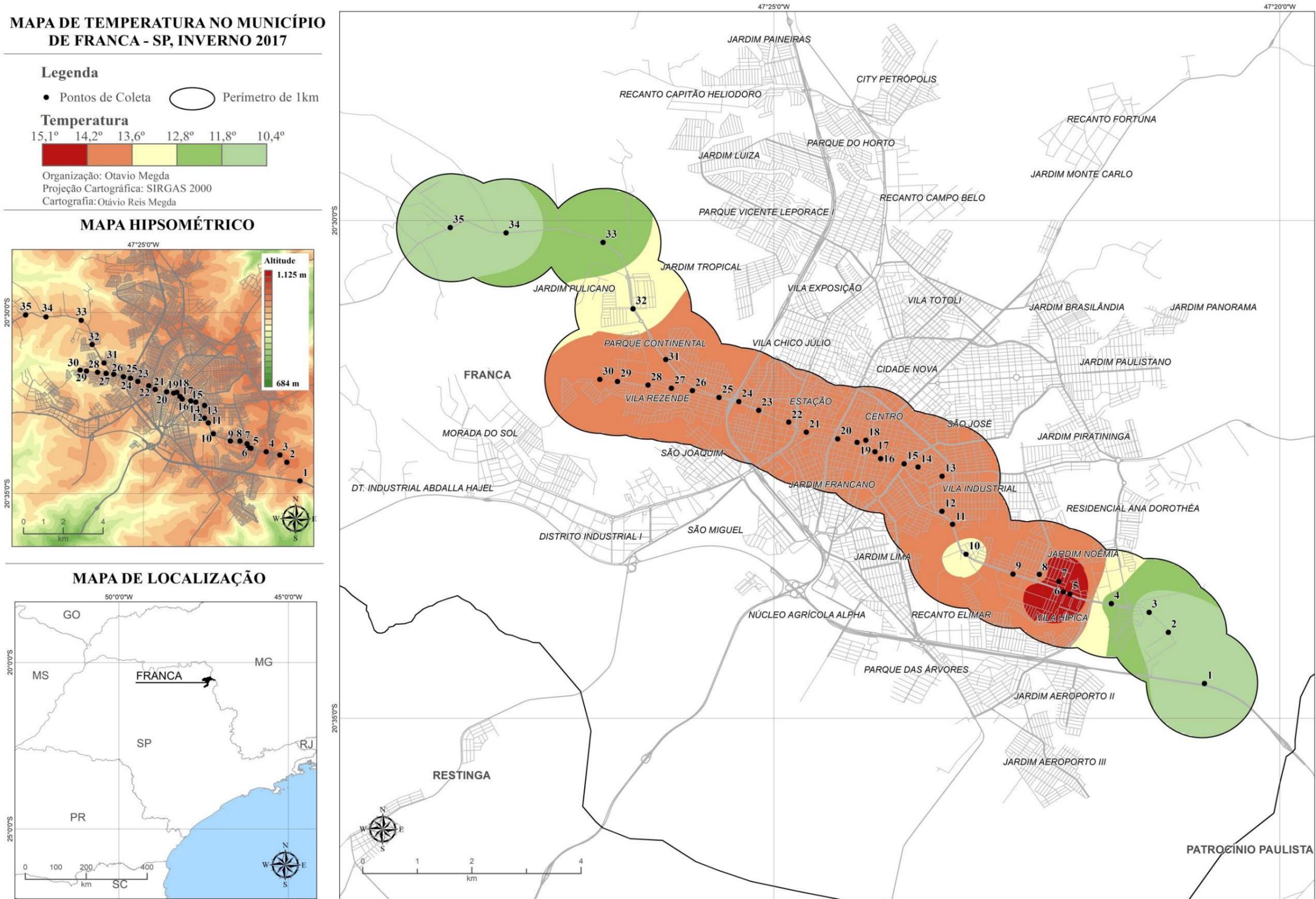
Fonte: Elaborado por Megda (2017).

Ainda, o enquadramento da maior temperatura obtida ficou com o ponto 23 (centro da cidade), com $21,4^{\circ}\text{C}$, registrado apenas nesse dia um valor térmico isolado, sobretudo pelo período estacional do inverno.

Os valores que se seguem para o centro da cidade, com maior número de prédios e área construída, se mantiveram praticamente em 14°C . A **figura 32** apresenta os dados do campo do período analisado.

As médias evidenciaram uma situação atípica na porção sudeste da cidade. Os pontos destacados destoam dos outros, provavelmente, pelo quadro de ventilação diurna. Foi registrado entre as áreas dos pontos 5 a 8, com ventos predominantes de Sudoeste para Nordeste, com no máximo de $3,3 \text{ km/h}$ registrados. Essa posição de vento, com explicação no quadro sinótico, mostra que a ventilação na área foi barrada pelo relevo mais acentuado e pela maior densidade de construções, fazendo com que houvesse uma concentração de calor nesses pontos.

Figura 32 - Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2017 com transecto móvel.



Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2017).

A ZCL9 – pontos 5, 6 e 7 – apresenta, de maneira geral, alta especulação imobiliária e relevo mais irregular, assim, a **figura 33** mostra os valores de FVC, 0,802, 0,812 e 0,803, respectivamente, bem como também as porcentagens de *limitation horizons*, de 19,8%, 18,8% e 19,7%. Em geral, são áreas com melhor qualidade de arborização, circulação de ventos e, ainda, com diversos terrenos baldios.

Figura 33- Imagens representando respectivamente os pontos 5, 6 e 7, com fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC; fotografias ao nível do pedestre, tiradas do centro da rua e imagem aérea com a representação da área construída. A última imagem da sequência mostra a representação da ZCL 9, de Stewart e Oke (2012).



Fonte: organização e tratamento dos dados por Megda (2017).

4.2 Análises das coletas do período de verão de 2018

As coletas de dados de campo realizadas no verão de 2018 foram realizadas entre os dias 14 e 23 de janeiro de 2018, totalizando 9 dias, com levantamento prévio das condições sinóticas.

O quadro sinótico deste período, em geral, mostrou-se bem comum como um verão do hemisfério sul, com uma ZCIT bem atuante, cavados direcionando as frentes frias para o Atlântico e fomentando os ventos alísios, sobretudo na porção sudeste do Brasil, ou seja, chuva litorânea e garoa na capital paulista. Em alguns dias, pôde-se perceber a instabilidade desta vindo em direção ao interior, mas não se observou força para extensão.

A **figura 34** contém as cartas sinóticas do período, sendo A, B, C, D, E, F, G, H, I e J, correspondendo respectivamente aos dias 14 a 23 de janeiro de 2018.

Diante das análises do boletim técnico do CPTEC (2018), o padrão atmosférico em altitude, com a presença da Alta da Bolívia e do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste, manteve decorrência no escoamento dos ventos, gerando divergência de massa em altitude, e induziu à convergência em baixos níveis, que conseqüentemente, favoreceu a convecção.

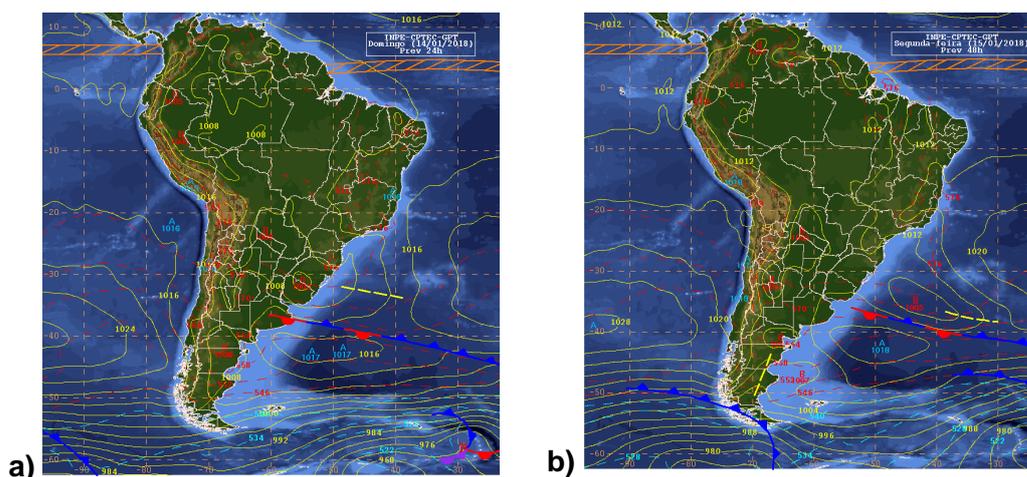
Ainda, dentro das análises do CPTEC (2018), a presença do anticiclone centrado sobre MG (quinta-feira – 18/01), contribuiu para dificultar o desenvolvimento de nebulosidade convectiva, principalmente sobre o setor norte do sudeste e sul da BA. O cavado, visto em nível médio na análise, manteve-se em um canal de umidade em parte do centro-sul do Brasil, principalmente entre o MS, PR, SP e RJ, com lento deslocamento para nordeste. A atuação deste cavado persistiu pelo menos até o domingo (dia 21/01). Este cenário explica as condições de altas temperaturas mantidas no período analisado.

O outro cavado, de acordo com o CPTEC (2018), também visto nesta análise entre a Bolívia e o Paraguai, se aproximou do centro-sul do Brasil, alinhando a convergência de umidade para boa parte da região sul do Brasil, intensificando gradativamente durante esses dias, principalmente no domingo (21/01) e na segunda-feira (22/01). Os modelos indicaram grandes volumes de

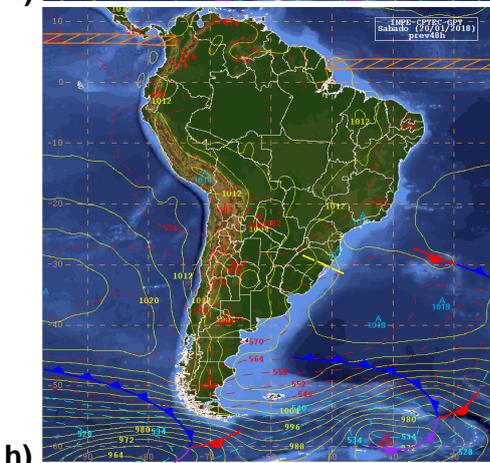
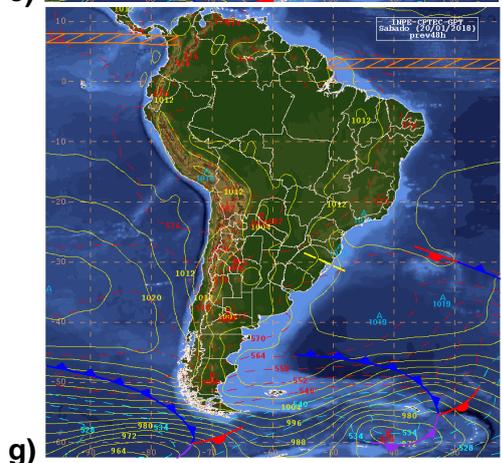
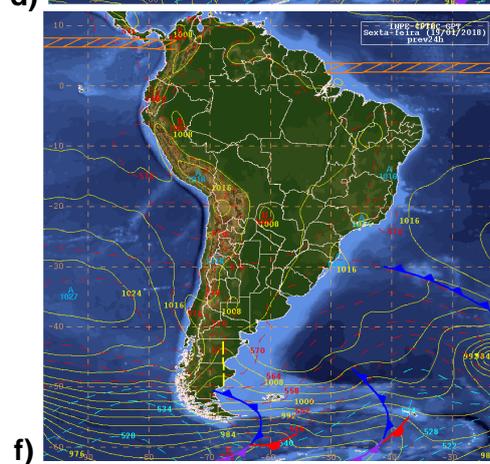
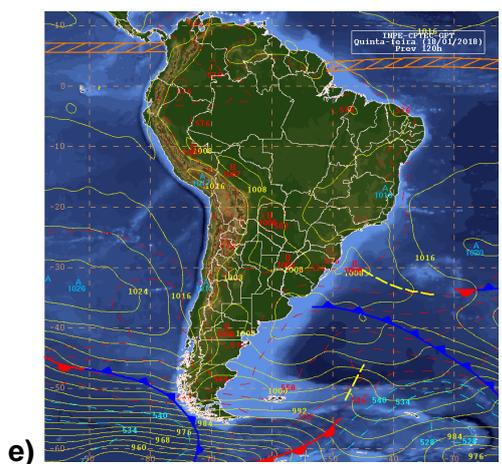
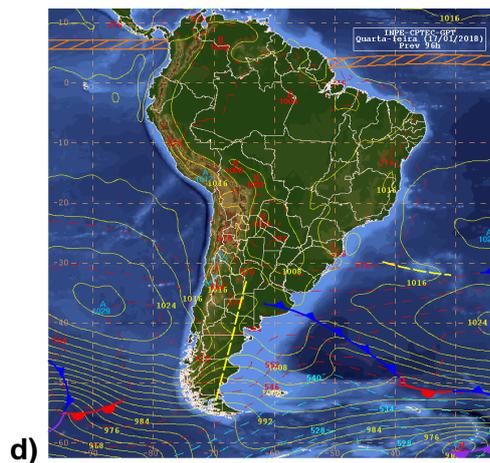
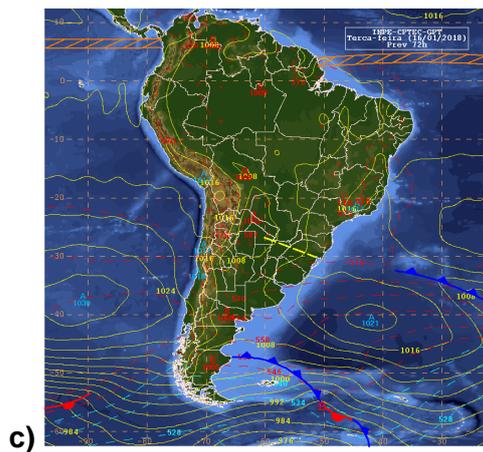
chuva para boa parte da região sul. A atuação deste cavado refletiu na área de circulação ciclônica em baixos níveis sobre toda a porção sul, além de um centro de baixa pressão não-frontal, porém muito significativo, o que reforçará a convergência e conseqüentemente a instabilidade. Desta forma, houve dois canais de umidade, um em direção ao Sudeste, porém com aberturas de sol, e outro na região sul do Brasil. Nos dias subsequentes, este cavado em níveis médios se deslocou para nordeste e incrementou a instabilidade para parte do sudeste do Brasil, MS, PR e parte de SC, principalmente na terça-feira, dia 23/01.

Nessa vertente, ainda de acordo com o CPTEC (2018), houve instabilidade em todo o centro-sul do Brasil. Este deslocamento da baixa pressão em direção ao Sudeste, já na terça-feira (23/01), tomou características frontais, porém com atuação apenas no oceano e de fraca intensidade. Na quarta-feira (24/01), outro cavado atuou em parte do centro-sul do Brasil e favoreceu novamente áreas de instabilidade, favorecidas também pelo escoamento em altitude difluente e pelo escoamento confluyente em baixos níveis.

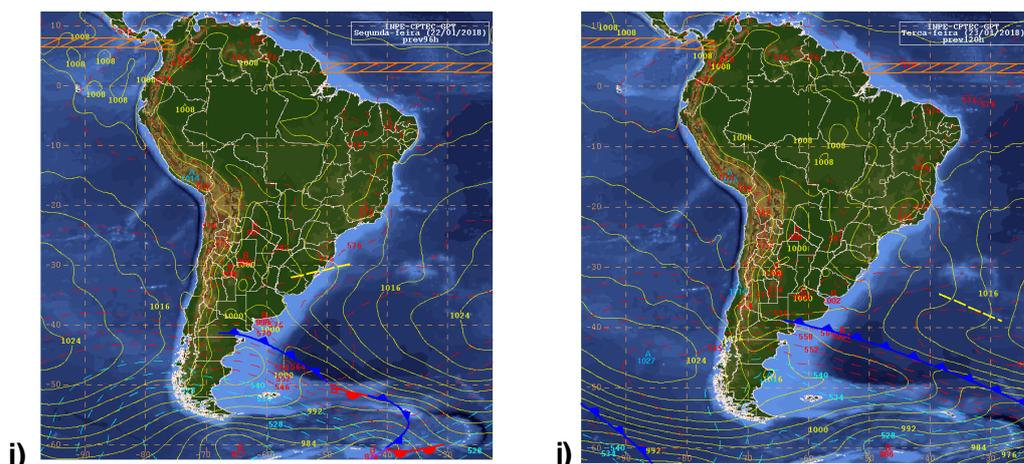
Figura 34- Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 14 a 23 de janeiro de 2018.



IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA METODOLÓGICA ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – ZCLs.



IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA METODOLÓGICA ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – ZCLs.



Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC): do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Acessado em: 25/01/2018. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Organização dos dados: Megda (2018).

Os resultados obtidos das temperaturas ao nível do pedestre (solo) estão expostos na **tabela 4**. As coletas nesse nível evidenciaram a formação nítida de pontos com uma elevada amplitude térmica, tal como pode ser observado na quarta-feira, dia 17/01, com uma amplitude de 12,1°C em apenas 1 hora campo, com uma das maiores máximas da estação coletada (31,3°C).

Tabela 4 - Variação das temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no verão de 2018.

Ponto	ZCL	Horário	Variação da temperatura rural → urbana Nível pedestre (°C)
P1	9	16h02min.	-0,2
P2	9	16h04min.	-0,4
P3	9	16h07min.	-0,7
P4	9	16h09min.	1,0
P5	9	16h11min.	1,8
P6	9	16h13min.	2,2
P7	3	16h16min.	2,6
P8	6	16h19min.	2,7
P9	3	16h22min.	3,3
P10	6	16h24min.	3,7
P11	6	16h25min.	4,1
P12	6	16h26min.	4,8
P13	6	16h28min.	5,1
P14	5	16h29min.	5,1
P15	5	16h30min.	6,0
P16	5	16h32min.	6,1
P17	5	16h33min.	6,1
P18	4	16h35min.	6,7
P19	4	16h36min.	7,1
P20	4	16h38min.	6,8
P21	4	16h40min.	7,1

P22	4	16h41min.	7,9
P23	6	16h42min.	7,8
P24	6	16h42min.	6,7
P25	6	16h43min.	6,1
P26	6	16h45min.	5,4
P27	6	16h47min.	5,7
P28	6	16h48min.	4,1
P29	6	16h50min.	2,8
P30	6	16h51min.	1,5
P31	6	16h51min.	-1,1
P32	6	16h53min.	-1,3
P33	9	16h54min.	-1,5
P34	9	16h56min.	-1,7
P35	9	16h58min.	-2,2

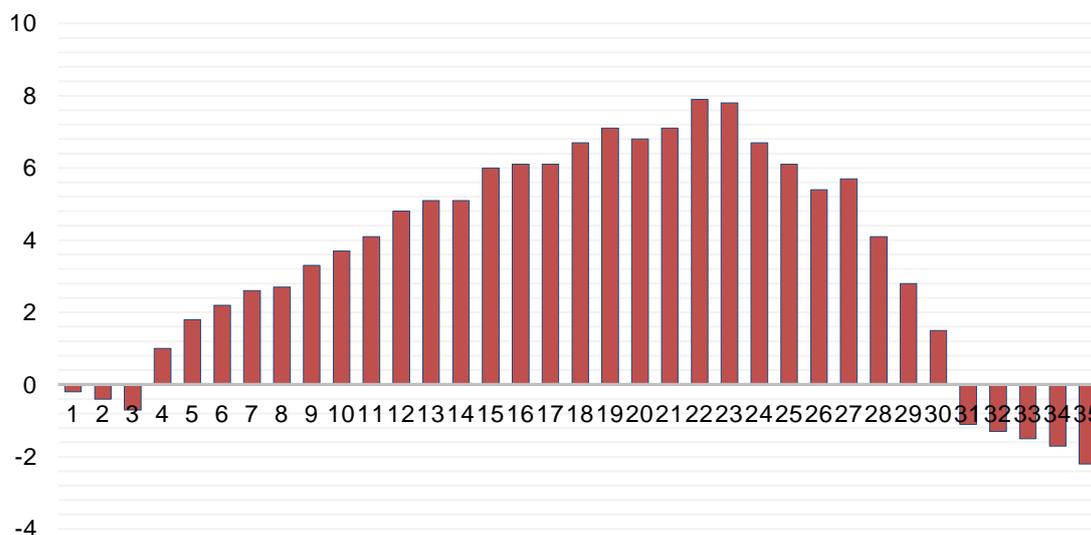
Fonte: Organização dos dados por Megda (2018).

Em relação aos valores dos pontos coletados, houve, nesse período de coleta em campo, valores de pontos que se destacaram. Os pontos que foram distribuídos na região central da cidade (pontos 22 e 23) chegaram a registrar 31,7°C no dia 19/01 – sexta-feira – evidenciando nesses pontos uma abóboda de ICU.

Contudo, os dados de chuva dos dias 16, 17, 18 e 23/01 foram registrados apenas na região da estação automática do INMET, com um maior afastamento da área urbana. Ainda, o maior enquadramento da temperatura entre os dias foi evidenciado com o ponto 23 (centro da cidade), com 21,4°C, registrado apenas nesse dia, um valor de temperatura isolado.

A **figura 35** mostra a diferença de temperatura do ar entre os pontos mensurados em comparação com a estação fixa do INMET – A-708, obtida de acordo com o INMET (2018), instalada na zona rural da cidade de Franca, ao nível do pedestre, a qual expressa a variação entre a temperatura do ar no ambiente rural e urbano.

Figura 35: Variação da temperatura rural → urbano das ICUs a nível do pedestre.

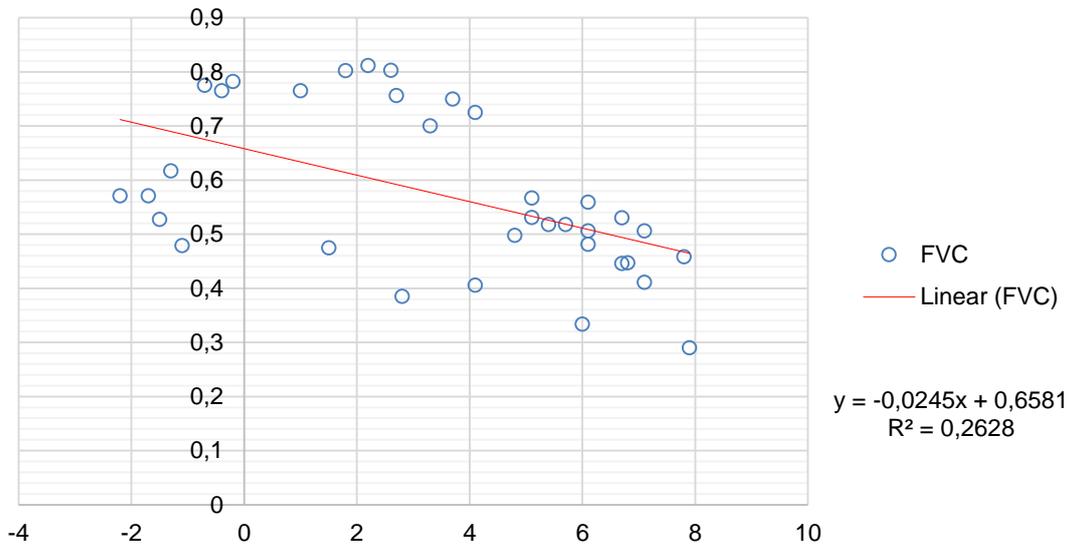


Fonte: Elaborado por Megda (2018).

As **figuras 36 e 37** apresentam a correlação linear entre a variação de ICU e o FVC e ICU e H/W dos 35 pontos avaliados na área urbana ao nível do pedestre.

A **figura 36** mostra a variação da temperatura da ICU e sua relação com o FVC a nível do pedestre na estação analisada. Pode-se observar, diante das análises, que a correlação foi de $r^2=0,2628$. As maiores variações térmicas estiveram dentro da ZCL6, com os pontos 22 e 23.

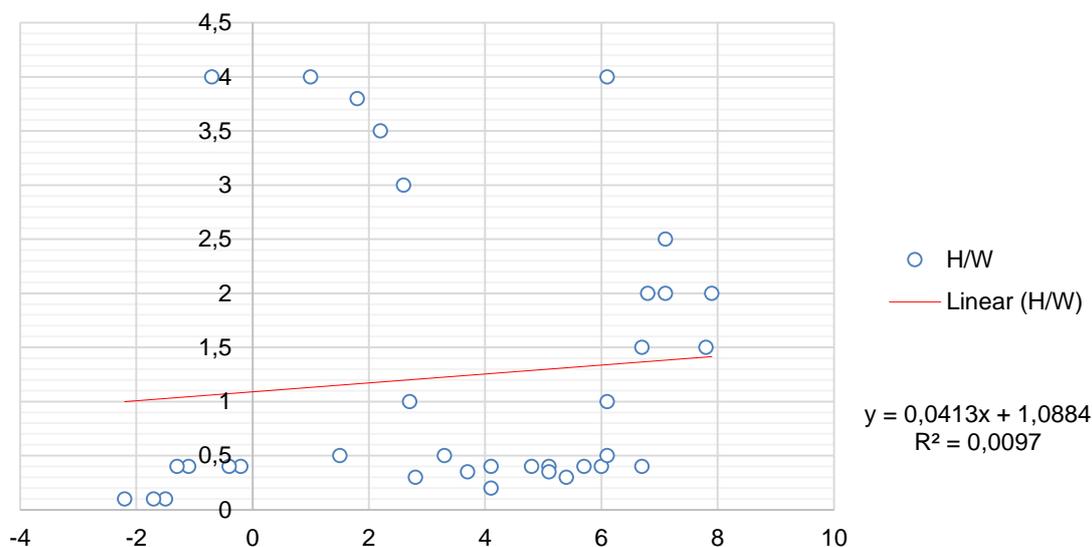
Figura 36: Correlação linear entre variação de temperatura da ICU X FVC nível do pedestre.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

A **figura 37** mostra a relação da variação de temperatura da ICU comparada com o H/W no nível do pedestre, com uma baixa correlação de $r^2=0,0097$, ou seja, não se pode constatar, nesse parâmetro utilizado, uma correlação pertinente.

Figura 37: Correlação linear entre variação de temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre.



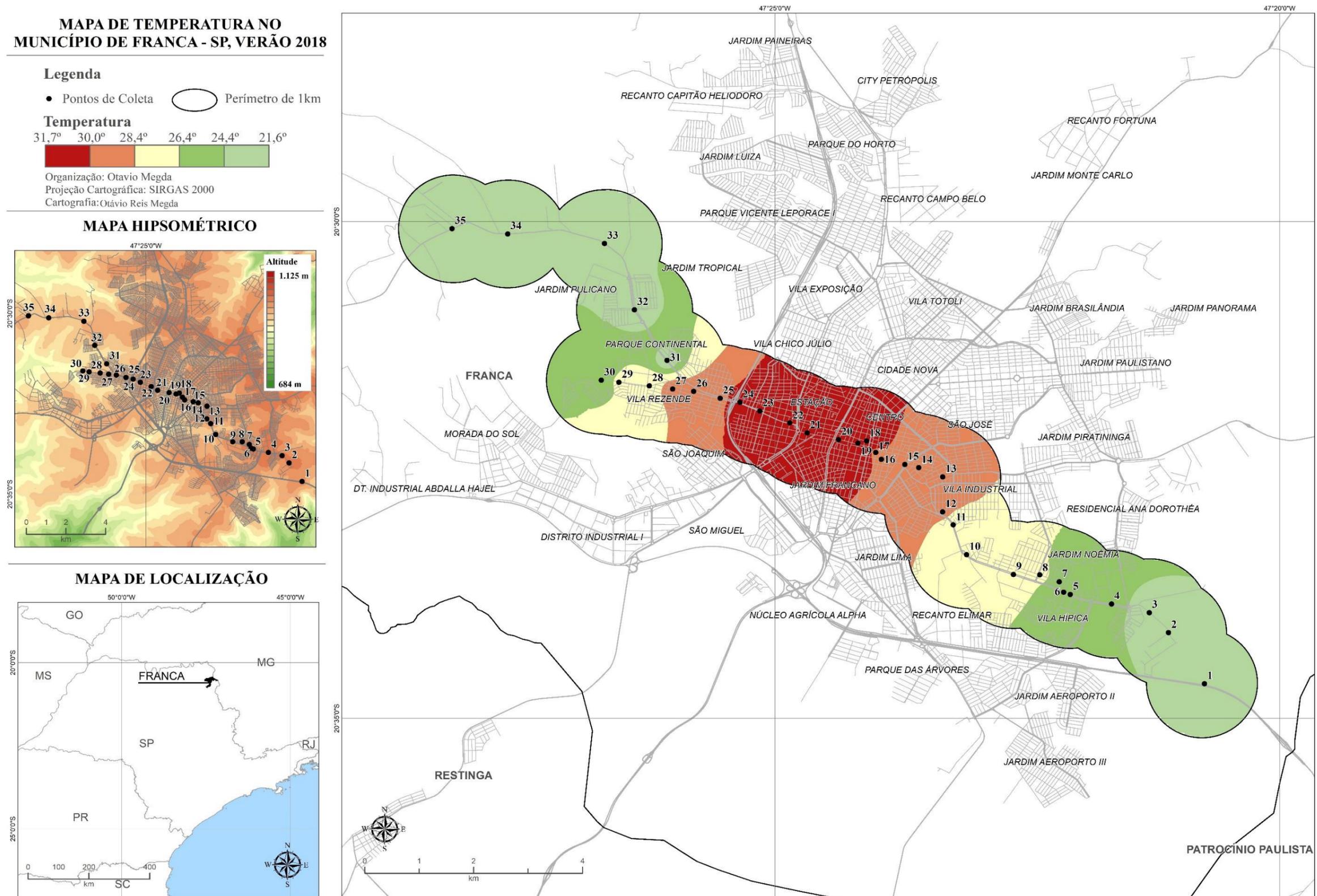
Fonte: Elaborado por Megda (2018).

Nos dias 16 e 17/01 (terça e quarta feira), somadas, as precipitações chegaram a quase 50 mm, distribuídas em pouco mais de 1 hora, ou seja, um claro resultado da convecção do ar, produzindo chuva concentrada. Ressalta-se aqui que as precipitações ocorreram em períodos de madrugada, na maioria das vezes, ou fora dos horários das coletas.

Contudo, os dados de chuva dos dias 16, 17, 18 e 23/01 foram registrados apenas na região da estação automática do INMET, com um maior afastamento da área de captação dos dados.

Na **figura 38** no dia 23/01 (terça-feira), último dia dos campos de coleta, as temperaturas chegaram à máxima de 29,6°C, no ponto 16, com uma amplitude com o ponto 34 (de maior frescor), de quase 11°C.

Figura 38- Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro de 2018 com transecto móvel.



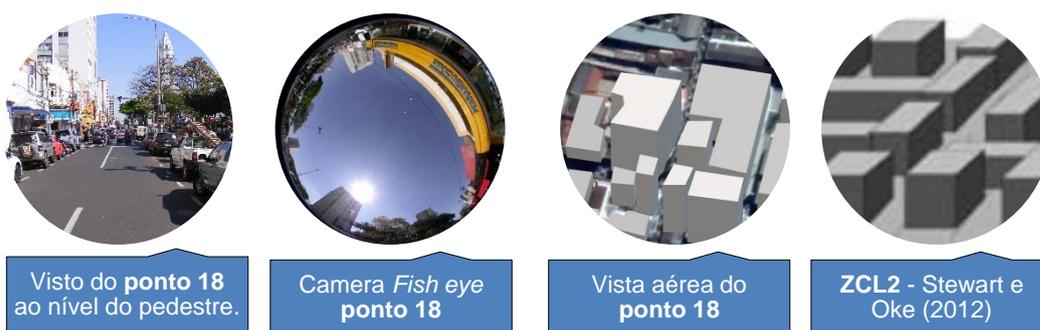
Essa situação corroborou para que houvesse um episódio de enchente no período da madrugada no entroncamento do córrego do Cubatão com o Espraiado, deixando as vias alagadas por mais de 2 horas e causando transtorno na região. Pouco antes deste evento que culminou em chuva, os pontos 18 ao 24 se destacaram com as altas temperaturas.

Nas **figuras 39 e 40**, podemos observar que os pontos 18 e 24 se enquadram igualmente na ZCL 2 – prédios médios concentrados – e por isso a concentração de calor se destaca nos referidos pontos. Em pouco mais de 0,8 km² (pontos entre 18 e 22), as temperaturas do ar se mantiveram próximas, com 0,5°C de diferença neste entorno, tendo, em dias como 17 e 18/01, temperaturas máximas acima dos 30°C.

Na análise destes dois pontos, que mais chamam atenção nessa série, foi demarcado um FVC de 0,45 para o ponto 18 e 0,53 para o ponto 24. A porcentagem da *limitation horizon* foi de 55,4% e 44%, respectivamente.

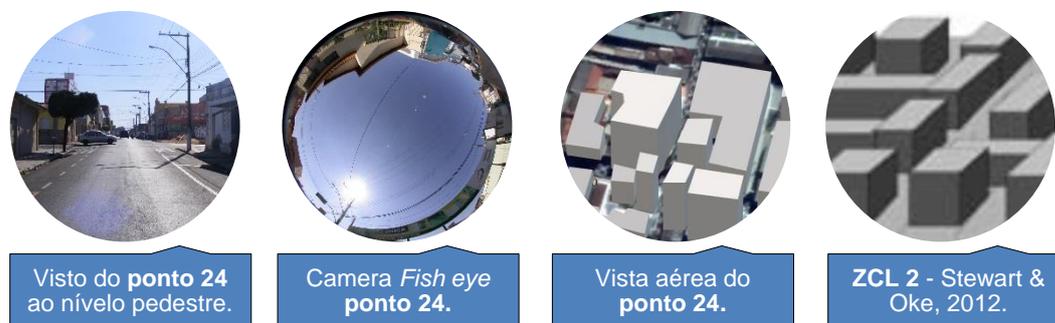
Do ponto 24 ao ponto 30, em uma distância de pouco mais de 280 metros, foi registrada uma amplitude de 10,7°C. A mudança de padrão construtivo e uso do solo foram fundamentais para tal ocorrência.

Figura 39- Imagens representando respectivamente o ponto 18 ao nível do solo com fotografia do centro da rua; fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC e imagem aérea com a representação da área construída.



Fonte: Organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

Figura 40- Imagens representando respectivamente o ponto 24 ao nível do solo com fotografia do centro da rua; fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC e imagem aérea com a representação da área construída.



Fonte: organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

4.3 Análises das coletas do período de inverno de 2018

As coletas de inverno de 2018 foram realizadas nos dias 3, 4, 5 e 6 de julho (4 dias), diante de condições sinóticas que se demonstraram favoráveis, como baixa quantidade de nuvens, vento médio de 2 a 6 km/h, 72% destes vindo da direção sudeste para noroeste. O quadro sinótico ao longo dos dias pesquisados nesse período foi quase que totalmente estável.

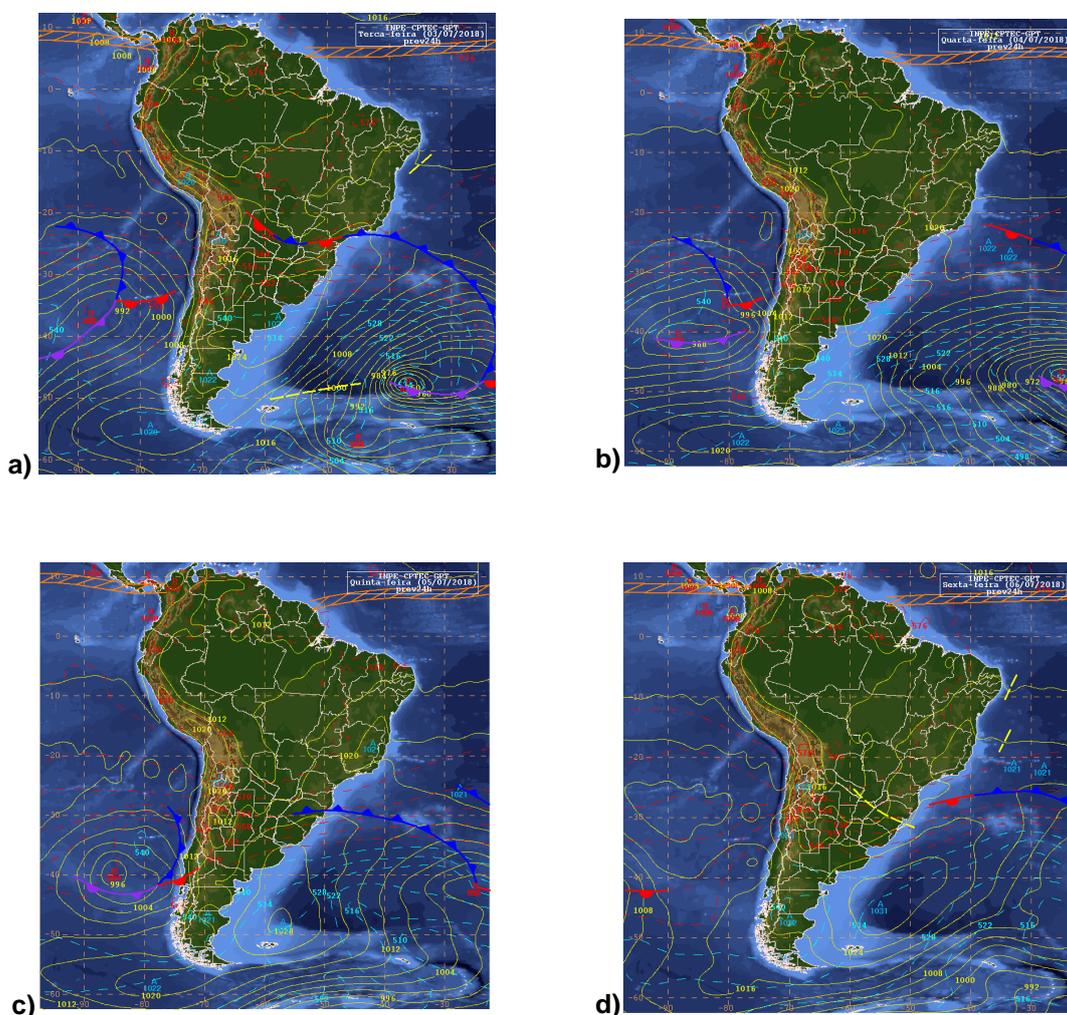
A **figura 41** contém as cartas sinóticas do período, sendo A, B, C, e D correspondentes, respectivamente, aos dias 3, 4, 5 e 6 de julho.

Com base nas análises do boletim técnico do CPTEC (2018), observou-se na terça-feira (dia 03/07) a atuação de um sistema frontal sobre o leste de São Paulo e o Oceano Atlântico adjacente. Este sistema não corroborou para nenhuma das análises mensuradas no dia, porém a pouca circulação de vento pôde ser vista nas análises. Sem interferência na área pesquisada, a ZCIT atuou em todos os dias na região do Atlântico até o Pacífico, produzindo chuvas na porção Equatorial.

Ainda, segundo o CPTEC (2018), na quarta-feira (04/07), a região sudeste não tem nenhuma atuação relevante de sistemas atmosféricos. Pouca circulação de ventos com predomínio do Sudeste atingiu o Estado de São Paulo. Já na quinta-feira (05/07), uma frente fria vindo do cavado patagônico avançou para os litorais do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Dessa atuação, houve a produção de sistemas frontais perto do litoral do Paraná, mas

sem impacto de chuva, porém, em decorrência destes, foi observada uma maior ventilação, alterando a área de Franca (SP), de um quadro de 1,7 km para 13 km/h, porém sem impactos nos estudos urbanos. Por fim, na sexta-feira (dia 06/07), o continente Sul Americano se mostrou bem estável atmosféricamente. Um sistema polarizado se dissipou no Atlântico, na altura do Trópico de Capricórnio, mas no continente nenhum sistema relevante. Ventos de até 0,9 km/h foram detectados e, assim como nos outros dias, não houve precipitações na cidade de Franca (SP).

Figura 41- Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 03 e 06 de julho de 2018.



Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Acessado em: 11/07/2018. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Organização dos dados: Megda (2018).

Os resultados das medições, expressos pelas diferenças das temperaturas do ar a partir da estação meteorológica do INMET, destacada a variação das temperaturas da área rural para a urbana (ao nível do pedestre, a 30, a 60 e a 75 metros de altura), calculados pelas médias dos 4 dias de coletas, nas respectivas alturas de cada ponto, estão expostos na **tabela 5**.

Tabela 5 - Variação das temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no inverno de 2018.

Pontos	ZCL	Horário	Variação das temperaturas rural → urbano Nível pedestre (°C)	Variação das temperaturas rural → urbana 30m (°C)	Variação das temperaturas rural → urbana 60m (°C)	Variação das temperaturas rural → urbano. 75m (°C)
P1	9	16h02min.	1,27	-0,83	-2,93	-4,33
P2	9	16h04min.	1,77	-0,73	-3,03	-3,93
P3	9	16h07min.	1,87	-0,13	-3,13	-3,93
P4	9	16h09min.	3,37	2,37	-1,63	-3,03
P5	9	16h11min.	5,77	3,07	-1,93	-2,63
P6	9	16h13min.	6,47	5,07	-1,63	-2,93
P7	3	16h16min.	6,27	2,87	0,07	-3,03
P8	6	16h19min.	6,47	4,97	2,07	-2,33
P9	3	16h22min.	6,37	1,07	-0,63	-4,13
P10	6	16h24min.	6,77	1,07	-0,93	-4,03
P11	6	16h25min.	6,67	1,67	-1,03	-3,03
P12	6	16h26min.	6,87	4,87	-1,93	-3,13
P13	6	16h28min.	6,77	4,97	-2,03	-4,13
P14	5	16h29min.	6,97	5,07	-2,63	-4,93
P15	5	16h30min.	7,07	4,97	-1,63	-5,03
P16	5	16h32min.	7,27	5,07	-1,93	-4,93
P17	5	16h33min.	7,37	5,47	-0,33	-2,93
P18	4	16h35min.	7,37	5,67	-0,53	-2,63
P19	4	16h36min.	7,47	5,07	-0,03	-2,23
P20	4	16h38min.	7,47	6,07	-0,93	-2,73
P21	4	16h40min.	7,47	5,97	-0,63	-2,73
P22	4	16h41min.	7,67	5,57	-0,93	-2,63
P23	6	16h42min.	7,07	5,37	-2,03	-3,13
P24	6	16h42min.	7,17	2,97	-1,63	-3,13
P25	6	16h43min.	7,27	2,97	-1,53	-3,33
P26	6	16h45min.	7,17	3,37	-0,93	-2,73
P27	6	16h47min.	6,87	3,57	-1,23	-2,93
P28	6	16h48min.	6,87	4,07	-1,63	-2,63
P29	6	16h50min.	6,47	2,67	-2,93	-2,93
P30	6	16h51min.	6,27	2,37	0,07	-3,23
P31	6	16h51min.	4,67	1,07	-0,93	-3,63
P32	6	16h53min.	4,07	-0,73	-2,33	-4,13
P33	9	16h54min.	3,17	-0,93	-3,73	-4,53
P34	9	16h56min.	3,47	-0,83	-3,93	-5,13
P35	9	16h58min.	2,37	-0,63	-4,13	-5,73

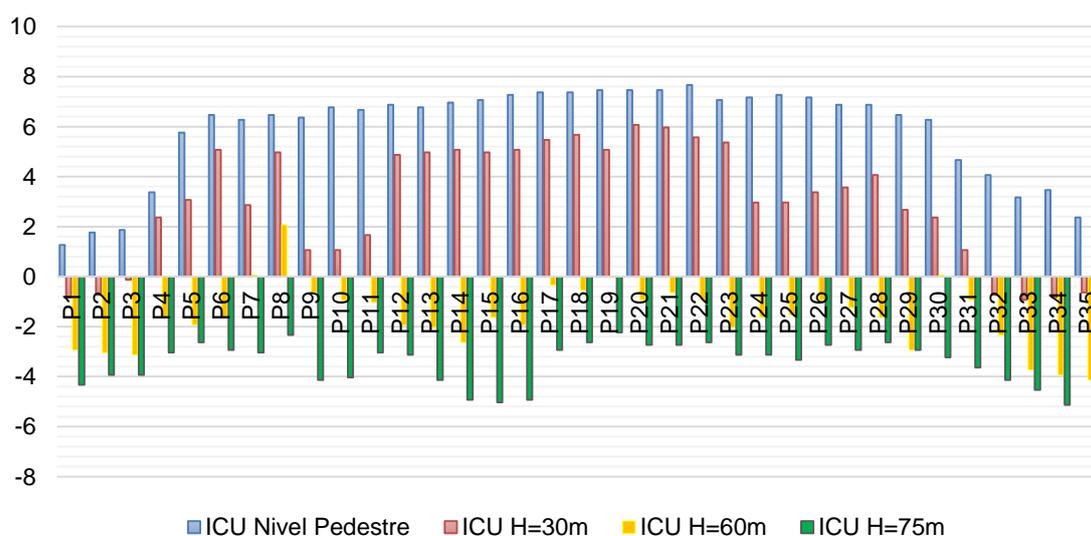
Fonte: Organização dos dados por Megda (2018).

As coletas dos dados ao nível do pedestre deixaram claro a formação de pontos com temperaturas mais elevadas na camada intraurbana, sendo que as amplitudes térmicas entre os diversos pontos apresentaram valores acima de 6°C, com exceção das áreas periféricas, as quais se caracterizam por ser ambientes de transição entre áreas urbanas e rurais e possuir menor densidade construída.

O ponto 22 é caracterizado pela predominância de edifícios de até 20 pavimentos, que resultam um FVC de 0,290 com muitas superfícies de concreto, asfalto, coberturas metálicas e é classificado como ZCL4. Diante dos valores nos pontos coletados, do ponto 5 até o 3, houve uma pequena oscilação de ICU. A **figura 42** mostra a diferença de temperatura do ar entre os pontos mensurados em comparação com a estação fixa do INMET – A-708, obtida de acordo com o INMET (2018), instalada na zona rural da cidade de Franca, ao nível do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura, a qual expressa a variação entre a temperatura do ar no ambiente rural e urbano.

Os pontos da região central (pontos 17 ao 22) representam as maiores ICUs, consequentemente, indicam mais elevadas temperaturas do ar ao nível do pedestre.

Figura 42– Variação de temperatura rural → urbana das ICUs aos níveis do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

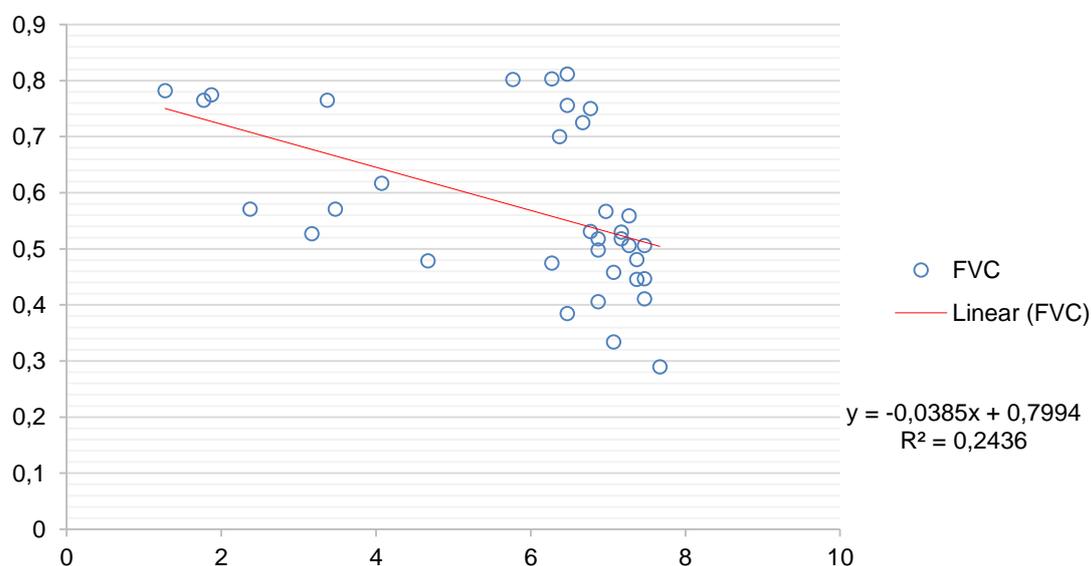
Observa-se também que as temperaturas do ar acima da camada limite urbana, em geral, são inferiores à temperatura de referência registrada próxima à superfície da área rural, de forma que a ação da configuração urbana influencia fortemente a temperatura do ar na camada intraurbana.

É possível verificar que a medida que o vant se eleva sobre a cidade, a influência da composição urbana se reduz gradativamente na temperatura do ar, conforme a sequência de gráficos de correlação linear apresenta.

As figuras 1 a 8 apresentam as correlações lineares entre a variação de ICU e o FVC e ICU e o H/W nos 35 pontos avaliados na área urbana ao nível do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura, distribuídos ao longo da análise desta estação.

Pode-se observar uma correlação entre a ocorrência de ICU e o FVC representada pelo valor de R^2 de 0,2436 na **figura 43** ao nível do pedestre, onde as maiores variações térmicas estão entre os pontos 17 a 20, sendo que o ponto 17 está disposto na ZCL 5 e os pontos 18, 19 e 20 na ZCL 4.

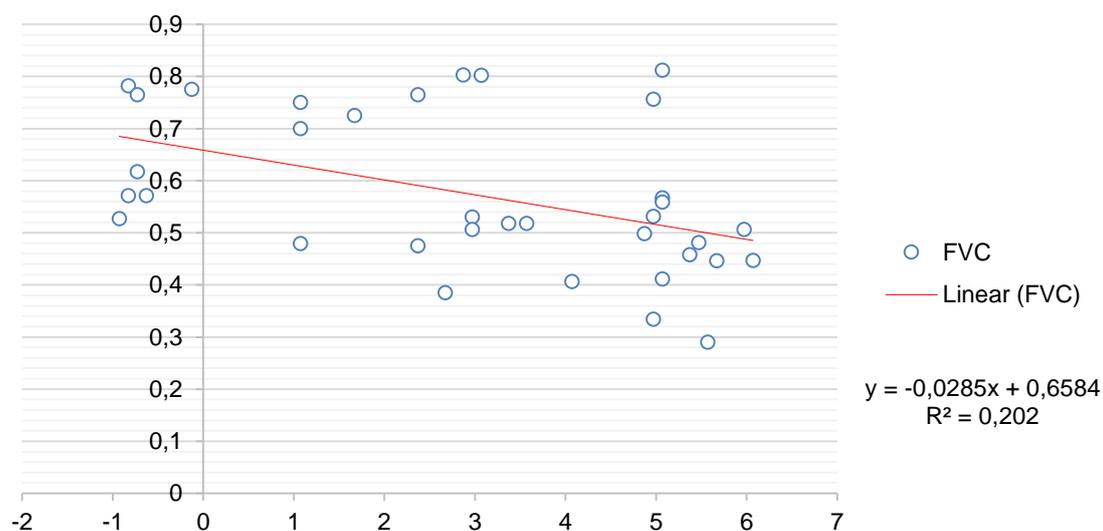
Figura 43 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU X FVC a nível do pedestre.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

A **figura 44** apresenta a correlação linear entre a temperatura da ICU e o valor de H/W no nível do pedestre, onde a verificação desta mostra uma

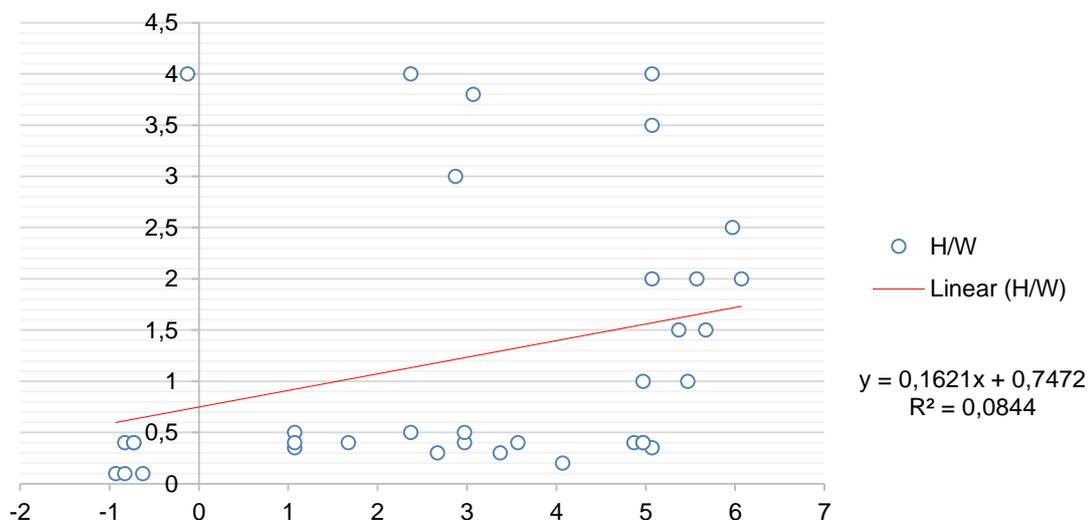
Figura 45 - Correlação linear entre a variação da temperatura da ICU x FVC a 30 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

A **figura 46** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W a 30 metros de altura, onde a verificação também deixa claro a baixa correlação dos dados obtidos, com o valor de $r^2=0,0844$, não tendo uma correlação efetiva com o parâmetro H/W mensurado, porém mostra um valor maior nessa altura do que quando comparado com a análise a nível do pedestre.

Figura 46 - Correlação linear entre a variação da temperatura da ICU x H/W a 30 metros de altura.

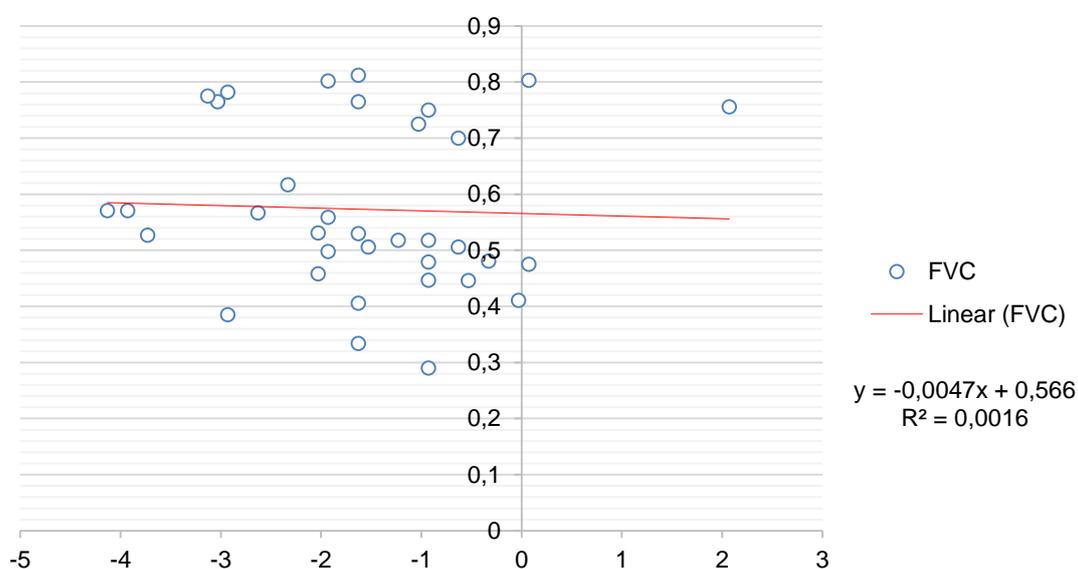


Fonte: Elaborado por Megda (2018).

A **figura 47** mostra os valores correlacionados de ICU e FVC registrados a 60 metros de altura, que geraram um valor de R^2 0,0016, o que indica uma franca influência do ambiente urbanizado acima da camada limite urbana.

Os pontos 34 e 35, ZCL9, na região periférica mostraram as maiores diferenças de temperatura do ar entre o ambiente urbano e o rural, próxima de -4°C a 60 metros de altura.

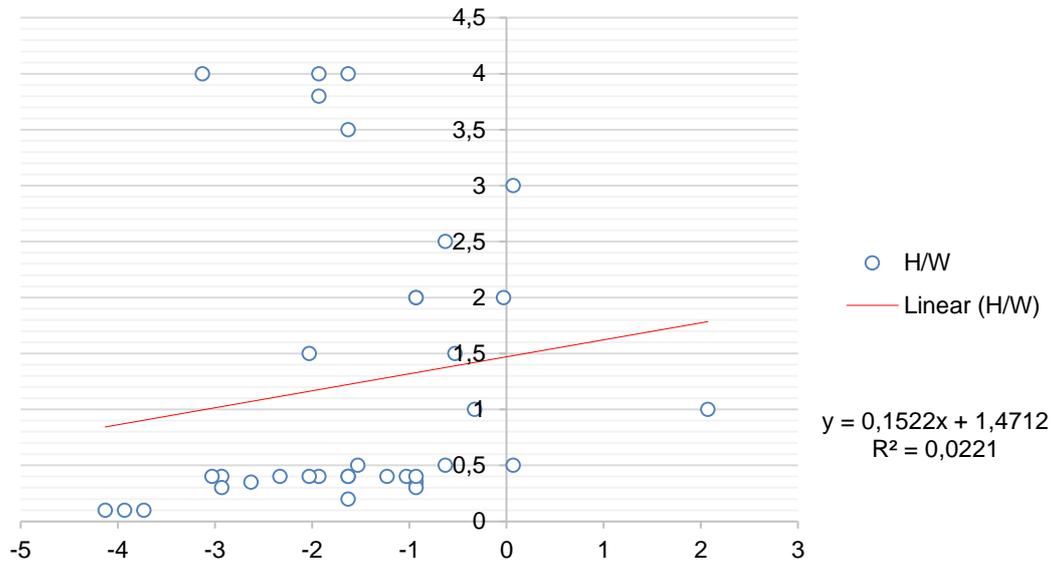
Figura 47 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU x FVC a 60 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

A **figura 48** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W a 60 metros de altura, onde a verificação da correlação dos dados obtidos indicou o valor de $r^2=0,0221$, o que deixa claro uma baixa correlação com o parâmetro H/W mensurado, evidenciando um valor maior com esse parâmetro e altura quando comparado com o ICU X FVC.

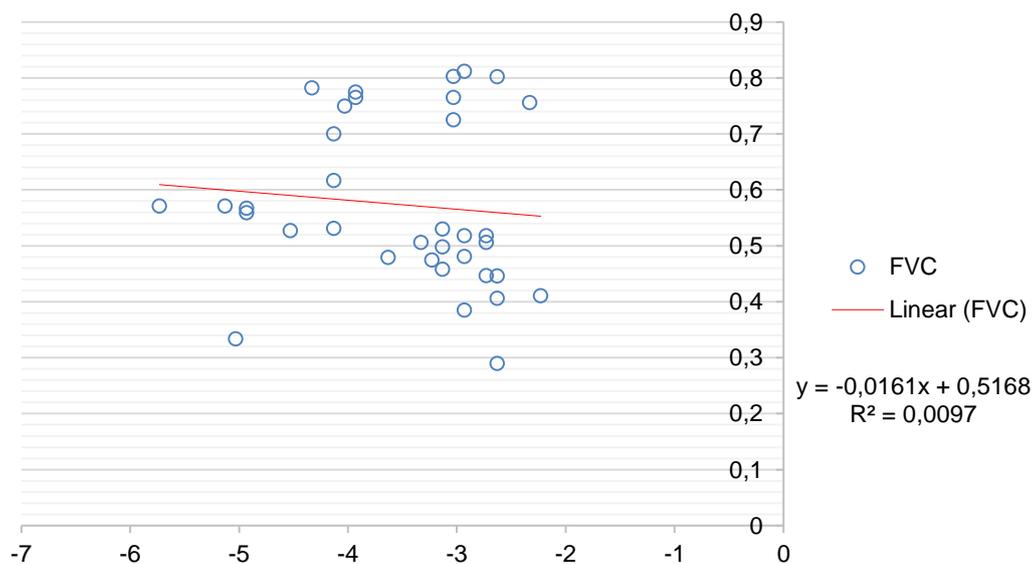
Figura 48 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU x H/W a 60 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

Os valores demonstrados na **figura 49**, de dados correlacionados de ICU e FVC registrados a 75 metros de altura, deram a possibilidade de análise de um valor de R^2 0,0097, o que indica uma diminuição ainda maior da influência do ambiente urbanizado acima da camada limite urbana.

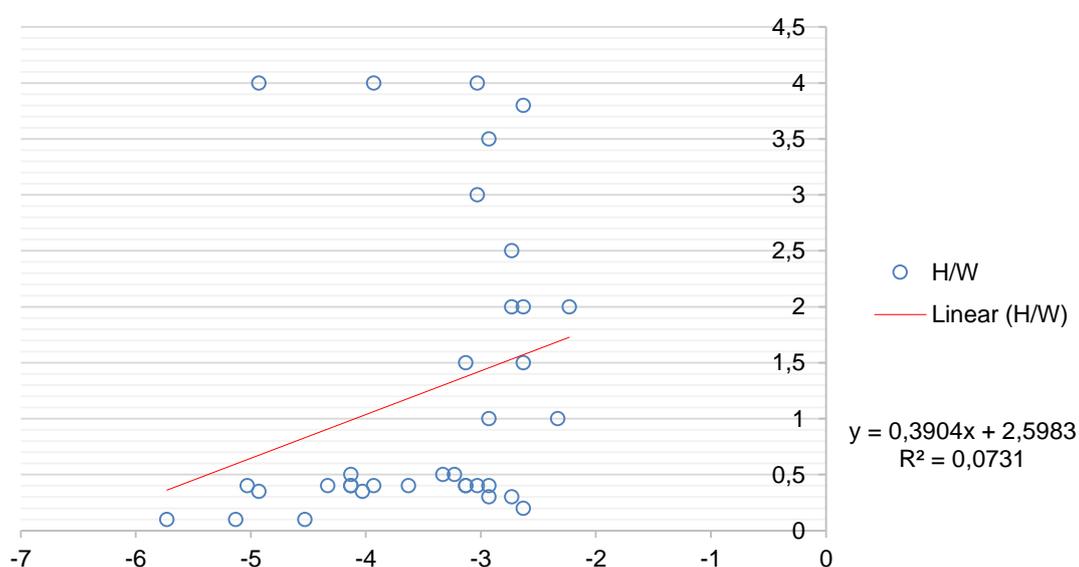
Figura 49 - Correlação linear entre a variação da temperatura da ICU x FVC a 75 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

A **figura 50** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W a 75 metros de altura, com um valor de dados correlacionados, gerando um valor de $r^2=0,0731$, baixo valor na correlação com os dados, porém pode-se notar um valor maior nesse parâmetro do que quando comparado com o ICU X FVC a 75 metros de altura.

Figura 50 - Correlação linear entre a variação de temperatura da ICU x H/W a 75 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2018).

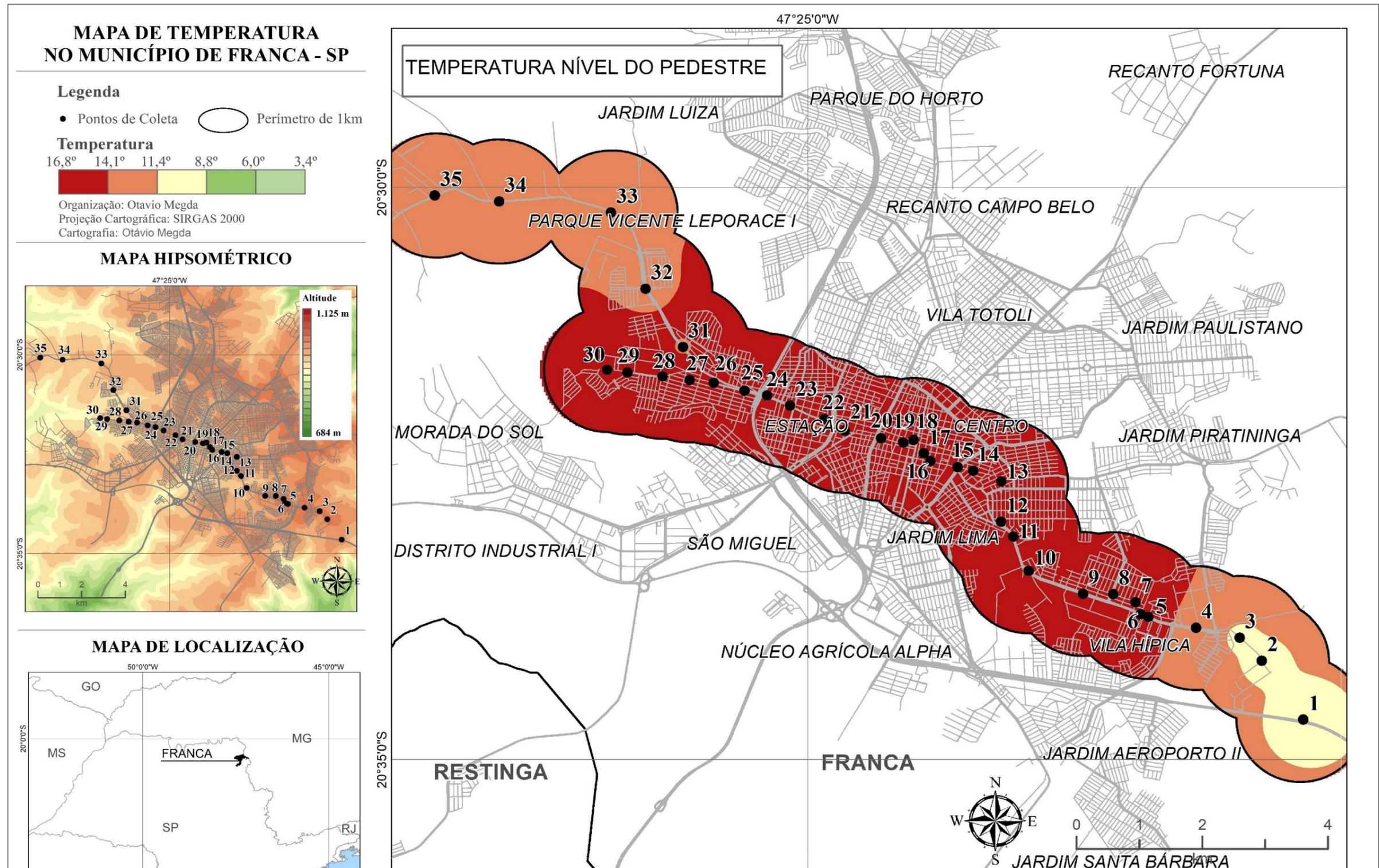
Diante dos valores nos pontos coletados, do ponto 5 ao 31 houve uma oscilação de temperatura muito pequena. Foram registradas as maiores temperaturas no ponto 22, com $16,8^{\circ}\text{C}$ e um mínimo no mesmo ponto de $14,1^{\circ}\text{C}$, como pode ser observado na **figura 51**. Esta ocorrência de ICU pode ser explicada pelo quadro sinótico do dia, com uma estabilidade terrestre e sem atuação de sistemas relevantes.

Os pontos 15, 20 e 21, encravados no fundo de vale dos dois principais córregos da cidade, tiveram valores de temperatura próximos do máximo, com 15°C , $16,2^{\circ}\text{C}$ e $16,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Isso evidencia que os fundos de vale nessa situação não tiveram o papel de vales reentrantes, sendo explicado pela atuação sinótica já descrita e pelo efeito de barreira do relevo construído, o que

armazenou o calor e a baixa umidade relativa do ar, que ficou entre 27% e 34% durante o período de campo.

Houve ainda um predomínio dos ventos com direção a Oeste e Sudoeste, o que pode ter agravado essa situação, já que não houve entrada destes nesse setor da cidade, devido à posição da diferença de pressão. Os mapas hipsométricos foram mantidos em cada um dos mapas do período de coleta em questão para comparação.

Figura 51- Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com o transecto móvel.



Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

A **figura 52** evidencia um dos pontos mais interessantes deste campo, onde é possível observar claramente a composição do ponto em destaque.

Figura 52- Imagens representando respectivamente o ponto 22 ao nível do solo, com fotografia do centro da rua; fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC, imagem aérea com a representação da área construída, e a última imagem da sequência mostra a representação da ZCL 5, de Stewart e Oke (2012).



Fonte: organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

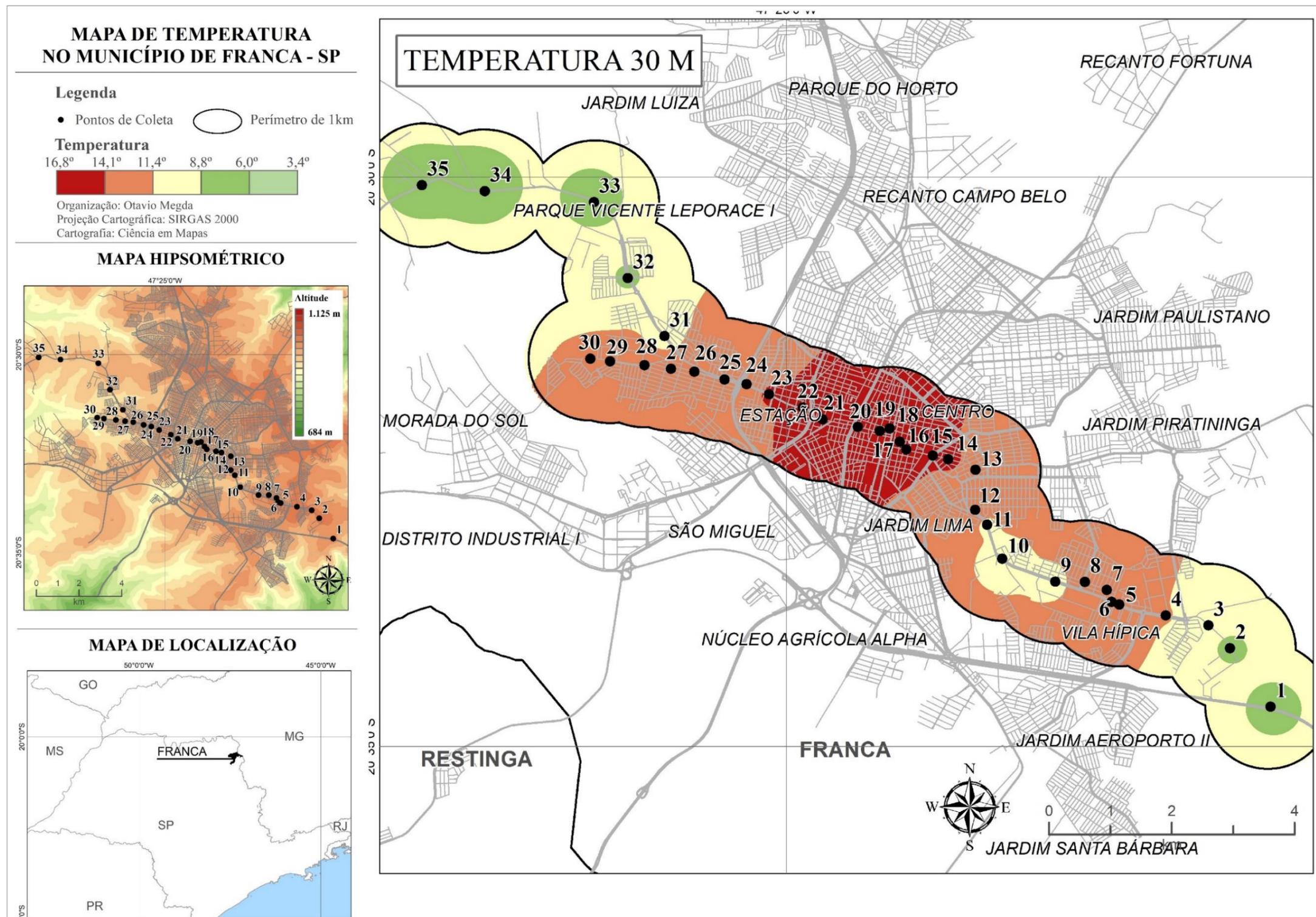
Foi verificado para este ponto um valor de FVC de 0,290, ou seja, um valor baixo, mediante a composição da área enquadrada segundo Stewart e Oke (2012), como a ZCL 5, composta por prédios médios espaçados com arborização. Seu conjunto construído destaca-se em arranjos espaciais abertos de edifícios de médio porte (3-9 andares) e uma distribuição vegetal bem espalhada, mas não concentrada.

Sendo assim, o fator de limitação horizontal fica em 71%, congruente aos tipos de materiais utilizados nas coberturas de solo. A área entraria na classificação “E” dos tipos de cobertura de solos propostos por Stewart e Oke (2012), sendo classificada como rocha exposta ou pavimento impermeável.

A paisagem é caracterizada por área pavimentada com pouca ou nenhuma vegetação. Logo, a concentração de calor registrada ao nível do solo e também a 30 metros de altura (**Figura 53**) com o uso do vant evidencia nesse ponto a abóbada da ICU registrada nessa série. Nessa altura, na área pesquisada, o ponto 22 marca o topo da camada de limite urbano (CLU) - visto que a concentração e a disposição no terreno urbano, o quadro sinótico e a

construção venham a corroborar para que este seja o ponto de maior temperatura da série de inverno.

Figura 53- Mapa com as temperaturas médias a 30 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com uso do vant.



Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

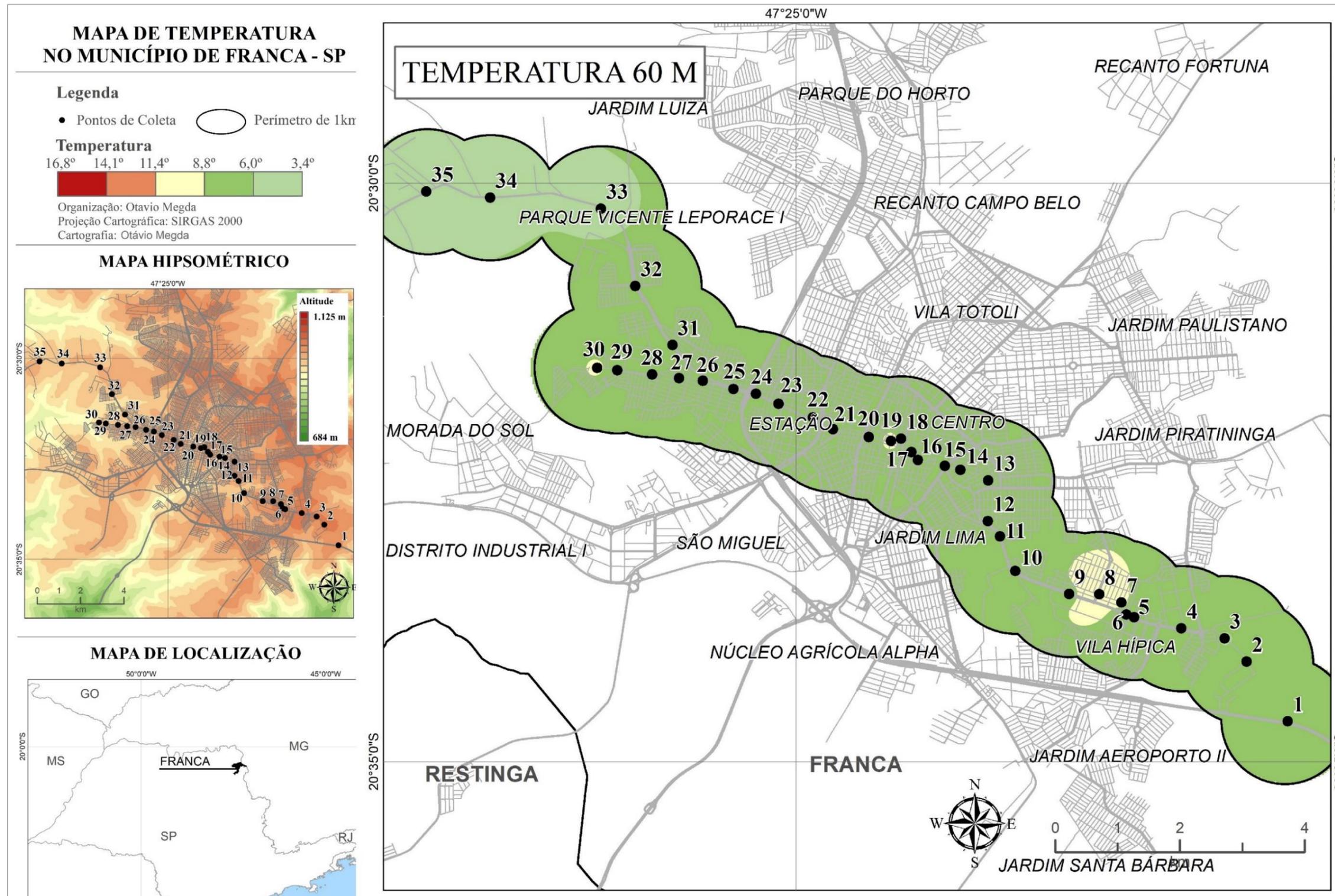
Ainda, é possível observar a ineficácia dos vales reentrantes também nessa altitude para permitir a penetração dos ventos no tecido urbano. Os sensores captaram cerca de 1,5 km/h nessa altitude, fato que não gerou instabilidade no vant utilizado.

Os pontos 1, 2, 32, 33, 34 e 35 tiveram valores de temperatura entre 6,0 a 8,5°C, visto que estas áreas descritas se encaixam na ZCL 9 – área com construções escassas – e com tipo de cobertura de solo variado entre solo nu ou areia (*F*) ou árvores dispersas (*B*). Como o quadro sinótico gerou favorecimento à manutenção desta situação, oscilações não foram percebidas fora dessas descrições.

A **figura 54** demonstra as temperaturas obtidas a 60 metros do nível do solo, as temperaturas ainda sofrem com o impacto do calor gerado pelas áreas urbanizadas. No município de Franca, uma das construções mais altas da cidade localiza-se em uma área de encontro de vertente, tendo ali, em relação ao relevo da área, uma altitude menor. O edifício “*Sky Line*”, localizado na Avenida Sete de Setembro, próximo ao ponto de coleta 12, com 60 metros de altura, não mostrou, em nenhuma situação dos campos deste período, fomento à formação de ICU.

Os ventos, praticamente predominantes de Sudoeste no período analisado, tiveram interferência nessa altitude, limitando a formação da abóbada da ICU. Deve-se ressaltar que a área pesquisada possui uma predominância das ZCLs 3, 5 e 6, sendo, respectivamente, zona com prédios baixos concentrados, com 28,4% da área urbana; zona de prédios médios espaçados com arborização, com 23,7% da área urbana e; zona com baixos espaçados com arborização com 31,7% da área urbana.

Figura 54- Mapa com as temperaturas médias a 60 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com uso do vant.

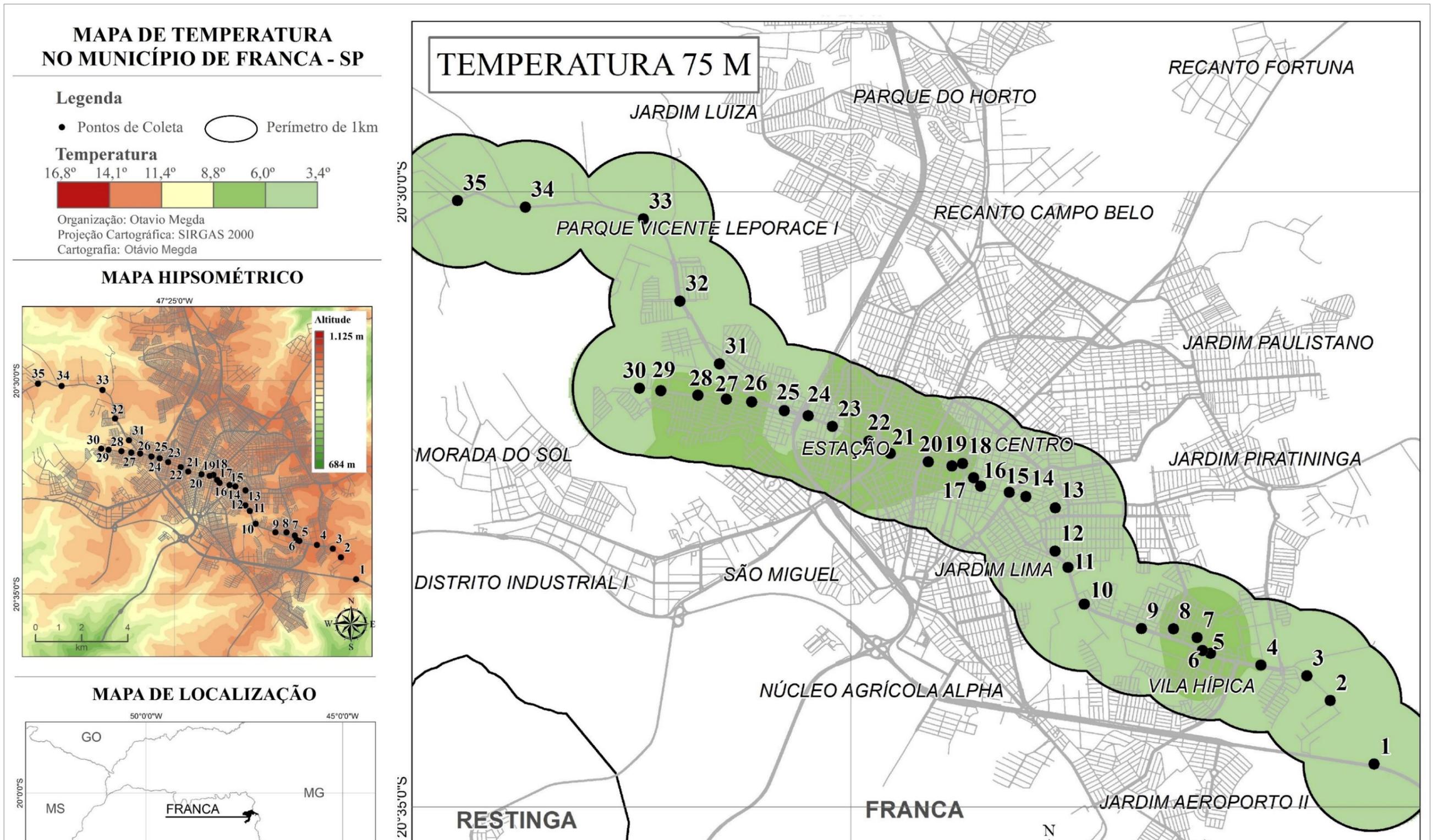


Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

Sendo assim, o predomínio de áreas com a característica da ZCL 6 são os pontos mais amenos da cidade, com algumas exceções possivelmente relacionadas ao entorno construído ou ao relevo.

A **figura 55** mostra a coleta das temperaturas a 75 metros de altura, sendo aproximadamente a maior altitude predial construída na cidade, tendo estes parâmetros como base. Por ser um período de inverno, uma variação de apenas 1,1°C foi registrada entre uma área de fundo de vale, tendo uma análise irrisória para nível de critério climático local.

Figura 55- Mapa com as temperaturas médias a 75 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em julho de 2018 com uso do vant.



Fonte: Coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2018).

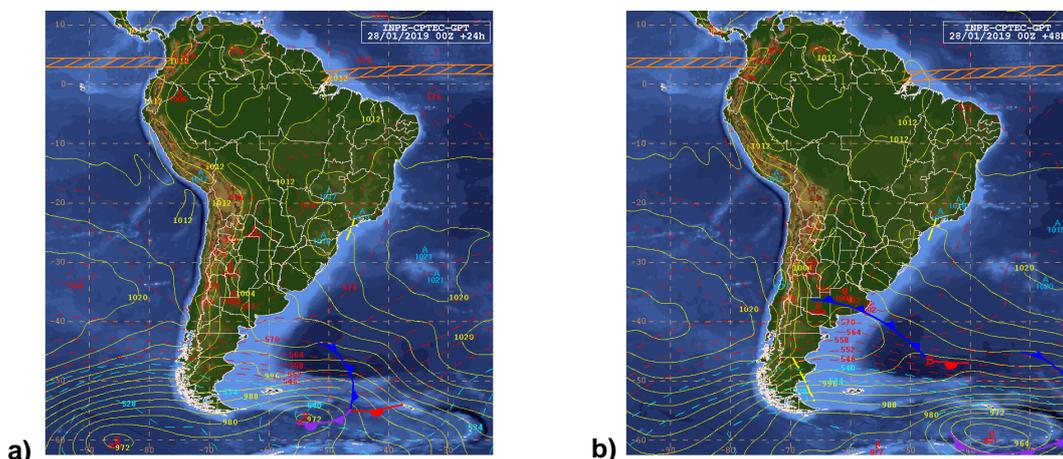
4.4 Análises das coletas do período de Verão de 2019

Para as coletas de campo do verão de 2019, após análise de uma série de cartas sinóticas e previsões, definiu-se como melhor período a transição de janeiro para fevereiro, pegando um padrão de verão comum no Hemisfério Sul. Ainda, em grande parte dos dias, a menor quantidade de nuvens na atmosfera foi considerada, para dados mais coerentes relacionados à radiação.

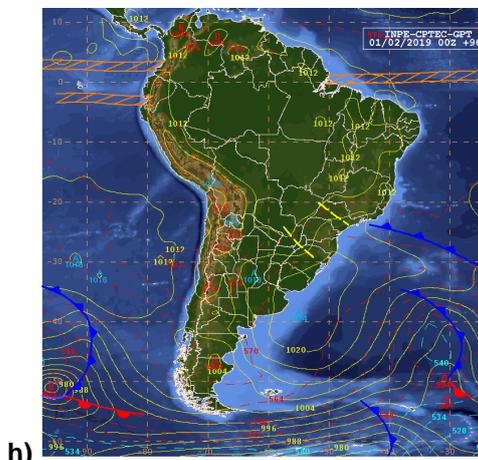
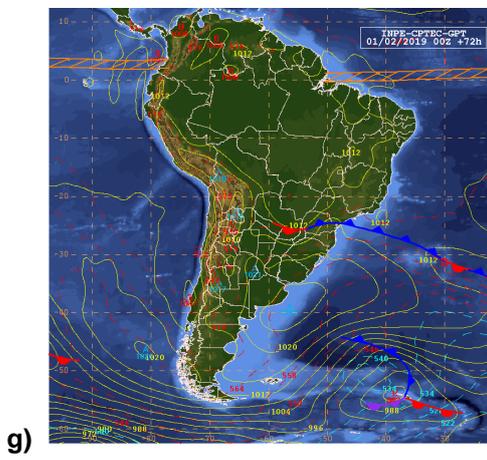
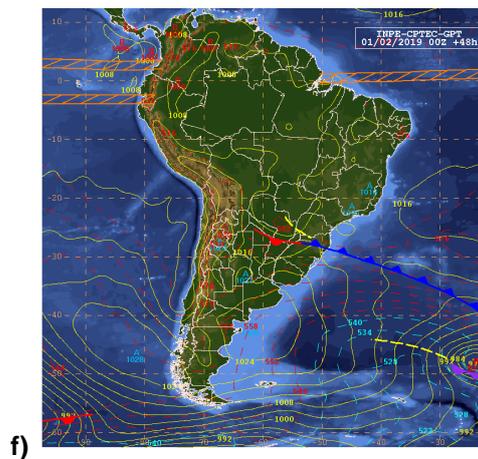
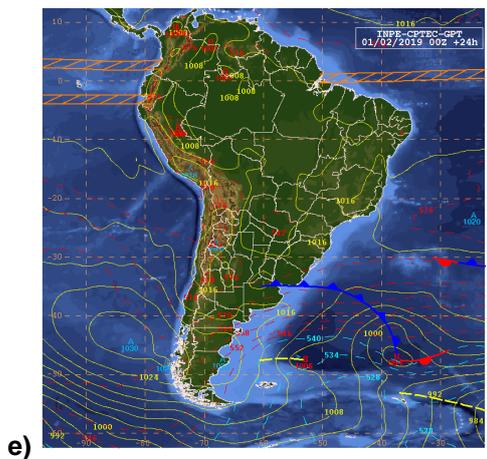
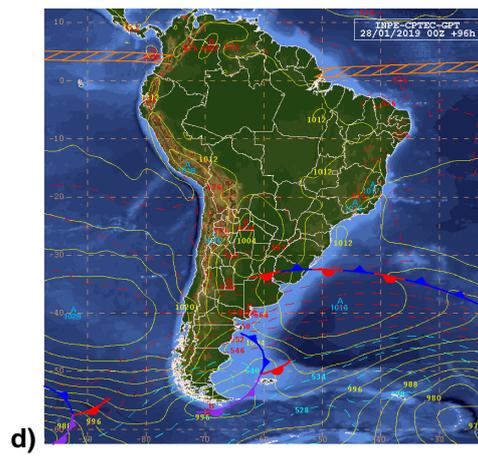
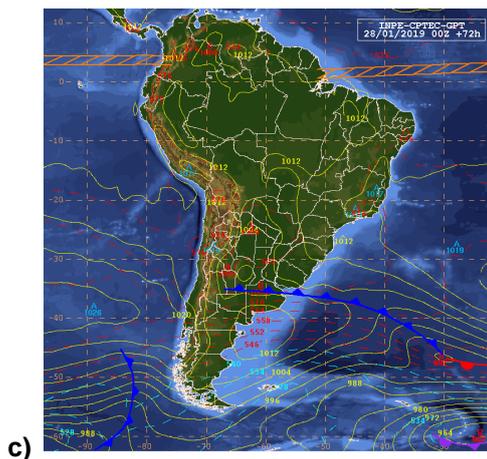
Foram realizadas análises em 10 dias (28 de janeiro a 6 de fevereiro de 2019), com uma média de ventos em torno de 2,5 km, baixíssima nebulosidade e ventos oriundos predominantemente do Norte (35%) e Sul (42%), ambos de sistemas diferentes, porém bem atuantes nos dias que seguiram com as análises.

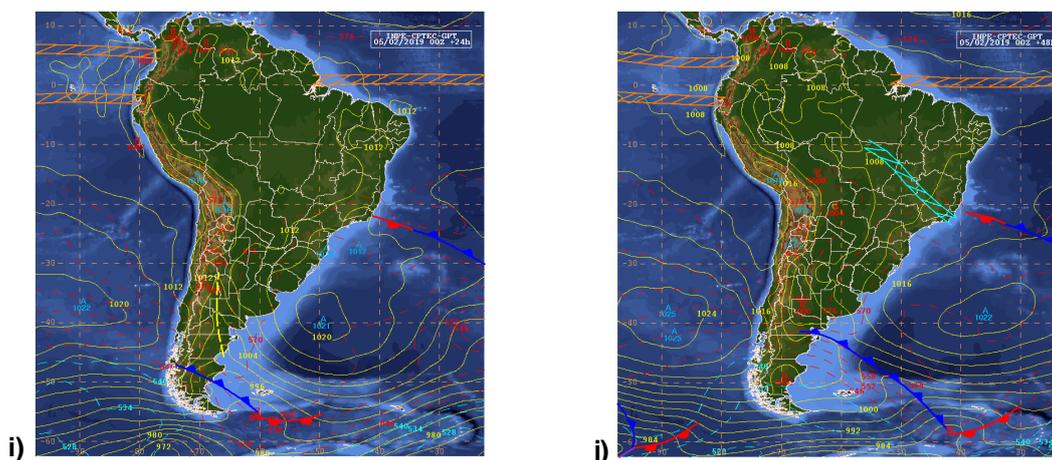
A **figura 56** dispõe as cartas sinóticas do período, sendo A, B, C, D, E, F, G, H, I e J, correspondentes respectivamente aos dias 28, 29, 30 e 31 de janeiro, e 01, 02, 03, 04, 05 e 06 de fevereiro de 2019, com base nos levantamentos sinóticos do CPTEC (2019).

Figura 56- Cartas sinóticas da América do Sul com os sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 28 de janeiro a 06 de fevereiro de 2019.



IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO EM CIDADE DE PORTE MÉDIO: PROPOSTA METODOLÓGICA ADAPTADA ÀS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – ZCLs.





Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do (INPE). Acessado em: 02/02/2019. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Organização dos dados: Otávio Megda (2019).

De acordo com as análises sinóticas do CPTEC (2019), a segunda-feira (28/01), concentrou a convergência de umidade em baixos níveis e a instabilidade principalmente em áreas do interior do Brasil, com os maiores acumulados de precipitação, mas sem atuação no estado de São Paulo.

Com base no CPTEC (2019), na quinta-feira (31/01), as temperaturas estavam bastante elevadas em grande parte do Brasil, sobretudo no Sudeste. Na sexta-feira (01/02), o avanço de uma frente fria produziu a convergência de umidade em baixos níveis sobre o nordeste da Argentina, Uruguai e sul do RS. No final do dia 02/02, observou-se um aumento da condição para pancadas de chuva típicas do verão entre o MS, SP e sul de MG com condição para temporais em pontos isolados.

Diante da análise sinótica do CPTEC (2019), entre a segunda (04/02) e a terça-feira (05/02), a frente fria seguiu avançando pelo litoral do sudeste, entre SP e o norte do RJ. A tendência que se percebeu até então é a de que a passagem da frente fria e a posterior circulação pós-frontal provocou chuva significativa entre o litoral do PR e o sul do RJ a partir do domingo. Entretanto, até o sábado (02/02) as temperaturas estiveram bastante elevadas em grande parte do Brasil, e na área de pesquisa não houve incremento de chuvas. Entre a terça-feira (05/02) e a quarta-feira (06/02), a frente fria se afastou para o oceano, contudo, alinhando-se à convergência de umidade em baixos níveis na região central do Brasil, entre o sul da Região Amazônica, Centro-Oeste e o Sudeste. Na quarta-feira (06/02), o VCAN se alinhou com os resquícios do

cavado frontal e intensificou a convergência de umidade em baixos níveis na região central do Brasil. Com isso, a previsão era de ocorrência de um episódio de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) a partir da quarta-feira, que se estenderia, pelo menos, por três dias, até a próxima sexta (08/02).

Os resultados das temperaturas ao nível do pedestre (solo) estão expostos na **tabela 6**.

As coletas de dados ao nível do pedestre evidenciaram nitidamente a formação de uma extensa ICU, corroborado principalmente pelo sistema atmosférico que intensificou essa ocorrência, gerando uma média acima dos 30°C em 75% do período analisado, se estendendo dos pontos 5 ao 31.

Tabela 6 - Variação das temperaturas registradas durante os dias de coleta em campo no verão de 2019.

Ponto	ZCL	Horário	Variação Temperatura rural → urbana Nível pedestre (°C)	Variação Temperatura rural → urbana 30m (°C)	Variação Temperatura rural → urbana 60m (°C)	Variação Temperatura rural → urbana 75m (°C)
P1	9	16h02min.	-2,6	-4,4	-12,2	-15,2
P2	9	16h04min.	-1,5	-4,9	-12,3	-15,2
P3	9	16h07min.	0,8	-4,6	-12,3	-15,5
P4	9	16h09min.	1,7	-3,5	-12,3	-15,5
P5	9	16h11min.	4,0	-2,7	-11,6	-15,6
P6	9	16h13min.	4,7	-2,2	-11,3	-15,7
P7	3	16h16min.	5,8	-2,7	-11,3	-16,5
P8	6	16h19min.	6,7	-2,7	-11,2	-16,7
P9	3	16h22min.	8,3	-0,6	-11,3	-16
P10	6	16h24min.	8,8	-0,5	-12,3	-15,9
P11	6	16h25min.	8,5	-0,2	-11,6	-15,7
P12	6	16h26min.	9,8	2,1	-11,7	-15,5
P13	6	16h28min.	9,5	2,8	-9,5	-14,5
P14	5	16h29min.	9,8	4,5	-9,7	-14,2
P15	5	16h30min.	10,1	6,1	-9,5	-14,2
P16	5	16h32min.	10,3	6,6	-9,5	-14,3
P17	5	16h33min.	10,4	6,7	-9,7	-14,5
P18	4	16h35min.	10,3	6,6	-9,8	-14,2
P19	4	16h36min.	10,0	2,7	-9,9	-13,9
P20	4	16h38min.	9,1	2,5	-9,8	-14,5
P21	4	16h40min.	7,8	1,5	-11,2	-14,5
P22	4	16h41min.	7,3	0,5	-11,1	-14,6
P23	6	16h42min.	7,3	0,4	-11,2	-15,2
P24	6	16h42min.	7,1	-0,6	-11,7	-15,4
P25	6	16h43min.	4,6	-1,2	-11,7	-15,5
P26	6	16h45min.	3,5	-1,6	-11,7	-15,7
P27	6	16h47min.	3,5	-2,7	-11,8	-16,2
P28	6	16h48min.	2,4	-2,9	-12,2	-16,5
P29	6	16h50min.	0,6	-4,5	-12,4	-16,7
P30	6	16h51min.	-1,4	-4,8	-12,7	-16,8
P31	6	16h51min.	-2,1	-6,2	-12,8	-16,9
P32	6	16h53min.	-2,1	-7,2	-13,4	-16,8
P33	9	16h54min.	-1,9	-7,1	-13,7	-17,5

P34	9	16h56min.	-2,6	-6,9	-13,7	-17,7
P35	9	16h58min.	-3,7	-6,5	-13,9	-17,7

Fonte: Organização dos dados por Megda (2019).

Quando se comparam os valores nos pontos coletados, a longa distribuição de temperaturas elevadas entre os pontos 5 a 31 se destacam, mesmo ainda que estes sejam cortados por 2 córregos ao longo do trecho. Em suma, a análise dos sistemas atmosféricos de alta pressão que permaneceram no estado de São Paulo, sobretudo nos dias 02/02 e 03/02 (sábado e domingo), revelou que estes tiveram papel fundamental para essas temperaturas, tendo ventos oriundos de Leste e Nordeste que ficaram leves e moderados. Com base nas previsões atmosféricas para a seleção do recorte de dados feito nas coletas, esse período foi o melhor para não se expor às precipitações.

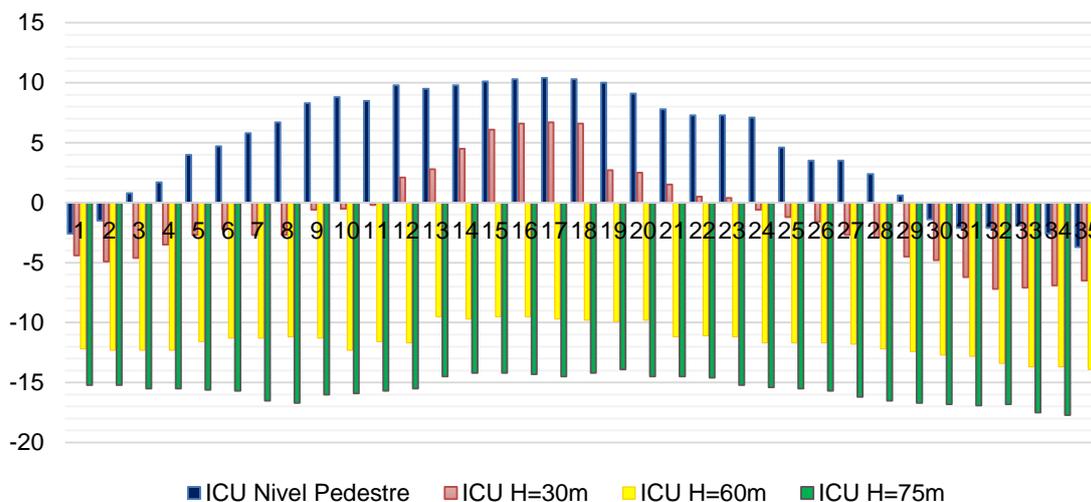
Portanto, na estação automática do INMET em Franca (SP), foram registradas, nos dias 28/01 e 04/02, pouco mais de 7mm somados de precipitação na região da estação. No dia 06/02 houve precipitação da madrugada para a manhã, culminando em pouco mais 12mm de chuva, porém não afetou a captação dos dados térmicos entre as 16h00min e às 17h00min do dia.

No dia 02/02 (sábado) foi registrado a maior máxima, com 34,4°C, e, no dia seguinte, domingo (03/02), a maior diferença da série analisada, com 13,8°C, evidenciada pela atuação de um sistema frontal vindo do Atlântico.

A **figura 57** mostra a diferença de temperatura do ar entre os pontos mensurados em comparação com a estação fixa do INMET – A-708, obtida de acordo com o INMET (2018) na estação referida, ao nível do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura, a qual expressa a variação entre a temperatura do ar no ambiente rural para o urbano, em diferentes pontos e alturas.

Os pontos da região de subida para a área central e a própria área central (pontos 15 a 18) representam as maiores ICUs, conseqüentemente, indicam as temperaturas mais elevadas do ar ao nível do pedestre.

Figura 57– Variação temperatura rural → urbana das ICUs aos níveis do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura.

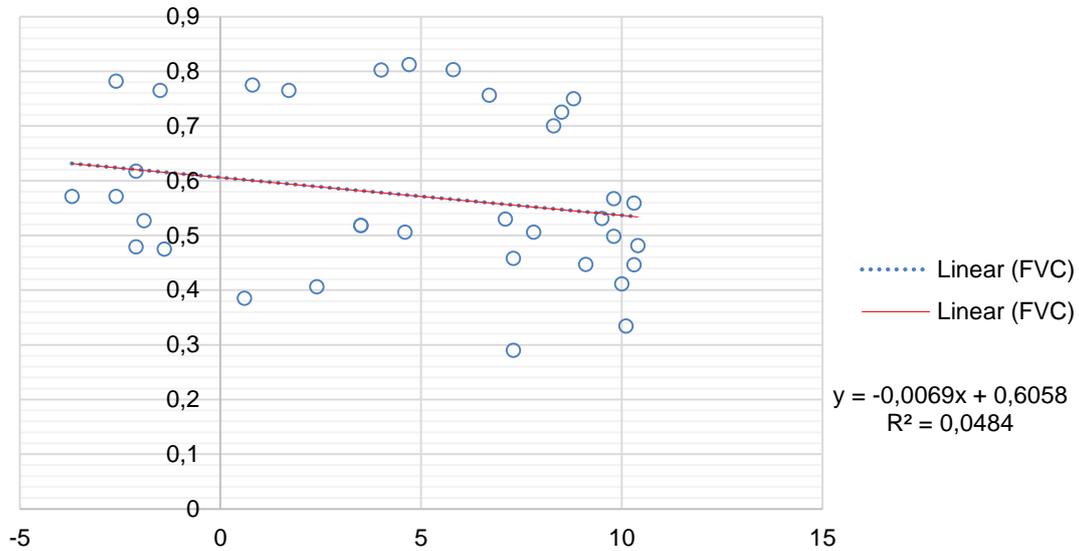


Fonte: Elaborado por Megda (2019).

As figuras 11 a 18 apresentam a correlação linear entre a variação de ICU e o FVC, e o ICU e o H/W, nos 35 pontos avaliados na área urbana ao nível do pedestre, a 30, 60 e 75 metros de altura, distribuídos ao longo da análise desta estação.

Pode-se observar uma correlação entre a ocorrência de ICU e o FVC, representada pelo valor de R^2 de 0,0484, na **figura 58** ao nível do pedestre, onde as maiores variações térmicas estão entre os pontos 17 a 20, sendo que o ponto 17 está disposto na ZCL 5 e os pontos 18, 19 e 20 na ZCL 4. A maior diferença na variação de temperatura na ICU a nível do pedestre foi de 10,4°C, sendo que, do P12 até a P20, as diferenças na variação da temperatura ficaram acima dos 9°C.

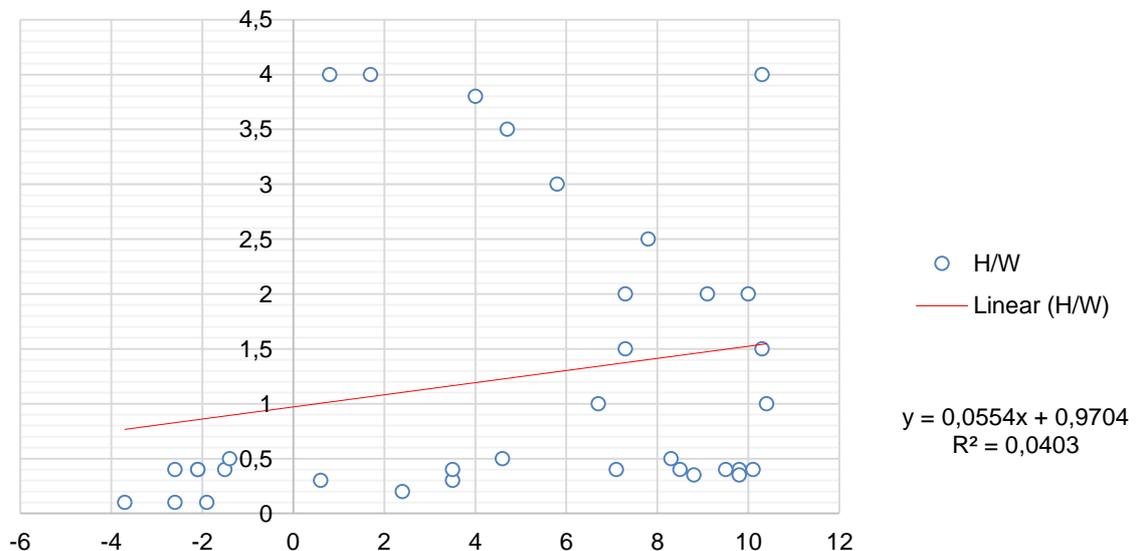
Figura 58 - Correlação linear da variação da temperatura da ICU X FVC a nível do pedestre.



Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 59** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W no nível do pedestre, onde a verificação desta mostra uma baixa correlação dos dados gerados com o valor de $r^2=0,0403$, evidenciando uma baixíssima correlação com o parâmetro H/W mensurado.

Figura 59- Correlação linear da variação da temperatura da ICU X H/W a nível do pedestre.



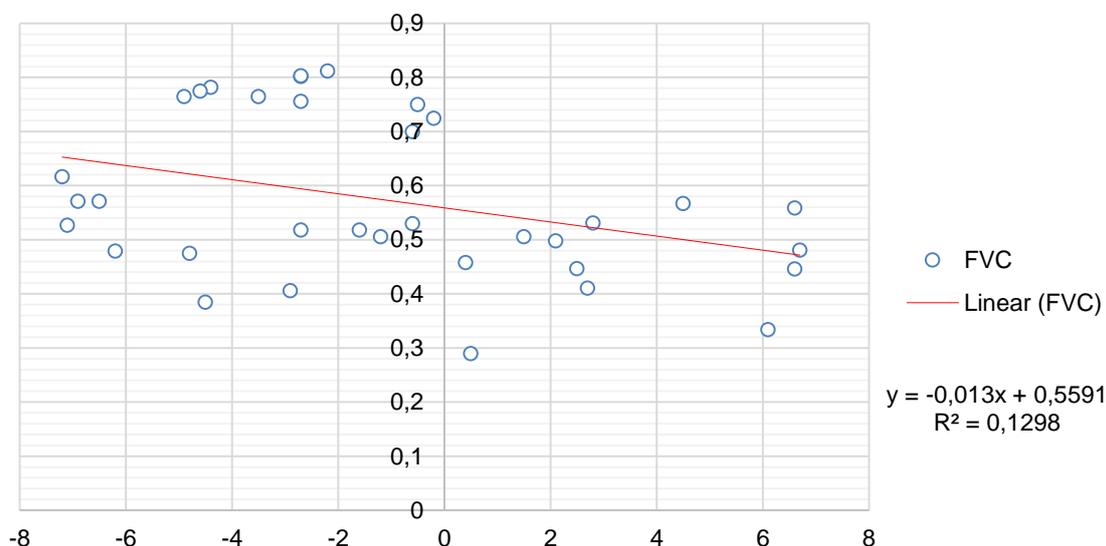
Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 60** apresenta a correlação linear entre a variação da ICU e o FVC a 30 metros de altura, próxima à camada limite urbana. Os valores evidenciaram uma correlação linear de R^2 0,1296.

Diante do trajeto analisado, dos pontos 12 ao 20 houve registros das maiores diferenças de média na região central, variações de ICU entre 5°C e 7°C a 30 metros de altura, sendo esses pontos pertencentes às ZCLs 4 e 5.

A maior diferença da variação de temperatura na zona ruralizada foi do ponto 33 a 35, com 7°C.

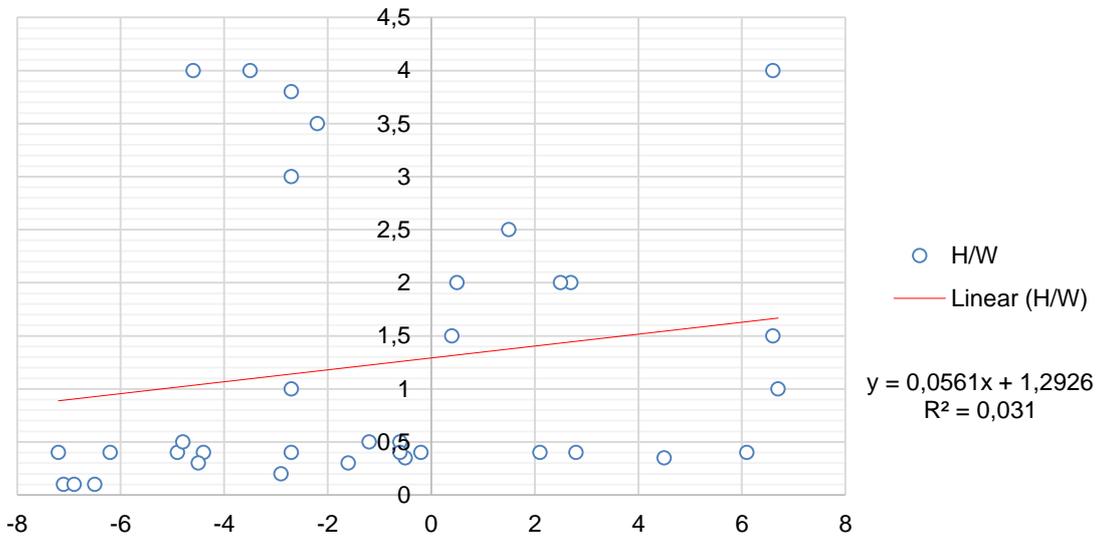
Figura 60 - Correlação linear da variação da temperatura da ICU x FVC a 30 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 61** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W a 30 metros de altura, onde a verificação também deixa claro a baixa correlação dos dados obtidos, com o valor de $r^2=0,031$ não tendo uma correlação efetiva com o parâmetro H/W mensurado, ou seja, o fator H/W nessa altitude se mostrou pouco representativo na formação da ICU.

Figura 61- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x H/W a 30 metros de altura.

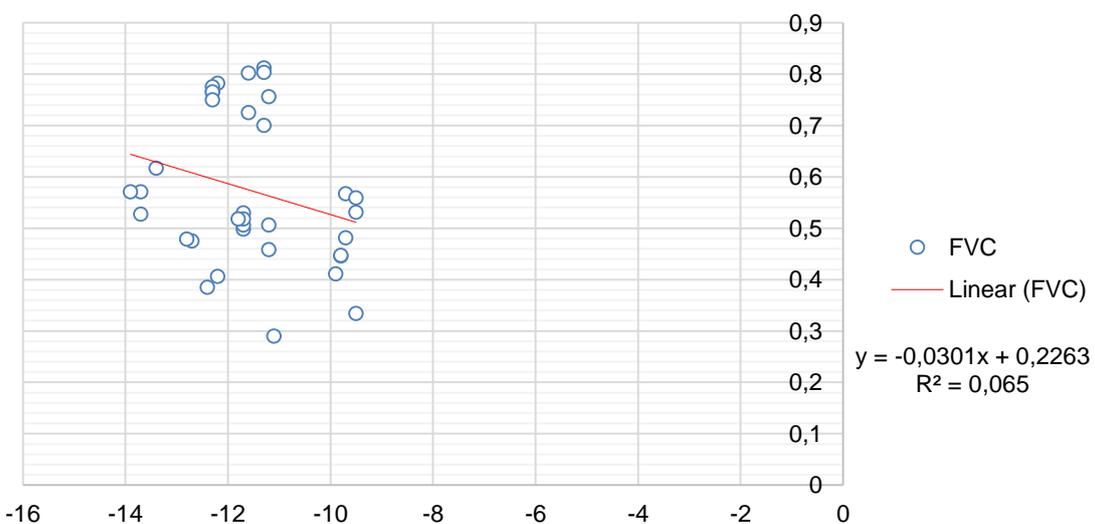


Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 62** mostra os valores correlacionados de ICU e FVC registrados a 60 metros de altura, que geraram um valor de R^2 0,065, indicando uma fraca influência do ambiente urbanizado acima da camada limite urbana.

Os pontos 14 e 20, ZCL 4 e ZCL 5, na região periférica mostraram as maiores diferenças de temperatura do ar entre o ambiente urbano e o rural, entre -9°C e 11°C a 60 metros de altura.

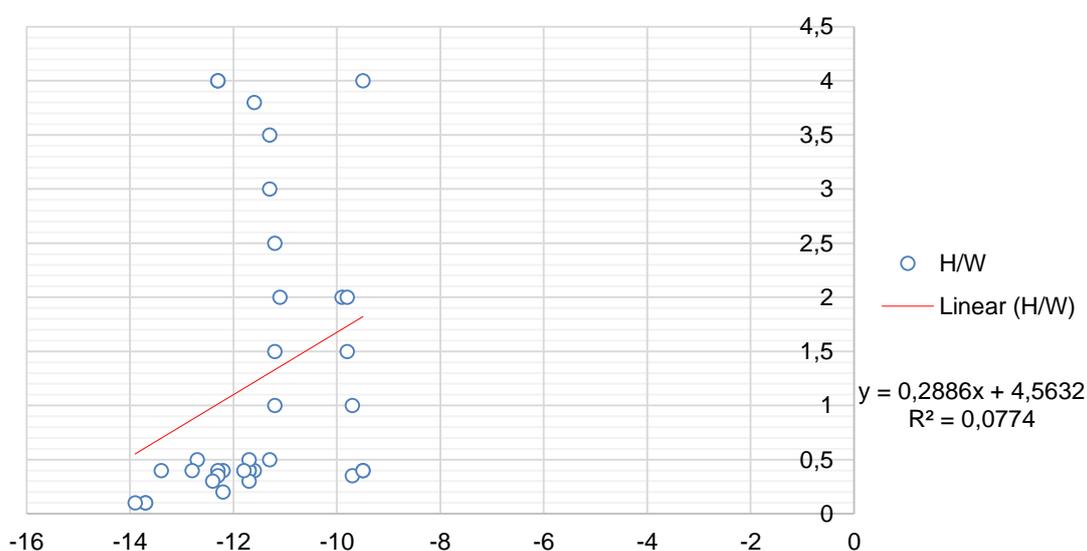
Figura 62- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x FVC a 60 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 63** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W a 60 metros de altura, onde a verificação da correlação dos dados obtidos indicou o valor de $r^2=0,0774$, o que deixa claro uma baixa correlação com o parâmetro H/W mensurado, evidenciando um valor maior com esse parâmetro e altura quando comparado com o ICU X FVC também a 60 metros.

Figura 63- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x H/W a 60 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2019).

Os valores demonstrados na **figura 64**, de dados correlacionados com a ICU e FVC registrados a 75 metros de altura, deram a possibilidade de análise de um valor de R^2 0,0496, o que indica uma diminuição ainda maior da influência do ambiente urbanizado acima da camada limite urbana.

Nas áreas centrais, as diferenças ultrapassaram os 14°C e, nas áreas rurais, nos pontos 34 e 35, ultrapassaram a diferença de -17°C .

Figura 64- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x FVC a 75 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 65** mostra a relação da variação da temperatura da ICU comparada com o H/W a 75 metros de altura, com um valor de dados correlacionados gerando um valor de $r^2=0,1124$, baixo valor e conseqüentemente na correlação com os dados, porém, pode-se notar um valor maior nesse parâmetro do que quando comparado com o ICU X FVC a 75 metros de altura.

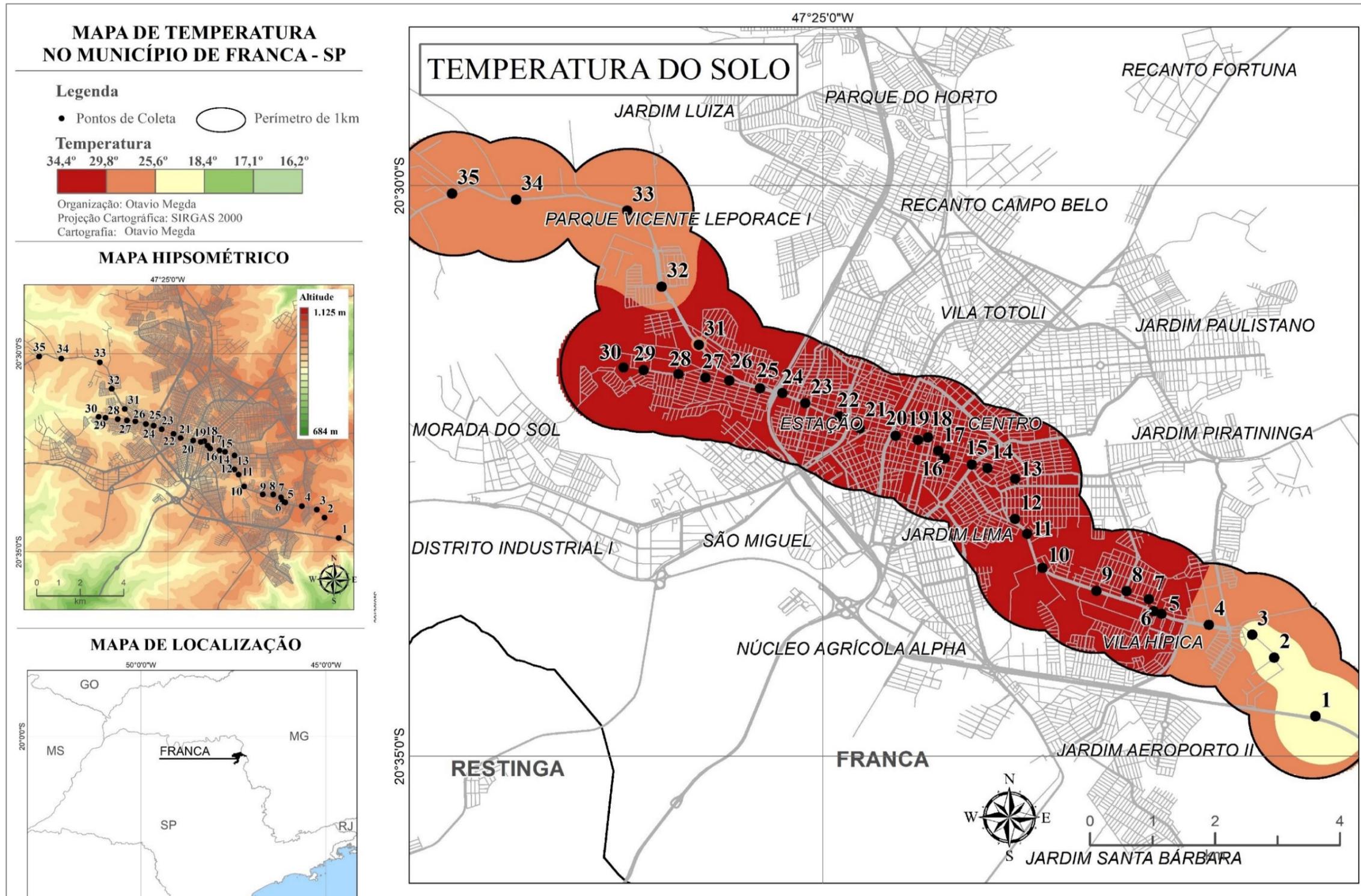
Figura 65- Correlação linear da variação da temperatura da ICU x H/W a 75 metros de altura.



Fonte: Elaborado por Megda (2019).

A **figura 66** mostra as coletas obtidas ao nível do pedestre. A partir desta análise, amplia-se a importância de uma análise em escala superior ao solo (vertical), com a formação de uma pluma urbana bem acentuada, fortalecida pelo sistema atmosférico.

Figura 66 - Mapa com as temperaturas médias ao nível do pedestre em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro / fevereiro de 2019 com o transecto móvel.



Os pontos 8, 15 e 23 tiveram uma média, respectiva de 32,1°C, 31,7°C e 34,4°C. Na comparação com os valores de FVC, na **figura 67**, todos se enquadram na ZCL 5, composta por prédios médios espaçados com arborização, tendo a verificação de arranjos espaciais abertos e edifícios de médio porte (3-9 andares) com uma distribuição vegetal espalhada, mas não concentrada, com uma característica mais expoente de cerrado, com influência da altitude.

Os valores respectivos de FVC dos pontos 8, 15 e 23 são 0,76; 0,33 e 0,46, e valores de *limitation horizon* de 24,4%, 66,6% e 54,2%.

Figura 67- Imagens representando respectivamente os pontos 8, 15 e 23, com fotografia com a lente olho de peixe para análise do FVC; fotografias ao nível do pedestre, tiradas do centro da rua e imagem aérea com a representação da área construída. A última imagem da sequência mostra a representação da ZCL 5, de Stewart e Oke (2012).

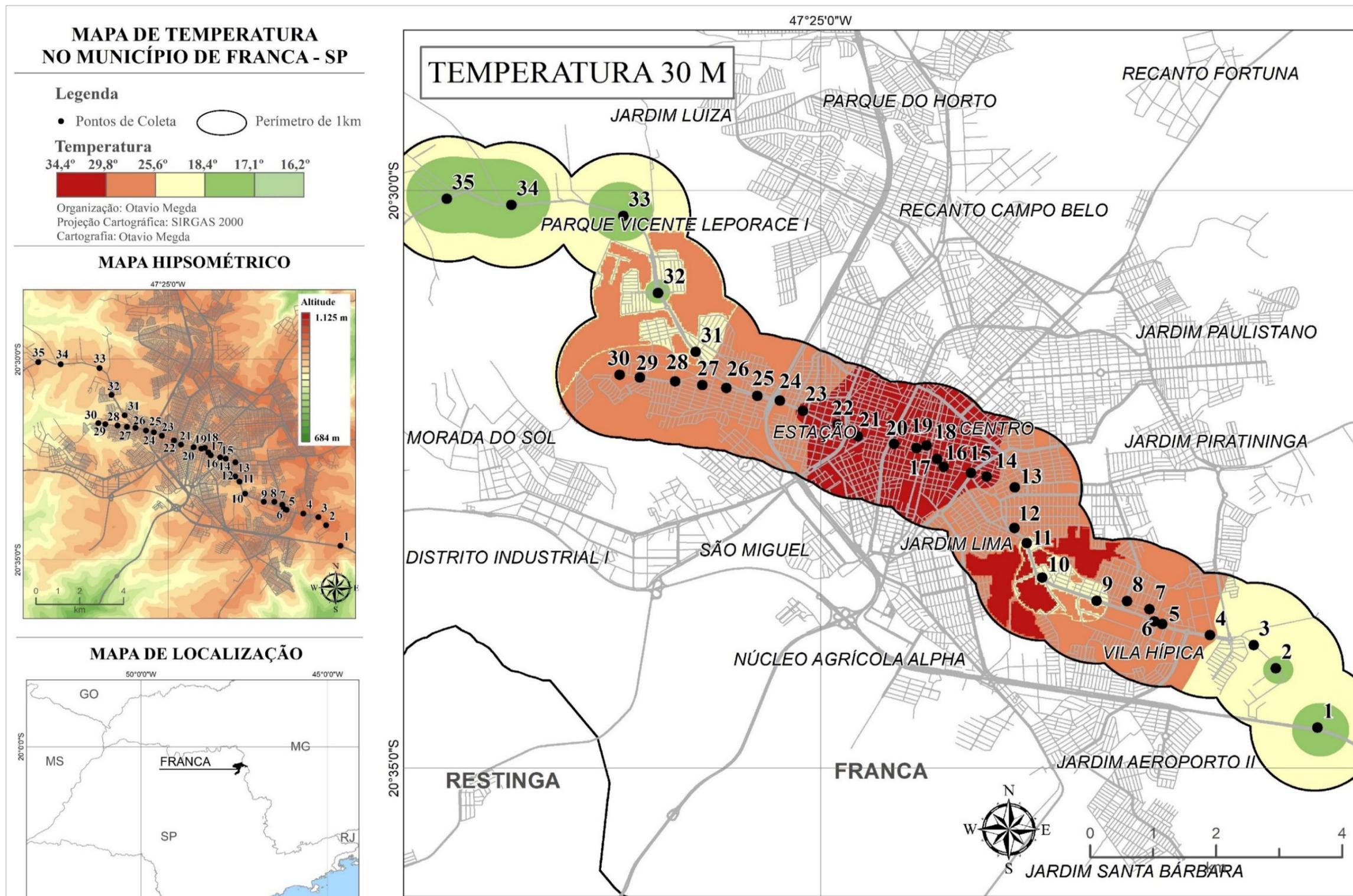


Fonte: organização e tratamento dos dados por Megda (2019).

A **figura 68**, cuja obtenção dos dados foi feita verticalmente com o uso de um vant na altitude de até 30 metros em cada um dos pontos descritos, constata a formação de uma CLU. A disposição do terreno, mais uma vez, influencia na formação de ICU.

Nesse período de análise, se observa a ineficácia dos vales reentrantes com situações sinóticas favoráveis a tal ocorrência. Com o uso do vant, mais de 2,5 km do trajeto horizontal, mesmo em áreas de vertentes, havia pouca oscilação térmica. Em casos como o ponto 15, o valor de temperatura do ar era de 32,8°C, maior que o seu ponto em nível de solo que foi de 31,7°C. Isso se deve pela falta de circulação de ar, barrada pelas construções e pelo relevo local.

Figura 68- Mapa com as temperaturas médias a 30 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro/fevereiro de 2019 com uso do vant.

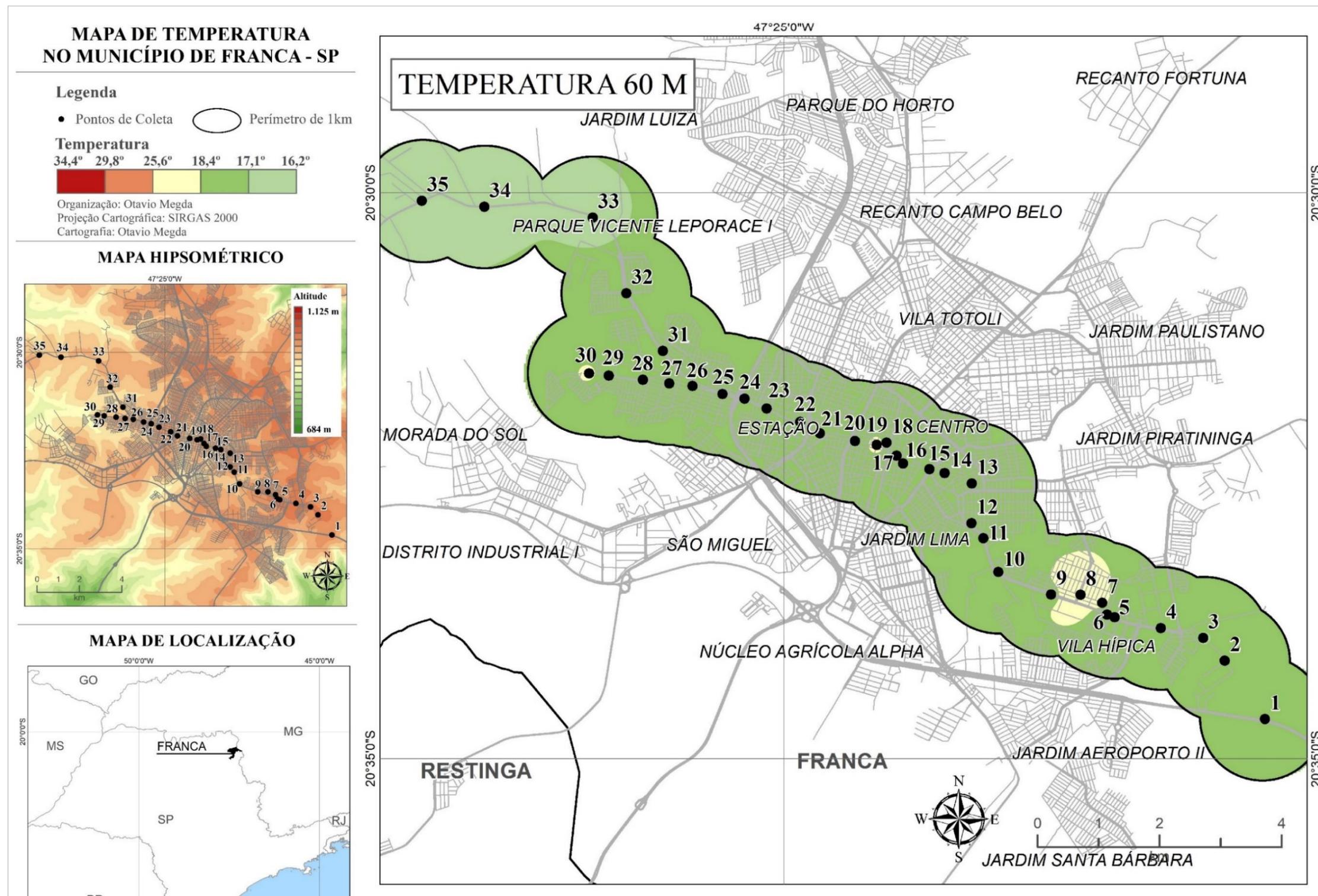


Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2019).

Na **figura 69**, que mostra as temperaturas obtidas a 60 metros do nível do solo, as temperaturas ainda sofrem com o impacto do calor gerado pelas áreas urbanizadas.

Os ventos predominantes de Sul e Sudeste – já no mês de fevereiro, tiveram interferência nessa altitude, limitando a formação da abóbada da ICU. Deve-se ressaltar que a área pesquisada possui uma ZCL- enquadrada nos estudos de Stewart e Oke (2012) – com a predominância das ZCL 3,5 e 6, sendo respectivamente, zona com prédios baixos concentrados, com 28,4% da área urbana; zona de prédios médios espaçados com arborização, com 23,7% da área urbana e; zona com baixos espaçados com arborização, com 31,7% da área urbana.

Figura 69 - Mapa com as temperaturas médias a 60 metros de altura em Franca (SP) durante os dias de coleta em janeiro/fevereiro de 2019 com uso do vant.



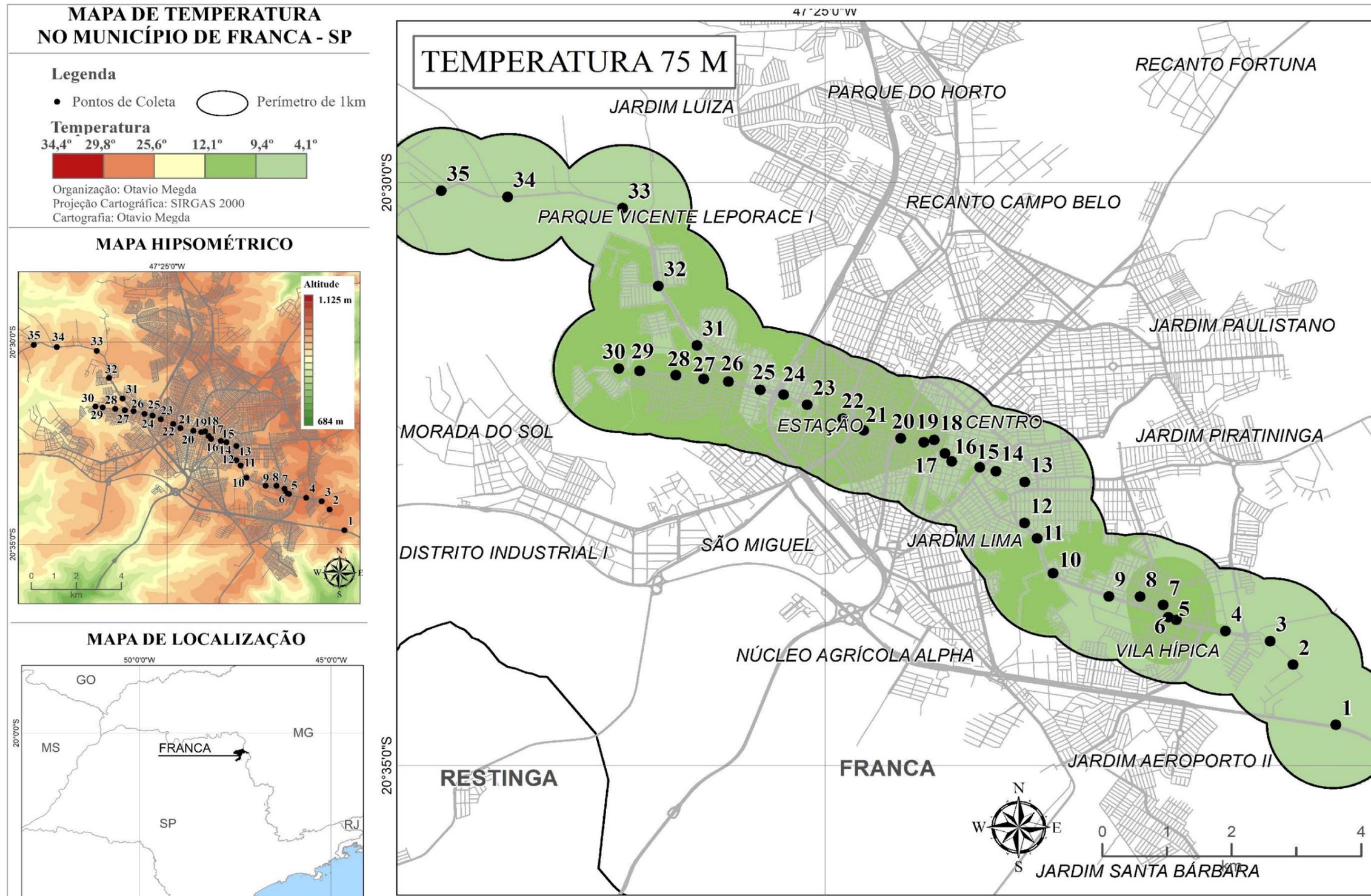
Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2019).

Sendo assim, o predomínio de áreas com a característica da ZCL 6 são os pontos com temperaturas mais amenas da cidade, com algumas exceções, possivelmente relacionadas ao entorno construído ou ao relevo.

A **figura 70** mostra a coleta das temperaturas a 75 metros de altura, sendo aproximadamente a maior altura predial construída na cidade.

Por se tratar de verão e um episódio de baixa umidade no ar, as temperaturas se mantiveram relativamente altas, acima de 4°C no trajeto analisado, visto que nessa altitude a influência do vento aumenta e conseqüentemente afeta a temperatura do ar.

Figura 70- Mapa com a temperaturas médias a 75 metros de altura em Franca – SP durante os dias de coleta em janeiro/fevereiro de 2019 com uso do vant.



Fonte: coleta, organização e tratamento dos dados por Megda (2019).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados se baseia na análise do gradiente vertical e horizontal de temperatura do ar a partir dos movimentos das massas de ar e da influência do ambiente construído.

É importante salientar que esta pesquisa se pautou nas limitações das análises de ICUs somente a partir dos dados próximos a superfícies e distribuídos de forma horizontal. Assim, a proposta metodológica procurou identificar em detalhes a real interferência do ambiente construído, principalmente em escala vertical na composição da CLU, a qual está diretamente associada à formação das ICUs em Franca (SP).

Entre as diversas técnicas de aquisição de informações micro meteorológicas, podemos destacar a distribuição de pontos fixos de monitoramento, o transecto móvel ao nível do pedestre, o sensoriamento remoto e a obtenção de imagens termais de satélites. Há também as técnicas de simulações computacionais que se baseiam em modelos matemáticos para estimar os efeitos dos fenômenos térmicos sobre o ambiente urbano. Cada técnica possui suas aplicações específicas, suas vantagens, desvantagens e limitações em escalas variáveis.

A **tabela 7** apresenta os valores máximos das ICUs obtidos durante as quatro campanhas da pesquisa, bem como seus destaques às máximas dos pontos em suas respectivas ZCLs.

Por meio destes resultados entender é possível compreender a distribuição espacial das ICUs, e quais os parâmetros espaciais mais significativos.

Tabela 7: Distribuição dos valores máximos das ICUs, alturas de medição, pontos de coleta, ZCLs e estação do ano das campanhas.

Alturas	Inverno 2017	Verão 2018	Inverno 2018	Verão 2019
Nível pedestre	2,9°C	7,9°C	7,6°C	10,4°C
Ponto	P26	P22	P22	P17
ZCL	ZCL 6	ZCL4	ZCL 4	ZCL 5
30 m			5,9°C	6,7°C
Ponto			P21	P17
ZCL			ZCL 4	ZCL 5
60m			-0,03°C	-9,5°C
Ponto			P19	P15 e 16
ZCL			ZCL 4	ZCL 5
75m			-2,2°C	-13,9°C
Ponto			P19	P19
ZCL			ZCL 4	ZCL 4

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A **figura 71** (A, B, C e D) apresenta as médias das ICUs por pontos e alturas, de cada período analisado. As medições realizadas em diferentes alturas favoreceram a compreensão da UCL no trajeto analisado.

O maior valor de ICU obtido na campanha de inverno de 2017 foi de 2,9°C ao nível do pedestre no ponto 26 – ZCL 6. A oscilação de ICU entre os pontos 10 e 30 permaneceu entre 0,4 à 0,9°C.

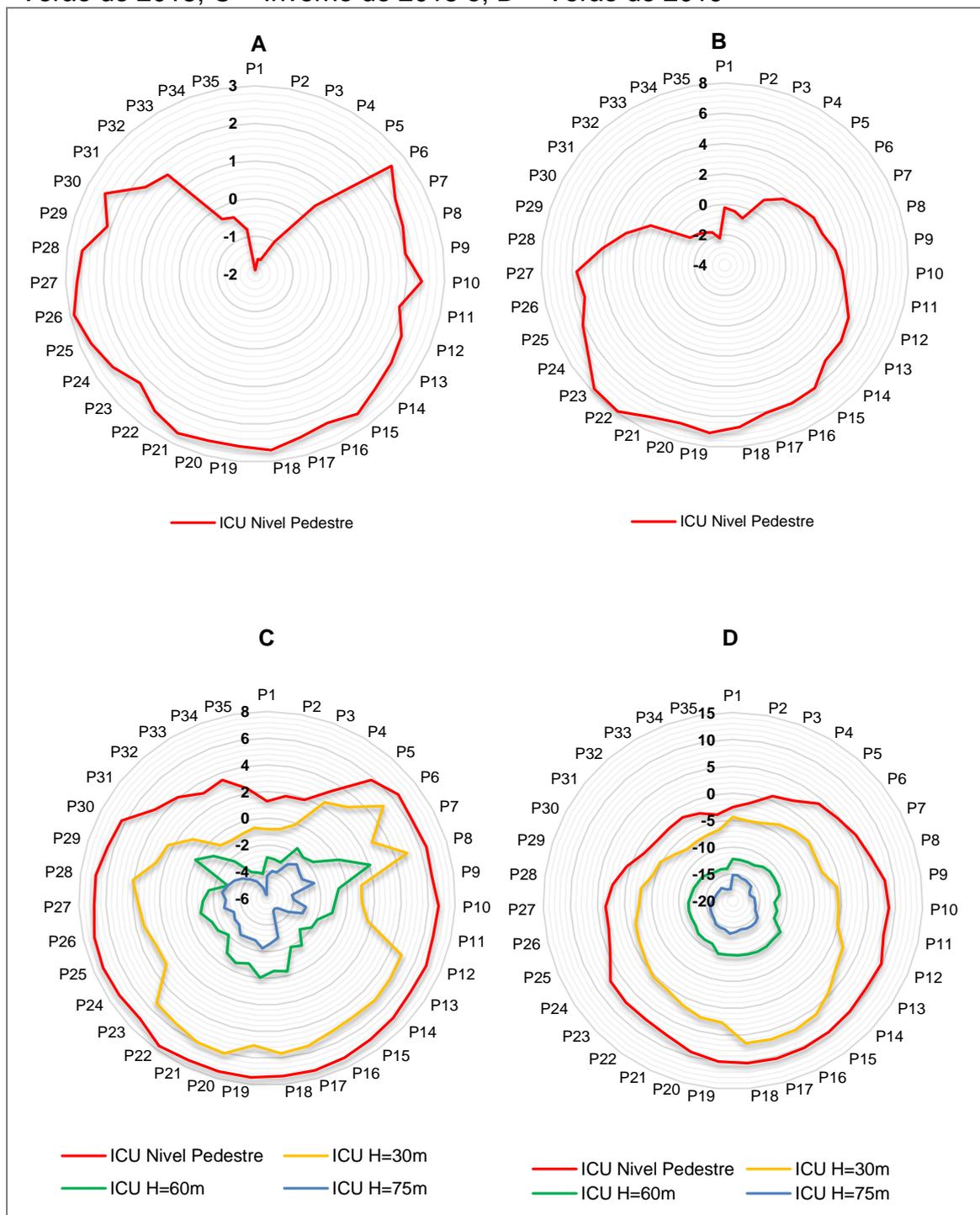
No verão de 2018, o Ponto 22 na ZCL 4 apresentou 7,9°C de ICU, o maior valor registrado, sendo que os valores mais elevados permaneceram entre os pontos 17 ao 25, valores mais elevados em comparação com demais pontos.

No inverno de 2018, as máximas ICUs foram obtidas na ZCL 4. Foi registrada no ponto 22 ao nível de pedestre uma ICU de 7,67°C. Já à 30 metros de altura, no ponto 21, houve uma temperatura de ICU de 5,97°C; à 60 metros de altura, no ponto 19 de -0,03°C e a 75 metros, no ponto 19, -2,23°C.

A 30 metros de altura, fica evidente a formação da UCL, tendo esses valores bem destacados nessa estação do ano.

O verão de 2019, as máximas ICUs foram obtidas na ZCL 5. Ao nível de pedestre no ponto 17 foi registrada uma ICU com 10,4°C. Já à 30 metros de altura, também no ponto 17, houve uma temperatura de ICU de 6,7°C; à 60 metros de altura, no ponto 15 e 16, de -9,5°C e a 75 metros, no ponto 19, -13,9°C.

Figura 71: Médias das ICUs por pontos e alturas: **A** - Inverno de 2017; **B** – Verão de 2018; **C** - Inverno de 2018 e; **D** – Verão de 2019



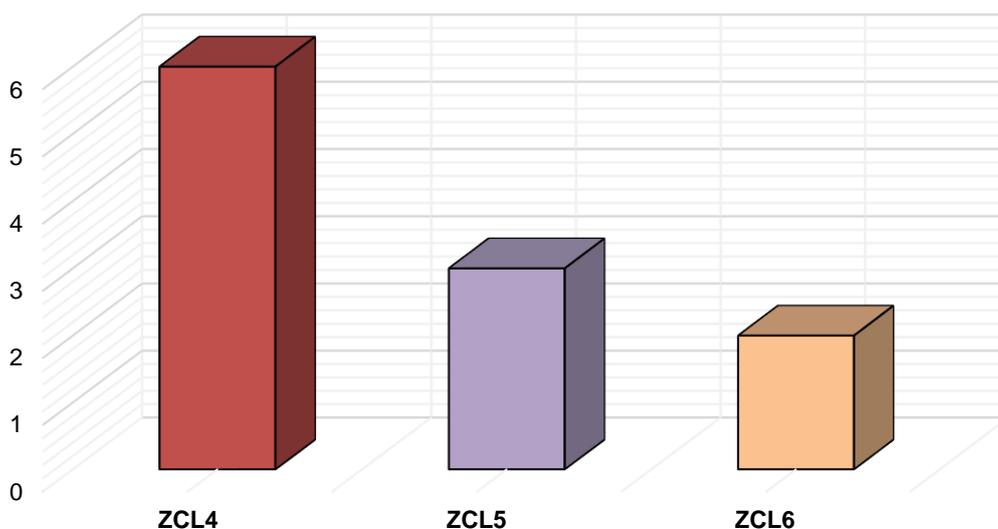
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A **figura 72** evidencia a distribuição de ocorrência das ICUs nas ZCLs com os destaques dos valores máximos durante os período pesquisados. As ZCLs 4 e 5 (respectivamente *prédios altos espaçados com arborização* e; *prédios médios espaçados com arborização*) tiveram um total de nove máximas

de ICUs obtidas. Essas ZCLs se destacaram por apresentarem os valores mais elevados de ICU durante todas as campanhas.

A ZCL 6 (*prédios baixos espaçados com arborização*) apresentou duas máximas registradas – uma a nível do pedestre e outra à 60 metros de altura – em diferentes campanhas de coleta.

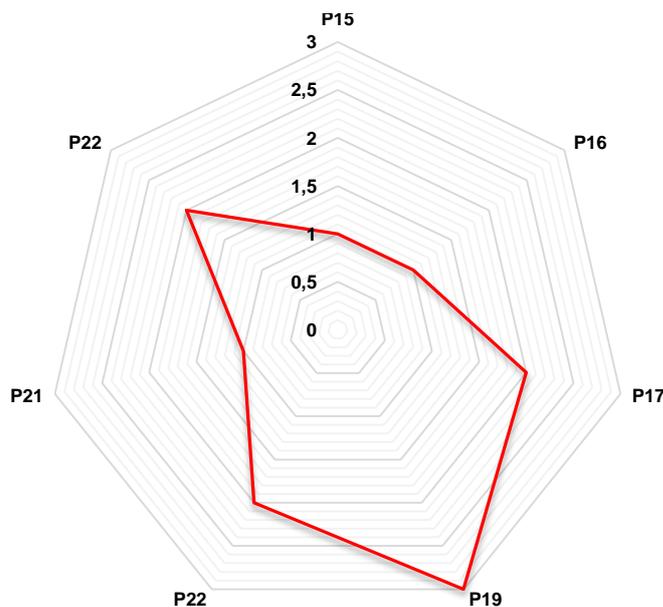
Figura 72: Distribuição das ZCLs com os destaques dos valores máximos dos ICUs durante todo o período pesquisado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A **figura 73** mostra a quantificação das maiores médias térmicas das ICUs identificadas por ponto durante o período de pesquisa. Como pode-se observar, os pontos 17, 19 e 22 tiveram maiores médias, apesar de estarem em ZCLs diferentes, porém, na mesma região central da cidade. Os resultados evidenciam que concentração do calor nas áreas centrais e mais adensadas gera valores de temperaturas do ar mais elevados.

Figura 73: Quantificação com os valores mais elevados das ICUs identificados por ponto durante os períodos da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Entre as vantagens do uso de vants para estudos micro meteorológicos em escala urbana, destaca-se a possibilidade de se observar em detalhes a real condição térmica do ar urbano em períodos curtos de tempo, especialmente em cidades como Franca (SP), que apresenta grande variação de relevo e de configurações ambientais. Entretanto, é importante destacar a necessidade de se realizar os voos em dias com atmosfera estável para facilitar o posicionamento geográfico do vant, o registro das informações com a precisão adequada dos dados, de acordo com Brússolo et al. (2018).

Nos estudos de Brússolo e Vecchia (2019), o tipo de ocupação do solo em áreas rurais, predominantemente mais vegetado, não tem a mesma capacidade de absorver e reter calor para superfícies urbanas mais impermeabilizadas. Portanto, conforme relatado por Oke (1978), a superfície das áreas rurais tende a perder calor mais rapidamente e o ar acima dela deixa de ser aquecido, possibilitando a entrada de ar frio próximo à superfície com uma camada de ar mais quente acima dela.

Outro aspecto relevante para o uso de vants para o monitoramento de informações urbanas, segundo Brússolo (2015), refere-se ao uso das baterias. O autor explica que o vant deve dispor de bateria suficiente para se manter no

ar até que os sensores termo higrométricos se estabilizem e, assim, registre medidas precisas. Equipamentos que disponham de no máximo 12 minutos de voo podem limitar a abrangência dos estudos de clima urbano, dependendo das características da cidade e do trajeto planejado.

Por outro lado, os estudos conduzidos por Ugeda (2011) analisaram o clima urbano e o planejamento na cidade de Jales (SP) por meio de pontos fixos, transecto móvel e sensoriamento remoto e constataram que tais técnicas não foram suficientes para mostrar a atividade térmica ocorrida na CLU.

Tsin et al. (2016) fizeram o monitoramento da temperatura do ar com transectos móveis em um percurso a pé em Vancouver, Canadá. Foram selecionadas 20 rotas com distintas áreas de acordo com as ZCLs propostas por Stewart e Oke (2012). As medições móveis foram comparadas com as medições de 4 pontos fixos de monitoramento em diversas áreas da cidade para, finalmente, relacioná-las com imagens do satélite LandSat. Esta pesquisa revelou pouca consistência entre as medidas replicadas na mesma rota, devido às diferenças sinóticas e ao estado térmico regional nos diferentes dias de medição.

As discrepâncias devem-se, possivelmente, ao fato das repetições terem sido medidas em direções opostas e em lados opostos da rua, sob diferentes condições de ventos e sombreamento diferentes. Neste caso, a aplicação de um método que reconhecesse com mais precisão a forma urbana e o efeito térmico das superfícies urbanas na temperatura do ar instantaneamente talvez pudesse contribuir para uma discussão de informações mais consistente. Assim, é fundamental determinar a escala de abrangência do estudo para aplicar a técnica de monitoramento do clima urbano mais adequada para cada caso.

As análises obtidas por Souza et al. (2010) através da identificação das tendências térmicas em Bauru (SP), dados de máxima intensidade da ICU noturna em cada ponto, puderam oferecer bases para a comparação com um modelo empírico, onde a pesquisa propôs uma equação de correção, e dados reais de pesquisas anteriores foram comparados com dados simulados pela nova equação. Foram gerando resultados que indicaram que a temperatura urbana noturna varia de acordo com a faixa de FVC.

Liu et al. (2017) conduziram uma pesquisa em uma região com padrões urbanos diversificados na cidade de Shenzhen, China. A pesquisa recorreu ao transecto móvel com velocidade máxima de 20km/h no percurso. As coletas ocorreram em 24 pontos diferenciados em padrões durante 4 horários, em três dias consecutivos, sempre às 15h, e em 2 estações distintas do ano, em agosto de 2015 e janeiro de 2016. Esta pesquisa discutiu os padrões construtivos de cada área e sua influência para a melhoria da qualidade térmica do local. Entretanto, a carência de detalhamento das características sinóticas dos dias de coletas de dados e a consideração da área urbana apenas horizontalmente podem ter prejudicado a precisão dos registros das ICUs e a detecção de sua abrangência espacial.

A pesquisa de Assis, Ferreira e Katzschner (2017) propôs a adaptação e a aplicação da metodologia trabalhada por Katzschner (2005), desenvolvida por Scherer et al. (1999), na construção de mapas climáticos aplicando conceitos de climatopos para a cidade de Belo Horizonte (MG). Os autores se basearam em dados como uso do solo, aspectos geográficos e informações sobre os ventos, os quais foram analisados para a construção de diferentes camadas de mapas temáticos analisados. Foram definidas oito classes de climatopos, os quais apoiaram a criação de um mapa climático analítico da cidade.

Os pesquisadores constataram que as áreas verdes têm maior potencial dinâmico e menor carga térmica, o que favorece o resfriamento noturno; as áreas densamente ocupadas, e que correspondem ao centro da cidade, por sua vez, têm baixa capacidade de resfriamento noturno, já que a carga térmica acumulada e o baixo potencial dinâmico favorecem o aquecimento das superfícies. Quanto à distribuição das classes de climatopos, analisou-se que cerca da metade do território da cidade apresenta como resposta atmosférica térmica negativa e bom potencial dinâmico, o que indica que o impacto negativo dos elementos urbanos na carga térmica superficial pode ser considerado ainda baixo.

A pesquisa realizada por Kotharkar e Bagade (2018) teve como base a cidade de Nagpur, na Índia, levando em consideração as diferenças das ZCLs, utilizando-se de coleta de dados fixos e móveis. Os resultados mostraram que a intensidade de ICU dentro das ZCLs constituídas no inverno para a cidade de

Nagpur varia de 1,76°C a 4,9°C. Por fim, este estudo ainda analisou a variação térmica entre as ZCLs tradicionais e subclasses, possibilitando a identificação de ZCLs críticas em termos de ICU e sugerindo as devidas intervenções espaciais para se adequar às condições microclimáticas.

Ferreira e Duarte (2019) pesquisaram a avaliação de parâmetros geométricos de desfiladeiros urbanos e como estes afetam seus microclimas e o conforto térmico de pedestres na cidade de Campinas (SP). O referido estudo utilizou a ferramenta computacional *ENVI-met 4.0 preview*, analisando um total de 36 cenários, com e sem espaço entre os edifícios, em duas estações do ano, com cenários que diferiram na proporção (H/W) (avenida (H/W <0,5), cânions regulares (H / W = 1,0) e profundos (H / W > 2,0)) e comprimento para altura (L/H) razão (cânions curtos [L/H <3,0], médios [L / H = 5,0] e longos [L/H > 7,0]).

O desempenho dos cânions foi avaliado comparando-se a temperatura do ar, a velocidade do vento e a temperatura fisiológica equivalente (PET). Os resultados obtidos revelaram que desfiladeiros com maior relação H/W aumentam a velocidade do vento e o sombreamento das edificações, melhorando o conforto térmico ao nível do pedestre, principalmente no verão. Por outro lado, um aumento na relação L/H não teve efeito significativo na sensação de conforto térmico ao nível do pedestre, que foi semelhante ao cenário sem espaçamento entre edifícios.

Em uma análise geral, as medições a nível da superfície urbana tiveram valores condizentes com a temperatura basal, ou seja, para cada tipo de componente urbano (asfalto, concreto, grama, areia, etc.), os valores térmicos tendiam a sofrer alteração. As transições de padrões construtivos refletiram bem isso durante a análise, contudo quando comparados os ICUs X FVC (FERREIRA; DUARTE, 2019).

Nos casos analisados em Franca, por exemplo, no verão de 2018 e verão de 2019, com sistemas atuantes diferentemente em cada um, houve, na ZCL 4 – *Prédios altos espaçados com arborização* –, a constante térmica na área, mesmo arborizada e mesmo ventilada em certos dias. Notou-se que a baixa circulação de ar dos dias analisados na área urbanizada causou a formação de uma abóboda de calor nesse ponto, mesmo com ventos que

chagaram a 6,2 km/h. Estes mesmos ventos, quando percebidos em áreas mais abertas, desempenharam uma nítida função de dispersão do calor.

A junção dos conhecimentos sobre clima urbano como uma das ferramentas de planejamento espacial tem sido considerada pouco exitosa. Mesmo com toda a abordagem e importância dos estudos desenvolvidos por Stewart e Oke (2012), Mills (2010), Ng (2011), Gartland (2010), Givoni (2001), entre outros, ainda se anulam muitas das possibilidades de compartilhamento de informações e ferramentas de monitoramento para as cidades. Nota-se que grandes problemas seriam controlados ou evitados diante da manipulação e aplicação de informações microclimáticas em ferramentas de prevenção e mitigação à ação do calor urbano.

A proposta deste estudo é fomentar um mundo que cresce com a tecnologia, mas ainda se vê na incapacidade de utilizá-la como uma ferramenta de apoio à prevenção de impactos da ocupação espacial no clima urbano. Este estudo mostrou a formação da ICU na dimensão vertical da CLU, evidenciando até onde o ar citadino fica comprometido. Apesar do método e dos resultados aqui apresentados terem sido desenvolvidos para o aprimoramento das técnicas de monitoramento microclimático de uma cidade e, sobretudo para apoiar o planejamento e ordenamento territorial, suas contribuições podem se estender para outras áreas do conhecimento, desde que estejam relacionadas ao estudo da qualidade do habitat humano.

6 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa elaborada para a composição desta tese, as conclusões obtidas produzem uma gama de possibilidades de discussões sobre o tema e, em específico sobre os resultados, evoluções e adaptações possíveis para futuras pesquisas no cenário do clima urbano.

As pesquisas dentro do cenário urbano ainda são crescentes, visto a variabilidade em decorrência dos avanços urbanos e das mudanças climáticas que afetam as cidades, bem como sua infraestrutura e a população.

As conclusões desta pesquisa nos permitem discutir alguns pontos pertinentes.

6.1 Conclusão geral e sugestões

Os levantamentos e análises do quadro sinótico para a área estudada é de relevante importância para a fidelidade quanto aos dados obtidos, sobretudo quando se compreende a estudar o clima urbano, espaço que tem diversos fatores de interferência. Diante disso, este estudo pode auxiliar diretamente na escolha de uma técnica que obtenha séries temporais mais precisas.

Os critérios metodológicos e regras estabelecidas por órgãos, como a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), devem ser levados em consideração, a não ser que o intuito seja cientificamente questioná-las.

O método utilizado nas correlações com os dados levantados e metodologicamente aplicados na pesquisa, foram feitos segundo a proposta de Oke (1996) e Stewart e Oke (2012), com base em estudos e aplicações com evidências científicas nos dados obtidos, muito funcional em localidades do hemisfério Norte. Houve nesse caso metodológico, a elaboração de um mecanismo de estudos que priorizou regiões frias, gélidas, pois o campo das pesquisas destes foi o território do Canadá, sobretudo a província de Columbia, ao Oeste do país, com destaques à cidade de Vancouver.

Essa observação se faz importante quando se tem dados como vegetação, evaporação, incidência solar, taxa de albedo, reflexão, fator de visão do céu e outros critérios que envolve o clima desta região do planeta, totalmente diferentes dos analisados no Brasil. Há uma necessidade de

elaborar um estudo com propriedade que destaquem as áreas tropicais, sobretudo no que tangem suas particularidades naturais e climáticas, para que haja bastante sobriedade nos dados que são analisados nestas pesquisas. Não se trata de uma adaptação, mas sim de um estudo focado aos territórios tropicais, para que os diversos critérios que são elencados e usados na metodologia possa ter de fato um enquadramento com propriedades do regional que foi estudado.

O método com o uso de vants se mostrou extremamente eficiente e promissor para os registros tridimensionais de fenômenos microclimáticos, até mesmo pelas pesquisas dentro da área de mapeamento e sensoriamento remoto. A regulação do uso de vants, lançada em 2016 pelos órgãos competentes, fez com que ocorresse uma melhor condição técnica e até mesmo científica desta modalidade de pesquisa. Diversas pesquisas não seguem a regulamentação oferecida ao uso dos vants no país, visto que muitos acidentes são comuns, e até mesmo fáceis de acontecer, mesmo em espaços mais distantes da área urbana.

As análises ao nível do pedestre e nas alturas de 30, 60 e 75 metros deixaram clara a eficiência do uso dos vants na obtenção de informações microclimáticas e no registro da formação das ICUs na CLU, tanto na dimensão horizontal quanto vertical.

O planejamento urbano, em geral, deve considerar o histórico de eventos catastróficos decorrentes do clima, prevendo maneiras de minimizá-los ou de mitigá-los.

O fato da cidade de Franca possuir apenas uma estação meteorológica convencional não permite que a gestão pública desenvolva planos muito detalhados para a adaptação às mudanças climáticas, pois há uma carência histórica de informações urbanas. Os frequentes alagamentos dos córregos e as elevadas temperaturas registradas, principalmente nas regiões centrais, evidenciam os desequilíbrios causados na qualidade ambiental pela implantação da infraestrutura urbana.

Ainda, a única estação da cidade está localizada na porção sul da cidade, na instalação aeroportuária do município, não condizendo com a realidade da cidade ou mesmo do centro urbano, pois se localiza muito

afastada das regiões onde a gama de problemas advindos da formação das ICUs ocorrem com maior frequência.

O clima urbano possui muitas variáveis e deve ser considerado para um planejamento urbano mais abrangente e que vise a qualidade de vida da população. Informações detalhadas sobre o espaço físico e sobre o clima podem oferecer melhor compreensão dos fenômenos e auxiliar em diversos segmentos, desde a qualidade do ar, até mesmo a redução do consumo energético ou a melhoria na saúde dos habitantes.

6.2 Conclusões acerca dos dados coletados para a cidade de Franca (SP)

Diante das estações analisadas como base dos recursos de dados para provento das análises desta pesquisa, alguns apontamentos podem ser tecidos sobre os fenômenos observados.

Nos períodos inverniais, tanto de 2017 quanto de 2018, percebeu-se uma variação da temperatura rural para urbano de 2,9°C, porém fora dos pontos centrais da cidade, com destaque para pontos como 20 e 22, na porção mais elevada do bairro da Estação, corroborando para uma nítida percepção de mais de uma área de ICU.

Nos períodos de verão de 2018 e 2019, a variação da temperatura rural para o urbano foi de 7,9°C a nível do pedestre, chegando a 17°C quando comparadas com as altitudes de 30 metros, o que demonstra evidentemente um excessivo aquecimento do ar concentrado na região central de Franca (SP), principalmente nas camadas elevadas, ou seja, na camada do dossel urbano.

Quanto às correlações entre os fatores da geometria urbana, como o FVC e a relação H/W, destaca-se que os valores no FVC foram mais significativos para verificar a formação de ICU do que a relação H/W na CLU. Apesar dos valores de correlações lineares apresentarem valores considerados baixos para demonstrar influência entre os fatores físicos e a formação de ICU, ficou evidente que a medida que o vant se eleva a 30, 60 e 75m, a influência do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca/SP**. Tese de AB'SABER, A.N. **As boçorocas de Franca**. Revista da Faculdade de Filosofia de Franca, Franca, n.2, 1968.
- AMORIM, L.; BARROS FILHO, M. N.; CRUZ, D. Urban Texture and Space Configuration Analysing Recife's Urban Fragments. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 7., Stockholm, 2009. **Proceedings...** Stockholm: KTH, 2009.
- AMORIM, M. C. C. T. et al. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins** [online], n. 7, 2009. Disponível em: <http://confins.revues.org/index6070.html>. Acesso em: 05 janeiro 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de Calor Superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical. **Geo UERJ**. n. 34. 2019.
- AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul**, v. 20, n. 39, p. 65–82, UFSC – Florianópolis/Brasil, 2005.
- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. São Paulo, 2000. 378p. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. A interferência da precipitação na intensidade e na distribuição espacial das ilhas de calor de superfície nas estações do ano em ambiente tropical. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 28, Santos, 2017. **Anais [...]** Santos, 2017. p. 1314 – 1320.
- AMORIM, M. C.C.T. Estudo do conforto térmico em ambiente tropical. **Revista Geográfica da América Central** (online), 47E-2, p.1-17,2011.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 1-26, 2003.
- ASSIS, E. S.; FERREIRA, D. G.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, Curitiba, v.9, supl.1, out. 2017.
- ATKINSON, B. W. A preliminary investigation of the possible effect of London's urban area on the distribution of thunder rainfall, **Trans. Institute Britain of Geography**. v. 44, p. 97-118, 1968.

ATKINSON, B. W. Further examination of the urban maximum of thunder rainfall in London, **Trans. Institute Britain of Geography**, v. 48, p. 97-120, 1969.

ATKINSON, B. W. The effect of an urban area on the precipitation from a moving thunderstorm. **Journal Appl. Meteorol**, v. 10, p. 47-55. 1971.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332 p.

BALCHIN, W. G. V.; PYE, N. A micro-climatological investigation of Bath and the surrounding district. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 73, 297–323. 1947.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S.C. **Cidade e Clima: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007.

BARBUGLI, R. A., RORIZ, M. Mapeamento e Análise de Microclimas Urbanos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC – COTEDI, Curitiba – PR, Brasil, novembro 2003. **Anais [...]**, Curitiba, 2003.

BORNSTEIN, R. Observations of the Urban Heat Island Effect in New York. **J. Appl. Meteor.**, 1968.

BRAHAM, R. R. Urban precipitation processes METROMEX; A Review and Summary (**Meteorol. Monogr.** Ser. vol 40) (Boston: AMS) pp 75–116. 1981

BRASIL. Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) **Instrução suplementar**, nº 21.17-2, de 04 de out. de 2012. ANAC, 2012. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-17-2/@@display-file/arquivo_norma/IS%2021.17-2A.pdf. Acesso em 02 ago.2020.

BRASIL. Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial**, nº 94/2017, de 02 mai. 2017. ANAC, 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 02 ago. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Defesa Civil (ANAC). Resolução nº 419/2017, de 02 de maio de 2017. **Aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94**. ANAC, 2017c. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>. Acesso em 02 agosto 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Instrução do Comando da Aeronáutica 100-40: **Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. Rio de Janeiro: Comando da Aeronáutica, 2015. Disponível em: <<https://www.decea.gov.br/static/uploads/2015/12/Instrucao-do-Comando-da-Aeronautica-ICA-100-40.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA). **Portaria DECEA nº 415**, de 09 de novembro de 2015. Aprova a edição da ICA 100-40, que trata dos sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, DECEA, 2015.

BRÚSSOLO, R. G. **O clima e a cidade: Ilhas de calor em Assis (SP)**. 2015. 168p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2015.

BRÚSSOLO, R. G.; PEZZOPANE, J. R. M.; VECCHIA, F. A. Comparação termohigrométrica de sub-altitude em área urbana e rural em São Carlos, Brasil, por meio de VANT/DRONE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 20, 2018, Maceió, AL. **Anais [...]** Maceió: Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2018.

BRÚSSOLO, R. G.; VECCHIA, F. A. Ub-altitude thermo-hyghrometric comparison in urban and rural area in high-altitude tropical climate by rpa/drone. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, n. 15, jul./dez., 2019.

BRYSON, R. A.; LANDSBERG, H.E. ed. World survey of climatology. 11. **Climates of North America**. Elsevier, 1974.

CARNAHAM, W.H.; LARSON, R.C. An analysis of an urban heat sink. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n.1, p.65-71, 1990.

CARNAHAN, W. H.; LARSON, R.C. An analysis of an urban heat sink. **Remote sensing of Environment** 33.1. p. 65-71. 1990.

CASTRO, A. W. S. **Clima urbano: as precipitações pluviais em Rio Claro – SP**. 1995. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

CASTRO, E.; LOPES, A. O conforto térmico urbano e o ordenamento do território na cidade de Guarda: Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica e da Geoestatística. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO, URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL – PLURIS, 4, 6 a 8 de Outubro 2010, Faro, Portugal. **Anais [...]**. Universidade do Algarve, Portugal, 2010.

CHANDLER T.J. City growth and urban climates. **Weather** 19: 170– 171. 1964.

CHANDLER, T. J. The Changing Form of London's Heat Island. **Geography** 46, 295–307. 1961

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. London: Hutchinson & CO Publishers, 1965.

CHANDLER, T. J. Wind as a factor of urban temperatures: a survey in north-east London. **Weather** 15:204–213. 1960.

CHANGNON, S. A. Recent studies of urban effects on precipitation in the U.S. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** 50:411–421.1969.

CHANGNON, S. A., HUFF, F. A. The urban-related nocturnal rainfall anomaly at St. Louis. **J. Climate Appl. Meteor.**25:1985–1995. 1986.

CLARKE, J.K.; PETERSON, J.T. An empirical model using eigenvectors to calculate temporal and spatial variation of the St. Louis heat island. **J. Appl. Meteor.**, 12, 195-210. 1973.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo**: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. 2006. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CONTI, J. B. Crescimento urbano e mudanças climáticas. **Interfaces**, São José do Rio Preto, v. 77, p. 1-17, 1982.

COSTA, A. D. L.; LABAKI, L. C.; ARAUJO, U.M.D. Medições de campo na área urbana: o desafio da padronização. RUA. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v.1, p. 26-31, 2007.

DEBIAZI, P. R. **Mapeamento do ambiente térmico e suas relações com os parâmetros do entorno urbano**. São Carlos: UFSCAR, 2016.

DUARTE, D. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo. 2000.

DUFNER, K.L. et al. Determination of climate variation within metropolitan areas. Phase I Summary. **Ashrae Transaction**. V.99, p.430 – 449. 1993.

ERIKSEN, W. Structure, genesis, and significance of urban heat island. **Umschau in wissenschaft und technik**. 78.20. p. 640-641. 1798.

ESCOURROU, G. **Le climat et la ville**. Paris: Nathan, 1991.

FABBRIA, K.; COSTANZO, V. Drone-assisted infrared thermography for calibration of outdoor microclimate simulation models. **Sustainable Cities and Society**. v. 52, Jan. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670719314738>>. Acesso em: 17 fev. 2020.

FARIA, R. R. de; COSTA, M. E. A inserção dos veículos aéreos não tripuláveis (drones) como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental. **Revista Ordem Pública**, 8.1. p. 81-103. 2015.

FERNADES, M.E.; MASIERO, E. Relação entre conforto térmico urbano e zonas climáticas locais. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**. Vol. 12. Curitiba, 2020.

FERREIRA, L. S.; DUARTE, D. H. S. Exploring the relationship between urban form, land surface Temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. **Urban Climate**, v. 27, p. 105-123, mar. 2019. Disponível em: <doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.002>. Acesso em: 12 ago. 2020.

FONTES, J.C.; POZZETI, V. C. O Uso dos Veículos não Tripulados no Monitoramento Ambiental na Amazônia. **Revista de Direito e Sustentabilidade** 2.2. P. 149-164. 2016

FRISKEN, W. R. **The atmospheric environment of cities**. Report for Resources for the Future Inc., Washington D. C., 1973.

GAITANI, N. et al. High-resolution spectral mapping of urban thermal properties with Unmanned Aerial Vehicles. **Building and Environment** 121. p. 215-224. 2017.

GAITANI, N., BURUD, I., THUIS, T., SANTAMOURIS, M. Aerial survey and in-situ measurements of materials and vegetation in the urban fabric. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 1335-1344, 2017.

GALUSIC, B.; DORNELLES, K. A. Estudo da ilha de calor urbana em São Carlos/SP: como a permeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais intervêm nas variações da temperatura do ar. In: ENCONTRO NACIONAL, 14, & ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2017, Balneário Camboriú, SC. **Anais [...]** Balneário de Camboriú: Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), 2017. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002871825>. Acesso em: 18 ago.2018.

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

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

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2nd. Ed. London: Applied Science Publishers, 1976.

GIVONI, B. **Urban design in diferente climates**. Los Angeles, World Meteorological Organization (WMO/TD-n.346, WCAP-10), 1989.

GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Israel: a review. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 4, p. 467-478, 1995.

GONÇALVES, N. M. S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador (BA)**. 1992. 268f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, São Paulo, 1992.

GRIMMOND, C.S.B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical and applied climatology**. Viena, v.84, n. 1-3, p. 3-22. 2006.

HARNACK, R. P.; LANDSBERG, H. E. Selected cases of convective precipitation caused by metropolitan area of Washington. **D.C. Journal of Applied Meteorology**, v. 14, p. 1050-1060, 1975.

HOWARD, L. **The climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it**. Vol. 3. Harvey and Darton, J. and A. Arch, Longman, Hatchard, S. Highley [and] R. Hunter, 1833.

IMAMURA-BORNSTEIN, I. R. **Observational studies of urban heat island characteristics in different climate zones**. Tsukuba: Institute of Geoscience of University of Tsukuba, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em 13 out 2018. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – (IPT). **Subsídios técnicos para um Plano de controle de erosão para a área urbana do município de Franca, SP**. São Paulo: IPT. (Parecer Técnico, 7 149), 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 12 ago. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)**. Imagens de satélites meteorológicos. Disponível em: <http://satelite.cptec.ipe.br/home/>. Acesso em: 22 jul. de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)**. Imagens de satélites meteorológicos. Disponível em: <http://satelite.cptec.ipe.br/home/>. Acesso em: 28 jan. de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)**. Imagens de satélites meteorológicos. Disponível em: <http://satelite.cptec.ipe.br/home/>. Acesso em: 12 ago. de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)**. Imagens de satélites meteorológicos. Disponível em: <http://satelite.cptec.ipe.br/home/>. Acesso em: 02 fev. de 2019.

JAUREGUI, E. The urban climate of Mexico City. In: URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATIONS WITH A SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1986, Mexico. **Anais [...]**. México: WMO, 1986. v. 2, p. 63-86.

JOHNSON, D. B. Urban Modification of Diurnal Temperature Cycles in Birmingham. **J. Climatol.** 5, 221–225.1985

KATZSCHNER, L. et al. Urban Climate Study of Salvador: Thermal Comfort Pattern In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, Fortaleza, 1999. **Anais [...]** Fortaleza: ANTAC, 1999.

KATZSCHNER, L. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais [...]** Maceió: ENCAC, 2005. p. 912-920.

KIM, Y-H.; BAIK, J-J. Spatial and temporal structure of urban heat island in Seoul. **American Meteorological Society**, v. 44, p. 591-605, May 2005.

KOTHARKAR, R., BAGADE, A. Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city. **Landscape and Urban Planning**. v. 169, p. 92-104, 2018.

KRUGER, E.; DRACH, P. Quantificação dos impactos da climatização artificial na sensação térmica de transeuntes em termos de alterações no microclima. **Urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9 (1, suppl 1), p. 301-312, 2017.

LANDSBERG, H. E. **The climate towns, in man's role in changing the face of the Earth**. Chicago: The University of Chicago Press, 1956.

LEE, H.Y. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of the Urban Heat Island. **Atmos. Environ.** 27B,1–131984. 1984.

LEE, H.Y. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of the Urban Heat Island. **Atmos. Environ.** 27B,1–131984. 1984.

LIMA, D., A. M. S. J.; NETO, M.M. **A utilização de VANT (drone) para fins de regularização fundiária urbana de interesse social**. CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, Foz do Iguaçu. 2016.

LIMA, H. G.; ASSIS, E. A. Building Mass Calculation Using GIS Software For Climate Responsible Urban Planning Applications. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20. Santiago, 2003. **Proceedings...** Santiago, Chile: PLEA, 2003.

LIU, L. et al. Analysis of local – escale urban heat island. Characteristics using an integrated method of mobile measurement and gis-based spatial interpolation. **Bulding and Environment**, v. 117, p. 191-207, 2017.

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

LOWRY, W. P. The climate of cities. **Scientific American** 217.2.p. 15-23. 1967

LOWRY, W. P.; LOWRY, P. P. **The Biological Environment. In: Fundamentals of Biometeorology: Interactions of Organisms and the Atmosphere**. 680 p. 2001.

MARTINS, T. A. de L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 213-233, out./dez. 2013.

MASIERO, E. **Influência de corpos d'água em microclimas urbanos: estudo de caso em São José do Rio Preto – SP**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n.2, p. 131–139, 2010.

MEGDA, O. R. **Eventos climáticos e suas consequências em Franca – SP**. 2014. 121p. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, SP, 2014.

MEGDA, O. R.; SOUZA, L. C. L. As ilhas de calor urbanas – ICU: Um recorte sobre o conceito e aplicação das técnicas. In: FONTES, M.S.G.; FARIA, J. R. G. de. (Org.). **Ambiente construído e sustentabilidade**. Tupã: ANAP, 2016. p. 89-102.

MENDONÇA, C. A. Clima e planejamento urbano em Londrina. In: MONTEIRO, C. A de F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 93-120.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEO/USP (1976).

MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: inovações na análise geográfica. **Revista da ANPEGE**, 7.01. p.111-118. 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 208p. 2007

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, R. S. R.; ASSIS, E. S. **Conforto Térmico Urbano: estudo de caso do bairro Floresta, Belo Horizonte**. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 45-63, out./dez. 2003.

MILESKI, André M. Uma história de alta tecnologia. In: **Revista de Tecnologia e Defesa**, a.20, n.92, p.42-61,2007.

MILLS, G. et al. Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, v. 1, p. 228–246, 2010.

MILLS, G. Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. **Theoretical Applied Climatology**. n. 84, p. 69–76, 2006.

MINELLA, F. O.; ROSSI, F. A., KRÜGER, E. L. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal - RN. **Anais do X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal, 2009.

MONTEIRO, A.; FERNANDES, A. A geoestatística: uma incursão exploratória a considerar no domínio da climatologia urbana? **Caderno de Geografia**, v. 15, p. 61–73, 1996.

MONTEIRO, C. A de F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2009.

MONTEIRO, C. A. de F. Sobre a análise geográfica de sequências de cartas de tempo. **Revista Geográfica**, v. 32, n. 58, 1963.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1976. (Série Teses e Monografias, 25).

MONTEIRO, C. A. F., et al. **The construction of geographical climatology in Brazil**. Alínea: Campinas, Brazil. 194 p. 2015

MONTEIRO, CA de F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Igeog/USP. 1973.

MUNARETTO, L. **Vant e Drones**. 2. ed. São Paulo: Edição independente, 2017.

NAKATA OSAKI, C. M. **Adaptação de um modelo simplificado para verificação da influência da geometria urbana na formação de ilha de calor noturna**. 2016. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2016.

NAUGHTON, J.; MCDONALD, W. Evaluating the Variability of Urban Land Surface Temperatures Using Drone Observations. **Remote Sensing**. v. 11., n. 14, 2019

NUNEZ, M.; OKE, T. R. The energy balance of an urban canyon. **Journal Applied Meteor.**, v. 16, p.11-19, 1977.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n. 108, p. 1-24, 1982.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Methuen & Co., 1987, 435 p.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Methuen: Royal Meteorological Society, 1978.

OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 1/4, p. 237-254, 1981.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, p. 769-779, 1973.

OKE, T. R. **City size and the urban heat island**. In: Conference on Urban Environment and second Conference on Biometeorology, 1972. Proceedings... 1972. American Meteorological Society, Philadelphia, 1972. p. 144-146.

OKE, T. R. et al. Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. **Boundary-Layer Meteorological**, v. 56, p. 339-358, 1991.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, IOM Report n. 81, WMO/TD, n. 1250, 2006.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Building**, v. 11, n.1 – 3, p. 103-113, 1988.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-277, 1976.

OKE, T. R.; MAXWELL, B.G. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. **Atmospheric Environment** (1967) 9.2 (1975): p. 191-200.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. Urban Heat Island. *In: Urban Climates*. [s.l.] Cambridge University Press, 2017.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2.ed. New York: Routledge, 1996.

OKE, T.R. **Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites**; IOM Report 81; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 2004.

OKE, T.R. Urban climates and environmental global change. In *Applied Climatology Principles and Practice*, pp. 273–287. London, UK: **Routledge**. 1997.

PAZERA, E. JR. A Ilha de calor da cidade: fatores e atributos Le noyau de chaleur de la ville: causes et caractéristiques. **Boletim geográfico do Instituto brasileiro de geografia**. 34.249. 51-57.1976

PEREZ, P. Prediction of sulfur dioxide concentrations at a site near downtown Santiago, Chile. **Atmospheric Environment** 35.29. p. 4929-4935. 2001.

PETERSON, J. T.; STOFFEL, T. L. Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri. **Journal Applied. Meteor.**, v. 19, p. 275-283, 1980.

PEZZUTO, C.C.; et.al. Distribuição Horizontal Da Temperatura Do Ar Em Uma Região Central Na Cidade De Campinas, SP. **ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO** 4, 2005.

PITTON, S.E.C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. 1997. 272p. Diss. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA (PNA). Volume II: **Estratégias Setoriais e Temáticas**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>. Acesso em: 12 de junho de 2018.

PONGRACZ, R. et.al. Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. **Adv Space Res** 3. p. 2191–2196. 2005

ROSSI, F. A. **Proposição de Metodologia e de Modelo Preditivo para Avaliação da Sensação Térmica em Espaços Abertos em Curitiba**. 2012. 188p. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

SAILOR, D.J., et al. Improving heat-related health outcomes in an urban environment with science-based policy. **Sustainability** 8.10.1015 p. 2016.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Org.). Variabilidade e mudanças climáticas. Maringá: EDUEM, 2000. 198p. SANTOS, M. J. Z. dos. Mudanças climáticas no Estado de São Paulo. **Geografia**, Rio Claro, v. 21, n. 2, p. 111-171, 1996.

SANTAMOURIS, M. (ed). **Energy and climate in the urban built environment**. London, James & James, 2001. 402 p.

SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. Eds. **Building ventilation: the state of the art**. Routledge, 2006.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1991.

SCHERER, D.; FEHRENBACH, U.; BEHA, H. D.; PARLOW, E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for

optimizing urban planning processes. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 4185-4193, 1999.

SEMONIN, R. G. Surface weather conditions. Metromex: A Review and Summary. **American Meteorological Society**, Boston, MA. p.17-40. 1981.

SILVA, C.F. **O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal**. Tese de Doutorado pelo PPG FAU UnB. Brasília, abril de 2013.

SILVA, W. A.; et.al. Sistema de Informação Geográfica para mapeamento da renda líquida aplicado no planejamento da agricultura irrigada. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.28 n.1, p.76-85, jan-mar.2008.

SOUZA, A. P. **Impactos pluviiais em Franca - SP**. 2000. 179f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Área de Concentração em Organização do Espaço) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2000.

SOUZA, L. C. L. de, et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente construído** 10.4. p. 155-167. 2010.

STATHOPOULOS, T.; WU, H.; ZACHARIAS, J. Outdoor comfort in a urban climate. **Building & Environment**, v. 39, n. 3, p.297-305, 2004.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Classifying urban climate field sites by local climate zones: The case of Nagano, Japan. Preprints, Seventh Int. Conf. on Urban Climate, Yokohama, Japan, **International Association for Urban Climate**. 2009.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for urban temperature studies. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 93, n.12, p. 1879–1900, 2012.

SZYMANOWSKI, M.; KRYZA, M. GIS-based techniques for urban heat island spatialization. **Climate Research**, v. 38, n. 2, p. 171–187, 2009.

TITARELLI, A. H. V. **Alterações do clima local nos centros urbanos: efeitos adversos da urbanização**. Caderno Prudentino de Geografia, n. 03, AGB, Presidente Prudente, 1982, p.28-35.

TSIN, P. K. et al. Microscale mobile monitoring of urban ir temperature. **Urban Climate**. Volume 18. 58-72p. Elsevier, 2016.

TSIN, P. K. et al. Microscale mobile monitoring of urbana ir temperature. **Urban Climate**, v. 18, p. 58-72, 2016.

VECCHIA, F.A.S. **Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano**. Tese Doutorado – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. 316p.

VIEIRA, N.M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca/SP**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras e Franca, 1973, p.255

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Compete urban surface temperatures. **Journal of applied meteorology**, New York, v. 36, n. 9, 1997. pp. 1117–1132.

VUCOVICH, F. M. An analysis of the ground temperature and reflectivity pattern about St. Louis, Missouri, using HCMM satellite data, **J. Appl. Meteorol.**, 22, p. 560– 571, 1983.

WNEG, Q. A remote sensing: GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International journal of remote sensing**. 22.10.1999-2014. 2001.

ANEXOS

Certidão de cadastro de vant – ANAC e Autorizações de voos liberados pelo DECEA.

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	

CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO NÃO RECREATIVO UNMANNED AIRCRAFT INSCRIPTION CERTIFICATE – NON-RECREATIONAL	
<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 20/07/2020, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Inscription Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid 07/20/2020, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator) OTAVIO</p> <p>CPF (document): 229.708.148-03</p>	<p>Nº do cadastro (Inscription Number): PR-203247240</p> <p>Uso (Purpose): Recreativo (recreational) Ramo de atividade (Business): Medição de temperatura em escala vertical Fabricante (Maker): SYMA Modelo (Model): FQ777 Nº de série (Serial Number): 95030097 Peso máximo de decolagem (MTOW): 2,00 kg Foto (Picture):</p> 
<p>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.</p>	<p>Informações adicionais (additional information):</p>
<p>O detentor desta certidão de cadastro (o operador), ou aquele com quem for compartilhada sua aeronave, é considerado apto pela ANAC a realizar voos recreativos e não recreativos no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.</p> <p><i>The holder of this inscription certificate (the operator), or the person with whom this aircraft is shared, is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform recreational and non-recreational flights in Brazil, using the above identified unmanned aircraft, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities</i></p>	
<p>A validade desta certidão pode ser verificada pelo link https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave</p>	
<p>Local e data da emissão (Place and date of issue) Brasília, 19 de janeiro de 2021 <i>Brasília, January 19th, 2021</i></p>	
<p>Esta certidão de cadastro não é válida para aeronaves não tripuladas acima de 25 kg de peso máximo de decolagem, ou em voos além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés ou 120 metros acima do nível do solo (AGL). <i>This inscription certificate is not valid for unmanned aircraft of more than 25 kg maximum takeoff weight, or flying beyond visual line of sight (BVLOS) or over 400 feet or 120 meters above ground level (AGL).</i></p>	

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERALATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	

CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO RECREATIVO
UNMANNED AIRCRAFT INSCRIPTION CERTIFICATE - RECREATIONAL

<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 19/01/2023, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Inscription Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until 01/19/2023, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator) OTAVIO</p> <p>CPF (document): 229.708.148-03</p>	<p>Nº do cadastro (Inscription Number): PR-2032472410</p> <p>Uso (Purpose): recreativo (recreational) Fabricante (Maker): FQ777 Modelo (Model): ML2123 Nº de série (Serial Number): 32147772123 Peso máximo de decolagem (MTOW): 0,50 kg Foto (Picture):</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Informações adicionais (additional information): USO ACADÊMICO</p>
<p>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.</p>	

O detentor desta certidão de cadastro (o operador), ou aquele com quem for compartilhada sua aeronave, é considerado apto pela ANAC a realizar voos **recreativos** no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.

*The holder of this inscription certificate (the operator), or the person with whom this aircraft is shared, is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform **recreational** flights in Brazil, using the above identified unmanned aircraft, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities.*

A validade desta certidão pode ser verificada pelo link <https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave>

Local e data da emissão (Place and date of issue)
Brasília, 19 de janeiro de 2021
Brasília, January 19th, 2021

SOLICITAÇÃO DE VOO #27559B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
01.02.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
02.02.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
03.02.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
04.02.2019	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO #27562B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
05.02.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
06.02.2019	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO#25476B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
14.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
15.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
16.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
17.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO#25477B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
18.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
19.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
20.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
21.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO#25479B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
22.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
23.01.2018	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO #27547B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
28.01.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
29.01.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
30.01.2019	16:00 UTC	17:30 UTC
31.01.2019	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO#24224B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
03.07.2017	16:00 UTC	17:30 UTC
04.07.2017	16:00 UTC	17:30 UTC
06.07.2017	16:00 UTC	17:30 UTC
07.07.2017	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229.***.***-03

SOLICITAÇÃO DE VOO #26117B

APROVADO

Operação

- Solicitante: OTAVIO REIS MEGDA
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / AIC N 17)
- Tipo/Regra: VLOS/

Localização

- Decolagem
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Destino
Lat:-20.567706825831614
Lng: -47.35304710928319
- Área: 100m
- Altura: 75ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
03.04.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
04.04.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
05.04.2018	16:00 UTC	17:30 UTC
06.04.2018	16:00 UTC	17:30 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-BYDG-40
- ATS: TELEFONIA CELULAR
- Piloto: TELEFONIA CELULAR

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
OTAVIO REIS	-20.567706825831614,	(16) 99221-
MEGDA	-47.35304710928319	0312

Equipamento

- Nº SISANT: PR-203247240

Piloto

- Nome: OTAVIO REIS MEGDA
- Código: BYDG
- CPF: 229,***,***-03

Dados obtidos das ICUs obtidos para na campanha de inverno de 2017.

Ponto de Coleta	T°C Nível Pedestre	T°C INMET	ICU Nível Pedestre	H/W	FVC
P1	12,6	14,5	-1,9	0,4	0,782
P2	12,9	14,5	-1,6	0,4	0,765
P3	12,9	14,5	-1,6	4	0,775
P4	13,5	14,5	-1	4	0,765
P5	14,9	14,5	0,4	3,8	0,802
P6	17,1	14,5	2,6	3,5	0,812
P7	16,7	14,5	2,2	3	0,803
P8	16,6	14,5	2,1	1	0,756
P9	16,5	14,5	2	0,5	0,7
P10	16,9	14,5	2,4	0,35	0,75
P11	16,4	14,5	1,9	0,4	0,725
P12	16,7	14,5	2,2	0,4	0,498
P13	16,8	14,5	2,3	0,4	0,531
P14	16,9	14,5	2,4	0,35	0,567
P15	17,1	14,5	2,6	0,4	0,334
P16	16,9	14,5	2,4	4	0,559
P17	17	14,5	2,5	1	0,481
P18	17,2	14,5	2,7	1,5	0,446
P19	17,1	14,5	2,6	2	0,411
P20	17,1	14,5	2,6	2	0,447
P21	17,2	14,5	2,7	2,5	0,506
P22	17	14,5	2,5	2	0,29
P23	16,7	14,5	2,2	1,5	0,458
P24	17	14,5	2,5	0,4	0,53
P25	17,2	14,5	2,7	0,5	0,506
P26	17,4	14,5	2,9	0,3	0,518
P27	17,2	14,5	2,7	0,4	0,518
P28	17,1	14,5	2,6	0,2	0,406
P29	16,6	14,5	2,1	0,3	0,385
P30	17	14,5	2,5	0,5	0,475
P31	16,2	14,5	1,7	0,4	0,479
P32	16	14,5	1,5	0,4	0,617
P33	14,2	14,5	-0,3	0,1	0,527
P34	14,1	14,5	-0,4	0,1	0,571
P35	13,7	14,5	-0,8	0,1	0,571

Dados obtidos das ICUs obtidos para na campanha de verão de 2018.

Ponto de Coleta	T°C Nível Pedestre	T°C INMET	ICU Nível Pedestre	H/W	FVC
P1	23,6	23,8	-0,2	0,4	0,782
P2	23,4	23,8	-0,4	0,4	0,765
P3	23,1	23,8	-0,7	4	0,775
P4	24,8	23,8	1	4	0,765
P5	25,6	23,8	1,8	3,8	0,802
P6	26	23,8	2,2	3,5	0,812
P7	26,4	23,8	2,6	3	0,803
P8	26,5	23,8	2,7	1	0,756
P9	27,1	23,8	3,3	0,5	0,7
P10	27,5	23,8	3,7	0,35	0,75
P11	27,9	23,8	4,1	0,4	0,725
P12	28,6	23,8	4,8	0,4	0,498
P13	28,9	23,8	5,1	0,4	0,531
P14	28,9	23,8	5,1	0,35	0,567
P15	29,8	23,8	6	0,4	0,334
P16	29,9	23,8	6,1	4	0,559
P17	29,9	23,8	6,1	1	0,481
P18	30,5	23,8	6,7	1,5	0,446
P19	30,9	23,8	7,1	2	0,411
P20	30,6	23,8	6,8	2	0,447
P21	30,9	23,8	7,1	2,5	0,506
P22	31,7	23,8	7,9	2	0,29
P23	31,6	23,8	7,8	1,5	0,458
P24	30,5	23,8	6,7	0,4	0,53
P25	29,9	23,8	6,1	0,5	0,506
P26	29,2	23,8	5,4	0,3	0,518
P27	29,5	23,8	5,7	0,4	0,518
P28	27,9	23,8	4,1	0,2	0,406
P29	26,6	23,8	2,8	0,3	0,385
P30	25,3	23,8	1,5	0,5	0,475
P31	22,7	23,8	-1,1	0,4	0,479
P32	22,5	23,8	-1,3	0,4	0,617
P33	22,3	23,8	-1,5	0,1	0,527
P34	22,1	23,8	-1,7	0,1	0,571
P35	21,6	23,8	-2,2	0,1	0,571

Dados obtidos das ICUs obtidos para na campanha de inverno de 2018.

Ponto de Coleta	T°C Nivel Pedestre	Temp °C 30 m	Temp °C 60 m	Temp °C 75 m	Temp °C INMET	ICU Nivel Pedestre	ICU H=30m	ICU H=60m	ICU H=75m	H/W	FVC
P1	10,4	8,3	6,2	4,8	9,13	1,27	-0,83	-2,93	-4,33	0,4	0,782
P2	10,9	8,4	6,1	5,2	9,13	1,77	-0,73	-3,03	-3,93	0,4	0,765
P3	11	9	6	5,2	9,13	1,87	-0,13	-3,13	-3,93	4	0,775
P4	12,5	11,5	7,5	6,1	9,13	3,37	2,37	-1,63	-3,03	4	0,765
P5	14,9	12,2	7,2	6,5	9,13	5,77	3,07	-1,93	-2,63	3,8	0,802
P6	15,6	14,2	7,5	6,2	9,13	6,47	5,07	-1,63	-2,93	3,5	0,812
P7	15,4	12	9,2	6,1	9,13	6,27	2,87	0,07	-3,03	3	0,803
P8	15,6	14,1	11,2	6,8	9,13	6,47	4,97	2,07	-2,33	1	0,756
P9	15,5	10,2	8,5	5	9,13	6,37	1,07	-0,63	-4,13	0,5	0,7
P10	15,9	10,2	8,2	5,1	9,13	6,77	1,07	-0,93	-4,03	0,35	0,75
P11	15,8	10,8	8,1	6,1	9,13	6,67	1,67	-1,03	-3,03	0,4	0,725
P12	16	14	7,2	6	9,13	6,87	4,87	-1,93	-3,13	0,4	0,498
P13	15,9	14,1	7,1	5	9,13	6,77	4,97	-2,03	-4,13	0,4	0,531
P14	16,1	14,2	6,5	4,2	9,13	6,97	5,07	-2,63	-4,93	0,35	0,567
P15	16,2	14,1	7,5	4,1	9,13	7,07	4,97	-1,63	-5,03	0,4	0,334
P16	16,4	14,2	7,2	4,2	9,13	7,27	5,07	-1,93	-4,93	4	0,559
P17	16,5	14,6	8,8	6,2	9,13	7,37	5,47	-0,33	-2,93	1	0,481
P18	16,5	14,8	8,6	6,5	9,13	7,37	5,67	-0,53	-2,63	1,5	0,446
P19	16,6	14,2	9,1	6,9	9,13	7,47	5,07	-0,03	-2,23	2	0,411
P20	16,6	15,2	8,2	6,4	9,13	7,47	6,07	-0,93	-2,73	2	0,447
P21	16,6	15,1	8,5	6,4	9,13	7,47	5,97	-0,63	-2,73	2,5	0,506
P22	16,8	14,7	8,2	6,5	9,13	7,67	5,57	-0,93	-2,63	2	0,29
P23	16,2	14,5	7,1	6	9,13	7,07	5,37	-2,03	-3,13	1,5	0,458
P24	16,3	12,1	7,5	6	9,13	7,17	2,97	-1,63	-3,13	0,4	0,53
P25	16,4	12,1	7,6	5,8	9,13	7,27	2,97	-1,53	-3,33	0,5	0,506
P26	16,3	12,5	8,2	6,4	9,13	7,17	3,37	-0,93	-2,73	0,3	0,518
P27	16	12,7	7,9	6,2	9,13	6,87	3,57	-1,23	-2,93	0,4	0,518
P28	16	13,2	7,5	6,5	9,13	6,87	4,07	-1,63	-2,63	0,2	0,406
P29	15,6	11,8	6,2	6,2	9,13	6,47	2,67	-2,93	-2,93	0,3	0,385
P30	15,4	11,5	9,2	5,9	9,13	6,27	2,37	0,07	-3,23	0,5	0,475
P31	13,8	10,2	8,2	5,5	9,13	4,67	1,07	-0,93	-3,63	0,4	0,479
P32	13,2	8,4	6,8	5	9,13	4,07	-0,73	-2,33	-4,13	0,4	0,617
P33	12,3	8,2	5,4	4,6	9,13	3,17	-0,93	-3,73	-4,53	0,1	0,527
P34	12,6	8,3	5,2	4	9,13	3,47	-0,83	-3,93	-5,13	0,1	0,571
P35	11,5	8,5	5	3,4	9,13	2,37	-0,63	-4,13	-5,73	0,1	0,571

Dados obtidos das ICUs obtidos para na campanha de verão de 2019.

Ponto de Coleta	T°C Nível Pedestre	Temp °C 30 m	Temp °C 60 m	Temp °C 75 m	Temp °C INMET	ICU Nível Pedestre	ICU H=30m	ICU H=60m	ICU H=75m	H/W	FVC
P1	22,1	20,3	12,5	9,5	24,7	-2,6	-4,4	-12,2	-15,2	0,4	0,782
P2	23,2	19,8	12,4	9,5	24,7	-1,5	-4,9	-12,3	-15,2	0,4	0,765
P3	25,5	20,1	12,4	9,2	24,7	0,8	-4,6	-12,3	-15,5	4	0,775
P4	26,4	21,2	12,4	9,2	24,7	1,7	-3,5	-12,3	-15,5	4	0,765
P5	28,7	22	13,1	9,1	24,7	4	-2,7	-11,6	-15,6	3,8	0,802
P6	29,4	22,5	13,4	9	24,7	4,7	-2,2	-11,3	-15,7	3,5	0,812
P7	30,5	22	13,4	8,2	24,7	5,8	-2,7	-11,3	-16,5	3	0,803
P8	31,4	22	13,5	8	24,7	6,7	-2,7	-11,2	-16,7	1	0,756
P9	33	24,1	13,4	8,7	24,7	8,3	-0,6	-11,3	-16	0,5	0,7
P10	33,5	24,2	12,4	8,8	24,7	8,8	-0,5	-12,3	-15,9	0,35	0,75
P11	33,2	24,5	13,1	9	24,7	8,5	-0,2	-11,6	-15,7	0,4	0,725
P12	34,5	26,8	13	9,2	24,7	9,8	2,1	-11,7	-15,5	0,4	0,498
P13	34,2	27,5	15,2	10,2	24,7	9,5	2,8	-9,5	-14,5	0,4	0,531
P14	34,5	29,2	15	10,5	24,7	9,8	4,5	-9,7	-14,2	0,35	0,567
P15	34,8	30,8	15,2	10,5	24,7	10,1	6,1	-9,5	-14,2	0,4	0,334
P16	35	31,3	15,2	10,4	24,7	10,3	6,6	-9,5	-14,3	4	0,559
P17	35,1	31,4	15	10,2	24,7	10,4	6,7	-9,7	-14,5	1	0,481
P18	35	31,3	14,9	10,5	24,7	10,3	6,6	-9,8	-14,2	1,5	0,446
P19	34,7	27,4	14,8	10,8	24,7	10	2,7	-9,9	-13,9	2	0,411
P20	33,8	27,2	14,9	10,2	24,7	9,1	2,5	-9,8	-14,5	2	0,447
P21	32,5	26,2	13,5	10,2	24,7	7,8	1,5	-11,2	-14,5	2,5	0,506
P22	32	25,2	13,6	10,1	24,7	7,3	0,5	-11,1	-14,6	2	0,29
P23	32	25,1	13,5	9,5	24,7	7,3	0,4	-11,2	-15,2	1,5	0,458
P24	31,8	24,1	13	9,3	24,7	7,1	-0,6	-11,7	-15,4	0,4	0,53
P25	29,3	23,5	13	9,2	24,7	4,6	-1,2	-11,7	-15,5	0,5	0,506
P26	28,2	23,1	13	9	24,7	3,5	-1,6	-11,7	-15,7	0,3	0,518
P27	28,2	22	12,9	8,5	24,7	3,5	-2,7	-11,8	-16,2	0,4	0,518
P28	27,1	21,8	12,5	8,2	24,7	2,4	-2,9	-12,2	-16,5	0,2	0,406
P29	25,3	20,2	12,3	8	24,7	0,6	-4,5	-12,4	-16,7	0,3	0,385
P30	23,3	19,9	12	7,9	24,7	-1,4	-4,8	-12,7	-16,8	0,5	0,475
P31	22,6	18,5	11,9	7,8	24,7	-2,1	-6,2	-12,8	-16,9	0,4	0,479
P32	22,6	17,5	11,3	7,9	24,7	-2,1	-7,2	-13,4	-16,8	0,4	0,617
P33	22,8	17,6	11	7,2	24,7	-1,9	-7,1	-13,7	-17,5	0,1	0,527
P34	22,1	17,8	11	7	24,7	-2,6	-6,9	-13,7	-17,7	0,1	0,571
P35	21	18,2	10,8	7	24,7	-3,7	-6,5	-13,9	-17,7	0,1	0,571

Seguro aeronáutico de Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador
Aéreo (RETA) contratado durante o período de uso das pesquisas de
doutorado

4.7. - Prejuízos financeiros e Lucros cessantes de privação das aeronaves abalroadas	R\$ 5.418,82		por aeronave abalroadas
5. - Cobertura Básica N°05 - Danos a Carga e Bagagens Despachadas decorrente de acidente			
5.1. - Bagagem Despachada (por passageiro)	R\$ 0,00		R\$ 0,00
5.2. - Carga Despachada (por quilo)	R\$ 0,00		por quilo
6. - Cobertura Básica N° 06 - Cancelamento de Voo, Atraso ou Preterição de Embarque	R\$ 0,00		R\$ 0,00
7. - Cobertura Adicional - Defesa em Juízo Civil (por ocorrência)	R\$ 0,00		R\$ 0,00

Prêmios / Condições de Pagamento

Prêmio Líquido: 1.055,18	IOF: 38,94	Prêmio Total: 1.094,12
Condições: Ficha de Compensação - 1 FCA + 6 Ficha (sem juros)		Primeira Parc: 141,63 Demais Parc: 141,63

Observações

Declaro, como Corretor nesta contratação, que, na forma da legislação vigente, dei cumprimento integral às disposições contidas na Resolução CNSP nº 382/2020, inclusive quanto à prévia disponibilização ao proponente das informações previstas no art. 4º, § 1º, da referida Resolução.

Cod. Corretor: 90447	Cod. Susep: 00000202045534	Cod. Sucursal: 10
Corretor: GENEBRA CORRETORA DE SEGUROS LTDA		Telefone: 51 32377210
Endereço: CARLOS GOMES, 1492 SL 1710		Cidade: PORTO ALEGRE
Operador:	UF:	CEP: 90480001
		CD10DE0AG00FT0