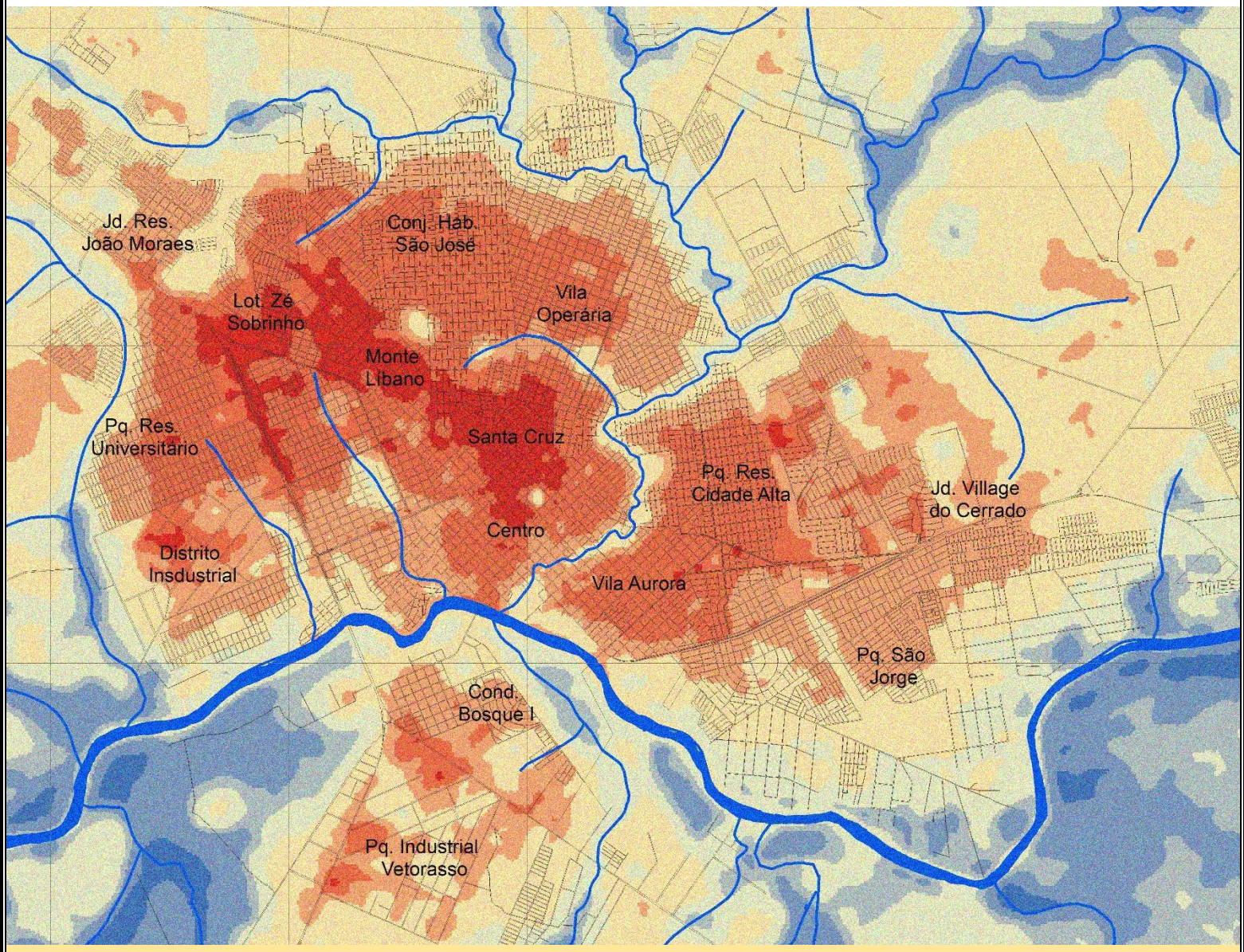
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Câmpus de Presidente Prudente



O CLIMA URBANO EM AMBIENTE TROPICAL: ANÁLISE DO PERFIL TÉRMICO DE RONDONÓPOLIS-MT

Washington Paulo Gomes

Orientadora
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Presidente Prudente
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Câmpus de Presidente Prudente

WASHINGTON PAULO GOMES

O CLIMA URBANO EM AMBIENTE TROPICAL: ANÁLISE DO PERFIL TÉRMICO DE RONDONÓPOLIS-MT

Presidente Prudente
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Câmpus de Presidente Prudente

WASHINGTON PAULO GOMES

O CLIMA URBANO EM AMBIENTE TROPICAL: ANÁLISE DO PERFIL TÉRMICO DE RONDONÓPOLIS-MT

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - FCT/UNESP - campus de Presidente Prudente, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Presidente Prudente
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

G633c

Gomes, Washington Paulo

O clima urbano em ambiente tropical: análise do perfil térmico de Rondonópolis-MT / Washington Paulo Gomes. -- Presidente Prudente, 2021

202 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

1. Clima urbano. 2. Ilhas de calor. 3. Clima tropical. 4. Rondonópolis. 5. Mato Grosso. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: O clima urbano em ambiente tropical: análise do perfil térmico de Rondonópolis-MT

AUTOR: WASHINGTON PAULO GOMES
ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

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

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

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

Prof. Dr. CHARLEI APARECIDO DA SILVA (Participaçao Virtual)
Faculdade de Ciências Humanas / Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. RANYÉRE SILVA NÓBREGA (Participaçao Virtual)
Ciências Geográficas / Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profa. Dra. GISLENE FIGUEIREDO ORTIZ PORANGABA (Participaçao Virtual)
Departamento: Geografia / Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS

Presidente Prudente, 29 de outubro de 2021

Dedico este trabalho a minha esposa Tatiane, obrigado por estar sempre presente. Te amo.

AGRADECIMENTOS

O momento de agradecer todos que fizeram parte desta jornada sempre pairava sobre meus pensamentos. Ser grato pela confiança, apoio, conselhos, carinho, amor e por todas as críticas construtivas que recebi na minha trajetória dentro e fora da Geografia é uma tarefa ímpar, gratificante e sem sombra de dúvidas, é uma honra.

Os meus primeiros agradecimentos vão para os pilares na minha formação enquanto ser humano, aqueles que me ensinaram a amar, a ser gentil e que nunca duvidaram, por nenhum segundo sequer, que um dia este trabalho seria concluído. Pai e mãe, obrigado! Obrigado por tudo o que me proporcionaram, obrigado pelos incentivos e obrigado por acreditarem que a educação pública transformaria nossas vidas.

Os agradecimentos se estendem aos meus irmãos, Eilane (Nany), William e Dielme, obrigado por fazerem eu acreditar que a família é a coisa mais importante que temos, vocês são únicos, são meus amigos, são meus parceiros de vida. A nossa união, representada nas conversas diárias, são a prova de que estamos no caminho certo. Obrigado! Hoje a nossa família está maior, graças a minha cunhada Priscila que trouxe ao mundo duas princesas chamadas Stefany e Isabelly, obrigado por me acolherem sempre, vocês são maravilhosas.

Agora está na hora daquele agradecimento mais que especial, para a pessoa que me escolheu para passar todos os dias ao seu lado, ao amor da minha vida. Tatiane Felix, obrigado por sempre acreditar no meu potencial, você nunca duvidou que o dia da tão sonhada tese de doutorado iria chegar. Quando nos conhecemos, você já estava iniciando a sua jornada no doutorado e eu ainda na graduação, vivíamos na mesma faculdade, mas em tempos diferentes, foi graças a nossa escolha de vida e por pensarmos de forma semelhante as mazelas que assolam a nossa sociedade, a precarização do trabalho e a luta de classes que nos conhecemos durante o movimento de greve de 2014. Deste então, já se passaram sete anos e nunca mais nos separamos, hoje vejo você voando alto, realizando sonhos e me ajudando a colocar tijolinhos na nossa fundação. Obrigado por tudo, você é sensacional! Eu te amo!

Todos nós buscamos ao longo da vida pessoas com quem podemos contar, padrinhos, amigos, colegas e parceiros. Na Geografia, e para além dela, encontrei a professora Margarete Amorim, uma mulher dedicada, sonhadora, inteligente, perceptiva e amorosa. Obrigado por ter acreditado naquele menino que no ano de 2010, chegou com ideias de mudar o mundo. Claro que a senhora me ajudou a sonhar, mas com toda a delicadeza de sempre, me ensinou que os projetos de iniciação científica, mestrado e doutorado precisavam de recortes...rsrs! Obrigado por me acolher, por ter sido mais que uma orientadora, por me oferecer as melhores condições para a realização dos trabalhos. Fomos premiados nos eventos de iniciação científica e também

com a dissertação de mestrado. No doutorado, o maior prêmio foi poder consolidar de vez a nossa amizade. Sabemos que o ano de 2021 não está sendo fácil, é um ano de superação, de aprender a viver novamente, agora sem a presença física do nosso querido professor Amilton Amorim (*in memorian*). A senhora é uma mulher forte, e como sempre, vai conseguir superar todas as adversidades. Obrigado por tudo!

Agradeço o professor José Tadeu Garcia Tommaselli e a professora Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba, pelo aceite, participação e todas as sugestões na banca de qualificação. Tadeu você é um amigo que a FCT/UNESP me deu, foi muito mais do que um professor, me acolheu em todos os sentidos, obrigado. Gih você é uma grande referência para os trabalhos de climatologia urbana, obrigado pelo carinho de sempre.

Atualmente, morando a quase mil quilômetros de Presidente Prudente, confesso que a minha participação no grupo de pesquisa não foi das melhores, mas a união que construímos ao longo de todos esses anos foram suficientes para superar a barreira da distância. A todos os meus parceiros do GAIA, muito obrigado!

Agradeço a minha sogra Neide e ao meu sogro Beto por me acolherem em todas as vezes que tive que ir fazer as disciplinas em Presidente Prudente, obrigado pelo carinho.

Agradeço os profissionais da Escola Estadual La Salle, em especial na figura do diretor Alex Friselli, obrigado pela parceria e confiança. Você é um amigo que Rondonópolis me deu, tive a sorte de ter escolhido a escola La Salle e venho aprendendo muito a cada dia com você. Obrigado pela ajuda na distribuição dos pontos fixos, você é um cara de muitos contatos!

Agradeço de forma especial aos meus amigos Caio e Érika, por terem aceitado o desafio de ajudar com os transectos móveis em meio a pandemia. Sei que essas palavras não serão suficientes para expressar a minha gratidão por todo o apoio. Vocês são ótimos amigos, estamos ansiosos pela 2ª dose da vacina, para que possamos fazer aquele churrasco tanto prometido! Obrigado de verdade.

Agradeço a Kika pela ajuda com os transectos móveis e ao Rodrigo pela parceria de sempre, muito bom ter amigos como vocês por perto.

Agradeço a todos que disponibilizaram as suas casas para a instalação dos registradores meteorológicos (Liliane, Lucimar, Karina, Vitor, Maria Teresa, Alex, Mirian, Renata e Zé), sem vocês este trabalho não seria possível.

Agradeço aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da FCT/UNESP por todo o trabalho dedicado ao programa de Geografia, em especial na figura da Aline que sempre atendeu as solicitações de forma muito gentil. Obrigado!

À FCT/UNESP pelo apoio institucional.

Algo que parecia tão distante
Periga, agora tá perto
Flora que verdejava radiante
Desata a virar deserto
O lucro a curto prazo, o corte raso
O agrotóxico, o negócio
A grana a qualquer preço, petro-gaso Carbo-combustível fóssil
O esgoto de carbono a céu aberto
Na atmosfera, no alto
O rio enterrado e encoberto
Por cimento e por asfalto

Quede Água
(Lenine e Carlos Renno)

RESUMO

As populações que vivem nas cidades tropicais são acometidas por elevadas temperaturas que ocorrem naturalmente devido a sua posição latitudinal e apresentam maior vulnerabilidade aos eventos extremos de calor. Como os ambientes urbanos, que estão em constante crescimento, são mais quentes que os ambientes não urbanizados, os impactos na saúde humana são cada vez mais notados. A intensificação desse processo e o grau de transformação do espaço urbano está associado ao aumento do ritmo de crescimento dos centros urbanos e a falta de planejamento urbano adequado para gerenciar a expansão das cidades e a ocupação das áreas mais apropriadas para o assentamento humano. O espaço urbano possui uma estrutura complexa e as superfícies apresentam diferentes capacidades de absorção da radiação solar e no armazenamento de calor. Essas características contribuem para o maior armazenamento de calor durante o dia, configurando em diferenças térmicas, sobretudo após o pôr do sol, em comparação com o ambiente rural que apresenta rápido resfriamento. Até o momento, poucos estudos analisaram os impactos econômicos, sociais e ambientais no contexto das cidades tropicais de médio porte, onde as aglomerações urbanas também apresentam transformações na paisagem natural. O município de Rondonópolis está localizado na porção sudeste do estado de Mato Grosso, com população de 236.042 habitantes (IBGE, 2020) e está inserida no contexto das cidades médias brasileiras. A extensão territorial do estado de Mato Grosso, localizado na porção central da América do Sul, impõe características específicas dos climas continentais das latitudes intertropicais. A hipótese pressupõe que uma cidade de porte médio localizada no ambiente tropical continental responde de forma diferenciada aos sistemas atmosféricos atuantes e possui especificidades no sítio e na produção do espaço urbano que comprovam a formação de um clima urbano específico. Nesta perspectiva, levando em consideração as particularidades climáticas e as respostas térmicas no contexto da espacialização das ilhas de calor, o objetivo central da tese é analisar o clima urbano da cidade de Rondonópolis-MT, com ênfase no subsistema termodinâmico, apresentando as intensidades das ilhas de calor de acordo com as características da superfície. Para tanto, os procedimentos metodológicos adotados se basearam na coleta de dados por medidas móveis, pontos fixos, imagens de satélites e modelagem climática. Os transectos móveis para a coleta de dados de temperatura foram realizados às 21h, em quatro episódios, durante os dias 01 e 17 de junho, 20 de julho e 05 de setembro de 2020. Para as medidas fixas foram utilizados 11 (onze) sensores distribuídos pela malha urbana e a estação meteorológica automática gerenciada pelo INMET, localizada na Universidade Federal de Rondonópolis, totalizando 12 (doze) pontos de coleta dos dados de temperatura nos meses de julho a dezembro de 2019. As técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas no primeiro momento para identificar as ilhas de calor de superfícies e no segundo momento para realizar a modelagem da ilha de calor urbana, considerando as características de uso e a ocupação da terra. Os resultados apontaram intensidades máximas de até 14ºC nas ilhas de calor de superfícies, 10,5ºC nos transectos móveis, 12,5ºC nos pontos fixos e 11ºC nas modelagens das intensidades das ilhas de calor urbanas, configurando-se em ilhas de calor de muito forte magnitude. A partir da modelagem foi elaborada um mapa térmico da cidade de Rondonópolis-MT, evidenciando as áreas mais quentes. As intensidades das ilhas de calor urbanas estão associadas aos sistemas atmosféricos atuantes, as formas do relevo e ao uso e ocupação da terra, atrelados aos diferentes agentes que produzem o espaço urbano de acordo com os seus interesses.

Palavras chaves: Clima tropical; Clima urbano; Ilhas de calor; Rondonópolis-MT;

ABSTRACT

Populations living in tropical cities are affected by naturally occurring high temperatures due to their latitudinal position and are vulnerable to extreme heat events. As urban environments, which are constantly growing, are warmer than undeveloped environments, impacts on human health are increasingly noticed. The intensification of this process and the degree of transformation of the urban space is associated with the increased pace of growth of urban centers and the lack of adequate urban planning to manage the expansion of cities and the occupation of the most appropriate areas for human settlement. Urban space has a complex structure and surfaces have different capacities for absorbing solar radiation and storing heat. These characteristics contribute to greater heat storage during the day, resulting in thermal differences, especially after sunset, compared to the rural environment, which presents fast cooling. So far, few studies have analyzed the economic, social and environmental impacts in the context of medium-sized tropical cities, where urban agglomerations also present transformations in the natural landscape. The municipality of Rondonópolis is located in the southeastern portion of the state of Mato Grosso, with a population of 236,042 inhabitants (IBGE, 2020) and is inserted in the context of medium-sized Brazilian cities. The territorial extension of the state of Mato Grosso, located in the central portion of South America, imposes specific characteristics of the continental climates of intertropical latitudes. The hypothesis assumes that a medium-sized city located in the continental tropical environment responds in a different way to the active atmospheric systems and has specificities in the site and in the production of urban space that prove the formation of a specific urban climate. In this perspective, considering the climatic particularities and thermal responses in the context of the spatialization of heat islands, the main objective of the thesis is to analyze the urban climate of the city of Rondonópolis-MT, with an emphasis on the thermodynamic subsystem, presenting the intensities of the heat islands according to the surface characteristics. Therefore, the methodological procedures adopted were based on data collection by mobile measurements, fixed points, satellite images and climate modeling. Mobile transects for temperature data collection were performed at 9 pm, in four episodes, during June 1st, June 17th, July 20th and September 5th of 2020. For fixed measurements, 11 (eleven) sensors distributed throughout the urban grid and the automatic meteorological station managed by INMET, located at the Federal University of Rondonópolis, were used, totaling 12 (twelve) temperature data collection points from July to December of 2019. Remote sensing techniques were used in the first moment to identify the surface heat islands and in the second moment to carry out the urban heat island modeling, considering the characteristics of land use and occupation. The results showed maximum intensities of up to 14ºC in surface heat islands, 10.5ºC in mobile transects, 12.5ºC in fixed points and 11ºC in urban heat island intensities modeling, configuring very strong heat islands magnitude. From the modeling, a thermal map of the city of Rondonópolis-MT was elaborated, showing the hottest areas. The intensities of urban heat islands are associated with the active atmospheric systems, the forms of relief and the use and occupation of land, linked to the different agents that produce the urban space according to their interests.

Key words: Tropical Weather; Urban climate; heat islands; Rondonópolis-MT;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Rondonópolis-MT 23
Figura 2 - Estratificação vertical da atmosfera e o processo de formação da ilha de calor 32
Figura 3 - Propriedades relevantes encontradas na superfície segundo Stewart e Oke (2009) 36
Figura 4 - Dossel urbano e balanço de energia 57
Figura 5 - Albedo dos materiais urbanos 60
Figura 6 - Cenários dos efeitos do vento em torno do conjunto de edificações 62
Figura 7 - Exemplo de temperatura da superfície com diferentes características urbanas 63
Figura 8 - Exemplo de variação da umidade relativa do ar entre ambientes arborizados e não arborizados 64
Figura 9 - Distribuição dos pontos fixos registradores de dados meteorológicos na cidade de Rondonópolis-MT 67
Figura 10 - Processo de instalação e coleta dos dados meteorológicos na cidade de Rondonópolis-MT 68
Figura 11 - Localização e características do entorno do Ponto 1 (SIPROS) na cidade de Rondonópolis-MT 69
Figura 12 - Localização e características do entorno do Ponto 2 (Parque Residencial Universitário) na cidade de Rondonópolis-MT 70
Figura 13 - Localização e características do entorno do Ponto 3 (Jardim Residencial João Moraes) na cidade de Rondonópolis-MT 70
Figura 14 - Localização e características do entorno do Ponto 4 (Jardim Santa Marta) na cidade de Rondonópolis-MT 71
Figura 15 - Localização e características do entorno do Ponto 5 (Conjunto São José) na cidade de Rondonópolis-MT 72
Figura 16 - Localização e características do entorno do Ponto 6 (Condomínio do Bosque I) na cidade de Rondonópolis-MT 72
Figura 17 - Localização e características do entorno do Ponto 7 (Centro) na cidade de Rondonópolis-MT 73
Figura 18 - Localização e características do entorno do Ponto 8 (Vila Iracy) na cidade de Rondonópolis-MT 74
Figura 19 - Localização e características do entorno do Ponto 9 (Condomínio Terra Nova) na cidade de Rondonópolis-MT 75

Figura 20 - Localização e características do entorno do Ponto 10 (Gleba São Rosalvo) na cidade de Rondonópolis-MT.....75
Figura 21 - Localização e características do entorno do Ponto 11 (Condomínio Jardim Village do Cerrado) na cidade de Rondonópolis-MT.....76
Figura 22 - Localização e características do entorno do Ponto 12 (Universidade Federal de Rondonópolis) na cidade de Rondonópolis-MT.....77
Figura 23 - Veículo e sensor utilizado nos transectos móveis na cidade de Rondonópolis-MT 78
Figura 24 - Delimitação dos percusos realizados nos transectos móveis na cidade de Rondonópolis-MT 79
Figura 25 - Carta sinótica e Imagem de satélite 80
Figura 26 - Procedimentos aplicados para a realização da modelagem da ilha de calor.....86
Figura 27 - Esquema da variância de cada elemento na modelagem 87
Figura 28 - Quadrilátero central da cidade de Rondonópolis-MT 91
Figura 29 - Visão área da cidade de Rondonópolis no ano de 1953 92
Figura 30 - Loteamentos aprovados em Rondonópolis.....95
Figura 31 - Síntese dos sistemas atmosféricos no Mato Grosso (Estação Seca e Chuvosa) 98
Figura 32 - Climograma de Rondonópolis-MT (1999-2019).....100
Figura 33 - Precipitação total anual na cidade de Rondonópolis- MT (1999-2019) 101
Figura 34 - Temperatura média das máximas em Rondonópolis-MT.....101
Figura 35 - Temperatura média das mínimas em Rondonópolis-MT 102
Figura 36 - Uso e ocupação da terra e classes de solos de Rondonópolis.....104
Figura 37 - Declividade e hipsométrico do município de Rondonópolis-MT.....105
Figura 38 - Hipsometria da área urbana de Rondonópolis-MT.....108
Figura 39 - Declividade da área urbana de Rondonópolis-MT 108
Figura 40 - Orientação das vertentes da área urbana de Rondonópolis-MT 109
Figura 41 - Relevo sombreado da área urbana de Rondonópolis-MT.....109
Figura 42 - Diagrama do balanço de energia para uma área urbana hipotética.....111
Figura 43 - Localização da Reserva Indígena Tadarimana a sudeste da malha urbana, utilizada como ponto “0” para o cálculo da intensidade das ilhas de calor de superfícies 114
Figura 44 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (15/01/2019) ..115
Figura 45 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (11/08/2019) ..117
Figura 46 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (28/07/2020) ..119
Figura 47 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (13/08/2020) ..120

Figura 48 - Intensidade horária média da ilha de calor - julho a dezembro de 2019 - Urbano (Ponto 7 - Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)..... 136
Figura 49 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de julho de 2019: Urbano (Ponto 7 - Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)..... 139
Figura 50 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de agosto de 2019: Urbano (Ponto 7 - Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)..... 140
Figura 51 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de setembro de 2019: Urbano (Ponto 7-Centro) e Rural (Ponto 1-Sipros)..... 141
Figura 52 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de outubro de 2019: Urbano (Ponto 7- Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)..... 142
Figura 53 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de novembro de 2019: Urbano (Ponto 7-Centro) e Rural (Ponto1-Sipros)..... 143
Figura 54 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de dezembro de 2019: Urbano (Ponto 7-Centro) e Rural (Ponto 1-Sipros)..... 144
Figura 55 - Coeficiente de determinação entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e superficiais noturnas na cidade de Rondonópolis-MT 165
Figura 56 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a frequência das áreas construídas (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT 172
Figura 57 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a frequência da vegetação densa (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT 173
Figura 58 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a distância do centro (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT 174
Figura 59 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a altitude (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT 175
Figura 60 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e o NDVI (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT..... 176

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População do Brasil por grupo de municípios - 2020 22
Tabela 2 - Trabalhos de clima urbano: clássicos internacionais 29
Tabela 3 - Teses de clima urbano desenvolvidas nos Programas de Pós-Graduação em Geografia no Brasil com base no subsistema termodinâmico (1976 - 2020) 37
Tabela 4 - Levantamento dos estudos sobre o clima urbano realizados no Brasil (1942-1992) 43
Tabela 5 - Teses de clima urbano com base no subsistema termodinâmico em Programas de Pós-Graduação em outras áreas do conhecimento 53
Tabela 6 - Processos que contribuem para a geração da ilha de calor urbana 58
Tabela 7 - Características urbanas para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre. 59
Tabela 8 - Propriedades radiativas de materiais urbanos 61
Tabela 9 - Propriedades radiativas de materiais rurais 61
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens no processo de mensuração por meio de pontos fixos e transectos móveis 65
Tabela 11 - Intervalo espectral das bandas do satélite *Landsat* 8 82
Tabela 12 - Evolução da população rural e urbana em Rondonópolis (1940-2020) 89
Tabela 13 - Características gerais das imagens termais e NDVI 113
Tabela 14 - Intensidade, direção e velocidade do vento nos dias de registro pelos transectos móveis 124
Tabela 15 - Variação da temperatura do ar entre às 21h e 22h na estação do INMET - (UFR) 125
Tabela 16 - Síntese dos pontos fixos para coleta da temperatura do ar na cidade de Rondonópolis-MT 145
Tabela 17 - Agrupamento da síntese dos pontos fixos em relação as características geourbanas 146
Tabela 18 - Dias com precipitação retirados da análise da frequência das intensidades e magnitudes das ilhas de calor 161
Tabela 19 - Intensidades das ilhas de calor atmosféricas e superficiais noturnas 164
Tabela 20 - Correlação estatística por meio de regressão linear simples entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e as classes de uso e ocupação da terra na janela 33x33 168

Tabela 21 - Percentual de explicação das intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) pelas variáveis independentes (Y) 176
Tabela 22 - Resultados da regressão linear múltipla para os episódios analisados 178

LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1 - Distribuição espacial da intensidade das ilhas de calor superficiais na cidade de Rondonópolis – MT 122
Prancha 2 - Distribuição espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Rondonópolis – MT 123
Prancha 3 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 01/06/2020 às 21h 130
Prancha 4 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 17/06/2020 às 21h 131
Prancha 5 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 20/07/2020 às 21h 132
Prancha 6 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 05/09/2020 às 21h 133
Prancha 7 - Intensidade média das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - às 21h 134
Prancha 8 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de julho de 2019 - Rondonópolis-MT 149
Prancha 9 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de julho de 2019 - Rondonópolis-MT 150
Prancha 10 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de agosto de 2019 - Rondonópolis-MT 151
Prancha 11 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de agosto de 2019 - Rondonópolis-MT 152
Prancha 12 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de setembro de 2019 - Rondonópolis-MT 153
Prancha 13 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de setembro de 2019 - Rondonópolis-MT 154
Prancha 14 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de outubro de 2019 - Rondonópolis-MT 155
Prancha 15 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de outubro de 2019 - Rondonópolis-MT 156
Prancha 16 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de novembro de 2019 - Rondonópolis-MT 157

Prancha 17 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de novembro de 2019 - Rondonópolis-MT 158
Prancha 18 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de dezembro de 2019 - Rondonópolis-MT 159
Prancha 19 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de dezembro de 2019 - Rondonópolis-MT 160
Prancha 20 - Frequência em porcentagem das intensidades e magnitudes das ilhas de frescor (IF) e das ilhas de calor (IC) nos pontos de registros às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h - Em dias sem precipitação 163
Prancha 21 - Distribuição espacial das intensidades das ilhas de calor superficiais e atmosféricas na cidade de Rondonópolis - MT 166
Prancha 22 - Cartas geradas para a elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar a partir de transectos móveis (01/06/2020 e 17/06/2020) 169
Prancha 23 - Cartas geradas para a elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar a partir de transectos móveis (20/07/2020) 170
Prancha 24 - Cartas geradas para a elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar a partir de transectos móveis (05/09/2020) 171
Prancha 25 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 01/06/2020 na cidade de Rondonópolis-MT. 182
Prancha 26 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 17/06/2020 na cidade de Rondonópolis-MT. 183
Prancha 27 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 20/07/2020 na cidade de Rondonópolis-MT. 184
Prancha 28 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 05/09/2020 na cidade de Rondonópolis-MT. 185
Prancha 29 - Mapa térmico da cidade de Rondonópolis-MT: a partir da modelagem das ilhas de calor urbanas 186

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....20

1 - INTRODUÇÃO 21

2 - A CONSTRUÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA DO CLIMA URBANO: TEORIAS, MÉTODOS E TÉCNICAS.....26

2.1 - O pioneirismo estrangeiro: do contexto histórico aos clássicos internacionais 29

2.2 - A construção teórica do clima urbano no ambiente tropical: as cidades brasileiras como foco de análise 36

2.3 - Os caminhos e os procedimentos utilizados para o estudo do clima urbano 55

2.3.1 - Pontos fixos.....65

2.3.2 - Transectos móveis.....77

2.3.3 - Análise rítmica 80

2.3.4 - Processamento Digital de Imagens 81

2.3.4 - Modelagem da ilha de calor 85

3 - A GEOGRAFIA DE RONDONÓPOLIS-MT: DA PRODUÇÃO DO ESPAÇO AS CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS.....89

3.1 - Do “Povoado do Rio Vermelho” a “Capital do Agronegócio”: a construção histórica da cidade de Rondonópolis-MT 89

3. 2 - Caracterização geoambiental e o clima no ambiente tropical continental 95

4 - A ILHA DE CALOR EM AMBIENTE TROPICAL: O CASO DE RONDONÓPOLIS-MT 110

4.1 - A intensidade da ilha de calor de superfície.....110

4.2 - A característica da ilha de calor por meio de transectos móveis.....124

4.3 - A evolução da ilha de calor por meio de pontos fixos 135

4.4 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor urbana 164

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....187

6 - REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....191

APRESENTAÇÃO

A concretização desta tese de doutorado foi marcada por uma longa trajetória, que tiveram momentos de alegrias, angústias, prazeres, sofrimentos, dúvidas e muitos desafios. Foram 11 anos desde a minha entrada na FCT/UNESP, nos quais passei pela graduação, mestrado e doutorado. Posso dizer que vivi todas as dimensões que a Universidade Pública pode oferecer, sou muito grato pelas pessoas que lá conheci e que marcaram toda a minha caminhada.

A escolha da cidade de Rondonópolis-MT como área de estudo surgiu concomitante com o ingresso no doutorado e a aprovação no concurso público para professor da rede estadual de educação do Estado de Mato Grosso, em 2018. Desta forma, a tese foi pensada, idealizada e escrita "*in loco"*, trazendo consigo as marcas de todas as dificuldades de estar em uma cidade nova, com um trabalho novo e com tantos novos desafios.

Agradeço a oportunidade de poder viver essa experiência e convido todos vocês para realizar uma leitura crítica do trabalho desenvolvido em parceria e sob a orientação da Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim.

A hipótese da tese pressupõe que uma cidade de porte médio localizada no ambiente tropical continental responde de forma diferenciada aos sistemas atmosféricos atuantes e possui especificidades no sítio e na produção do espaço urbano que comprovam a formação de um clima urbano específico. Nesta perspectiva, levando em consideração as particularidades climáticas e as respostas térmicas no contexto da espacialização das ilhas de calor, o objetivo central da tese foi analisar o clima urbano da cidade de Rondonópolis-MT, com ênfase no subsistema termodinâmico, apresentando as intensidades das ilhas de calor de acordo com as características da superfície.

Para alcançar os objetivos propostos, a tese foi estruturada em cinco capítulos, visando uma contribuição teórico-metodológica para a compreensão do clima urbano no ambiente tropical por meio da análise do perfil térmico da cidade de Rondonópolis-MT.

1 - Introdução.
2 - A construção teórico-metodológica do clima urbano: teorias, métodos e técnicas.
3 - A geografia de Rondonópolis-MT: da produção do espaço as características geoambientais.
4 - A ilha de calor em ambiente tropical: o caso de Rondonópolis-MT.
5 - Considerações finais

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente as cidades ocupam cerca de 2% da área terrestre e abrigam aproximadamente 55% da população mundial. Estima-se que 60% da área urbana esperada no planeta até 2030, ainda será construída. A previsão destaca a velocidade com que as pessoas do mundo estão se tornando urbanas. As zonas tropicais concentram 40% da população mundial e apresentam rápido crescimento devido a uma economia em expansão. Nas tendências atuais, esse número aumentará para 50% até 2050 (TAHA, 2019).

As populações que vivem nas cidades tropicais são acometidas por elevadas temperaturas que ocorrem naturalmente devido a sua posição latitudinal e apresentam maior vulnerabilidade aos eventos extremos de calor. Como os ambientes urbanos, que estão em constante crescimento, são mais quentes que os ambientes não urbanizados, os impactos na saúde humana são cada vez mais notados.

A população urbana do Brasil cresceu rapidamente desde 1940, quando representava apenas 31,24%, passando para 45,08% em 1960, e atingindo 84,4% em 2010 (IBGE, 2010). Esse crescimento das cidades brasileiras está relacionado ao intenso processo de êxodo rural, que foi estimulado pelas oportunidades de trabalho nas cidades e dinamizados pelo desenvolvimento da industrialização que as tornaram cada mais atrativas. Outro fator fundamental está atrelado ao processo de mecanização do campo que impulsionou o fluxo migratório para os grandes centros urbanos, formando extensas regiões periféricas e a ocupação de áreas de risco por uma população que apresentava grande vulnerabilidade social.

A intensificação desse processo e o grau de transformação do espaço urbano está associado ao aumento do ritmo do crescimento populacional nos centros urbanos e a falta de planejamento urbano adequado para gerenciar a expansão das cidades e a ocupação das áreas mais apropriadas para o assentamento humano. Para realizar o planejamento deve-se levar em consideração as características físico-naturais dos ambientes e as necessidades econômicas e sociais da população para que haja um equilíbrio entre o desenvolvimento do bem estar social e a manutenção de um meio ambiente saudável.

O espaço construído é a natureza modificada pelos agentes sociais e econômicos que se apropriam dos recursos naturais, modificando-os para atender as suas necessidades. Quando o espaço é construído por diversos indivíduos que passam a ocupá-lo, ele se torna um espaço urbano (BRANDÃO, 2009). Neste contexto, as cidades apresentam diferentes ritmos de urbanização, a medida que a expansão dos equipamentos urbanos se consolidam, ocorre um intenso processo de substituição das superficies naturais por materiais artificiais, levando a geração de um clima próprio, o clima urbano.

As cidades possuem estruturas complexas e as superfícies apresentam diferentes capacidades de absorção da radiação solar. Essas características contribuem para o maior armazenamento de calor durante o dia, configurando em diferenças térmicas, sobretudo após o pôr do sol, em comparação com o ambiente rural que apresenta resfriamento mais acelerado (GARTLAND, 2010; STEWART, 2011).

O número de habitantes de uma cidade não significa que ela apresenta um equilíbrio entre o ambiente construído e ambiente rural, pois mesmo em cidades de pequeno e médio porte é possível constatar diversos impactos ambientais, antes típicos de grandes áreas metropolitanas, revelando a necessidade de compreender o tamanho da população como um fator importante, mas não determinante na dinâmica dessas transformações no espaço.

Aproximadamente, metade dos moradores urbanos do mundo residem em assentamentos com menos de 500 mil habitantes, enquanto cerca de um em cada oito vive em 33 megacidades com mais de 10 milhões de pessoas (ONU, 2018). No Brasil esses números não são diferentes, as cidades de pequeno e médio porte apresentam grande importância nacional e nelas vivem a maior parte da população brasileira (Tabela 1). De acordo com o IBGE, aproximadamente 144 milhões de brasileiros (68,1%), vivem em cidades com menos de 500 mil habitantes, o que revela uma grande importância para os estudos em cidades que estejam dentro deste universo de análise.

Tabela 1 - População do Brasil por grupo de municípios - 2020

População	**Municípios**	**Porcentagem**	**População**	**Porcentagem**
> 1 milhão	17	0,30%	46.400.712 mi	21,91%
500 mil a 1 milhão	32	0,57%	21.121.066 mi	9,97%
100 mil a 500 mil	277	4,97%	54.457.497 mi	25,71%
20 a 100 mil	1.462	26,24%	57.998.667 mi	27,38%
< 20 mil	3.782	67,89%	31.777.750 mi	15,00%
Brasil	**5570**	**100%**	**211.755.692 mi**	**100%**

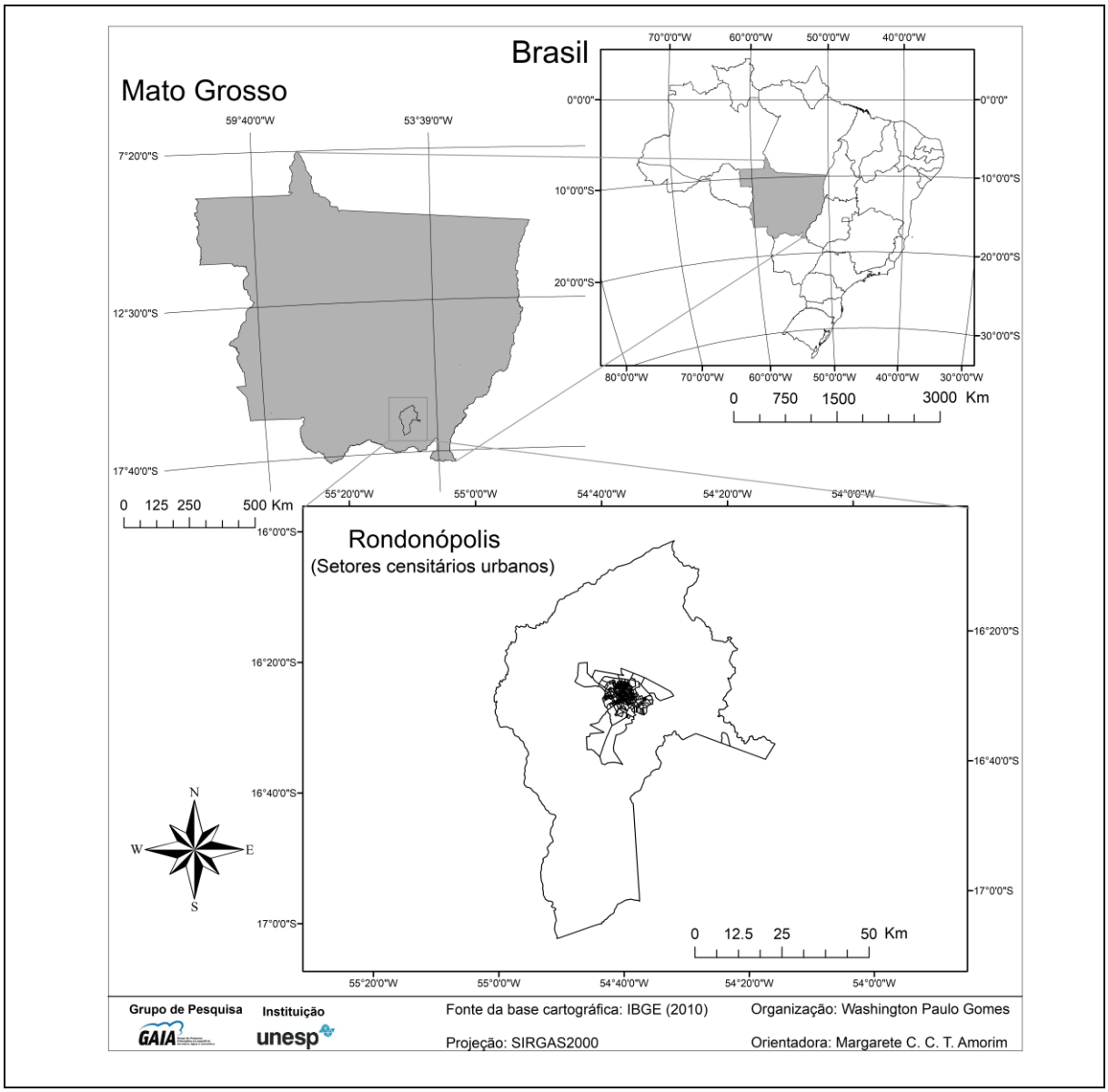
Fonte: IBGE (2020)

Até o momento, diferentes pesquisas exploraram os efeitos do clima urbano e das ilhas de calor com foco em grandes cidades metropolitanas. Entretanto, novos estudos começaram a analisar os impactos econômicos, sociais e ambientais no contexto das cidades tropicais de

médio porte, onde as aglomerações urbanas também apresentam transformações na paisagem natural (AMORIM, 2020).

O município de Rondonópolis está localizado na porção sudeste do estado de Mato Grosso, com a população de 236.042 habitantes (IBGE, 2020) e está inserida no contexto das cidades médias brasileiras (Figura 1). Devido a sua posição estratégica passou a exercer papel significativo no cenário econômico regional com as atividades ligadas ao agronegócio que atua como mola propulsora para o setor de serviços e indústrias, sobretudo, as agroindústrias para o processamento de grãos.

Figura 1 - Localização do município de Rondonópolis-MT



Elaboração: Autoria própria

A extensão territorial do estado de Mato Grosso, localizado na porção central da América do Sul, impõe características específicas dos climas continentais das latitudes intertropicais. Uma das principais características climatológicas dessa realidade é estar justamente situado em uma área de transição entre os climas tropicais continentais, compostos com cerrado, e os climas equatoriais continentais, integrados com a Floresta Amazônica. Da mesma maneira, a localização continental, distante entre 1.400 a 2.000 Km do Oceano Atlântico, lhe confere padrões climáticos sazonais com alternância em uma estação úmida (novembro a março), e outra estação seca (maio a setembro), com os meses de outubro e abril sendo considerados períodos de transição entre as estações (SETTE e TARIFA, 2002 e 2007).

Sabendo que no ambiente tropical as situações de estresse térmico fazem parte da realidade do cotidiano da população, as ilhas de calor atuam como um agravante deste cenário e contribuem para intensificar as situações de desconforto. Para compreender a complexidade dos mecanismos que provocam as alterações climáticas e geram o agravamento dos impactos, nesta pesquisa, o clima urbano é entendido como "o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização" (MONTEIRO, 1976, p.95). Caracterizado como um sistema aberto, adaptativo, dinâmico, integrado, evolutivo e passível de autorregulação baseado na perspectiva sistêmica.

Os impactos ocorrem de forma seletiva nas diferentes áreas da cidade, levando em consideração a lógica desigual que culminam na diferenciação socioespacial, resultado das ações dos agentes econômicos e imobiliários que determinam a produção do espaço. Assume-se que as características do clima urbano são reflexos das desigualdades sociais, econômicas e ambientais, na medida que os padrões construtivos das residências estão diretamente associados ao poder aquisitivo da população. Desta forma, a análise dos resultados também se apropria dos pressupostos de um novo paradigma sugerido por Sant'Anna Neto (2001), em busca de uma geografia do clima que sugere a necessidade de se incorporar a dimensão social na interpretação do clima na perspectiva da análise geográfica, compreendendo que a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território, transformado e produzido pela sociedade de maneira desigual e apropriado segundo os interesses dos agentes sociais.

Partindo dessas premissas, a hipótese pressupõe que uma cidade de porte médio localizada no ambiente tropical continental responde de forma diferenciada aos sistemas atmosféricos atuantes e possui especificidades no sítio e na produção do espaço urbano que comprovam a formação de um clima urbano específico. Nesta perspectiva, levando em consideração as particularidades climáticas e as respostas térmicas no contexto da espacialização das ilhas de calor, o objetivo central da tese é analisar o clima urbano da cidade de Rondonópolis-MT, com ênfase no subsistema termodinâmico, apresentando as intensidades

das ilhas de calor de acordo com as características da superfície. Para tanto, definiu-se como objetivos específicos:

- Analisar as características geoambientais (clima, relevo; vegetação e hidrografia) e geourbanas (uso e ocupação da terra);
- Caracterizar os elementos climáticos, com o intuito de conhecer a dinâmica atmosférica regional e local;
- Compreender os aspectos do processo de urbanização e especificidades do sítio que influenciam na produção do espaço urbano;
- Identificar as ilhas de calor a partir da aplicação de técnicas de pontos fixos, transectos móveis, imagens termais e modelagem;
- Fornecer subsídios que possam auxiliar no desenvolvimento de ações que visem minimizar os impactos relacionados ao estresse térmico com a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população menos favorecida economicamente.

2 - A CONSTRUÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA DO CLIMA URBANO: TEORIAS, MÉTODOS E TÉCNICAS

A expansão da cidade muitas vezes vista como um símbolo do progresso do mundo moderno está diretamente associada as alterações inerentes ao processo de modificação da paisagem que afetam as condições essenciais à vida urbana (FIALHO, 2009). Neste contexto, sendo o clima urbano "um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização" (MONTEIRO, 1976, p. 95), podemos afirmar que o acelerado processo de crescimento urbano tem provocado a degradação do meio físico e alterado o seu clima local, sendo o resultado de interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada limite urbana (BRANDÃO, 2000).

O crescimento das aglomerações humanas amplia o processo de impactos ambientais, criando uma relação de causa e efeito. Entretanto, a incorporação da estrutura de classes possibilita perceber quem se apropria dos benefícios das atividades econômicas e ainda deixa claro que os impactos ambientais decorrentes dessas atividades são mais percebidos pelos setores menos favorecidos da população (FIALHO, 2009).

As modificações desenvolvidas na cidade produziram uma diferenciação do ambiente urbano em comparação à área rural ao provocarem as alterações nos elementos do clima, como a temperatura do ar, umidade relativa e a circulação dos ventos. Essas transformações na paisagem provocadas pelo surgimento e crescimento das cidades alteram o balanço de energia e o balanço hídrico urbano. De acordo com Amorim (2010) essas alterações são provocadas pela retirada da cobertura vegetal, aumento da circulação de veículos e pessoas, impermeabilização generalizada do solo, mudanças no relevo, concentração de edificações, canalização de córregos e maior concentração de gases poluentes na atmosfera.

Segundo Mendonça (2000), o clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e oferece importantes contribuições à questão ambiental das cidades. Portanto, "o clima urbano é derivado da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas" (MENDONÇA, 2000, p. 167). Desta forma, torna-se evidente que a cidade gera um clima próprio, resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a superfície urbana e que agem no sentido de alterar o clima na escala local (MONTEIRO, 1976; OKE, 1978; AMORIM, 2005, 2010; GOMES, 2017).

O clima que se observa nas áreas urbanas é denominado de clima urbano, envolve as condições naturais pré-existentes e também as transformadas pela ação da sociedade, formando diferentes microclimas que alteram o clima na escala local. As atividades humanas e as dinâmicas existentes no cotidiano das cidades contribuem para as variações constantes do

tempo nas áreas urbanas, que culminam em condições diferenciadas com relação ao clima da cidade. Segundo Cruz (2009), a combinação desses fenômenos gera um clima artificial em função do aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa, provocando o desconforto térmico, podendo desencadear uma série de problemas de saúde para a população, sobretudo nas regiões tropicais, como a desidratação, distúrbios cardiovasculares e problemas respiratórios.

Dentre várias ameaças naturais e provocadas por sujeitos sociais que impactam os espaços e comunidades urbanas, o clima urbano é efetivamente um fenômeno resultante desse processo. Ele é um sistema que associa o fenômeno físico (clima) às diversas práticas do cotidiano urbano (cidade), sendo a última o palco e o produto das mudanças nas paisagens a partir da retirada intensiva da vegetação e sua substituição por uma variedade de usos, ocupação da terra, criação do dossel urbano, emissão de calor, poluentes e introdução de um ambiente construído com materiais inadequados em detrimento dos ecossistemas naturais. Essas modificações, associadas às características naturais dos ambientes tropicais, proporcionam a geração de ilhas de calor e são registradas situações de desconforto térmico (MONTEIRO, 1976; LANDSBERG, 1981; AMORIM, 2000 e 2010; GOMES, 2017; RAMPAZZO, 2019).

Sendo o clima urbano entendido como o clima de um dado espaço associado ao seu processo de urbanização, a observação do clima local, deve ser acompanhada da análise dos atributos geoambientais (características físicas do meio geográfico), bem como, dos atributos geourbanos (características do processo de urbanização dos espaços a serem estudados), pois dessa forma é possível identificar quais as alterações climáticas e suas magnitudes, além de relacioná-las às ações antrópicas (UGEDA JUNIOR, 2011). O clima urbano como manifestação resultante das modificações do clima local pela urbanização é mais um fator que justifica a necessidade de estudos dessa natureza. Assim, o clima urbano é potencialmente integrador no que se refere à sua relação com os outros componentes ambientais, podendo-se dizer que para compreendê-lo, é necessário também conhecer os demais aspectos característicos da área de estudo (MINAKI, 2014).

De acordo com Rampazzo (2019), o clima urbano se configura integralmente como um problema da questão ambiental que sintetiza o viés natural e socioespacial no ambiente urbano. Assim, parte do pressuposto que o clima urbano é inerente à existência das cidades, e varia de acordo com os distintos fatores geoambientais de influência, os sistemas atmosféricos atuantes, as modificações substanciais do clima na escala local em cada cidade e na extensão vertical desde a camada superficial até a camada limite urbana (OKE, 1978 e 2006).

A partir da comparação entre a temperatura urbana e a rural circundante, pode-se detectar a geração do clima urbano na perspectiva do subsistema termodinâmico. De acordo com Amorim (2005), a cidade não é um todo homogêneo e possui especificidades intraurbanas, sobretudo, em relação às diferenças existentes nas características do uso e da ocupação da terra no interior da cidade. De acordo com Porangaba (2015, p. 25) "dentre a gama dos efeitos do clima urbano as ilhas de calor são as mais percebidas pela população urbana, por estarem diretamente ligadas ao campo de percepção". As ilhas de calor são formadas em áreas urbanas porque muitos materiais de construção absorvem e retêm mais radiação solar do que os materiais naturais em áreas rurais ou menos urbanizadas (GARTLAND, 2010).

> As ilhas de calor surgem da diferença existente entre o balanço energético urbano e rural e das diferenças intraurbanas existentes, sendo possível dimensioná-la horizontalmente, verticalmente e temporalmente. Sua amplitude e intensidade estão relacionadas com o processo de urbanização, características do uso e ocupação da terra e, também, relacionadas aos fatores naturais, como, relevo, presença de superfícies com vegetação e água, para além da dinâmica atmosférica e situação sinótica (GOMES, 2017, p. 24).

Diversos tipos de materiais construtivos absorvem e retêm mais radiação solar do que os materiais naturais em áreas rurais ou menos urbanizadas, a substituição da vegetação pelas superfícies construídas altera o balanço energético entre o calor sensível e o calor latente, reduzindo o processo de evapotranspiração e favorecendo a geração de ilhas de calor. Conforme apresentado por Amorim et. al., (2019, p. 68) "as ilhas de calor não causam apenas desconforto térmico em ambientes de clima tropical, mas são responsáveis também, pelo aumento da demanda por energia e por ambientes urbanos insalubres que afetam a saúde humana".

> Desta forma, as características do clima urbano são reflexos das desigualdades sociais, econômicas e ambientais que são manifestadas na cidade, pois se registram diferenças de temperatura quando se comparam os ambientes intraurbanos e o rural (AMORIM, 2012). Se observam também diferenças no intraurbano, derivadas, sobretudo, do padrão construtivo que está associado ao poder aquisitivo das populações, articulando-se com a questão do uso e ocupação da terra (TEIXEIRA, 2019, 25).

Portanto, se as repercussões e intensidades são diferenciadas nas áreas urbanas entende-se o clima como uma construção social, isso significa que o estudo do clima urbano deve sempre se preocupar com o planejamento urbano, de modo que, ao se conhecer mais detalhadamente o clima de determinado espaço urbano, se torne possível a construção de processos de planejamento mais adequados a realidade ambiental local, visando melhor qualidade de vida

para a população menos favorecida que permanece mais exposta em condições de vulnerabilidade (SANT'ANNA NETO, 2001 e 2008).

2.1 - O pioneirismo estrangeiro: do contexto histórico aos clássicos internacionais

As primeiras preocupações com os climas das cidades vêm desde as primitivas organizações urbanas. O filósofo Quintus Horatius Flaccus (65 a.C. - 08 a.C.) fez alusão à contaminação do ar pela fumaça das chaminés na cidade de Roma. A cidade de Londres se tornou o palco dos diferentes diagnósticos referentes à poluição urbana e no ano de 1273 o rei Edward I (1239-1307) proclamou a proibição da queima de carvão. Posteriormente, a rainha Elizabeth I (1533-1603) também proibiu a queima de carvão na cidade de Londres durante as sessões do Parlamento (LANDSBERG, 1981; GOMES, 2017).

Os trabalhos sobre o clima das cidades foram desenvolvidos ao longo dos anos por todo o mundo. A partir do levantamento bibliográfico foi elaborada a Tabela 2 que apresenta os trabalhos relacionados ao clima urbano encontrados na literatura internacional, bem como, as cidades analisadas em seus respectivos estudos. De antemão, vale ressaltar que esta pesquisa não tem como objetivo realizar um levantamento histórico-cronológico de todas as produções no âmbito mundial, mas sim, apresentar aquelas consolidas no campo das pesquisas referentes ao tema de estudo.

Tabela 2 - Trabalhos de clima urbano: clássicos internacionais

Autor	Ano	Título	Cidade Analisada
John Evelyn	1661	*The inconvenience of the air and the smoke of London dissipated*	Londres
Luke Howard	1833	*The climate of London*	Londres
Emilen Renou	1855	*Annuaire de la Société Météorologique de France*	Paris
Wilhelm Schmidt	1927	*Distribution of minimum temperatures in the vicinity of Vienna during the freezing night of May 12, 1927*	Viena
August Schmauss	1927	*Large cities and precipitation*	Munique
Albert Kratzer	1937	*The Climate of Cities (Das Stadtklima)*	Munique
Tony John Chandler	1965	*The climate of London*	Londres

William P. Lowry	1977	*Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analisys*	-
Tim R. Oke	1978	*Boundary Layer climates*	-
Helmut Erich Landsberg	1981	*The urban climate*	-
Maria João Alcoforado	1989	*O clima da Região de Lisboa: contrastes e ritmos térmicos*	Lisboa
Gisèle Escourrou	1991	*Le climat et la ville*	Paris
Ana Monteiro	1993	*O clima urbano do Porto: contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*	Porto

Fonte: Autoria própria[1]

A mais antiga observação e o primeiro relato crítico sobre a poluição do ar devido a queima de carvão como fonte de energia na cidade de Londres foi produzido por John Evelyn em 1661 (LANDSBERG, 1981). Outro estudo relacionado ao clima urbano foi desenvolvido por Howard (1833), quando descreveu a contaminação do ar e a ocorrência de temperaturas mais elevadas na cidade do que nos arredores, configurando-se em ilhas de calor na cidade de Londres.

Posteriormente, Renou (1855) realizou um estudo em Paris e detectou diferenças de temperaturas entre a cidade e o rural, levando em consideração as interações com o relevo. Este é um grande marco para os trabalhos de climatologia urbana e o início dos trabalhos referentes às ilhas de calor urbanas noturnas em condições meteorológicas estáveis (MORENO GARCÍA, 1991; ALCOFORADO, 1999; FOISSARD, 2015).

No início do século XX, foram surgindo diversos estudos de clima urbano em diferentes cidades europeias, sobretudo, evidenciando as alterações de temperatura entre o meio urbano e rural. Tais condições foram evidenciadas nos trabalhos realizados por Schmidt (1927) na cidade de Viena, quando iniciou investigações micrometeorológicas da paisagem urbana e uma de suas maiores contribuições metodológicas foi à introdução de veículos automóveis para a realização de registros dos elementos do clima, configurando como as primeiras medidas itinerantes de temperatura, hoje conhecidas como transectos móveis (KRATZER, 1956; LANDSBERG, 1981; GARTLAND, 2010).

[1] As obras de John Evelyn (1661), Emilen Renou (1855), Wilhelm Schidt (1927) e August Schumauss (1927) não foram encontradas as obras originais e foram utilizadas conforme citações nos trabalhos de Landsberg (1981), Foissard (2015), Kratzer, (1956) e Matzarakis (2005).

Diferentes trabalhos também foram realizados na Alemanha, sendo o primeiro de August Schmauss em 1927, no qual identificou uma influência atmosférica da cidade de Munique, causando aumentos de precipitação (KRATZER, 1956). O trabalho mais reconhecido se refere à tese de doutorado de Kratzer em 1937, que formou a primeira edição "*Das Stadtklima"* (O clima das cidades), quando estudou as diferenças térmicas entre as áreas urbanas e rurais em várias cidades alemãs e fez uma extensa revisão bibliográfica dos estudos de clima urbano realizados até o momento (KRATZER, 1956). A segunda edição "*Das Stadtklima"* foi publicada em 1956, e neste trabalho Kratzer aponta algumas características do clima urbano e diz que não é exagero comparar a cidade a um "vulcão", que lança continuamente nuvens de gás, poeira e cinzas devido a atividade industrial.

> Outra característica da paisagem metropolitana é a mudança no caráter de seu "solo". A cobertura vegetal desaparece à medida que se move em direção ao centro da cidade. [...] O aumento da secura persiste apesar da maior precipitação, uma vez que a "rocha artificial" das ruas e telhados não absorve e armazena água, em vez disso, tudo corre rapidamente. [...] Uma última característica importante da cidade é sua forma. A alternância de ruas e áreas de construção divide a superfície em dois planos efetivos. De maneira análoga ao que ocorre em uma floresta pouco cultivada, a luz do sol é capaz de penetrar nas profundezas da cidade e mais calor pode ser armazenado. [...] Dentro da cidade, a velocidade do vento diminui, resultando novamente na modificação do clima. No lado de barlavento da cidade, os movimentos ascendentes causados por essa interferência podem levar à formação de nuvens e precipitação (KRATZER, 1956, p. 167, tradução nossa).

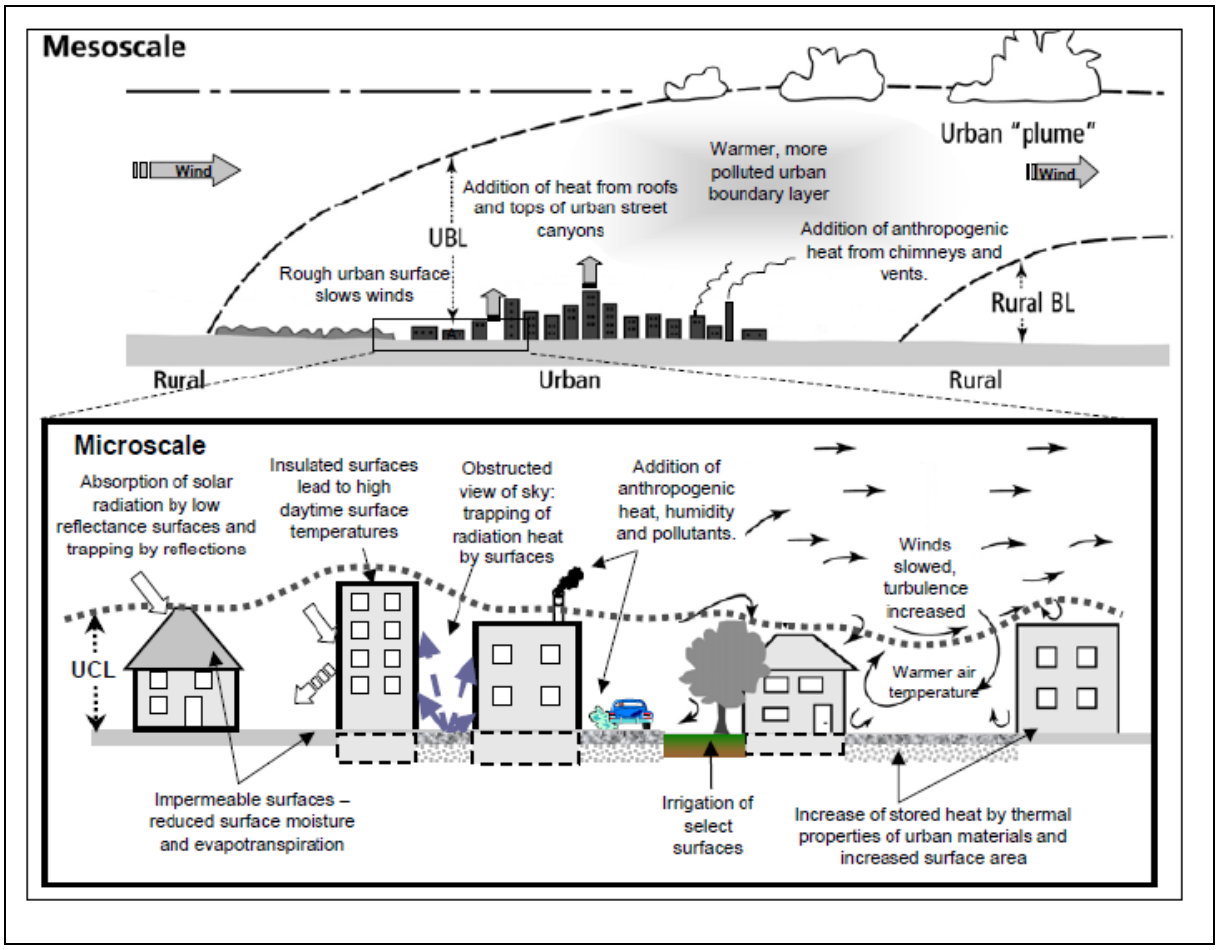
Outra importante produção a respeito do clima de Londres foi desenvolvida por Chandler (1965), na qual discutiu as alterações que a cidade provoca no clima com o efeito da urbanização resultando no aumento da temperatura e precipitações, aumento da umidade, alteração nos padrões de ventilação e na concentração de poluentes. Posteriormente, Lowry (1977) discorreu de forma teórica a respeito dos efeitos locais e regionais da urbanização sobre o clima a partir de vários avaliadores destacando os limites das observações feitas em períodos anteriores à urbanização. Apresentou de forma esquemática a ampliação da área de influência urbana de acordo com o movimento advectivo do ar, além de incluir em suas análises uma proposta metodológica por meio de equações para estimar os efeitos da urbanização.

Oke (1978), apresentou a natureza da atmosfera a partir de uma abordagem mais qualitativa. Elaborou o perfil clássico das ilhas de calor, mostrando que as temperaturas aumentam conforme se aproxima do centro da cidade, evidenciando a diferença da temperatura de acordo com a intensificação das atividades antrópicas. Demonstrou que as alterações provocadas pela urbanização no clima são percebidas a partir de duas camadas atmosféricas

sobre a cidade (Figura 2) a "*urban canopy layer"* (camada do dossel urbano) e "*urban bondary layer"* (camada limite urbana).

> a) *Urban boundary layer:* A camada limite urbana é um fenômeno local de mesoescala, cujas características são reguladas pela natureza da "superfície" urbana.
> *b) Urban canopy layer:* camada de dossel urbano (camada de cobertura urbana), o qual é produzido por processos de microescala que operam nas ruas, entre as construções. Seu clima é um conjunto de microclimas cada um dos quais é dominada pelas características de seu entorno imediato (OKE, 1987, p. 274, tradução TEIXEIRA, 2019, p. 62)

Figura 2 - Estratificação vertical da atmosfera e o processo de formação da ilha de calor



Fonte: Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa_how_to_measure_a_uhi.pdf. Acesso em: 03/04/2020.

A U*rban Boundary Layer* é a ilha de calor da atmosfera urbana superior, possui características influenciadas pela presença da cidade e se localiza acima do dossel urbano e sua altura varia em função da capacidade da superfície em provocar a movimentação convectiva do ar. A *Urban Canopy Layer* é a ilha de calor atmosférica inferior, situa-se no nível

microclimático, se estende do solo até alguns metros acima do nível médio dos telhados. Este dossel é produzido por processos em microescala presentes na camada intraurbana, por meio dos tipos de materiais, da forma e da função urbana, podendo apresentar turbulência dependendo da rugosidade da superfície gerando os "*canyons*" entre as edificações (OKE, 1978; AMORIM, 2000 e 2020; UGEDA JUNIOR, 2011).

Para Oke (1978) a característica mais significativa da ilha de calor atmosférica é sua intensidade, entendida como a diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural. Considerou a ilha de calor como sendo uma anomalia térmica com dimensões horizontais, verticais e temporais, observada na maioria dos locais onde os estudos foram realizados devido as modificações provocadas pelo processo de urbanização que apresentam mudanças radicais na superfície natural e na atmosfera local (AMORIM, 2020).

A ilha de calor existe devido à maior retenção de calor por materiais como concreto e asfalto presentes na cidade, em comparação com a menor retenção de calor das vegetações aos arredores urbanos. Deste modo, Oke (1978) apresenta o conjunto de causas para a sua formação:

> 1 - Aumento da absorção da radiação devido e emissão das ondas longas de reflexão pela atmosfera urbana poluída.
>
> 2 - Diminuição da perda de radiação, em ondas longas, dos corredores entre edifícios, por causa da redução do fator de visão do céu.
>
> 3 - Maior absorção da radiação de ondas curtas por causa dos efeitos da geometria urbana no albedo.
>
> 4 - Maior armazenamento de calor durante o dia devido às propriedades térmicas dos materiais urbanos e sua reflexão noturna.
>
> 5 - Calor antropogênico.
>
> 6 - Diminuição da evaporação devido à remoção da vegetação pela impermeabilização das superfícies na cidade e ausência de corpos de água (OKE, 1978, p. 259).

Landsberg foi um importante autor alemão, porém, com trajetória de trabalho e pesquisa nos Estados Unidos. Em uma de suas principais obras, Landsberg (1981), apresentou contribuições em relação às alterações dos elementos do clima em contato com a cidade, além de modelos, métodos e técnicas estatísticas para o estudo do clima urbano. Antes da referida obra, em 1956 publicou o trabalho "*The Climate of Towns"* na coletânea "*Man's Role in Changing the Face of the Earth"* (THOMAS, 1956). Neste trabalho deixou claro quais são as alterações provocadas no clima local das cidades devido ao processo de urbanização, tais como, as alterações na superfície pela retirada da cobertura vegetal; a produção de calor pela própria

cidade devido à combustão, industrialização e materiais construtivos; e a alteração da composição da atmosfera, sobretudo, com materiais particulados, gases e substâncias químicas.

Neste contexto, Landsberg (1981) sistematizou os mais importantes componentes e condições climáticas que são modificados no ambiente urbano:

1 - A radiação solar global nas cidades é reduzida de 15 a 20% e os raios ultravioletas de 5 a 30%. A radiação solar direta é inferior se comparada à área rural;

2 - A temperatura média anual e a temperatura mínima de inverno são superiores à área rural cerca de 0,5ºC a 1,0ºC e 1,0ºC a 2,0ºC, respectivamente;

3 - O fluxo de calor latente (através da evapotranspiração) é maior na área rural, enquanto na cidade o fluxo de calor sensível é o predominante devido ao calor antropogênico e a maior participação da superfície urbana nos processos de ondas longas;

4 - A maior concentração de aerossóis nas cidades aumenta em torno de 50 vezes o total de núcleos de condensação, elevando a nebulosidade nas áreas urbanas;

5 - A precipitação urbana é relativamente superior (5 a 10%) às das áreas rurais, enquanto a umidade relativa se comporta de maneira inversa (média anual é inferior a 6%);

6 - A estrutura e morfologia urbana condicionam a movimentação do ar direcionando e reduzindo (de 10 a 30%) a velocidade do vento;

7 - O albedo médio das cidades é de 0,15, enquanto nas áreas rurais é de 0,18 a 0,25 e superior nas áreas florestadas.

Anos mais tarde, Alcoforado (1989), realizou em sua tese de doutorado o trabalho sobre a cidade de Lisboa. Evidenciou que durante a noite a cidade permanece mais quente do que os arredores, sendo a diferença máxima no inverno, formando ilhas de calor urbanas mais intensas. Encontrou o aumento da temperatura em relação à distância do mar no sentido O-L, sobretudo no verão. Ressaltou a importância do relevo e a direção predominante do vento na distribuição das temperaturas e encontrou ilhas de calor com intensidades de até 5ºC em noites quentes e secas (GOMES, 2017).

Com o objetivo de mostrar a complexidade das alterações climáticas pela urbanização Escourrou (1991) apresentou formas de adaptação das edificações com o intuito de encontrar

as condições de conforto em relação ao clima, utilizou-se de exemplos em cidades de todas as zonas climáticas. Identificou que quando ocorrem os fenômenos da ilha de calor os ventos convergem para o centro da cidade favorecendo a concentração de poluentes e apontou que as precipitações são mais frequentes na região metropolitana de Paris.

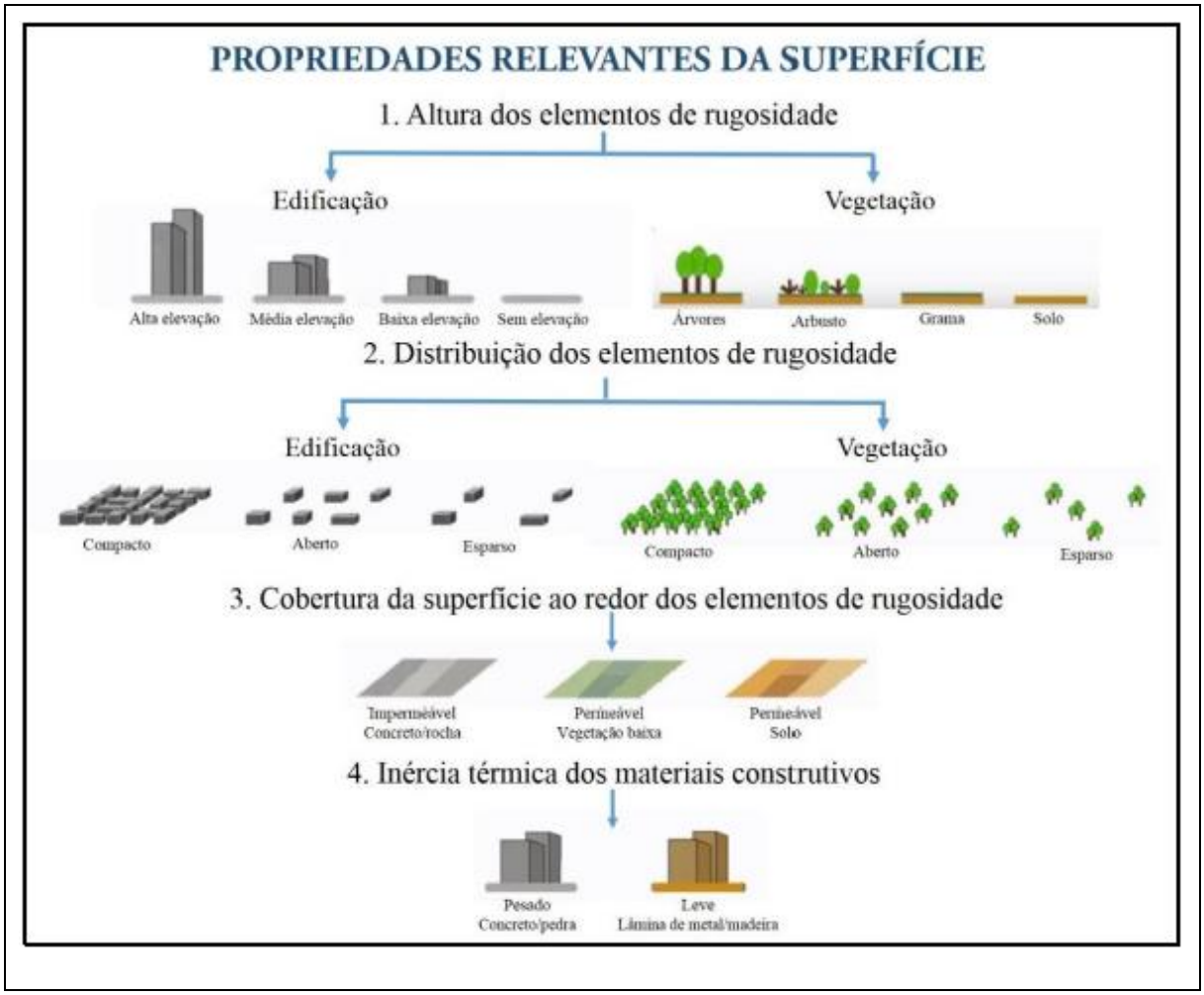
Monteiro (1993) investigou o clima urbano, a intensidade e a forma da ilha de calor na cidade do Porto. A autora utilizou pontos fixos de coleta de dados e transectos móveis. Os resultados mostraram as relações de interdependência existentes entre a intensificação do fenômeno da urbanização e o clima local na cidade, demonstrando que a urbanização no Porto possui efeitos significativos para alterar o clima local e que os condicionantes geoecológicos como a topografia, a brisa marítima, as áreas verdes e as diferentes formas de ocupação do espaço urbano interferem na forma da ilha de calor.

Outros importantes trabalhos foram realizados no âmbito internacional, cada um com a sua particularidade e também levando em consideração diferentes características da paisagem natural e urbana. Deve-se destacar os trabalhos realizados por Oke (2006), Stewart (2011), Stewart e Oke (2009; 2015; 2018), nos quais apresentaram novas abordagens para a classificação do sítio.

Stewart e Oke (2009) criaram uma classificação climática para as áreas urbanas centrada nas propriedades que influenciam o campo térmico do dossel urbano, a "*Local Climates Zones"* (LCZ) ou Zonas Climáticas Locais. Levando em consideração o grau de modificação na superfície, levantaram quatro propriedades que são relevantes para os estudos de clima urbano (Figura 3), sendo eles: 1. Altura dos elementos de rugosidade; 2. distribuição dos elementos de rugosidade; 3. cobertura do solo ao redor dos elementos de rugosidade; 4. inércia térmica dos materiais construtivos. No total os autores elaboraram 17 *Local Climates Zones*, dais quais 10 se referem aos tipos de construções e 7 são referentes aos tipos de cobertura da terra (DORIGON, 2019).

A proposta de classificação climática local elabora por Stewart e Oke (2009), vem sendo utilizado nos trabalhos de climatologia urbana no Brasil (CARDOSO, 2015 e 2021; DORIGON, 2019; MOREIRA, 2021) e contribui de forma importante para a escolha dos locais onde serão instalados os equipamentos, caracterização da área de estudo e na análise dos dados de acordo com os padrões estabelecidos pelos autores. Entretanto, é evidente que a uniformidade dos modelos não é diretamente encontrada na realidade dos padrões construtivos das cidades brasileiras, sendo necessário realizar adaptações para as diferentes realidades e áreas de estudos.

Figura 3 - Propriedades relevantes encontradas na superfície segundo Stewart e Oke (2009)



Fonte: Stewart e Oke (2009) adaptado por Dorigon (2019)

Atualmente, trabalhos estão sendo produzidos em âmbito mundial, sobretudo, com a ampla utilização das técnicas de geoprocessamento e processamento digital de imagens para o tratamento dos dados climáticos. De modo geral, busca-se a mitigação dos impactos provenientes dos efeitos da ilha de calor urbana, que ao mesmo tempo, em que são prejudiciais e causam desconforto para a população residente em cidades tropicais, também podem ser positivas e amenizarem as baixas temperaturas dos rigorosos invernos das cidades de clima temperados.

2.2 - A construção teórica do clima urbano no ambiente tropical: as cidades brasileiras como foco de análise

Os trabalhos pioneiros relacionados ao estudo do clima no Brasil surgiram no final do século XIX e início do século XX, realizados por Henrique Morize em 1891, Frederico Draenert em 1896, Delgado de Carvalho em 1917, Belfort de Mattos em 1910, Sampaio Ferraz em 1925,

Ary França em 1945, entre outros (SANT'ANNA NETO, 2001). Entretanto, somente na década de 1970 que os estudos referentes à atmosfera urbana tiveram destaque com as contribuições deixadas pelo professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro com os trabalhos desenvolvidos junto ao laboratório de climatologia da Universidade de São Paulo e, sobretudo, com a sua tese de Livre-docência intitulada "Teoria e Clima Urbano" (1976).

A preocupação com as alterações introduzidas pelo processo de urbanização na qualidade do ar da cidade, constituiu-se como um alerta para a elaboração de estudos de clima urbano. No caso brasileiro, esse processo foi acompanhado pelo o momento em que a população urbana suplantou a rural (MENDONÇA, 2003).

> Um considerável número de cidades de porte pequeno, médio e grande no Brasil foi alvo de investigação de seus ambientes atmosféricos urbanos a partir da década de 1960 (Monteiro, 1984), tendo se intensificado e se distribuído por quase todo o território nacional na década de 1990. Variados recursos técnicos têm caracterizado a prospecção da atmosfera das cidades no Brasil, país que conta com importante base teórico-metodológica para o estudo do clima urbano a partir da década de 1970, elaborada na perspectiva de contribuir par ao planejamento da cidade (MENDONÇA, 2003, p. 176).

A Tabela 3 mostra os trabalhos referentes ao clima urbano, com base no subsistema termodinâmico, produzidas no Brasil a título de Tese de Doutorado[2]. Neste caso, foi incorporado também duas teses de Livre-docência, Monteiro (1976) e Amorim (2017), que trouxeram importantes contribuições ao estudo do clima urbano enquanto teoria, método e prática de análise. Todos os trabalhos apresentados foram produzidos no âmbito dos Programas de Pós-Graduação em Geografia distribuídos pelo Brasil.

Tabela 3 - Teses de clima urbano desenvolvidas nos Programas de Pós-Graduação em Geografia no Brasil com base no subsistema termodinâmico (1976 - 2020)

Autor	Ano	Título	Cidade Analisada
Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (Tese de livre docência)	1976	*Teoria e Clima Urbano*	-

[2] A busca pelas teses de doutorado foi realizada com base no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, disponível em <https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/> e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, disponível em < http://bdtd.ibict.br/vufind/>. Nas duas plataformas foram inseridas as buscas com base nas palavras "Clima urbano" e "Ilhas de Calor" nos campos de pesquisa "Título", "Assunto" e "Resumo".

Magda Lombardo	1985	*Ilhas de Calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*	São Paulo
Francisco Mendonça	1994	*O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR*	Londrina
Gilda Tomasini Maitelli	1994	*Um estudo tridimensional de clima urbano em cidades tropicais continentais: o exemplo de Cuiabá/MT*	Cuiabá
Brandão	1996	*O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*	Rio de Janeiro
Sandra Pitton	1997	*As cidades como indicadores de alterações térmicas*	Araras Cordeirópolis Rio Claro Santa Gertrudes
Margarete Amorim	2000	*O clima urbano de Presidente Prudente/SP*	Presidente Prudente
Magaly Mendonça	2004	*A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC*	Florianópolis
Carlos Henrique Jardim	2007	*Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas*	São Paulo
Gilson Campos Ferreira da Cruz	2009	*Clima urbano de Ponta Grossa – PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira.*	Ponta Grossa
Jeferson Lordello Polizeli	2009	*Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP*	Piracicaba
Edson Fialho Soares	2009	*Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Um caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira*	Viçosa
Marcos Barros de Souza	2010	*Influência de lagos artificiais no clima local e no clima urbano: estudo de caso em Presidente Epitácio (SP).*	Presidente Epitácio
Wellinton Lopes Assis	2010	*O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial.*	Belo Horizonte
José Carlos Ugeda Junior	2011	*Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP.*	Jales

Humberto Catuzzo	2013	*Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo*	São Paulo
Cíntia Minaki	2014	*O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP.*	Araçatuba
Elvis Bergue Mariz Moreira	2014	*Balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto*	Recife
Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba	2015	*O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã.*	Assis Cândido Mota Maracaí Tarumã
Eduino Rodrigues da Costa	2015	*O campo térmico e a qualidade ambiental urbana em Chapecó/SC*	Chapecó
Hugo Rogério de Barros	2016	*A relação entre a Ilha de Calor Urbana, o uso e cobertura do solo e o balanço de energia no município de São Paulo: avaliação do campo térmico nos parques públicos de lazer*	São Paulo
Margarete Amorim (Tese de livre docência)	2017	*Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte*	Presidente Prudente
José Edilson Cardoso Rodrigues	2017	*Análise das características socioambientais na cidade de Belém/PA: um estudo da vegetação e clima urbano*	Belém
Juarez Mota Pinheiro	2018	*Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão*	São Luís
João Paulo Matias Paiva	2018	*Clima e ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais de Fortaleza/CE*	Fortaleza
Aristóteles Teobaldo Neto	2019	*A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá/MT*	Cuiabá
Larissa Piffer Dorigon	2019	*As Ilhas de calor urbanas em Jundiaí-SP*	Jundiaí
Danielle Cardozo Frasca Teixeira	2019	*O clima urbano de cidades de pequeno porte do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil*	Presidente Venceslau Santo Anastácio Álvares Machado

Camila Riboli Rampazzo	2019	*Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente)*	São Carlos Marília Presidente Prudente
Vladimir Aparecido Sorana dos Santos	2020	*A cidade de Dourados-MS, se há céu claro, calor; vento e céu alaranjado, poeira, poeirão: um estudo de clima urbano*	Dourados

Fonte: Catálogo de Teses e Dissertações Capes e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (junho, 2020)

A construção teórico-metodológica desenvolvida por Monteiro (1976), denominada "Sistema Clima Urbano" (SCU), foi uma grande contribuição para o estudo do clima urbano das cidades brasileiras. Fundamentada na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1950) e na concepção dinâmica do paradigma do ritmo como sucessão habitual dos tipos de tempos, adotou como critério de escolha uma postura pragmática, dinâmica, consistente, empírica e modelista com o intuito de expressar as ideias contidas na teoria (GOMES, 2017).

Monteiro (1976), definiu dez enunciados básicos com o objetivo de sintetizar o Sistema Clima Urbano, caracterizado como um sistema aberto, adaptativo, dinâmico, integrado, evolutivo e passível de autorregulação:

> 1 - O clima urbano é o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização.
>
> 2 - O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantêm relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere.
>
> 3 - O SCU importa energia através de seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos.
>
> 4 - As entradas de energia no SCU são de natureza térmica (oriundas da fonte primaria de energia da terra – o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto.
>
> 5 - A avaliação dessa entrada de energia no SCU deve ser observada tanto em termos quantitativos como especialmente em relação ao seu modo de transmissão.
>
> 6 - A estrutura interna do SCU não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas.

> 7 - O conjunto-produto do SCU pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificatória que deve ser constituída através de canais de percepção humana.
>
> 8 - A natureza urbana do SCU implica em condições especiais de dinamismo interno consoante ao processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização.
>
> 9 - O SCU é admitido como passível de auto-regulação, função essa conferida ao elemento homem urbano que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções e, pode, através de seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo à dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas.
>
> 10 - Pela possibilidade de interferência auto-reguladora, acrescentam-se ao SCU, como sistema aberto, aquelas propriedades de entropia negativa pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificados, assim, como um sistema morfogenético" (MONTEIRO, 1976, p. 95-102).

Como é possível perceber, os espaços urbanos passaram a assumir a responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente. Assim, a grandeza escalar do clima urbano dependerá dos fatores que o definem, como, por exemplo, a localização geográfica, a sua posição no relevo, a continentalidade e a intensidade do adensamento humano. Para Monteiro (1976, p.116), deve haver "[...] a mesma preocupação em caracterizar a organização hierárquica em termos de ligações, no plano vertical, e entrelaçamento, no plano horizontal". Desta forma, no estudo do clima urbano é fundamental a relação entre as diferentes escalas geográficas, desde a zonal até a local, sendo que os elementos da natureza e do meio urbano devem ser analisados sobre o prisma do holismo para se alcançar uma visão ampla dos fenômenos estudados, neste caso, partindo da perspectiva sistêmica visando analisar os fluxos de matéria e energia que entram no sistema e chegando à análise da produção do espaço urbano, buscando entender os padrões de ocupação e as condições sociais no qual os diferentes grupos estão inseridos.

Ainda com o objetivo de realizar uma caracterização do clima urbano, Monteiro (1976, p.57), organizou uma síntese com base no trabalho desenvolvido por Landsberg (1956), apontando como a cidade modifica o clima na escala local e apresentando os impactos decorrentes das alterações da superfície terrestre:

> "O clima urbano é a modificação substancial de um clima local [...]. O desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição ou sítio [...]. A cidade modifica o clima através de alterações em

> superfície [...]. A cidade produz um aumento de calor [...]. A maior influência manifesta-se através da alteração na própria composição da atmosfera [...] A poluição atmosférica representa, no presente, o problema básico da climatologia das modernas cidades industrializadas.

Neste contexto, sob a égide da perspectiva sistêmica, Monteiro (1976), no sétimo enunciado, pressupõe que vários elementos caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, organizou uma classificação constituída através de canais de percepção humana e sugeriu a adoção de três subsistemas para o estudo do SCU:

> a) Conforto térmico - Englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente. Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia habitacional, assunto de investigação de importância crescente.
> b) Qualidade do Ar - A poluição é um dos males do século, e talvez aquele que, por seus efeitos mais dramáticos, atraia mais atenção. Associada às outras formas de poluição (água, solo, etc.), a do ar é uma das mais decisivas na qualidade ambiente urbana.
> c) Meteoros de Impactos - Aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas, (tornados) e elétricas (tempestades), que assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade, são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e serviços (MONTEIRO, 1976, p. 100).

Esta pesquisa tem como referencial os componentes termodinâmicos do SCU, percebidos pelas pessoas através do conforto térmico. Dentro do esquema do SCU, esse canal atravessa toda a sua estrutura, sendo transformado na cidade e pressupondo uma produção fundamental no balanço de energia atuante no sistema (MONTEIRO, 1976).

Outro importante trabalho nos estudos de clima urbano no Brasil se refere à tese de doutorado da professora Magda Lombardo (1985). Ganhou destaque tanto do ponto de vista teórico quanto metodológico devido ao fato de ser pioneira no estudo de ilha de calor por meio de técnicas de sensoriamento remoto com a utilização de imagens dos satélites *NOAA* e *Landsat*. Identificou que o clima da cidade se modifica devido à intensificação do uso e ocupação da terra, resultando em desequilíbrios térmicos e deterioração da qualidade do ar, sendo possível verificar até 12ºC de diferença de temperatura entre a área urbana e rural na cidade de São Paulo.

Ao trabalhar com as imagens termais, Lombardo (1985, p. 24) define que “a ilha de calor urbana corresponde a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as

áreas circunvizinhas". Descreve que o efeito da ilha de calor sobre as cidades ocorre devido ao aumento da rugosidade e às propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais pavimentados. Destaca que o crescimento desordenado das áreas urbanizadas provoca a degradação ambiental do meio natural que com a justaposição de um meio ambiente artificial altera o equilíbrio natural dos elementos climáticos.

Mendonça (1994), ao estudar a cidade de Londrina (PR) desenvolveu uma importante contribuição metodológica para estudos do clima urbano em cidades de porte médio e realizou um levantamento bibliográfico dos trabalhos produzidos até o início dos anos de 1990. O autor chama a atenção para a concentração dos trabalhos nos grandes centros urbanos e, sobretudo, na região centro-sul do país (Tabela 4).

Tabela 4 - Levantamento dos estudos sobre o clima urbano realizados no Brasil (1942-1992)

ESTUDOS SOBRE O CLIMA URBANO DE CIDADES BRASILEIRAS (Levantamento aproximado)		
CIDADES	**CAMPO**	**TOT.**
	CAMPO TERMODINÂMICO OU TÉRMICO	26
São Paulo	JUNOT, 1942; LOMBARDO et al, 1981; LOMBARDO e TARIFA, 1982; LOMBARDO et al, 1983; LOMBARDO, 1985; MONTEIRO, 1986.	
*S. J. dos Campos	TARIFA, 1977.	
*Presid. Prudente	FONZAR, 1981.	
*Rio Claro	PITTON, 1991.	
Rio de Janeiro	NISHIZAWA, 1983; NISHIZAWA et al, 1983; BRANDÃO, 1987.	
Porto Alegre	DANI, 1980 e 1987; HASENACK et al, 1982.	
*Santa Maria	SARTORI, 1979.	
*Florianópolis	MONTEIRO e SEZERINO, 1991.	
*Blumenau	SILVA et al, 1987.	
Curitiba	SCHIMIDT, 1982; DANI, 1992.	
Salvador	SAMPAIO, 1981.	
*Patos e Campina Grande	YAMASHITA et al, 1988; IMAMURA, 1991.	
*Marabá	MONTEIRO e TARIFA, 1977.	
	CAMPO DISPERSÃO OU POLUIÇÃO	07
São Paulo	AGATA, 1978; ZANATTI et al, 1979; SETZER et al, 1979; ORSINI, 1982; OLIVEIRA et al, 1983.	
Rio de Janeiro	GALLEGO, 1972.	

*São Luís (MA)	TARIFA et al, 1980.	
	CAMPO HIDROMETEÓRICO OU INUNDAÇÕES	
São Paulo	JUNOT, 1943; MONTEIRO, 1978, 1980 e 1984; PASCHOAL, 1981 E TARIFA, 1982.	
Salvador	GONÇALVES, 1992.	
	OUTROS (CLIMA URBANO/CLIMA LOCAL)	13
São Paulo	FRANÇA, 1946, 1958; TAVARES, 1974; CONTI, 1978 e 1979; FERREIRA, 1981; TITARELLI, 1982; OLIVEIRA et al, 1982; MACHADO et al, 1982; LOPES DE ALMEIDA, 1988.	
*Bauru	RIBEIRO, 1975.	
*Manaus	TARIFA, 1973.	
*Londrina	MORIYA, 1986; MENDONÇA et al, 1992.	
	TOTAL GERAL	**46**

*Cidades de Porte Médio e Pequeno

Fontes: MONTEIRO, C. A. F. – 1976, 1984 e 1991. LOMBARDO, M. A. – 1985. IMAMURA-BORNSTEIN *and* BORNSTEIN – 1992. LEVANTAMENTOS DO AUTOR

FONTE: Mendonça (1994)

Durante a pesquisa, Mendonça (1994), analisou as temperaturas de superfície por meio de imagens de satélite em duas escalas, uma no âmbito regional mediante o uso de uma imagem NOAA e outra na dimensão intraurbana, com o emprego de uma imagem *Landsat 5*. O autor encontrou ilhas de calor de até 10°C de intensidade entre a área urbana e rural e constatou que o clima urbano de Londrina se relaciona às atividades humanas ligadas à urbanização.

> Sendo o clima um dos elementos de primeira ordem a compor a paisagem geográfica, nas cidades ele é resultante da interação entre os componentes da dinâmica atmosférica zonal, regional e local e os do espaço urbano-rural construído. O clima urbano é então derivado das seguintes principais alterações no ambiente natural: retirada da cobertura vegetal, introdução de novas formas no relevo, concentração de edificações, concentração de equipamentos e pessoas, impermeabilização do solo, canalização do escoamento superficial, rugosidade da superfície, lançamento concentrado e acumulação de partículas e gazes na atmosfera, e produção de energia artificial (MENDONÇA, 1994, p. 07).

No mesmo ano, Maitelli (1994) defendeu a sua tese de doutorado na qual estudou o clima urbano da cidade de Cuiabá (MT). A pesquisadora trabalhou na escala da cidade, considerando toda a área urbana e preparou um referencial metodológico, técnico e instrumental para o desenvolvimento de estudos de clima urbano, em uma abordagem interativa entre medidas obtidas de séries temporais (1920 a 1992), medidas horizontais móveis e fixas e

medidas verticais. A autora concluiu que o crescimento urbano influenciou positivamente na tendência da temperatura mínima com elevação de 0,073ºC por ano no período de 22 anos (1970 a 1992), quando o crescimento populacional foi mais intenso. Os transectos móveis foram realizados de março de 1992 a junho de 1993, sendo 10 dias na estação seca e 10 dias na estação chuvosa e revelaram intensidade média de 3,8ºC, com máxima de até 5ºC no período noturno da estação seca e de até 2,3ºC no período noturno da estação chuvosa. As medidas fixas registraram 3,4ºC no período noturno na estação seca. A autora explica que isso é devido à alta condutividade térmica e alta capacidade de absorção de calor dos materiais de construção que, possibilitando grande estoque de energia durante o dia, mantém os prédios e outros materiais urbanos do local, aquecidos por mais tempo durante a noite e consequentemente o ar em contato com estas superfícies fica mais aquecido (FIALHO, 2009; TEOBALDO NETO, 2019).

Brandão (1996) estudou o clima urbano do Rio de Janeiro sob o enfoque das alterações do clima em função do crescimento urbano. Observou a elevação das temperaturas e o aumento da ocorrência de chuvas, relacionando-as aos períodos de maior desenvolvimento e verticalização da cidade. A autora se utilizou de 34 áreas amostrais distribuídos em três transectos, partindo do centro da cidade em direção a Tijuca, Santa Cruz e Irajá. Os resultados mostraram diferenças térmicas com intensidade máxima de 4,2ºC entre o urbano e o rural e identificou que as ilhas de calor assumem mobilidade de acordo com o horário do dia.

Pitton (1997) analisou as cidades de Araras, Cordeirópolis, Rio Claro e Santa Gertrudes (SP). Identificou que as áreas menos aquecidas foram próximas aos corpos d'água e áreas com vegetação. De acordo com a autora, as mudanças que o processo urbano causa na superfície, implicam em alterações no balanço de energia, resultando diferenças sensíveis, não só em seus componentes, como também nos parâmetros climáticos e criam um clima próprio.

Amorim (2000) realizou uma importante contribuição aos estudos de clima urbano em cidade de porte médio ao investigar as características da temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Presidente Prudente (SP). Concluiu que a cidade possui diferenças intraurbana e rural que apontaram a existência de um clima urbano específico, decorrente da combinação do tipo de uso e ocupação da terra, presença de vegetação, altitude e exposição de vertentes.

Mendonça (2004), defendeu a tese de doutorado sobre o clima urbano da cidade de Florianópolis (SC). O trabalho teve como objetivo compreender a influência simultânea dos fatores geoecológicos e da urbanização na variação espaço-temporal da temperatura. Os dados meteorológicos foram coletados durante 4 dias, nos horários sinóticos (6h, 9h, 15h e 21h), em cada estação do ano. A pesquisa apresentou a complexidade de realização dos estudos de clima urbano na zona costeira e como os diferentes usos e ocupações da terra podem interferir nas

diferenças das temperaturas. Os resultados mostraram ilhas de calor em diversas áreas da cidade, formando "arquipélagos de calor", sobretudo, nas áreas densamente edificadas e verticalizadas. As maiores diferenças de temperatura ocorreram sob o domínio polar às 6h na área central de Florianópolis, chegando atingir 9ºC nas observações realizadas em outubro de 1999.

Jardim (2007), apoiado em uma perspectiva sistêmica, realizou uma proposta de síntese climática a partir das características térmicas e higrométricas tomando como referencial a bacia hidrográfica do rio Aricanduva, na cidade de São Paulo. Reconheceu a existência do clima urbano, porém enfatiza a necessidade de levar em consideração a influência de outros fenômenos climáticos, cuja gênese remonta a participação de fatores alheios à própria organização urbana. Procurou avaliar a influência dos fatores geográficos de superfície no comportamento da temperatura e umidade relativa do ar em áreas urbanas, considerando como pressuposto a relação entre a sucessão dos tipos de tempo e as mudanças na configuração espacial desses elementos. Para o autor, o natural e o urbano, produzido sobre a superfície natural, não podem ser vistos de forma dissociada, a atmosfera não está simplesmente sobreposta à superfície terrestre havendo uma verdadeira integração entre um e outro. Os resultados apontaram para uma organização climática complexa, onde se verificou a existência e a inter-relação de diversas categorias taxonômicas de climas, mesmo num espaço relativamente pequeno como a bacia hidrográfica do rio Aricanduva.

Ao realizar o estudo do clima urbano da cidade de Ponta Grossa (PR), Cruz (2009), concluiu que a cidade tem seu clima urbano condicionado às construções, circulação de veículos, ausência ou presença de vegetação arbórea, altitude e exposição de vertentes, como também pelos sistemas atmosféricos atuantes. Para o autor, as mudanças ambientais provocadas pelas ações antrópicas geram consequências a ponto de criar um clima especial, o clima urbano. Verificou que no contexto da cidade ocorrem diversos microclimas diretamente relacionados com a presença dos elementos que compreende o ambiente produzido pelo processo de urbanização. Identificou a ocorrência da ilha de calor na área central da cidade e verificou o deslocamento para as regiões periféricas de acordo com a direção do vento.

Com a finalidade de mapear a distribuição espacial do campo térmico da cidade de Piracicaba (SP) e comparar os diferentes tipos de superfícies urbanas, Polizel (2009) utilizou técnicas de geotecnologias, como imagens termais do Satélite Landsat 5, cálculos de NDVI, videografia aérea multiespectrais para aquisição de imagens de alta resolução com a realização de um sobrevoo na área urbana, além de coletas de dados da temperatura do ar em três áreas

distintas, na estação de verão e inverno. Os resultados mostraram a importância da arborização para minimizar o desconforto térmico.

Fialho (2009) investigou a existência de um clima urbano na cidade de pequeno porte, tomando como referência a cidade de Viçosa (MG). Os trabalhos foram desenvolvidos em três escalas de análise (campo-cidade, área urbana, e o centro da cidade) em diferentes estações sazonais, a partir da análise de série histórica e dos transectos móveis para registro de temperatura do ar. Concluiu que mesmo a cidade apresentando ilhas de calor noturnas ainda não se pode afirmar a constituição de um clima urbano específico.

Souza (2010) investigou a influência do lago artificial no clima urbano da cidade de Presidente Epitácio (SP), apontando como as transformações antrópicas do espaço físico podem ocasionar variações nos atributos climáticos. Utilizou-se de registros de temperatura e umidade relativa do ar em pontos fixos e também de transectos móveis em diferentes estações do ano. O autor constatou que as maiores amplitudes entre os pontos de coleta ocorreram no período noturno e que a presença do lago não contribuiu para o aumento da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, mas funcionou como um regulador térmico e higrométrico.

Ao analisar a evolução do clima da cidade de Belo Horizonte (MG), Assis (2010) utilizou de uma longa série de dados dos elementos do clima (1911-2009) e constatou o aumento das temperaturas e decréscimo da umidade relativa, identificando três núcleos de aquecimento contínuo distribuídos pela cidade. As ilhas de calor coincidiram com as áreas mais adensadas e impermeabilizadas do município, tendo maiores amplitudes no período seco. Constatou que sob atuação de sistemas atmosféricos instáveis não houve a presença de ilhas de calor e as amplitudes térmicas diminuíram, por fim, elaborou uma proposta de síntese climática com a apresentação de mapas e unidades climáticas urbanas.

Ugeda Junior (2011), ao realizar o estudo do clima urbano da cidade de Jales (SP), confirmou a hipótese de que uma cidade de pequeno porte apresenta elementos suficientes para a formação de um clima urbano específico, com diferenças térmicas e higrométricas, entre as áreas urbanas e o entorno rural, além de diferenças intraurbanas significativas. O autor realizou registros da temperatura do ar e da umidade relativa, em duas estações (verão e inverno) do ano de 2010, utilizando-se de pontos fixos, transectos móveis e imagens termais do satélite Landsat 7. Constatou que as alterações das características naturais provocadas pela urbanização e, acentuadas pelo planejamento inadequado, resultam em diversas modificações no ambiente urbano e os resultados apontaram diferenças térmicas de até 10°C sob condições de estabilidade atmosférica.

Catuzzo (2013) desenvolveu um trabalho inédito na Geografia, quando analisou as diferenças de temperatura e umidade relativa do ar na escala microclimática. Afirmou que as construções e a pavimentação reduziram as áreas verdes, alteraram a circulação dos ventos e provocaram uma intensidade na formação das ilhas de calor. O trabalho foi elaborado com base no Sistema Clima Urbano e teve como objetivo principal o estudo do impacto no microclima dos telhados verdes. A pesquisa comparou dois tipos de coberturas, um telhado de concreto e outro com telhado verde. Os resultados mostraram que a maior diferença térmica entre os telhados foi de até 5,3ºC e, da umidade relativa do ar foi de 15,7%. O autor aponta que a utilização de cobertura vegetal sobre os telhados e também na cidade tem o potencial de reduzir as temperaturas e pode melhorar a qualidade de vida no meio urbano.

Ao estudar o clima como um indicador de qualidade ambiental na cidade de Araçatuba (SP), Minaki (2014) se utilizou das técnicas dos transectos móveis para investigar o campo térmico e higrométrico no período noturno. A autora verificou ilhas de calor com intensidade máxima de até 6,4°C na área central da cidade e concluiu que há situações propícias ao aumento da temperatura do ar que podem se agravar, caso não ocorram medidas mitigadoras.

Moreira (2014) analisou a influência da superfície urbana nos componentes do balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife (PE) por meio do sensoriamento remoto. Utilizou algoritmos e seis imagens do satélite Landsat 5, no período de 1998 a 2011, para realizar o processamento das cartas temáticas do NDVI, temperatura da superfície, albedo da superfície, saldo de radiação, fluxos de calor no solo, sensível, latente e evapotranspiração real. Os resultados encontrados apontaram para alterações relevantes nas trocas dos fluxos de energia entre a malha urbana e atmosfera com predominância de altos valores de radiação disponível para aquecimento do ar próximo à superfície e na formação de zonas de calor.

Outro importante trabalho sobre as cidades de pequeno e médio porte foi desenvolvido por Ortiz Porangaba (2015), quando realizou o estudo do clima urbano das cidades de Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã (SP). De acordo com a autora, a coleta de dados meteorológicos ocorreu por meio de pontos fixos e transectos móveis simultaneamente em todas as cidades analisadas, com o intuito de verificar como cada uma delas interfere na temperatura e umidade relativa do ar sob a atuação dos mesmos sistemas atmosféricos. Os resultados mostraram ilhas de calor de até 6,7ºC de diferença entre o ponto urbano e rural.

Com o objetivo de estudar o campo térmico e a qualidade ambiental urbana de Chapecó (SC), Costa (2015) realizou medidas em pontos fixos e transectos móveis em três horários do dia (06, 15 e 21 horas), durante alguns episódios do ano de 2014, afim de identificar e espacializar a ocorrência de ilhas de calor. Os resultados destacaram que a ilha de calor

atmosférica se definiu melhor no centro da cidade (horizontalizado e verticalizado) no horário das 15 e 21 horas em todos os episódios de tempo analisados. Identificou que no horário das 06 horas não foi possível notar a influência da cidade sobre o campo térmico, visto que neste horário ocorre o resfriamento radiativo associado ao balanço negativo de radiação. Mostrou que a ilha de calor apresentou maior magnitude na estação de inverno e em episódios de tempo sob domínio de sistemas atmosféricos polares (Massa Polar Atlântica, Massa Polar Continental). E concluiu que a ilha de calor é responsável pelo desconforto térmico verificado nos tipos de tempos associados a sistemas atmosféricos tropicais no verão e pelo conforto térmico nos episódios de tempo associados a sistemas polares no inverno, principalmente no seu horário de máxima intensidade e aquecimento (15 horas).

Barros (2016), realizou o estudo da ilha de calor na região metropolitana de São Paulo, levando em consideração às interações entre as condições sinóticas, o uso e cobertura do solo e o balanço de energia. Utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto se baseando em nove imagens termais do satélite Landsat 5 no período de 2007 a 2011. Os resultados mostraram que a dinâmica territorial da ilha de calor corresponde a diferentes condições de tempos sinóticos e as características do uso do solo, sobretudo, ligados ao comércio e indústrias. O autor chamou a atenção para a preservação e expansão da vegetação na área urbana, tais como parques e unidades de conservação, visto que estes demostram ser a fonte para a redução da temperatura da superfície urbana.

Com o objetivo de analisar a redução da cobertura vegetal e a mudança nos padrões de temperatura na área urbana da cidade de Belém (PA), Rodrigues (2017) observou que o rápido crescimento das cidades gera modificações, sendo o clima urbano uma delas, pois a cidade altera o clima principalmente na micro e mesoescala, por meio das transformações da superfície, ocasionando o aumento de temperatura, variação da precipitação, modificação do fluxo dos ventos e da umidade do ar. Outra grande modificação observada na paisagem urbana é a redução da cobertura vegetal, que exerce diversas funções no âmbito social, estético e climático, amenizando a temperatura e umidificando o ambiente urbano. Baseado na proposta teórico-metodológica do SCU realizou o mapeamento da área de estudo e buscou identificar as ilhas de calor por meio de transectos móveis, medidas fixas e imagens termais. Concluiu que os bairros com menores densidades de vegetação apresentaram temperaturas maiores.

A cidade de São Luís do Maranhão foi analisada por Pinheiro (2018) e a tese de doutorado teve como objetivo compreender a dinâmica do clima urbano apoiado nas concepções da interação existente entre a atmosfera e a superfície de morfologia urbanizada, se baseou na proposta metodológica do SCU, aplicando todos os canais de percepção dos

subsistemas propostos: físico-químico (qualidade do ar), hidrometeórico (impacto meteórico), termodinâmico (conforto térmico), acrescido com a incorporação do vento. Em relação as características térmicas, os resultados mostraram que a temperatura do ar e os níveis de conforto térmico na cidade estão sofrendo alterações negativas em função da urbanização crescente, sobretudo, devido ao surgimento de grandes prédios na orla da praia que impede a circulação natural dos ventos fazendo o centro da cidade apresentar as maiores temperaturas e mais horas do dia em situação de desconforto térmico.

Paiva (2018), buscou identificar o comportamento termo-higrométrico e o conforto térmico em ambientes construídos na cidade de Fortaleza (CE). A pesquisa tomou como referencial teórico-metodológico principal o SCU e escolheu quatro pontos externos e internos (residências) em dois conjuntos habitacionais. O conforto térmico foi analisado a partir de questionários com os moradores e também através dos Índice de Desconforto (DI) de Thom (1959), Índice de Conforto Humano (ICH) de Anderson (1965) e a Temperatura de Conforto de Pétalas (2015). Os resultados mostraram que os ambientes externos foram mais desconfortáveis ao calor no período seco, enquanto que os internos foram mais desconfortáveis no período chuvoso, sendo que a ausência de vegetação e o padrão construtivo adotado na construção dos Conjuntos Habitacionais influenciaram diretamente no desconforto térmico verificado.

Teobaldo Neto (2019), investigou a dimensão do risco em função da exposição ao calor na área urbana de Cuiabá, na estação mais quente do ano. Chamou a atenção afirmando que a sociedade que vive nos espaços urbanos da zona intertropical sofre com a maior propensão à exposição a elevadas temperaturas, constituindo um risco, o qual pode variar da perda de qualidade de vida a agravos na saúde, sobretudo, na população que vive em condições de vulnerabilidade social. Os resultados mostraram a formação de ilhas de calor de forte magnitude que expõe a população urbana a elevados índices de perigo em função da exposição ao calor nas áreas que apresentaram maiores índices de vulnerabilidade social. Por fim, concluiu que a vulnerabilidade ao calor, apesar de ter como risco/perigo uma dimensão do clima, é determinada por fatores de origem social.

Dorigon (2019), aplicou a metodologia das Zonas Climáticas Locais para analisar o campo térmico da cidade de Jundiaí (SP) e realizar uma análise síntese apresentando as intensidades de ilhas de calor em relação às características da superfície. Baseou-se em medidas fixas, móveis e imagens termais capturadas em 2017. Identificou que as maiores intensidades das ilhas de calor foram registradas, predominantemente, nos meses com as menores precipitações totais (junho, julho, agosto e setembro), enquanto no ciclo diário, as maiores

intensidades foram noturnas e estiveram relacionadas as características urbanas sem presença de vegetação.

Teixeira (2019), analisou o clima urbano em três cidades de pequeno porte do interior do Estado de São Paulo (Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado). Apontou que as cidades pequenas também mostram importantes alterações das suas condições pretéritas à urbanização e exibem relativas facilidades para uma investigação climática qualitativa, pois seus espaços reduzidos permitem a melhor diferenciação dos seus ambientes intraurbanos e existem possibilidades de intervenção e planejamento urbano nos novos espaços em expansão. Os dados foram coletados por meio de estações fixas e transectos móveis, que foram representados através das tabelas dinâmicas, isotermas e modelagem espacial. Os resultados permitiram o diagnóstico de anomalias térmicas nas áreas intraurbanas tomando como referência os ambientes rurais próximos às áreas urbanas. A pesquisa diagnosticou o clima urbano específico das cidades, expresso pelas ilhas de calor de forte e muito forte magnitude.

Baseada no SCU e na produção do espaço geográfico, subsidiada pela perspectiva analítica da Geografia do Clima, Rampazzo (2019), buscou investigar como o clima urbano se constitui numa atmosfera particular em lugares com níveis de vulnerabilidade socioespacial e riscos distintos nas cidades de São Carlos, Marília e Presidente Prudente (SP). Os resultados comprovam não somente a existência de climas urbanos, a partir da modelagem das ilhas de calor, com intensidade superior a 4°C sob condições atmosféricas estáveis, como, que há uma correspondência entre os níveis de vulnerabilidade e os espaços desigualmente construídos na configuração dos impactos climáticos em cada cidade.

Santos (2020), realizou um importante trabalho na cidade de Dourados (MS) comparando a qualidade do ar e a variação das intensidades termohígricas intraurbanas, baseado na teoria do clima urbano com ênfase nos subsistemas termodinâmico e físico-químico. Identificou que os tipos de tempo são influenciados pelos sistemas atmosféricos atuantes e os resultados mostraram que exercem influência na concentração e dispersão de poluentes e a intensidade dos arquipélagos de calor e frescor.

A professora Margarete Amorim, ao longo de mais de duas décadas, orientou diversos trabalhos de mestrado e doutorado e ampliou de forma considerável a quantidade de produções sobre o clima urbano das cidades de pequeno e médio porte, com foco no subsistema termodinâmico. Com base em sua produção, Amorim (2020), publicou a tese de Livre-docência na qual propõe uma abordagem teórico-prático para o estudo da ilha de calor em cidades de pequeno e médio porte. O trabalho investigou as interferências na temperatura e umidade relativa do ar e também o aprofundamento de novas técnicas da modelagem da ilha de calor

urbana para a cidade de Presidente Prudente (SP). Amorim (2020, p. 29), define as ilhas de calor urbana atmosféricas como:

> [...] bolsões de ar quente registrados nos ambientes urbanos decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais encontrados na superfície de armazenar e refletir a energia solar e da produção do calor antropogênico que resultam das diferenças no balanço de energia entre a área urbana e rural, bem como das diferenças existentes no interior da própria cidade.

Os principais fatores que contribuem à formação das ilhas de calor urbanas resultam do balanço de energia, dentre os aspectos naturais destacam-se os tipos de tempo, o relevo e a presença de superfícies com vegetação, e dentre os fatores urbanos, as características dos espaços construídos e as atividades humanas (AMORIM, 2020). A autora apresenta uma lista de modificações na superfície que contribuem para que a atmosfera urbana se apresente de maneira diferente no intraurbano e no entorno rural. Mesmo que as atividades desempenhadas pela sociedade sejam mais perceptíveis nas áreas metropolitanas, os fenômenos têm sido observados nas cidades de pequeno e de médio porte, dentre eles destacam-se (AMORIM, 2020, p. 23 e 24):

> - a impermeabilização da superfície; - as alterações no relevo e na hidrografia (canalizações de rios e córregos e aterros), modificando a drenagem urbana; - a concentração de construções, com diferentes densidades e alturas; diminuindo a quantidade de áreas públicas e espaços verdes, modificando os fluxos de ar no interior da cidade; - as características dos materiais construtivos de maneira geral e em particular da estrutura das coberturas, com suas composições e cores que resultam em capacidades diferenciadas de absorção e reflexão, já que são as primeiras a receberem a radiação solar; - a cobertura vegetal ou ausência dela, com portes e concentrações variadas tanto em áreas destinadas para esse fim, como nas calçadas e no interior dos lotes. [...] - a emissão de partículas e gases oriundos das indústrias e veículos; - o fluxo de veículos e pessoas; - a geração de calor pelos condicionadores de ar; - o uso da superfície do entorno urbano (agrícolas, pastagens, etc.).

Outros trabalhos foram realizados no Brasil levando em consideração a proposta teórico-metodológica de Monteiro (1976), com a temática do clima urbano e ênfase no subsistema termodinâmico. Essas pesquisas foram elaboradas em forma de artigos científicos e dissertações de mestrado que analisaram o clima de diversas cidades de grande, médio e pequeno porte ao longo das últimas cinco décadas.

Com o intuito de identificar outros trabalhos a título de Tese de Doutorado[3] referentes ao estudo do clima urbano, com ênfase no campo térmico, produzidos no Brasil no âmbito de Programas de Pós-Graduação em outras áreas de conhecimento, foi elaborada a Tabela 5 que mostra um conjunto de publicações e suas respectivas áreas de concentração.

Tabela 5 - Teses de clima urbano com base no subsistema termodinâmico em Programas de Pós-Graduação em outras áreas do conhecimento

Autor	Ano	Título	Cidade Analisada	Área de concentração
Eliane Müller Seraphim Dumke	2007	*Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade - uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AURMC)*	Curitiba	Meio Ambiente e Desenvolvimento
Ricardo Victor Rodrigues Barbosa	2009	*Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão*	São Carlos	Ciências da Engenharia Ambiental
Rafael Silva Brandão	2009	*As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano*	São Paulo	Arquitetura e Urbanismo
Ludmila Fabiana da Silva	2011	*Estudo do campo térmico da cidade de São Carlos (SP) em um episódio climático de inverno*	São Carlos	Ciências da Engenharia Ambiental
Joel Silva dos Santos	2011	*Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida*	João Pessoa	Recursos Naturais
Diego Oliveira de Souza	2012	*Influência da ilha de calor urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local*	Manaus Belém	Meteorologia
Fernanda Miguel Franco	2013	*Análise do comportamento termohigrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá - MT*	Cuiabá	Física Ambiental

[3] A busca pelas teses de doutorado foi realizada com base no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, disponível em < https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/> e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, disponível em < http://bdtd.ibict.br/vufind/>. Nas duas plataformas foram inseridas as buscas com base nas palavras "Clima urbano" e "Ilhas de Calor" nos campos de pesquisa "Título", "Assunto" e "Resumo".

Péricles Tadeu da Costa Bezerra	2013	*Caracterização de ilhas de calor e conforto térmico em áreas urbanas do semiárido brasileiro*	Mossoró Serra Talhada Petrolina Juazeiro	Recursos Naturais
Luiz Felipe Velho	2014	*Análise da temperatura de superfície e da ocupação urbana no município de Porto Alegre*	Porto Alegre	Sensoriamento Remoto
Camila Mayumi Nakata Osaki	2016	*Adaptação de um modelo simplificado para verificação da influência da geometria urbana na formação de ilha de calor noturna*	São José do Rio Preto Bauru	Engenharia Urbana
Elis Dener Lima Alves	2016	*Análise das influências geourbanas no clima urbano da cidade de Iporá - Goiás*	Iporá	Ciências da Engenharia Ambiental
Andréa Baima dos Santos Mota	2017	*Mapeamento termohigrométrico do município de Coari-AM utilizando transecto móvel*	Coari	Física Ambiental
Mauro Sergio de França	2017	*Avaliação do microclima urbano para a cidade de Sorriso/MT: estudo de caso*	Sorriso	Física Ambiental
Juliane Kayse Albuquerque Da Silva Querino	2017	*Caracterização termo higrométrica e de conforto térmico em Porto Velho no período de transição seco-chuvoso*	Porto Velho	Física Ambiental
Elen Oliveira Vianna	2018	*O campo térmico urbano. Ilhas de calor em Brasília - DF*	Brasília	Arquitetura e Urbanismo
Laís Braga Caneppele	2018	*Variação microclimática influenciada pela topografia e urbanização*	Cuiabá	Física Ambiental
Patricia Michele Pereira Trindade	2018	*Análise espaço temporal da temperatura em santa maria – RS a partir de imagens termais landsat 8 e experimento de campo*	Santa Maria	Sensoriamento Remoto
Juliana Queiroz Borges de Magalhães Chegury	2019	*Análise da variação termo-higrométrica e das ilhas de calor em Cuiabá – MT*	Cuiabá	Física Ambiental

Fonte: Catálogo de Teses e Dissertações Capes e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (junho, 2020)

Como se pode observar outras áreas do conhecimento tem se debruçado sobre a temática do clima urbano, ilhas de calor, conforto térmico e balanço de energia, levando em consideração as interações com a atmosfera e as modificações produzidas nas áreas urbanas. Os trabalhos tem sido realizados nos Programas de Pós-Graduação em Meio ambiente, Engenharia ambiental, Arquitetura e urbanismo, Recursos Naturais, Engenharia urbana, Meteorologia, Física ambiental e Sensoriamento remoto. Cabe ressaltar que alguns desses trabalhos foram orientados por professores que concluíram seus doutorados em Geografia e atualmente estão desenvolvendo suas pesquisas em diferentes áreas pelo país.

2.3 - Os caminhos e os procedimentos utilizados para o estudo do clima urbano

O Sistema Clima Urbano foi a base conceitual que alicerçou a construção de uma metodologia específica para o estudo do clima urbano, tanto de cidades metropolitanas, quanto de cidades de pequeno e médio porte, ao propor o conhecimento dos diferentes ambientes climáticos intraurbanos e podendo identificar mais detalhadamente os fatores responsáveis pela sua formação, visando contribuir com o planejamento urbano. No presente estudo o clima será entendido como um sistema, ou seja, a expressão das condições atmosféricas, resultantes da interação de diferentes escalas climáticas e de superfície (MONTEIRO, 1976).

Esta integração é responsável por variações que podem acarretar problemas econômicos e sociais. O sistema climático é constituído por uma série de subsistemas integrados, organizado e hierarquizado horizontalmente (na estrutura) e verticalmente (na função). Em uma perspectiva integrada, no estudo do clima urbano está incluída uma análise espacial, ambiental e regional, a fim de dar subsídios ao ordenamento territorial urbano (AMORIM, 2000). Partindo desta perspectiva, este trabalho busca realizar o estudo do clima urbano em sua perspectiva integrada, visando dar ênfase na estrutura interna do Sistema Clima Urbano, integrando o ecológico e o urbano, sem desconsiderar as escalas superiores do clima.

No ambiente urbano o padrão térmico é criado por alterações nas principais entradas e saídas de energia do SCU devido à geometria urbana e modificações nos fluxos de calor sensível, latente e armazenado (OKE, 1978; VOOGT e OKE, 1997; ASSIS, 2010). Fatores como a diminuição na velocidade do vento, impermeabilização do solo, material particulado em suspensão e escassez de cobertura vegetal arbórea também influenciam no balanço de energia.

O Sistema Clima Urbano é caracterizado como um sistema aberto, adaptativo, dinâmico, integrado, evolutivo e passível de autorregulação (MONTEIRO, 1976). Deste modo, no ambiente urbano o balanço energético é representado por fluxos através do volume solo-

construções-ar. A maioria dos modelos considera os seguintes componentes na equação do balanço de energia ao topo da camada intraurbana (OKE, 1978; BARBOSA, 2009; SOUZA, 2012).

$$Q^* + Q_F = \triangle Q_S + \triangle Q_A + Q_H + Q_E \quad (1)$$

Onde:

Q^* é o fluxo de radiação líquida, em função do albedo, energia solar difusa e direta, radiação infravermelha emitida pelo topo da camada intraurbana e densidade de fluxo infravermelho da atmosfera;

Q_F é o fluxo de calor antropogênico;

$\triangle Q_S$ é a densidade de fluxo de armazenamento de energia na camada intraurbana e solo;

$\triangle Q_A$ é o fluxo de calor advectivo;

Q_H é o fluxo de calor sensível;

Q_E é o fluxo de calor latente.

Em situações sem a presença de áreas urbanas o termo Q_F (calor antropogênico) é retirado da equação. No caso de áreas urbanas, Q_F é calculado da seguinte forma (SOUZA, 2012):

$$Q_F = Q_V + Q_B + Q_M \quad (2)$$

Onde:

Q_F é o fluxo de calor antropogênico;

Q_V é o calor liberado por veículos;

Q_B é o calor liberado por construções;

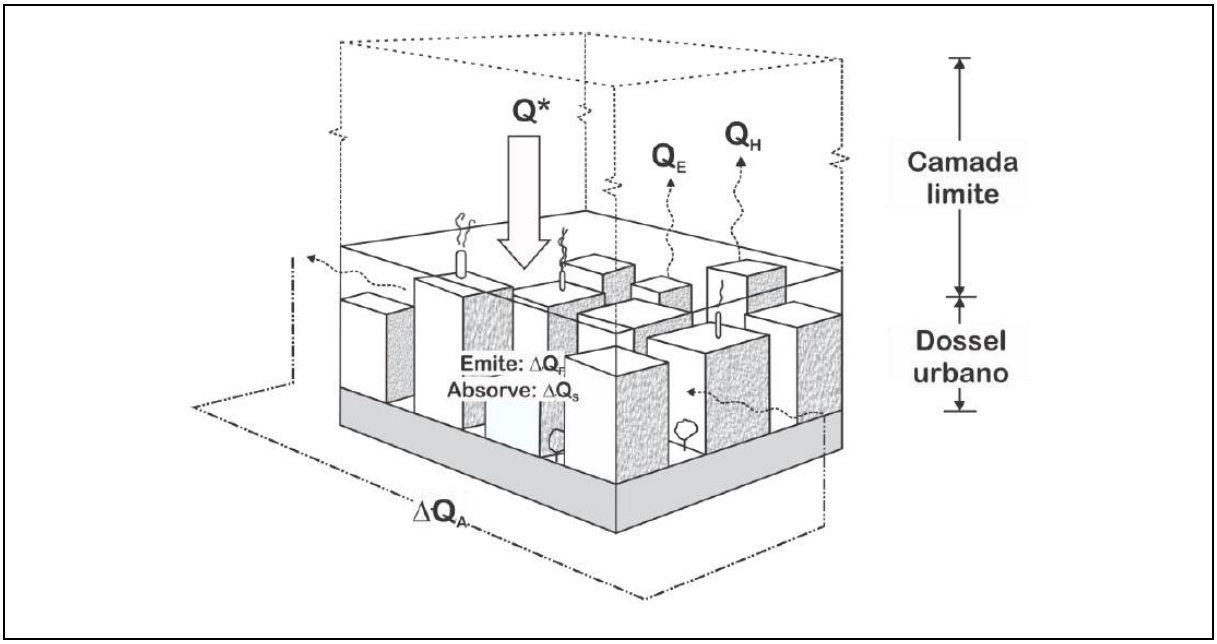
Q_M é o calor liberado pelo metabolismo humano;

A radiação solar é o componente de valor mais elevado e importante no balanço de energia. As superfícies ganham calor por radiação solar durante o dia e perdem por ondas longas, num processo contínuo, dia e noite. Conforme o albedo, a radiação pode ser refletida e absorvida. Parte da energia proveniente da radiação solar absorvida pela superfície é usada como calor latente na evaporação da água nela contida, reduzindo a elevação da temperatura,

ao tempo que a outra parte da energia é conduzida às camadas mais internas da superfície (BARBIRATO, 2007)

As alterações provocadas na superfície pela urbanização não são homogêneas. Algumas áreas da cidade possuem edifícios mais altos, outras são caraterizadas por parques ou por residências de diferentes padrões construtivos. Desta forma, o dossel urbano é considerado complexo e apresentam diferentes características térmicas (Figura 4).

Figura 4 - Dossel urbano e balanço de energia



Fonte: Velho (2014), adaptado de Oke (1987)

Nas áreas urbanas, a presença de superfícies impermeáveis acelera o escoamento da água que estaria disponível para evaporação e a radiação solar absorvida é rapidamente convertida em calor, elevando sua temperatura. Além disso, as edificações propiciam o armazenamento de radiação de ondas curtas pela incidência solar direta e por meio de múltiplas reflexões sofridas pelos raios solares ao encontrarem as superfícies, o que favorece o aumento de energia solar absorvida. Conforme a Tabela 6 os principais fatores que resultam na formação de ilhas de calor dentro das cidades estão relacionados a geometria, ao desenho urbano, ao tipo de cobertura e material de construção, a redução da velocidade do vento, a emissão de calor pelas atividades antrópicas, a redução na taxa de evapotranspiração e a poluição atmosférica com a presença excessiva de material particulado (OKE, 1978; VOOGT e OKE 1997; BARBOSA, 2009; ASSIS, 2010, AMORIM, 2020).

Tabela 6 - Processos que contribuem para a geração da ilha de calor urbana

VARIÁVEIS ALTERADAS DO BALANÇO ENERGÉTICO QUE CONDUZEM AS ANOMALIAS TÉRMICAS	**CARACTERÍSTICAS DA URBANIZAÇÃO QUE MOTIVAM AS MUDANÇAS NO BALANÇO ENERGÉTICO**
CAMADA DE COBERTURA URBANA (*Urban canopy layer)*	
Aumento da absorção da radiação de onda curta	Geometria do *canyon* - aumento da área de superfície exposta e de reflexão múltipla
Aumento da radiação de onda longa vinda do céu	Poluição do ar - maior absorção e reemissão
Diminuição da perda de radiação de onda longa	Geometria do *canyon* - redução do fator de céu visível
Fonte de calor antropogênico	Perdas de calor dos edifícios e tráfico urbano
Aumento do armazenamento de calor sensível	Materiais de construção - aumento da inércia térmica
Diminuição da evapotranspiração	Materiais de construção - aumento da impermeabilidade do solo
Diminuição do calor total transportado pelo fluxo de ar turbulento	Geometria do *canyon* - redução da velocidade do vento
CAMADA LIMITE URBANA (*Urban boundary layer)*	
Aumento da absorção da radiação de onda curta	Poluição do ar - aumento da absorção pelos aerossóis
Fonte de calor antropogênico	Perdas de calor pelas chaminés e tráfego
Aumento do calor sensível vindo de baixo	Ilha de calor ao nível da cobertura urbana - aumento do fluxo de calor da camada e telhados
Aumento de calor sensível vindo de cima	Ilha de calor, rugosidade - aumento da entrada turbulenta

Barbosa (2009), adaptado de Oke (1982)

A geometria das edificações e a morfologia urbana, impedem que haja uma perda brusca de energia, fazendo com que o resfriamento atmosférico da camada limite urbana próxima ao solo seja de menor intensidade. As avenidas margeadas de construções verticalizadas apresentam alta obstrução da abóboda celeste, medida pelo fator de visão do céu, favorecem a troca de energia entre a massa edificada, desacelerando a dissipação radioativa. As superfícies urbanas absorvem maior energia de ondas curtas durante o dia e emitem de forma de ondas longas lentamente durante a noite. Nas áreas rurais a perda de calor é maior durante a noite, ao longo do dia ocorre menor absorção de ondas curtas pois a cobertura vegetal age como isolante

térmico do solo dificultando a absorção de energia e durante a noite ocorre uma emissividade de energia de ondas longas mais eficaz (OKE, 1982; GARTLAND, 2010; ASSIS, 2010).

Gartland (2010), também realizou uma síntese das caracteristicas urbanas que contribuem para a formação de ilhas de calor e seus efeitos sobre o balanço de energia (Tabela 7). Para a autora o balanço de energia é composto por:

$$\textbf{Convecção} + \textbf{Evaporação} + \textbf{Armazenamento de calor} = \textbf{Calor antropogênico} + \textbf{Saldo de radiação} \quad (3)$$

Onde:

Convecção é a energia transferida da superfície terrestre para o ar acima dela (calor sensível);

Evaporação é energia transmitida a partir da superfície terrestre em forma de vapor d'água (calor latente);

Armazenamento de calor é o fluxo de calor no solo que depende da condutividade térmica e a capacidade calorífica;

Calor antropogênico é o calor produzido pelo homem, gerado pelas indústrias e tráfego nas áreas urbanas;

Saldo de radiação é composto por quatro processos que ocorrem na superfície: radiação global, radiação solar refletida, radiação atmosférica, radiação da superfície.

Tabela 7 - Características urbanas para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre.

CARACTERÍSTICAS QUE CONTRIBUEM PARA A FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR	EFEITOS SOBRE O BALANÇO DE ENERGIA
Falta de vegetação	Reduz a evapotranspiração
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção/aumenta turbulência
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta calor antropogênico

Fonte: Gartland (2010)

A diferença entre as áreas urbanas e rurais ocorrem devido a maior ou menor absorção da radiação solar de acordo com o albedo das superfícies (Tabela 8 e Tabela 9). O albedo corresponde à capacidade de reflexão da radiação solar de uma determinada superfície (Figura 5). Assim, quanto maior o albedo, menor será a temperatura de superfície, devido à reduzida quantidade de energia disponível para gerar calor. Na cidade "a mudança de condutividade, na capacidade calorífica e na área superficial são marcantes, de maneira que os materiais armazenam mais energia que o solo natural, agindo como reservatórios de radiação" (BARBIRATO, 2007, p.76 *apud* AMORIM, 2020, p. 37).

De acordo com Amorim (2020), as superfícies com elevado albedo e emissividade tendem a permanecer mais frias quando expostas à radiação solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo, consequentemente, menos calor para o seu entorno. Por outro lado, quanto menor for o albedo e a emissividade, maior será a absorção de calor e sua permanência no ambiente de entorno.

A formação da ilha de calor urbana influência de forma direta o Balanço de energia em superfície e está diretamente atrelada pela estrutura urbana, mudanças nos usos da terra e diminuição na vegetação. As mudanças nas áreas urbanas são observadas com a diminuição na radiação solar refletida e aumento na emissão de radiação infravermelha, diminuição nos valores de fluxo de calor latente e aumento nos valores de fluxo de calor sensível, aumento no armazenamento de energia em superfície através de prédios e obstáculos, além da adição do termo de emissões de calor antropogênico na equação (SOUZA, 2012; VELHO, 2014).

Figura 5 - Albedo dos materiais urbanos



Fonte: EPA (US Environmental Protection Agency)

Tabela 8 - Propriedades radiativas de materiais urbanos

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
Ruas		
Asfalto	0.05 - 0.20	0.95
Paredes		
Concreto	0.10 - 0.35	0.71 - 0.90
Tijolos	- 0.40	0.90 - 0.92
Pedras	0.20 - 0.35	0.85 - 0.95
Madeiras		0.90
Telhados		
Piche e cascalho	0.08 - 0.18	0.92
Telhas	0.10 - 0.35	0.90
Ardósia	0.10	0.90
Sapé - Folhagem	0.15 - 0.20	
Chapa Ondulada	0.10 - 0.16	0.13 - 0.28
Pinturas		
Brancas, Caiadas	0.50 - 0.90	0.85 - 0.95
Vermelha, Marrom, Verde	0.20 - 0.35	0.85 - 0.95
Preta	0.02 - 0.15	0.90 - 0.98
Áreas urbanas		
Variações	0.10 - 0.27	0.85 - 0.96
Médias	0.15	0.95

Fonte: Amorim (2020), adaptado de Oke (1987, p.281)

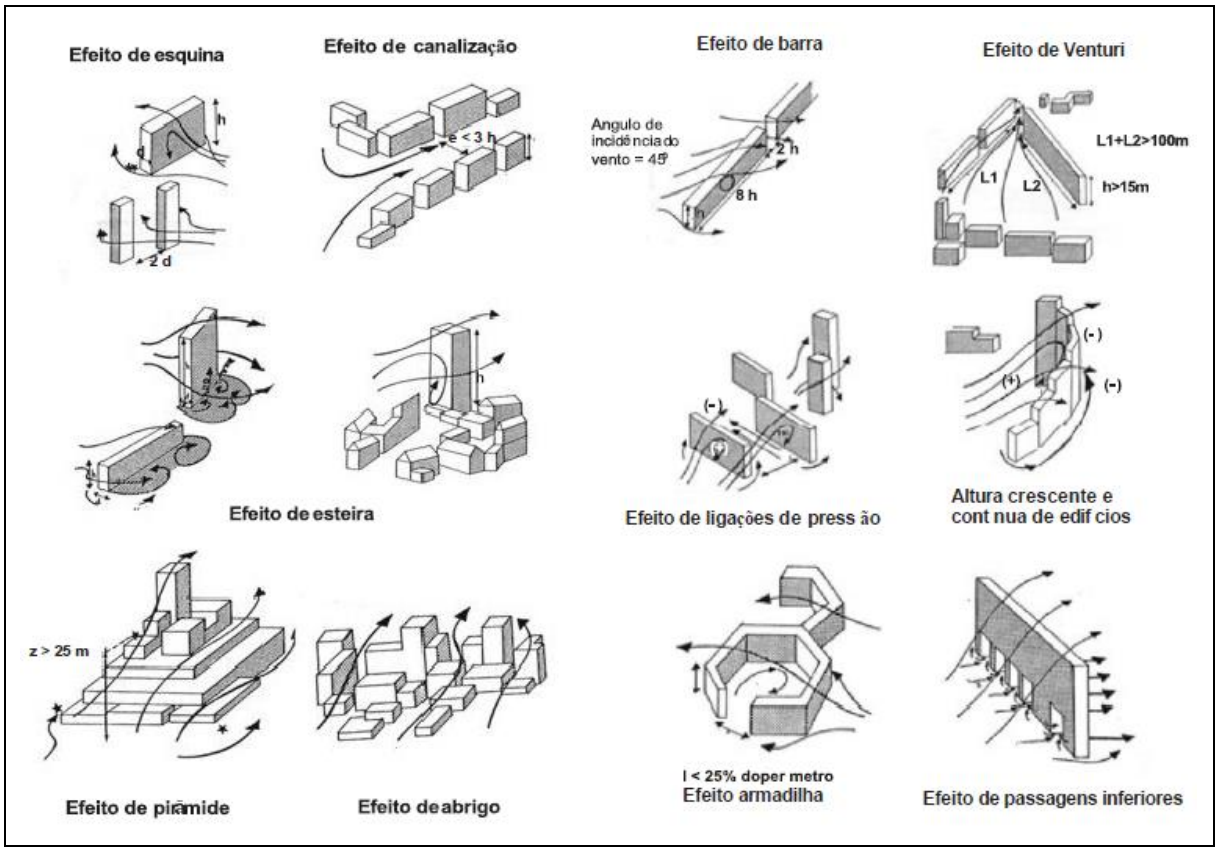
Tabela 9 - Propriedades radiativas de materiais rurais

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
Solos		
Escuro, Úmido	0.05	0.90
Claro, Seco	0.04	0.90
Grama		
Alta (1m)	0.16	0.90
Baixa (0.02m)	0.26	0.95
Culturas agrícolas, Tundra	0.18 - 0.25	0.90 - 0.99
Florestas Decíduas		
Sem folhagem	0.15	0.97
Com folhas	0.20	0.98
Água		
Pequeno ângulo zenital	0.03 - 0.10	0.92 - 0.97
Grande ângulo zenital	0.10 - 1.00	0.92 - 0.97

Fonte: Amorim (2020), adaptado de Oke (1987, p.12)

De acordo com Brandão (2009), o comportamento da atmosfera próximo à superfície é influenciado pela rugosidade, sendo está uma medida do atrito que a superfície oferece ao fluido que se desloca sobre ele e pode ser determinado a partir da extrapolação de um perfil de vento ou a partir da morfologia da área urbana (Figura 6).

Figura 6 - Cenários dos efeitos do vento em torno do conjunto de edificações



Fonte: Pinheiro (2018), adaptado de Gandemer (1975) *apud* Lopes (2003)

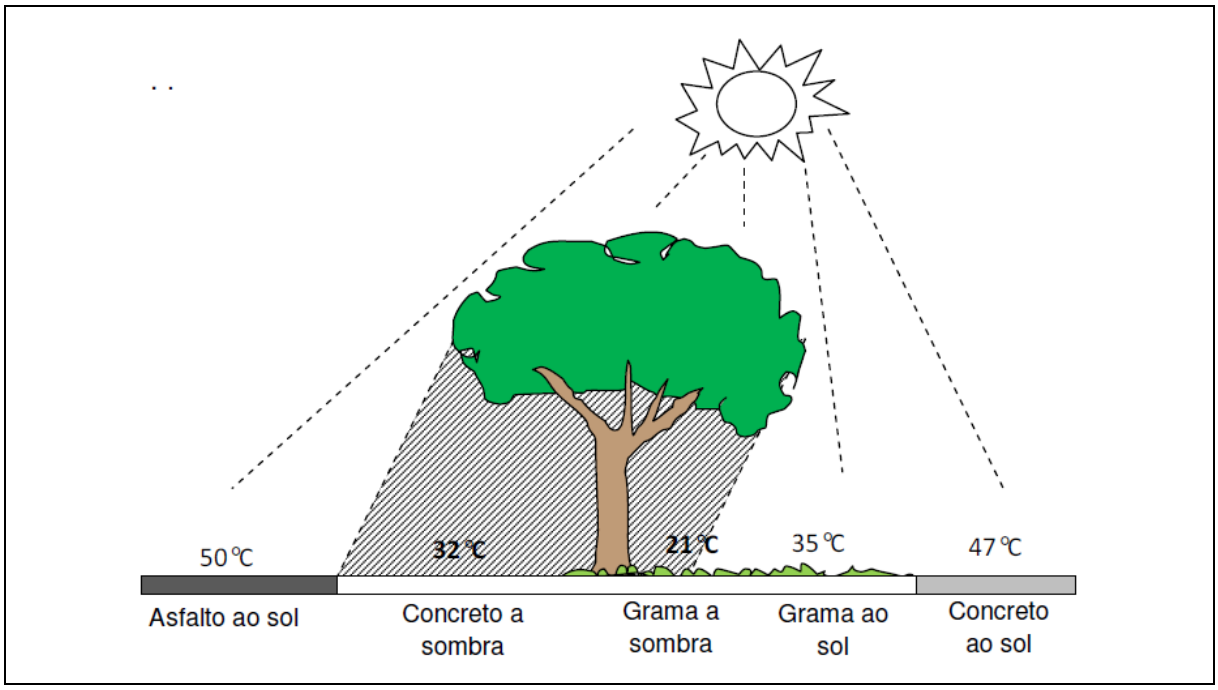
A variação da velocidade do vento varia de acordo com a maior ou menor rugosidade da superfície, levando em consideração a altura dos edifícios (H) e a distância entre eles (W). De acordo com Franco (2013, p. 11), "o efeito da ilha de calor noturna pode ser agravado com o aumento da relação H/W, uma vez que a saída da radiação de onda longa diminui devido a redução do fator de visão do céu (SVF)". Muitos estudos mostram que a direção e a velocidade do vento influenciam de forma direta a forma e a intensidade da ilha de calor urbana, desta forma, quando maior a velocidade do vento menor será a diferença espacial da temperatura (ARNFIELD, 2003 *apud* SOUZA, 2012).

Outro fator importante é a substituição da cobertura vegetal e permeáveis por edifícios e áreas pavimentadas. Essa alteração resulta em alterações nos microclimas urbanos, causando situações de desconforto térmico, geradas principalmente pelo aumento de temperatura do ar e,

consequentemente, elevação do consumo de energia pelo uso dos sistemas de condicionamento do ar. A ausência de vegetação, contribui para a formação do efeito da ilha de calor na medida em que prejudica mecanismos fundamentais para a redução da temperatura nas cidades. Deste modo, conservar e preservar a vegetação em áreas urbanas é uma das principais estratégias para reduzir o efeito das ilhas de calor. (GARTLAND, 2010; FRANCO, 2013; VELHO, 2014).

A vegetação pode contribuir com a redução da temperatura do solo e do ar, redução da incidência solar direta e filtragem da poluição. Uma das funções mais importantes da arborização no meio ambiente urbano, principalmente em locais de clima tropical é o sombreamento, tendo como principal finalidade amenizar o rigor térmico (Figura 7).

Figura 7 - Exemplo de temperatura da superfície com diferentes características urbanas



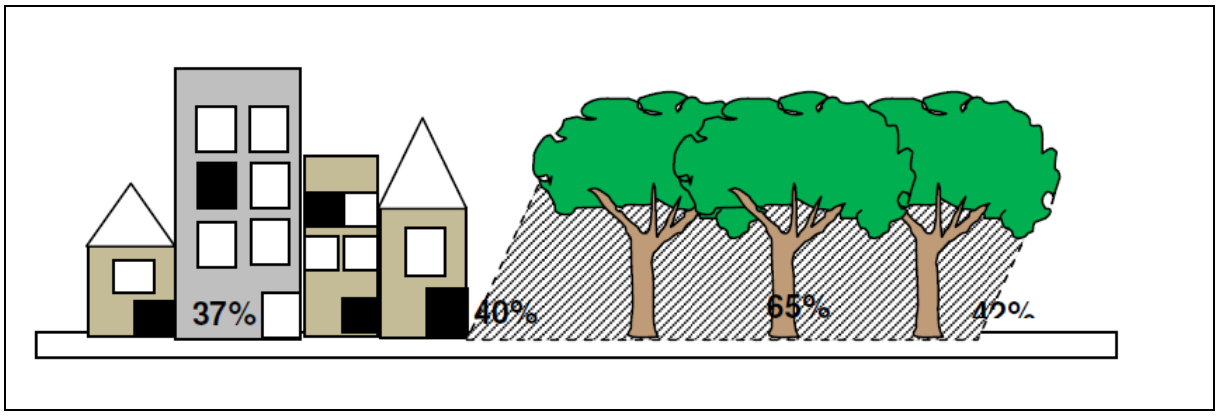
Fonte: Rodrigues (2017), adaptado de Mascaró e Mascaró (2009) e Moraes (1992)

A vegetação arbórea diminui as temperaturas superficiais dos pavimentos bem como eleva a umidade relativa do ar melhorando as condições ambientais adversas e o conforto térmico humano. A vegetação, isolada ou em grupos, forma verdadeiras barreiras de filtro natural da radiação solar por meio do sombreamento e de poluentes dispersos na atmosfera pelas atividades de combustão, além disso pode funcionar como filtro para a poluição sonora (RODRIGUES, 2017).

Diversos estudos apontaram que as áreas com a presença de vegetação apresentam umidade relativa do ar com índices maiores do que as áreas onde não há presença de vegetação, devido ao processo de evapotranspiração (Figura 8). Esses valores podem variar de uma região

para outra e depende das condições climáticas e da densidade da cobertura arbórea, entretanto, os recintos dotados de arborização são mais favoráveis a situações de conforto mais agradáveis (RODRIGUES, 2017 *apud* MASCARÓ e MASCARÓ, 2009).

Figura 8 - Exemplo de variação da umidade relativa do ar entre ambientes arborizados e não arborizados



Fonte: Rodrigues (2017), adaptado de Mascaró e Mascaró (2002; 2009)

O estudo da ilha de calor urbana e as alterações no clima das cidades com a geração de um clima urbano específico, contribui para uma melhor gestão do território e pode auxiliar nos projetos de planejamento urbano das cidades. Deste modo, a pesquisa realizada na cidade de Rondonópolis-MT, buscou utilizar de metodologias de pesquisa consolidadas em diversos trabalhos e também contribuir para o uso de novas metodologias que ainda estão em desenvolvimento em algumas cidades estudas no Brasil e no mundo.

A escolha metodológica para esta pesquisa fundamentou-se na obtenção dos valores da intensidade das ilhas de calor conforme aponta Fernández García (1996). As intensidades foram calculadas a partir da diferença entre os pontos fixos e transectos móveis pela aplicação da expressão:

$$\triangle \mathrm{T} = \mathrm{T°C\ urbano} - \mathrm{T°C\ rural} \qquad (4)$$

Onde:

$\triangle T$ é a intensidade da ilha de calor;

$T°C$ urbano é a temperatura medida na área urbana;

$T°C$ rural é a temperatura medida na área rural.

Fernández García (1996) ao analisar o clima das cidades espanholas, apresentou uma classificação da magnitude das ilhas de calor, em função da intensidade, considerando os seguintes parâmetros:

1 - Ilha de calor de "***fraca magnitude***": com diferenças térmicas entre 0°C a 2°C;
2 - Ilha de calor de "***moderada magnitude***": com diferenças térmicas entre 2°C a 4°C;
3 - Ilha de calor de "***forte magnitude***": com diferenças térmicas entre 4°C a 6°C;
4 - Ilha de calor de "***muito forte magnitude***": com intensidade superior a 6°C.

A presente pesquisa utiliza de dados secundários obtidos por meio de instituições oficiais como Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), *United States Geologial Survey* (USGS) e também de dados primários obtidos através de trabalhos de campo realizados na área de estudo. Para aquisição dos dados primários optou-se pela realização de transectos móveis e medidas em pontos fixos. Fialho (2009), apresenta algumas vantagens e desvantagens referente aos tipos de medidas (Tabela 10).

Tabela 10 - Vantagens e desvantagens no processo de mensuração por meio de pontos fixos e transectos móveis

PONTOS FIXOS		**TRANSECTOS MÓVEIS**	
Vantagens	**Desvantagens**	**Vantagens**	**Desvantagens**
Permite observações simultâneas	Dificuldade em definir pontos representativos	Descreve melhor a heterogeneidade do intraurbano	Não é apropriado para grandes distâncias
Favorece o registro temporal da ilha de calor	Elevado custo operacional e logístico	Maior número de pontos de coleta na área de estudo	Restrito apenas a estradas de rodagem
		Permite maior agilidade no monitoramento	Não mensuração simultânea dos elementos do clima

Fonte: Adaptado de Fialho (2009)

2.3.1 - Pontos fixos

A análise detalhada da ilha de calor por meio de pontos fixos requer a instalação de sensores de temperatura no intraurbano em comparação com as características rurais próximas da malha urbana. O objetivo desta rede de observações é explicitar como os diferentes

condicionantes físicos e urbanos respondem à atuação dos sistemas atmosféricos. Neste caso, torna-se fundamental a caracterização dos aspectos físicos (hipsometria, orientação da vertente, declividade, vegetação e a rede de drenagem) e os aspectos urbanos (uso e ocupação da terra e a verticalização). O uso da terra está associado as funções, tais como residencial, comercial, serviço e industrial. A ocupação da terra está associada a forma urbana, e deve-se considerar a densidade construtiva, a predominância dos tipos de materiais das edificações e os tipos de cobertura (AMORIM, 2020).

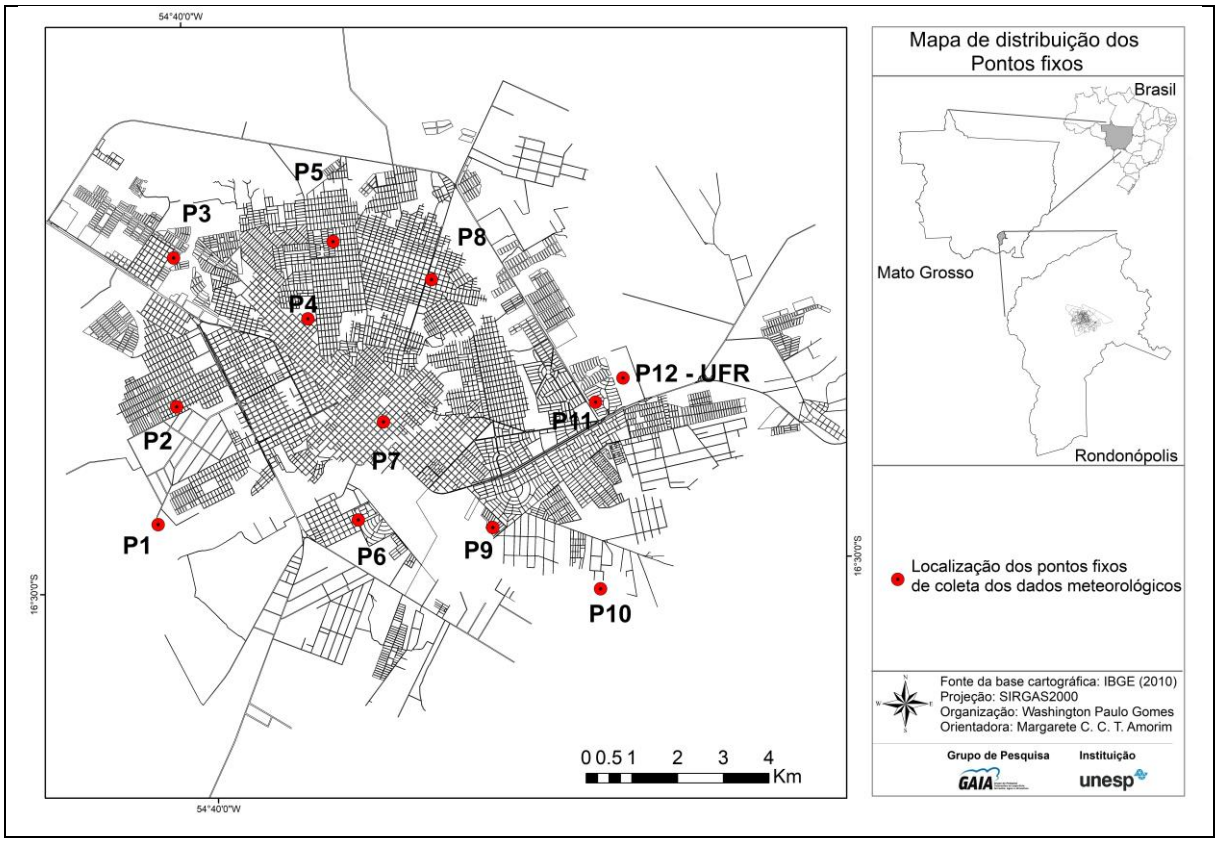
A instalação dos miniabrigos meteorológicos exigiu a observância de alguns critérios conforme estabelecido por Oke (2004), privilegiando o distanciamento de 1,5 metros do solo e respeitando as características do uso e ocupação da terra dos locais escolhidos, com o intuito do ponto ser representativo do seu entorno próximo. De acordo com outros trabalhos realizados em cidades de pequeno e médio porte desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa GAIA[4] (AMORIM, 2000 e 2020; UGEDA JUNIOR, 2011; RAMPAZZO, 2015; TEIXEIRA, 2015 e 2019; ORTIZ PORANGABA, 2015; GOMES, 2017; DORIGON, 2019), foram estabelecidos alguns critérios para a instalação dos miniabrigos meteorológicos e adaptações devidos as particularidades da área de estudo obedecendo: a diferenciação do uso e da ocupação da terra urbana; áreas representativas do seu entorno; presença ou não de cobertura vegetal; áreas que apresentaram diferenças de temperaturas nas imagens termais; e as características do relevo.

Para o levantamento dos dados meteorológicos da temperatura do ar na cidade de Rondonópolis (MT), foram utilizados registradores automáticos[5] instalados em miniabrigos[6] meteorológicos em 09 (nove) pontos de coletas distribuídos pela malha urbana e pontos rurais. O trabalho também contou com os dados de duas estações meteorológicas automáticas[7] instaladas em 02 (dois) pontos da área urbana e 01 (uma) estação automática gerenciada pelo INMET, localizada na Universidade Federal de Rondonópolis, totalizando 12 (doze) pontos de monitoramento (Figura 9 e Figura 10).

Antes de ocorrer a instalação dos equipamentos para o registro dos dados meteorológicos, foi realizado a calibração de todos os sensores com o objetivo de evitar distorções na análise dos dados. Deste modo, os registradores permaneceram durante sete dias em um ambiente sob as mesmas condições de temperatura e iluminação. Aqueles que apresentaram distorções superiores a 0,5ºC não foram instalados e utilizados na área de estudo.

[4] GAIA - Grupo de Pesquisa "Interações na superfície, água e atmosfera" (FCT/UNESP).
[5] Foram utilizados sensores *Humidity-temperature logger*, da marca ThermaData™, modelo HTD D104505072.
[6] Abrigo meteorológico *Ambient Weather* SRS100LX *Temperature and Humidity Solar Radiation Shield*
[7] Estação Meteorológica Digital da marca Highmed, modelo HM-1080.

Figura 9 - Distribuição dos pontos fixos registradores de dados meteorológicos na cidade de Rondonópolis-MT



Elaboração: Autoria própria

Os dados foram coletados entre os meses de julho e dezembro de 2019, totalizando seis meses de coleta de dados, representativos das estações secas e chuvosas. Os registros ocorreram a cada 1 hora, entretanto, optou-se por analisar os horários das 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, conforme procedimentos apresentados por Amorim (2020). O tratamento dos dados registrados a partir dos pontos fixos foram tabulados em planilhas eletrônicas no aplicativo *Excel*[8] e, posteriormente, foram processados e interpolados no aplicativo Surfer[9] com a finalidade de analisar a variação da temperatura em sua dimensão espacial e temporal.

[8] Excel é marca registrada da Microsoft
[9] Surfer é marca registrada da Clark Labs.

Figura 10 - Processo de instalação e coleta dos dados meteorológicos na cidade de Rondonópolis-MT

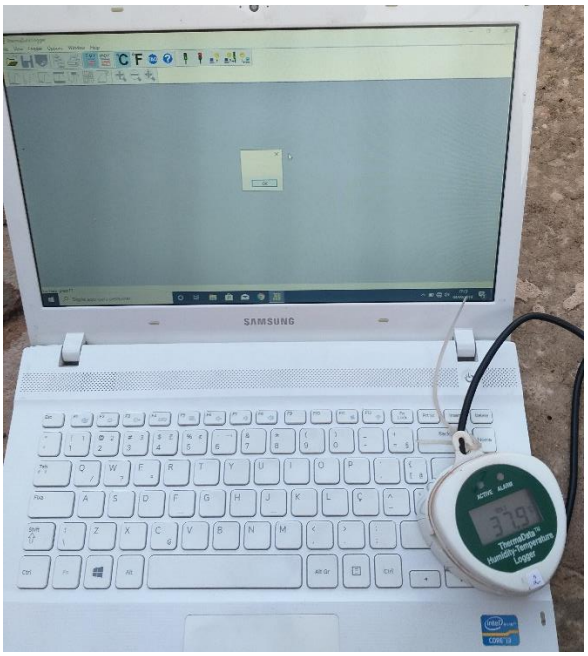
(A)



(B)



(C)



(D)



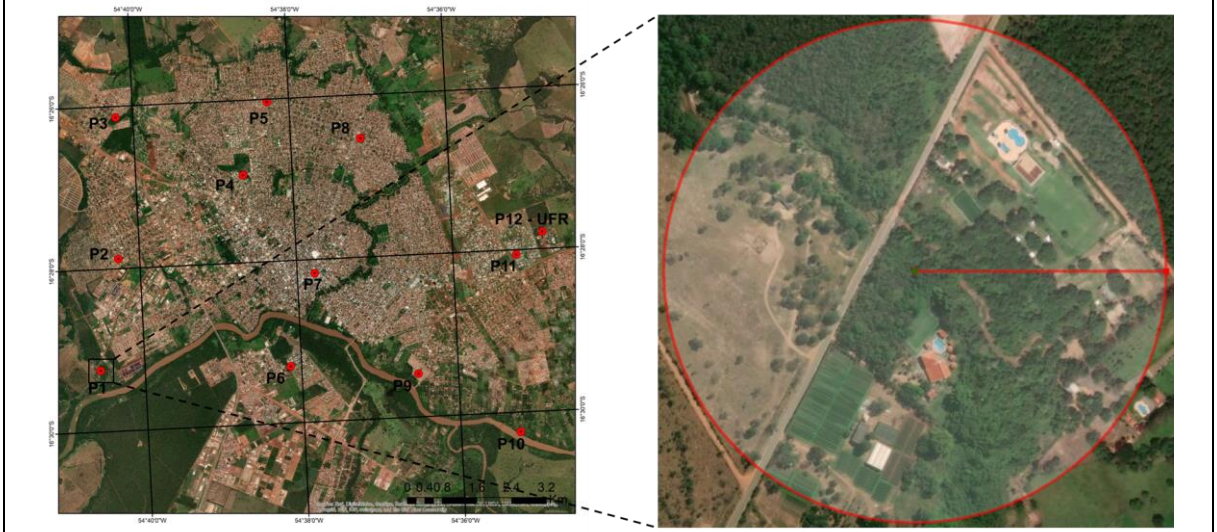
(A) Sensor *Humidity-temperature logger*; (B) Miniabrigo meteorológico *Ambient Weather*; (C) Coleta dos dados registrados; (D) Estação Meteorológica Digital;
Fonte: Autoria própria

Conforme citado anteriormente, optou-se por distribuir os miniabrigos levando em consideração as características do entorno e suas particularidades. Os mapas a seguir sintetizam as características do entorno de cada sensor e as estações meteorológicas utilizadas. Para tanto,

foi realizado um "*buffer*" no aplicativo *SAS.Planet*[10] delimitando um raio de 300 metros de distância do local instalado.

O Ponto 1 - SIPROS (Figura 11), está localizado na Avenida Daniel Clemente (Rodovia do Peixe) no Sindicato da Categoria dos Profissionais da Educação Básica da Rede Estadual de Ensino da Região Sul – MT (SIPROS). Situa-se acerca de 5 km do centro da cidade em uma área com a presença de chácaras nas proximidades do Rio Vermelho. O ponto representa o rural próximo e possui grande quantidade de vegetação arbórea. Foi instalado à 213 metros de altitude em uma área próxima ao rio e com vertente voltada para Leste.

Figura 11 - Localização e características do entorno do Ponto 1 (SIPROS) na cidade de Rondonópolis-MT



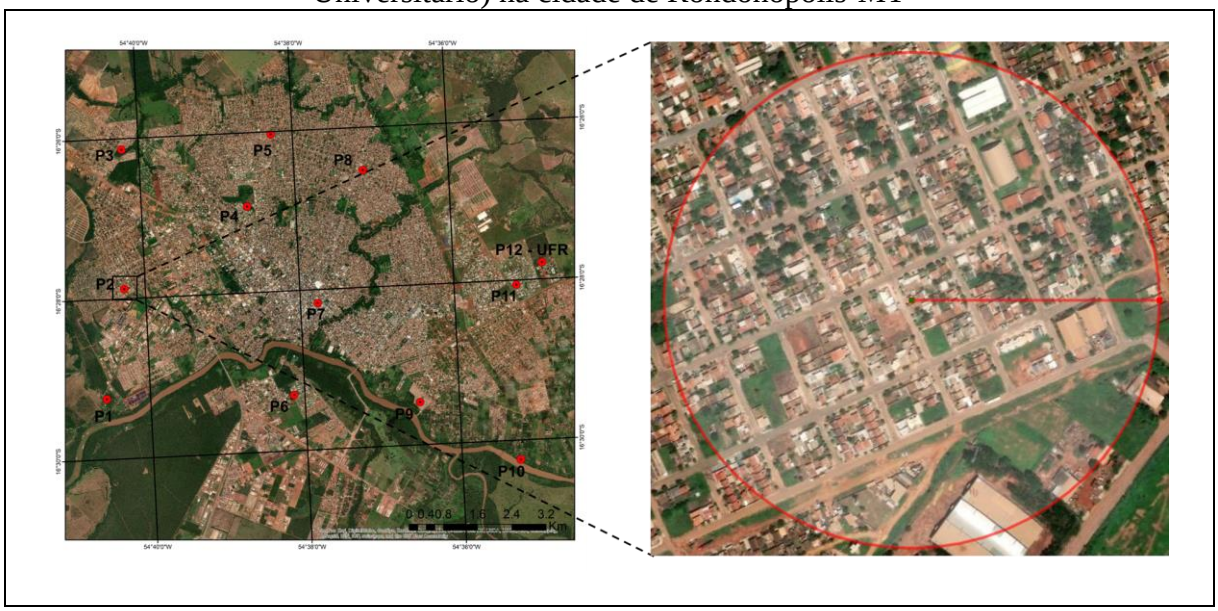
Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 2 - Parque Residencial Universitário (Figura 12), está localizado em um loteamento aprovado em 1982, com características de baixo padrão construtivo na área Oeste da cidade. O ponto foi instalado à 299 metros de altitude, em uma área com baixa declividade e com vertente voltada para Oeste. O sensor foi instalado nessa área por se tratar do local residencial mais próximo ao distrito industrial, com o intuito de identificar a interferência da atividade industrial nas características da temperatura. O distrito industrial de Rondonópolis está localizado na margem esquerda da rodovia BR-163 e recebeu grande investimento e infraestrutura. Conta com cerca de 85 empreendimentos instalados entre fabricas e prestações de serviços (DEMAMANN, 2011). A maior empresa ADM do Brasil LTDA tem a soja como

[10] *SAS.Planet* é um aplicativo *Open Source* (código aberto). Disponível em <http://www.sasgis.org/sasplaneta/>.

a principal fonte de matéria prima e realiza a produção do óleo e do farelo para alimentação bovina.

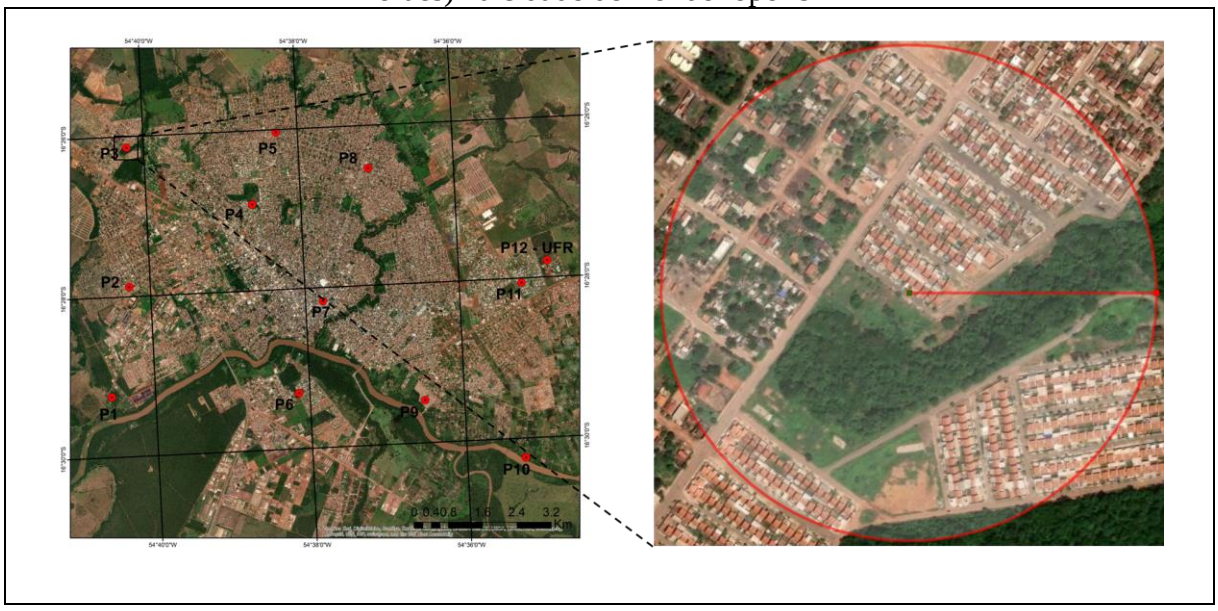
Figura 12 - Localização e características do entorno do Ponto 2 (Parque Residencial Universitário) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 3 - Jardim Residencial João Moraes (Figura 13), está localizado em um bairro com características de baixo padrão construtivo na área Noroeste da cidade. Trata-se de um loteamento popular recente, financiado com recursos do Programa Minha Casa minha Vida e faz parte do projeto de expansão da malha urbana de Rondonópolis, aprovado em 2011.

Figura 13 - Localização e características do entorno do Ponto 3 (Jardim Residencial João Moraes) na cidade de Rondonópolis-MT

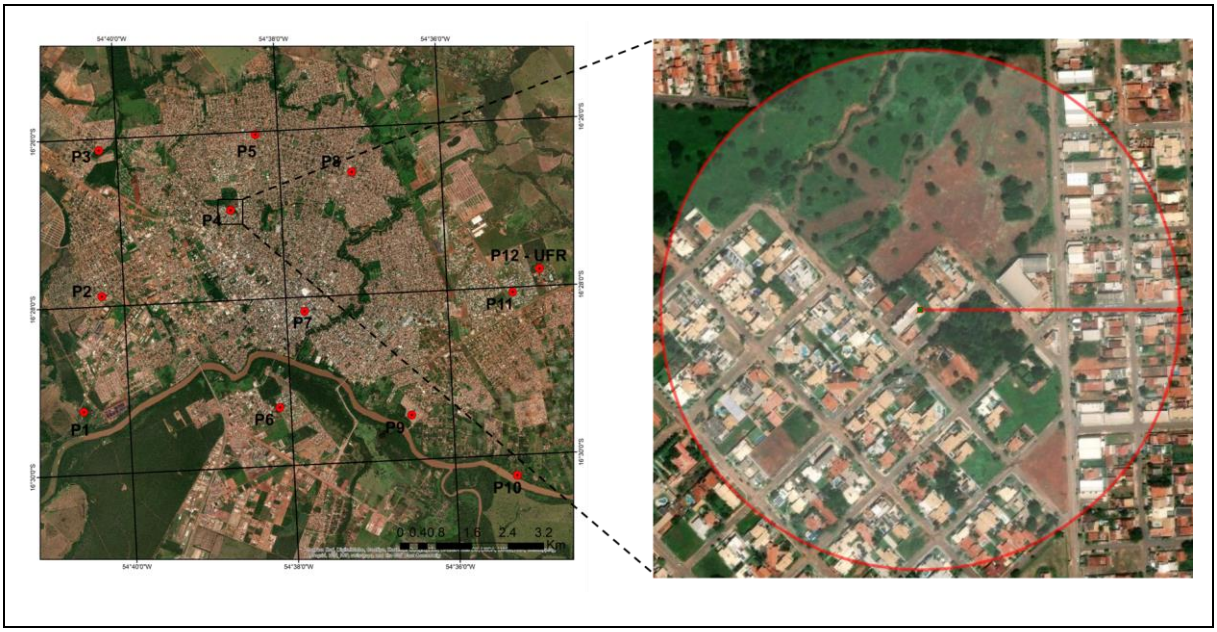


Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O residencial está localizado próximo a uma pequena área de vegetação arbórea densa, porém os lotes são pequenos e não apresentam vegetação em seu interior. O sensor foi instalado em uma área com altitude de 290 metros, orientação da vertente voltada para o Leste e com uma declividade relativamente baixa entre 3% e 8% (suavemente ondulado).

O Ponto 4 - Jardim Santa Marta (Figura 14), está localizado em um bairro com características de alto padrão construtivo na área Noroeste da cidade. O loteamento foi aprovado pela prefeitura em 1988 e foi o bairro escolhido pela população economicamente favorecida para se instalar, antes da criação dos condomínios residenciais fechados. A área apresenta lotes grandes com casas de alto padrão com áreas de lazer e piscinas privativas em praticamente todas residências, além de áreas permeáveis como jardins e vegetação arbórea. O ponto foi instalado à 269 metros de altitude com vertente voltada para Nordeste.

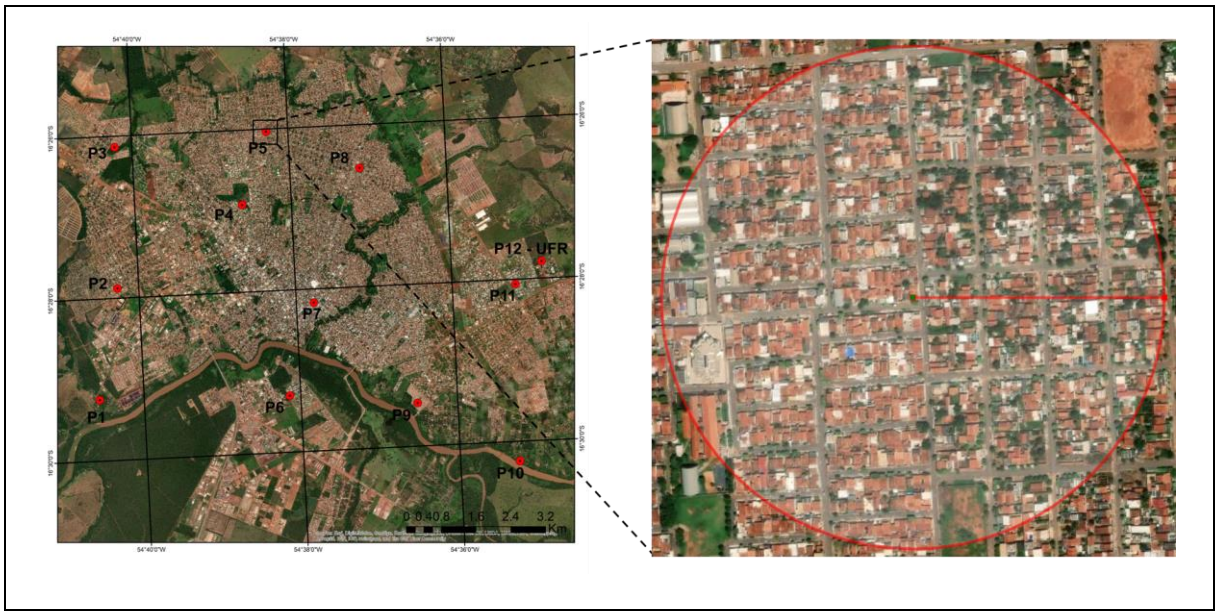
Figura 14 - Localização e características do entorno do Ponto 4 (Jardim Santa Marta) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 5 - Conjunto São José (Figura 15), está localizado na porção Norte da área urbana. O bairro exerce grande centralidade e possui diversas atividades de comércio e serviços para a população local. Trata-se de um conjunto habitacional de baixo padrão construtivo criado no final da década de 1990 e início dos anos 2000. O ponto foi inserido à 274 metros de altitude, em uma área com o relevo de baixa declividade e com as vertentes suavemente orientada para o Nordeste.

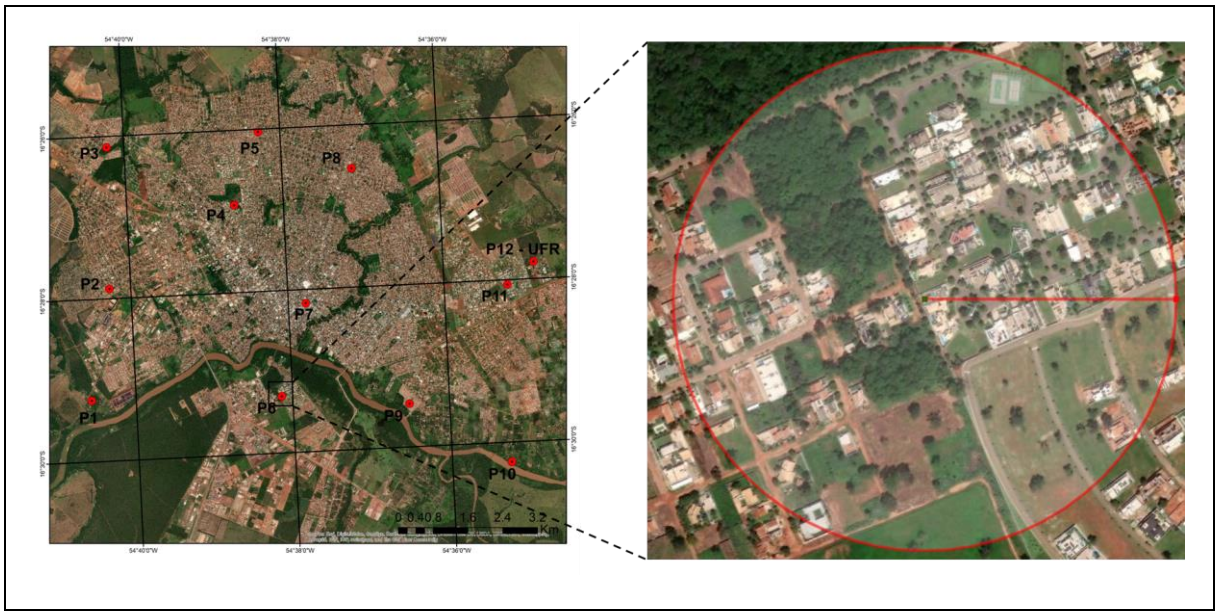
Figura 15 - Localização e características do entorno do Ponto 5 (Conjunto São José) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 6 - Condomínio do Bosque I (Figura 16), também se refere a um condomínio de alto padrão construtivo na zona Sul da cidade ao lado do Horto Florestal. O condomínio apresenta grande presença de vegetação arbórea e está localizado em uma área de grande valorização imobiliária e conta em suas proximidades com os condomínios Bosque II e Vila Toscana.

Figura 16 - Localização e características do entorno do Ponto 6 (Condomínio do Bosque I) na cidade de Rondonópolis-MT

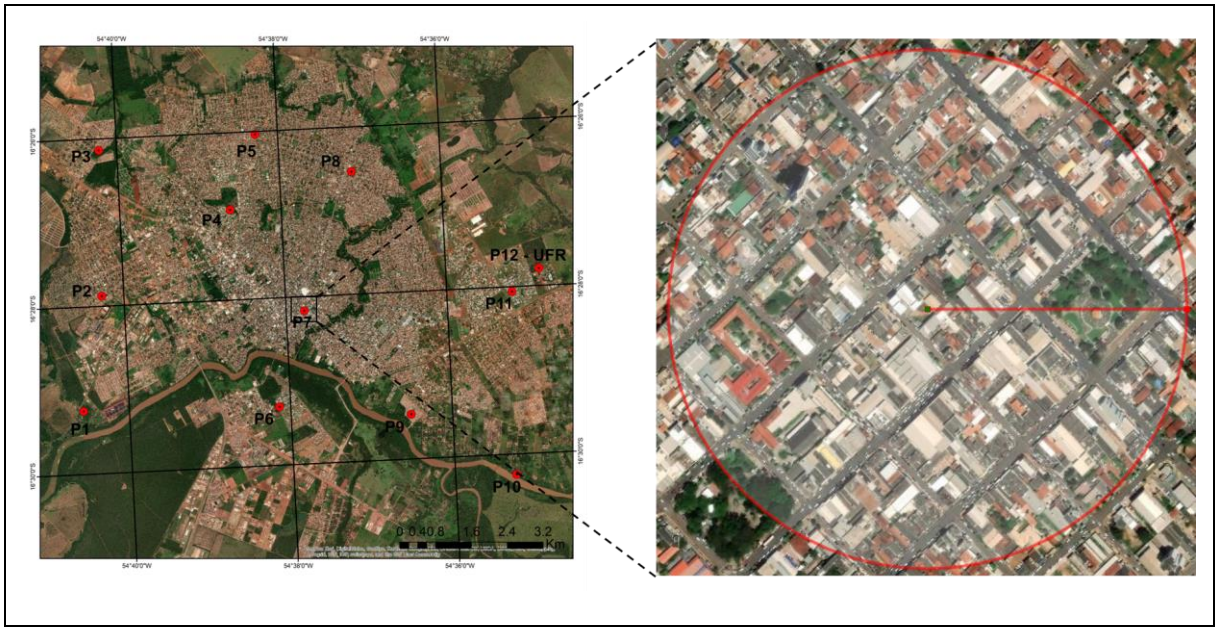


Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O ponto de coleta dos dados foi instalado à 230 metros de altitude, com vertente voltada para o Norte. A escolha do ponto nesta área ocorreu devido aos padrões construtivos do condomínio e também pelo fato de ser uma das poucas áreas residenciais localizadas à margem esquerda do Rio Vermelho.

O Ponto 7 - Centro (Figura 17), está localizado no centro comercial da cidade, próximo as principais avenidas do quadrilátero central (o ponto foi instalado na Avenida Otávio Pitaluga, entre a Avenida Amazonas e Avenida Cuiabá). Do ponto de vista histórico, a partir da década de 1970, o centro da cidade passou por uma valorização dos imóveis por conta da instalação de estabelecimentos comerciais, serviços, infraestrutura básica e tornou-se uma área privilegiada e ocupada pela população de maior poder aquisitivo (PORTELA, 2016). Atualmente, como se pode observar, trata-se de uma área densamente construída com telhados de superfície metálica e sem a presença de vegetação, exceto nas duas praças centrais da cidade (Praça dos Carreiros à Leste e a Praça Brasil à Sudoeste). O fluxo de pessoas e veículos é muito intenso devido as atividades comerciais e prestações de serviços presente na área. O sensor foi instalado à 229 metros de altitude, em uma área com baixa declividade entre 3% e 8% e com vertente voltada para Sudeste.

Figura 17 - Localização e características do entorno do Ponto 7 (Centro) na cidade de Rondonópolis-MT

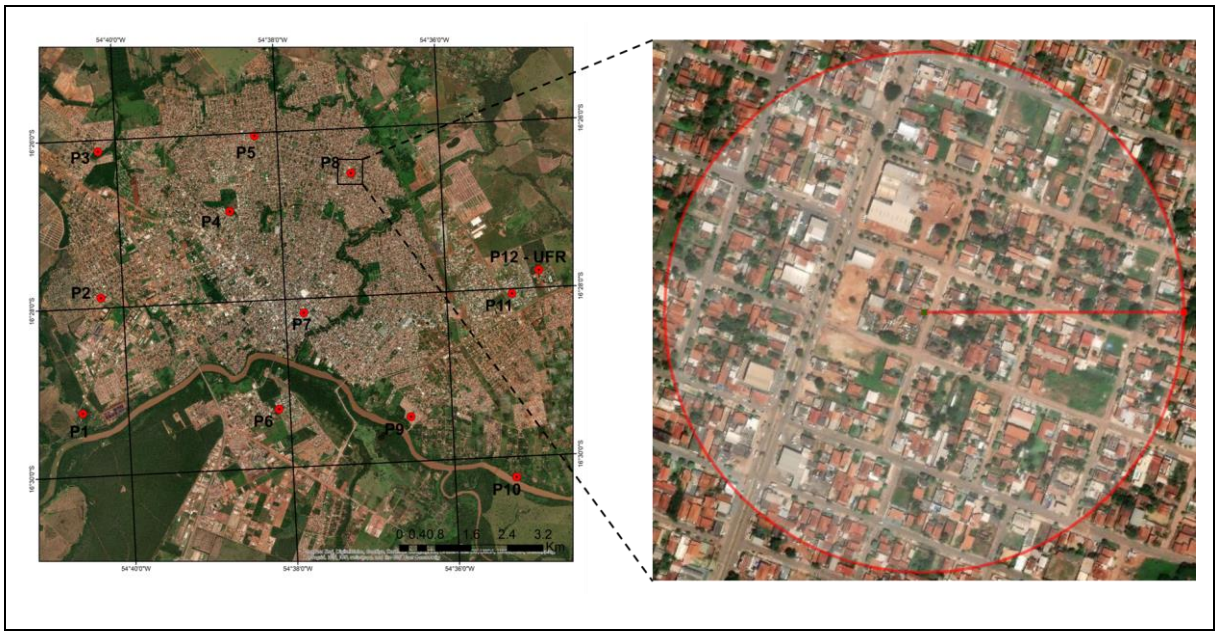


Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 8 - Vila Iracy (Figura 18), está localizado na porção Nordeste da cidade e faz parte do distrito da Vila Operária, criado em 1955. O distrito configurou-se como a primeira

expansão da malha urbana, situando-se a cerca de 5 km do quadrilátero inicial. O loteamento teve seus terrenos doados aos moradores de baixa renda e abrigava os migrantes de baixo poder aquisitivo que chegavam a Rondonópolis. Atualmente a área pode ser considerada como um prolongamento do centro comercial da cidade com muitas atividades e tornou um centro comercial periférico. De acordo com Demamann (2011), o bairro apresenta elevada densidade demográfica, o que cria demanda por bens e serviços para atender a população local e do entorno e apresenta um sistema viário que faz ligação com o centro da cidade, favorecendo a circulação intensa de veículos e pessoas. O ponto foi instalado à 242 metros de altitude, em uma área com baixa declividade e com orientação da vertente voltada para o Sudeste.

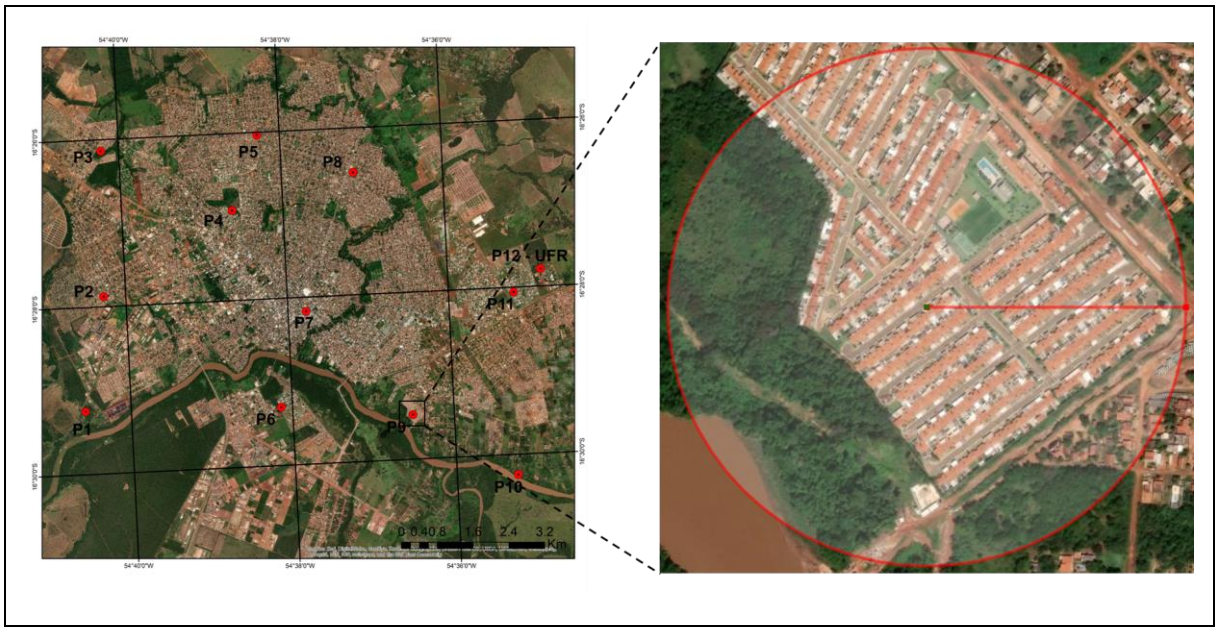
Figura 18 - Localização e características do entorno do Ponto 8 (Vila Iracy) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 9 - Condomínio Terra Nova (Figura 19), está localizado em um condomínio de classe média e baixa na zona Sudeste da malha urbana, às margens do Rio Vermelho. Aprovado em 2008, o condomínio Terra Nova surgiu como uma possibilidade de financiamento pelo programa Minha Casa Minha Vida do governo federal e passou por uma grande valorização devido a sua área de lazer e por se tratar de um espaço residencial fechado. Os lotes e as casas são pequenas e não apresentam vegetação em seu interior. O sensor foi instalado à 218 metros de altitude, com vertente voltada para Oeste.

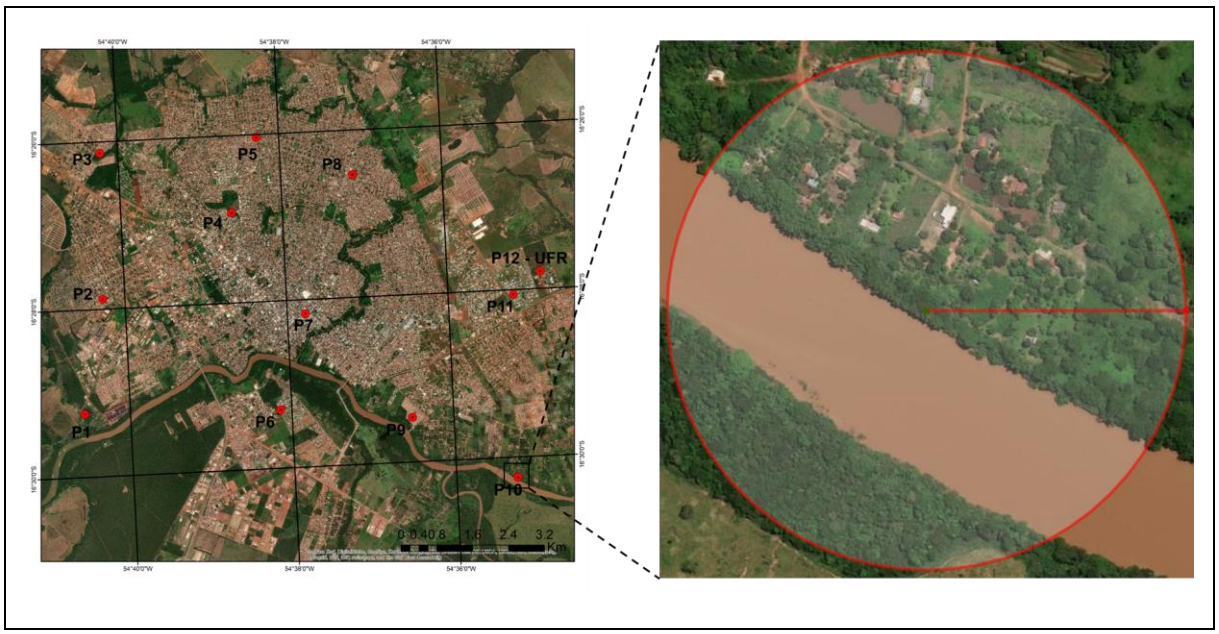
Figura 19 - Localização e características do entorno do Ponto 9 (Condomínio Terra Nova) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 10 - Gleba São Rosalvo (Figura 20), também representa o rural próximo e está localizado em uma área de pequenas chácaras na porção sudeste da cidade. Por estarem próximas a malha urbana, muitas chácaras não são utilizadas como áreas residências, neste caso, normalmente os donos também possuem outra propriedade na cidade.

Figura 20 - Localização e características do entorno do Ponto 10 (Gleba São Rosalvo) na cidade de Rondonópolis-MT

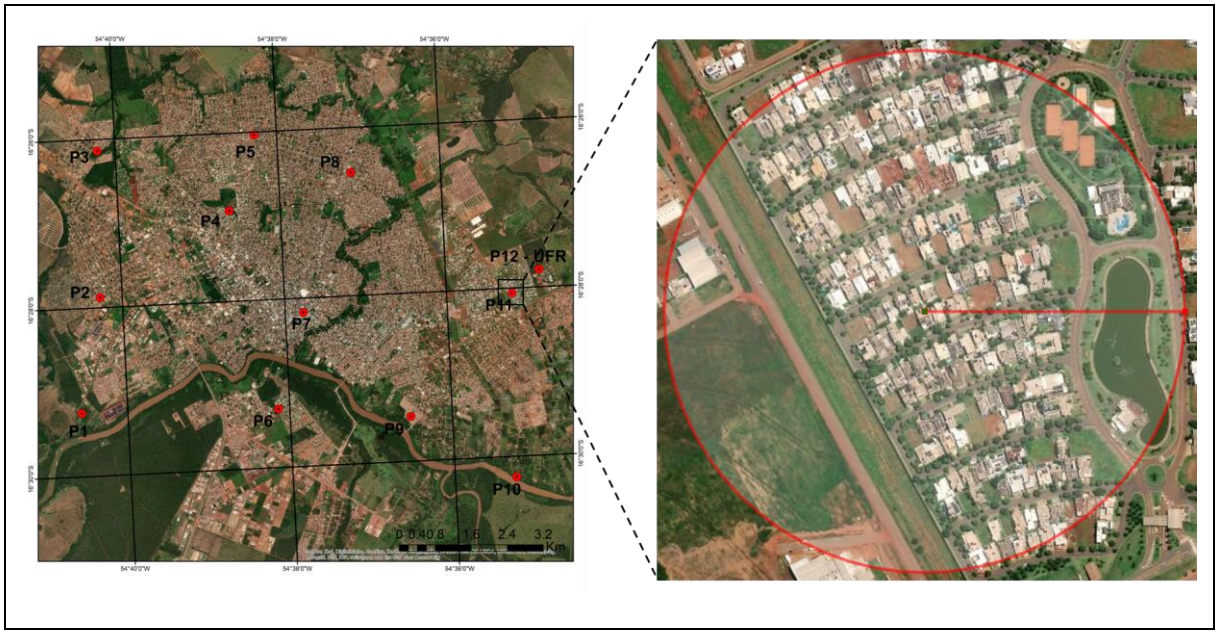


Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

As áreas são utilizadas para lazer, recreação ou mesmo como criadouros de animais como galinhas, porcos e gados, além de pequenos tanques para piscicultura. O sensor foi instalado próximo ao Rio Vermelho em uma área de preservação permanente à 206 metros de altitude e vertente voltada para o Sul.

O Ponto 11 - Condomínio Jardim Village do Cerrado (Figura 21), está localizado na área nobre da cidade, próximo ao shopping center, na zona Leste. O loteamento foi aprovado em 1980 com o nome de Parque Residencial Oásis e a partir de 2006 passou a ser chamado de Jardim Village do Cerrado e tornou-se um condomínio residencial fechado de alto padrão, representando à apropriação privada do espaço público (DEMAMANN, 2011). O condomínio está localizado distante do centro da cidade, mas conta com amplas avenidas de acessibilidade, apresenta ampla área de lazer, lago artificial para recreação e grande presença de vegetação arbórea. Os lotes são grandes e as residências com alto padrão construtivo. O sensor foi instalado à 280 metros de altitude, em uma área de relevo relativamente plano.

Figura 21 - Localização e características do entorno do Ponto 11 (Condomínio Jardim Village do Cerrado) na cidade de Rondonópolis-MT

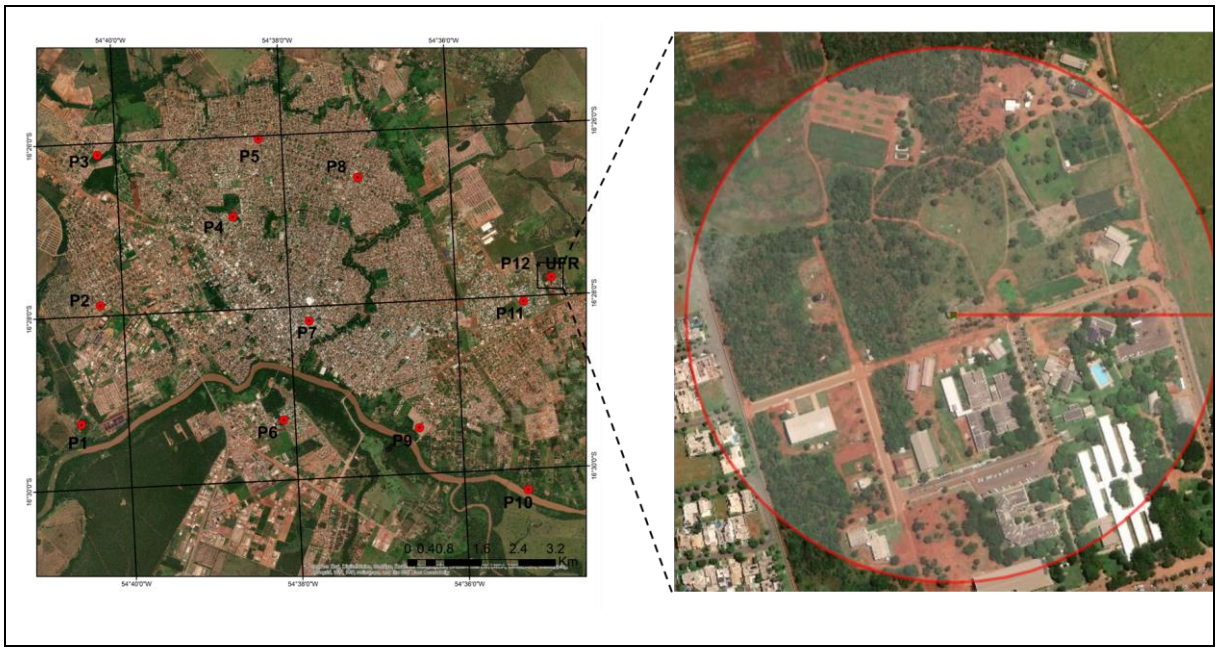


Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

O Ponto 12 - Universidade Federal de Rondonópolis (Figura 22), está localizado na porção leste da cidade. A universidade foi inaugurada em 1976 como Centro Pedagógico de Rondonópolis, mas foi para a sede atual em 1982 quando foi incorporada à Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), e em 2018 ocorreu o desmembramento para a atual UFR. A estação meteorológica automática é gerenciada pelo INMET e os dados são adquiridos de forma

gratuita pelo site[11]. Seguindo os parâmetros da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), a estação não apresenta áreas construídas ao seu entorno e está em uma área relativamente aberta com boa circulação de ar. Está à 289 metros de altitude e apresenta vegetação arbórea e rasteira.

Figura 22 - Localização e características do entorno do Ponto 12 (Universidade Federal de Rondonópolis) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: ArcGIS.Imagery e SAS.Planet. Elaborado pelo autor.

2.3.2 - Transectos móveis

As medidas itinerantes de temperatura do ar é uma forma de obtenção dos dados bastante consolidada nos estudos de climatologia urbana e pode contribuir para a compreensão da análise espacial da temperatura com a finalidade de explicitar como os diferentes condicionantes geoecológicos e urbanos respondem à atuação dos sistemas atmosféricos atuantes (PITTON, 1997; AMORIM, 2005 e 2020; FIALHO, 2009; UGEDA JUNIOR, 2011). De acordo com Amorim (2005), a metodologia para a coleta de temperatura do ar consiste na utilização de termohigrômetros digitais[12], com os sensores presos em haste de madeira com 1,5m de comprimento, acoplados na lateral de veículos que partem do entorno rural próximo atravessando a área periurbana até a zona central e seguindo até a zona rural oposta (Figura 23).

As velocidades médias dos veículos foram entre 20 km/h e 30 km/h, e a duração das coletas foram de aproximadamente 50 minutos. Os registros das temperaturas do ar foram

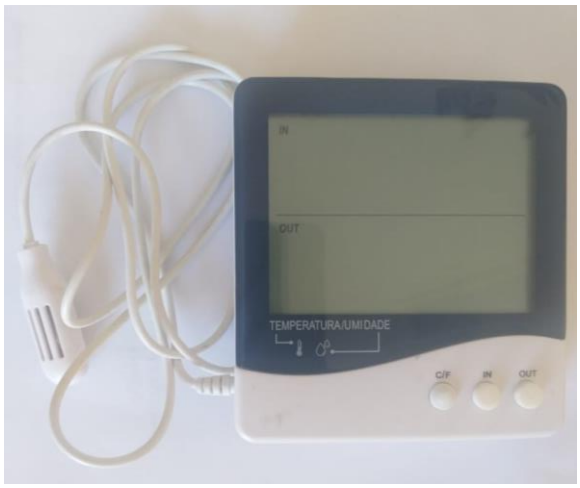
[11] Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>.
[12] Foram utilizados sensores Termohigrômetro Digital, da marca Incoterm.

realizados observando os diferentes tipos de uso e ocupação da terra, características do relevo e de cobertura vegetal arbórea, possibilitando maior compreensão da dinâmica climática local.

De acordo com a literatura apresentada, os transectos móveis devem ser realizados em dias com condições atmosféricas estáveis, sem vento e chuva. O período mais adequado para a realização das medidas móveis é o noturno, quando as ilhas de calor atingem maiores magnitudes, pois demonstram como as diferentes áreas construídas têm a capacidade de reter ou liberar o calor acumulado durante o dia. A preferência em realizar os transectos no período noturno decorre do fato de que as medidas não são simultâneas, levando em consideração que os percursos duram no máximo uma hora, e as diferenças naturais entre os primeiros e últimos registros não são significativos (AMORIM, 2020). Para referência da temperatura ao início e ao fim dos transectos móveis, foram utilizados os dados horários da estação automática do INMET instalada na Universidade Federal de Rondonópolis.

Figura 23 - Veículo e sensor utilizado nos transectos móveis na cidade de Rondonópolis-MT





Fonte: Autoria própria

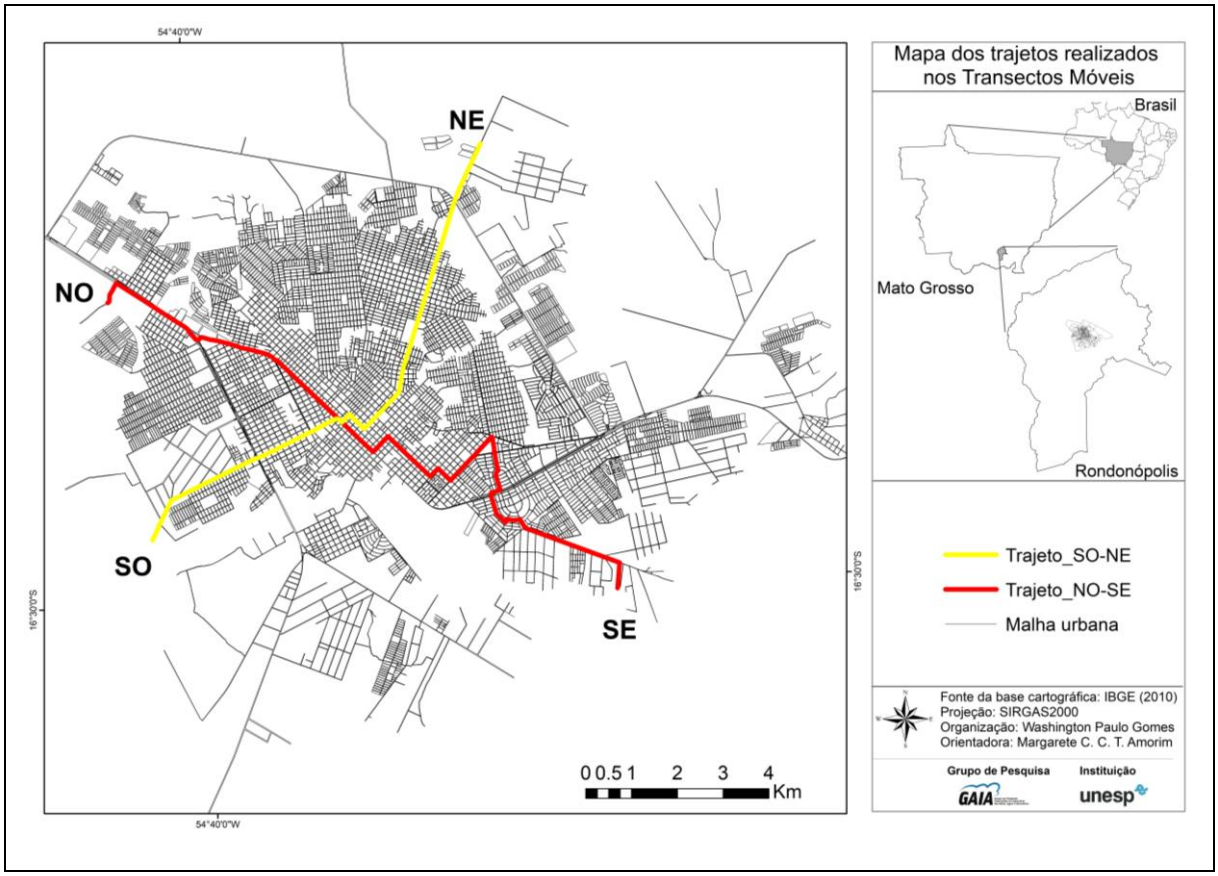
Os transectos móveis foram realizados em 04 episódios, durante os dias 01/06/2020, 17/06/2020, 20/07/2020 e 05/09/2020, às 21 horas. Em todos os casos foram realizados dois trajetos simultâneos, um no sentido Noroeste-Sudeste (53 pontos de registros) e outro no sentido Sudoeste-Nordeste (44 pontos de registros), totalizando 97 pontos de registros de temperatura em cada dia (Figura 24).

O percurso Noroeste-Sudeste, iniciou na área rural próxima, na saída da cidade de Rondonópolis para a BR-163 e BR-364, sentido Cuiabá. Saindo da área rural, o trajeto passou pela rodovia até o trevo de entrada da cidade. Neste ponto, entrou na Avenida Fernando Corrêa

da Costa até a Avenida Amazonas no centro comercial da cidade, local de grande fluxo de veículos e pessoas. Posteriormente, chegou a Avenida Barão do Rio Branco passando sobre o Córrego Arareau e os bairros da Vila Aurora I e II. Ao chegar na Avenida Lions Internacional passou em frente ao Rondon Plaza Shopping, área de alto padrão construtivo com a presença de prédios residenciais. Em seguida, passou pelo bairro Sagrada Família e os bairros Sítio Farias e João Antônio Fagundes de baixos padrões construtivos afastados da malha urbana até à área rural, região de chácaras na região Sudeste.

O percurso Sudoeste-Nordeste, iniciou na área rural próxima, junto a Rodovia do Peixe em frente ao SIPROS, passou pelos bairros residenciais de baixo padrão construtivo Jardim Maria Tereza, Residencial Acácias, Jardim Morumbi até chegar na Avenida Presidente Médici. Posteriormente, passou pela Avenida Fernando Corrêa da Costa, cruzando o trajeto NO-SE, na região do centro estendido da cidade. Em seguida, passou pela Rua Treze de Maio até a Avenida Bandeirantes, passando pela Vila Operária, cruzando o Anel viário e chegando à área rural.

Figura 24 - Delimitação dos percusos realizados nos transectos móveis na cidade de Rondonópolis-MT



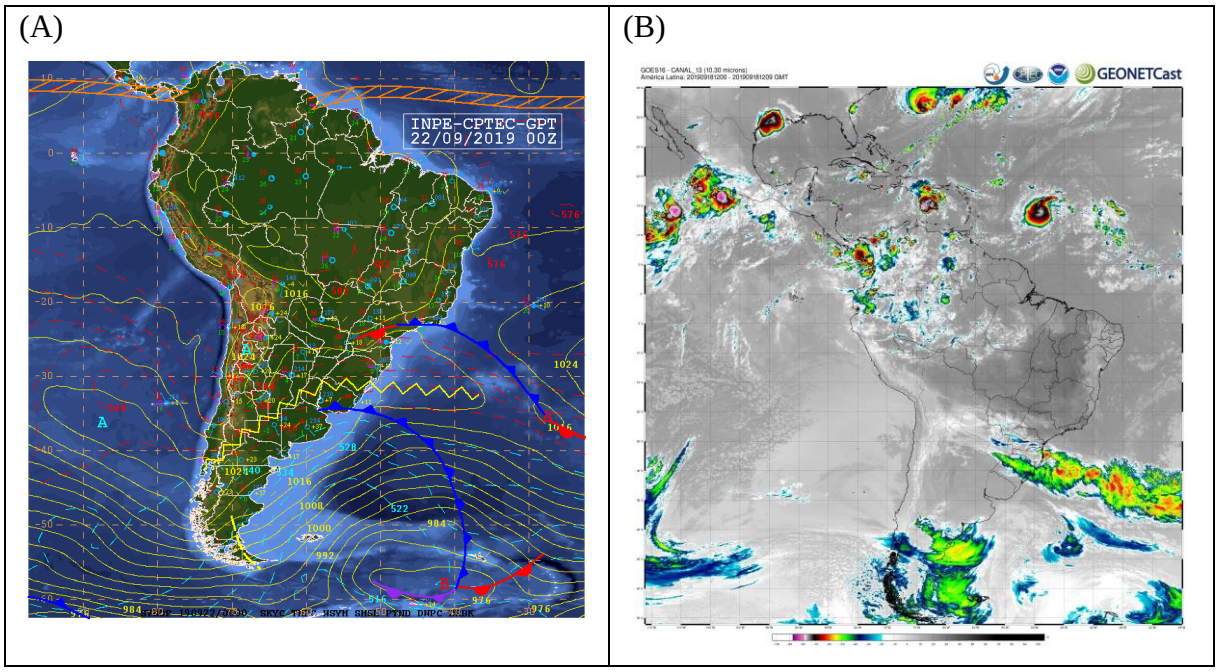
Elaboração: Autoria própria

Posteriormente, foi realizado o tratamento estatístico dos dados adquiridos pelos transectos móveis. Estes dados foram tabulados em planilhas eletrônicas no aplicativo *Excel*, para a identificação das diferenças de temperaturas entre os pontos e a verificação da intensidade da ilha de calor. As intensidades foram calculadas a partir da subtração das temperaturas ao longo do trajeto pela menor temperatura registrada em cada um dos transectos. Após o cruzamento dos pontos de registro com a planta georreferenciada da cidade foi possível realizar a elaboração das cartas e perfis longitudinais por meio do aplicativo *ArcGis*[13].

2.3.3 - Análise rítmica

Para a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes nos meses de coletas dos dados, os gráficos de análise rítmica foram elaborados com base nas contribuições teóricas propostas por Sorre (1951), e posteriormente desenvolvidas por Monteiro (1971). Os dados foram registrados na estação meteorológica automática gerenciada pelo INMET, localizada na Universidade Federal de Rondonópolis e foram analisados em conjunto com as informações contidas nas cartas sinóticas, nas imagens do satélite GOES 16 (Figura 25) e nos boletins técnicos disponibilizados pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Figura 25 - Carta sinótica e Imagem de satélite



(A) Carta sinótica; (B) Imagem do Satélite Goes 16 (Canal 13 - Infravermelho)

Fonte: CPTEC/INPE

[13]*ArcGis* é marca registrada da *Esri.*

Posteriormente, os dados foram agrupados em planilhas eletrônicas no aplicativo Excel para a elaboração do gráfico de análise rítmica, utilizando-se de dados meteorológicos diários dos diferentes elementos do clima (precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos).

2.3.4 - Processamento Digital de Imagens

A evolução dos procedimentos metodológicos e a facilidade de acesso às imagens orbitais, fez com que o processamento digital de imagens se tornasse um importante instrumento de pesquisa e tem sido usado nos estudos de climatologia urbana, contribuindo para o diagnósticos das ilhas de calor de superfície, para os índices de vegetação e auxiliando na tomada de decisão para a preservação ambiental (RAMOS et al., 2010). Pode ser considerado como um avanço no campo da cartografia e consequentemente se apresenta como progresso no campo dos procedimentos metodológicos nos estudos de clima urbano. Partindo desses pressupostos, fica cada vez mais evidente, nos últimos anos, a importância dos trabalhos utilizando as técnicas do sensoriamento remoto, por meio da utilização do sensor infravermelho termal das imagens de satélites para o diagnóstico das ilhas de calor de superfície e as bandas do vermelho e infravermelho próximo para a identificação de áreas com maiores índices de vegetação (GOMES, 2017).

Assim pode-se obter o maior grau de detalhamento das temperaturas de superfície, podendo se relacionar com a ausência ou não de cobertura vegetal arbórea, sendo possível identificar as áreas mais quentes e correlacionar com o uso e ocupação da terra em determinada região e seu entorno. O sensoriamento remoto se tornou uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em diferentes escalas, sobretudo, na escala global. Consiste no registro da informação de uma determinada região, sem contato, por meio de instrumentos, tais como, dispositivos localizados em plataformas como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagem. O objeto imageado é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética, tal como a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto (JENSEN, 2009; MENESES e ALMEIDA, 2012).

Os sensores remotos são dispositivos capazes de registrar a radiação eletromagnética, expressa em termos de comprimento de ondas. O espectro eletromagnético é dividido em regiões ou faixas espectrais e cada alvo da superfície terrestre que emite ou reflete radiação apresenta um comportamento de onda diferenciado. Neste sentido, os estudos aplicados ao

clima urbano, se utilizam cada vez mais de dados do sensoriamento remoto e também das técnicas do geoprocessamento por inserirem procedimentos e produtos ricos de conteúdos associados a vários elementos e temas (LIMA, 2013).

A caracterização da área de estudo foi realizada com o intuito de compreender como as diferentes formas do relevo, vegetação e a área urbana podem interferir no clima em escala local e regional. Para tanto, foram elaboradas as cartas de hipsometria, declividade, orientação das vertentes e relevo sombreado, a partir de imagens adquiridas gratuitamente pelo projeto TOPODATA[14], com resolução espacial de 30 metros. Os procedimentos de recorte da área de estudo, processamento das imagens e os resultados foram realizados por meio das ferramentas "*Create Tin*" "*Slope*", "*Aspect*" e "*Hillshade*" do aplicativo *ArcGis.*

Para identificar os diferentes níveis de vegetação, foi realizado o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) - (*Normalized Difference Vegetation Index*). O princípio físico do NDVI se baseia na assinatura espectral das plantas. As plantas verdes e com vida absorvem fortemente radiação solar na região do vermelho para utilizar esta radiação como fonte de energia no processo de fotossíntese. Por outro lado, as células das plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo. A quantidade de radiação absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas. Neste caso, "quanto mais verdes, nutridas, sadias e bem supridas do ponto de vista hídrico for a planta maior será a absorção do vermelho e maior será a reflectância do infravermelho" (VELASCO et al. 2007 *apud* GOMES e AMORIM, 2016, p.1678).

Deste modo, o NDVI foi calculado utilizando as porções da energia eletromagnética refletida pela vegetação nas bandas do vermelho e do Infravermelho próximo do Satélite Landsat *(Land Remote Sensing Satellite)* 8 (Tabela 11)

Tabela 11 - Intervalo espectral das bandas do satélite *Landsat* 8[15]

Bandas	**Resolução Espectral (µm)**	**Resolução Espacial (m)**
Banda 1 - Coastal aerossol	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Red	0.64 - 0.67	30

[14] O projeto TOPODATA oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

[15] Embora as bandas termais (10 e 11) possuam resolução espacial de 100 metros, elas são processadas e disponibilizadas com uma resolução espacial de 30 metros pela USGS.

Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Banda 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Fonte: United States Geological Survey[16].

A verificação dos níveis de vegetação por meio do NDVI foram elaborados no aplicativo *ArcGIS*[17] e trata-se do modelo resultante da combinação dos níveis de reflectância das bandas espectrais do vermelho e infravermelho. A aplicação gera um índice que varia de (-1) a (+1), neste caso, quanto maior o valor do índice (próximo de +1), maior a presença de vegetação no período analisado. A equação e resolve-se da seguinte forma:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (5)$$

Onde:
IVP é o valor de reflectância da banda no infravermelho próximo;
V é o valor de reflectância da banda no vermelho.

A verificação da temperatura dos alvos e o diagnóstico das ilhas de calor urbana de superfície também ocorreram por meio da utilização das imagens do Satélite Landsat 8, canal infravermelho termal/TIRS 1 (banda 10), com resolução espectral de 10.60 - 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com *pixel* de 30 metros pelo USGS (*United States Geological Survey*)[18].

Os procedimentos para o mapeamento da temperatura de superfície foram realizados no aplicativo *ArcGis*. Utilizaram-se as constantes de calibração do sensor do satélite para a conversão dos números digitais em energia radiante, representados em tons de cinza. A conversão dos níveis de cinza para informações de radiância foi realizada da seguinte forma:

[16]Disponível em <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php>
[17]*Arc GIS* é marca registrada da *ESRI*.
[18] Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov>.

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (6)$$

Onde[19]:

$L\lambda$ é a radiância do topo da atmosfera (Watts/(m2 * srad * μm));

M_L é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, onde x é o número da banda);

Q_{cal} são os valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN);

A_L é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, onde x é o número da banda).

Em seguida, a partir da energia radiante foi possível obter a temperatura dos alvos em Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (7)$$

Onde[20]:

T é a temperatura no satélite em Kelvin;

K2 é a constante de calibração 2;

K1 é a constante de calibração 1;

$L\lambda$ é a radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * * mm).

Após esses procedimentos, aplicou-se a fórmula para converter a temperatura Kelvin em graus Celsius, subtraindo os valores de temperatura de cada pixel da imagem por 273,15:

$$°C = ImgK - 273{,}15 \quad (8)$$

Onde:

°*C* é a temperatura do alvo em graus Celsius;

Imgk é a temperatura da imagem em Kelvin;

[19] Os valores de radiância espectral correspondentes aos elementos da fórmula são encontrados no arquivo metadados adquirido em conjunto com os arquivos das imagens: M_L = 0.0003342; A_L = 0.10000.

[20] Os valores das constantes de calibração correspondentes na fórmula são encontrados no arquivo metadados que está em anexo em conjunto com os arquivos das imagens: K1 = 774.89; K2 = 1321.08;

2.3.4 - Modelagem da ilha de calor

Esta metodologia se apresenta como uma inovação no campo da climatologia urbana e está bem adequada na escala de estudo das cidades pequenas e médias, minimizando os efeitos microclimáticos e permitindo uma cartografia na escala da cidade, tornando-se um importante instrumento para a gestão do espaço urbano sendo possível contribuir para intervenções mais localizadas que podem amenizar as ilhas de calor atmosféricas. Vários autores têm proposto metodologias que se utilizam do SIG (Sistema de Informação Geográfica) para interpolar as temperaturas do ar através da incorporação de dados como a altura dos edifícios, superfícies impermeáveis e vegetação (OKE, 2004; STEWART e OKE, 2009; FOISSARD *et al*. 2013; FOISSARD, 2015; TEIXEIRA, 2015 e 2019; AMORIM *et al*. 2015; GOMES, 2017; DORIGON, 2019; RAMPAZZO; 2019; TEOBALDO NETO, 2019).

A espacialização da temperatura do ar baseada nos valores medidos associados as características da superfície, oferece um avanço significativo em relação às formas tradicionais de representações cartográficas, auxiliando no maior detalhamento das características das temperaturas em locais onde não foram coletadas informações. A estimativa da temperatura do ar por meio da modelagem das ilhas de calor urbanas, considerando-se a densidade de construções, vegetação, relevo e neste caso, a distância do mar, se mostra como um importante instrumento para a gestão do espaço urbano sendo possível contribuir para intervenções mais localizadas que podem amenizar as ilhas de calor atmosféricas ligadas ao processo de urbanização (AMORIM et al. 2015; GOMES et al. 2017).

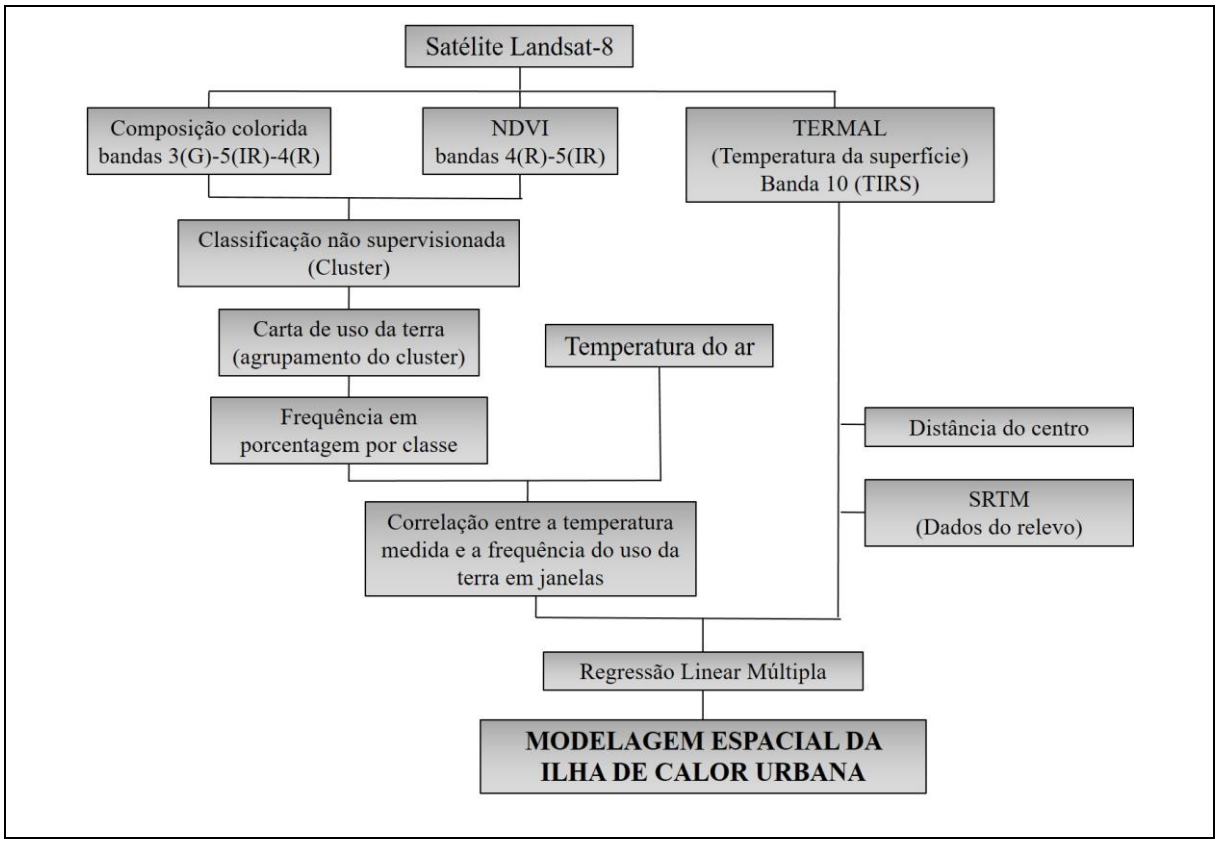
Para se compreender a configuração espacial da formação da ilha de calor urbana gerada por meio da alteração do uso e ocupação da terra é necessário realizar uma análise do sítio de estudo. A modelagem tem o intuito de delimitar a área de representatividade dos pontos de registros das temperaturas, por meio da correlação entre a distribuição das temperaturas observadas, e a fração de cobertura da terra no entorno de cada ponto. A fração de “vegetação baixa” está relacionada à presença de gramíneas, pastos e jardins. A fração de “vegetação densa” está ligada à presença de árvores de grande porte e a fração de “construções” está ligada a presença de edifícios, estacionamentos e superfícies impermeáveis.

A etapa de espacialização da ilha de calor urbana é realizada pela regressão linear múltipla, selecionando as melhores regressões. A determinação das variáveis explicativas é obtida por meio dos fatores que obtiveram as maiores correlações. O procedimento da modelagem da ilha de calor urbana a partir da classificação do uso da terra tem como objetivo, estimar a temperatura do ar no ambiente urbano e rural próximo, onde não houve pontos de registro, considerando-se as características da superfície (área construída, vegetação, distância

do centro, relevo e temperatura da superfície), delimitando a área de representatividade de cada ponto analisado.

O procedimento se utiliza da carta de uso da terra, obtida por meio da classificação não supervisionada (cluster) de acordo com o NDVI e a composição colorida das imagens do satélite *Landsat* 8. Após esse procedimento, identifica-se a frequência em porcentagem das diferentes classes em cada ponto de medida de temperatura. Em seguida, por meio da técnica estatística de regressão linear buscam-se as maiores correlações entre a temperatura medida e a frequência do uso da terra em janelas. Por fim, realizam-se os procedimentos da regressão múltipla que busca a correlação entre o uso da terra em porcentagem, a temperatura do ar em janelas que determinam o tamanho da zona de abrangência e podendo inserir também outros fatores como o relevo, a distância do centro e a temperatura de superfície (Figura 26). A temperatura do ar é uma variável resposta (dependente), enquanto que as classes de uso da terra são variáveis explicativas (independentes).

Figura 26 - Procedimentos aplicados para a realização da modelagem da ilha de calor

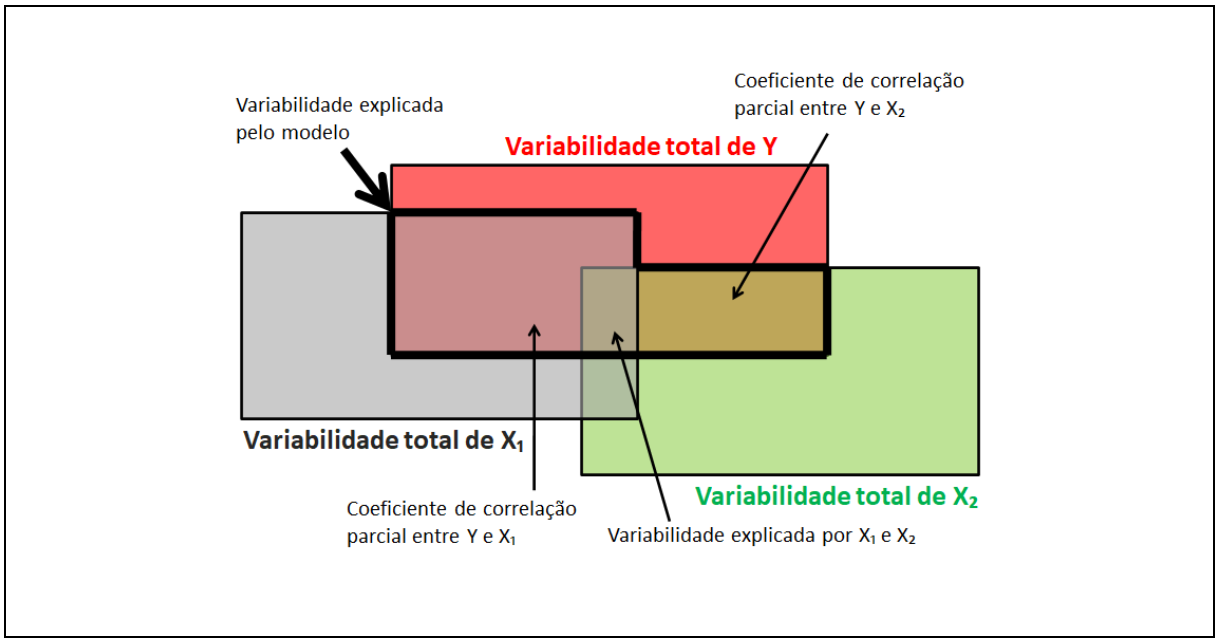


Fonte: Adaptado de Gomes (2017)

No caso de aplicação da regressão linear múltipla é importante que as variáveis independentes descritas (X_1, X_2, X_3...Xn) não tenham boas correlações entre elas (DUBREUIL

et al. 2002). Pois, quanto maior a correlação entre as variáveis independentes (covariância), maior será a variabilidade de Y sendo explicada pelas mesmas variáveis (Figura 27). Em um exemplo hipotético de regressão linear múltipla com duas variáveis independentes (X_1, X_2) e uma variável dependente (Y), se os valores do R^2 de X_1 e X_2 forem iguais a 0,5 e a covariância entre elas for nula, significa que cada uma das variáveis explica 50% da variabilidade de Y, totalizando 100% de explicação do modelo. Entretanto, quando a covariância entre os dados não for nula, significa que uma mesma parcela da variabilidade de Y é explicada por X_1 e também por X_2 (GOMES, 2017).

Figura 27 - Esquema da variância de cada elemento na modelagem



Fonte: Adaptado de Foissard (2015)

Com essas informações foram realizadas relações estatísticas por meio da regressão linear múltipla entre a intensidade da ilha de calor atmosférica nos locais onde as temperaturas foram registradas e os parâmetros geográficos da superfície. O modelo discriminou os melhores indicadores espaciais para cada categoria de forma a estimar os resultados para toda a imagem através de regressão linear múltipla. O uso da regressão linear múltipla descreve uma relação entre as variáveis geográficas "explicativas" (ocupação da terra) e a variável a ser "explicada" (temperatura) pelo modelo (CARREGA, 2008 *apud* FOISSARD, 2015).

A regressão linear múltipla é descrita como:

$$Y' = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta n Xn + \varepsilon \quad (9)$$

Onde:

Y' é a variável dependente (temperatura estimada);

β_0 é o intercepto ou constante do modelo;

$\beta_1, \beta_2, \beta_n$ são os parâmetros do coeficiente de regressão;

X_1, X_2, X_n são as variáveis independentes ou explicativas (variáveis geográficas);

ε são os erros aleatórios independentes (a variação de Y′ não explicada pelo modelo).

A equação da nuvem de pontos observados segundo as variáveis explicativas é descrita como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta nxn + \varepsilon \quad (10)$$

Onde:

Y é a variável dependente (temperatura observada);

β_0 é o intercepto ou constante do modelo;

$\beta_1, \beta_2, \beta_n$ são os parâmetros do coeficiente de regressão;

X_1, X_2, X_n são as variáveis independentes ou explicativas (variáveis geográficas);

ε são os erros aleatórios independentes (a variação de Y′ não explicada pelo modelo).

Os resíduos são definidos como:

$$\varepsilon = Y - Y' \quad (11)$$

Onde:

ε são os conjuntos dos resíduos;

Y é a variável dependente (temperatura observada);

Y' é a variável dependente (temperatura estimada).

A análise dos resíduos é importante para verificar adequabilidade do modelo. O resíduo é dado pela diferença entre a temperatura medida (observada) e a temperatura estimada (modelizada). Assim, quanto menor for à diferença da temperatura modelizada em relação à temperatura medida em cada ponto, melhor e mais fiel a realidade será o modelo.

3 - A GEOGRAFIA DE RONDONÓPOLIS-MT: DA PRODUÇÃO DO ESPAÇO AS CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS

3.1 - Do "Povoado do Rio Vermelho" a "Capital do Agronegócio": a construção histórica da cidade de Rondonópolis-MT

Rondonópolis está localizado na porção Sudeste do Estado de Mato Grosso, à 215 km da capital Cuiabá, no eixo de duas importantes rodovias federais (BR-163 e BR-364) e configura-se como um dos principais eixos de ligação entre a região amazônica e a região centro sul do país. Devido a sua posição estratégica passou a exercer papel significativo no cenário econômico regional e no escoamento da produção de grãos de todo o estado (DUARTE, 2016). Possui uma área de 4.686,622 km^2 e população estimada de 236.042 habitantes (2020) e um PIB de aproximadamente R$10 bilhões de reais (segundo maior do estado)[21].

A cidade apresenta taxa de crescimento acelerado e grande evolução da população urbana em detrimento da população rural (Tabela 12). O Estado de Mato Grosso é conhecido como o celeiro do país e o agronegócio representa mais de 45% do PIB estadual (2017). Na cidade de Rondonópolis o agronegócio atua como mola propulsora para o setor de serviços e indústrias, sobretudo, as agroindústrias para o processamento de grãos. Em 2020, fechou o ano mais uma vez, sendo o maior exportador de grãos do país.

Tabela 12 - Evolução da população rural e urbana em Rondonópolis (1940-2020)

Ano	População Rural	(%)	População Urbana	(%)	População Total
1940	1.723	95,4	82	4,6	1.805
1950	2.044	70,7	844	29,3	2.888
1960	18.072	80,1	4.482	19,9	22.554
1970	37.045	59,2	25.506	40,8	62.551
1980	16.408	20,1	64.958	59,9	81.366
1991	13.595	10,7	113.032	89,3	126.627
2000	8.389	8,8	141.838	91,2	150.227
2010	7.448	3,8	188.028	96,2	195.476
2020*	-	-	-	-	236.042

Fonte: IBGE, adaptado de Negri (2008); *População estimada (2020)

[21] https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/rondonopolis/panorama

O início do povoamento ocorreu a partir de 1902, com a fixação do grupo de povoadores (goianos) às margens do rio Vermelho. Os migrantes entraram pelo Leste à procura de terras para o gado e mineração. Com o passar dos anos, novos povoadores chegaram e começaram a se fixar às margens direita do rio (SUZUKI, 1997; NEGRI, 2008; DEMAMANN, 2011).

> Eram os goianos que abandonavam suas terras construídas de regalias para aprimoramento e vida a novas regiões. Foi na manhã de 1906, que uma caravana composta de 6 carros de boi, setenta bois cargueiros, 70 vacas reprodutoras, 12 cavalos de traquejo e 4 rebanhos de animais juntamente com aves: galinhas, patos, marrecos e suínos, chegaram ao Rio Vermelho. Traziam novos carros de boi, além de cereais, feijão, arroz, milho, açúcar, sacos de rapadura, charque, fumo, como também diversos tipos de mudas a serem plantados e cultivados na nova terra (CURY, 1973, p.23 *apud* DEMAMANN, 2011, p. 23)

Em março de 1919, por ação do deputado Major Otávio Pitaluga, o até então povoado do Rio Vermelho, foi batizado como Rondonópolis. O nome foi uma forma de homenagear o Marechal Cândido Rondon, o interlocutor que trazia linhas telegráficas para os fios de comunicação no Brasil. Em 1920[22], também por interferência do Major Otávio Pitaluga, Rondonópolis tornou Distrito de Paz do Município de Santo Antônio do Leveger e Comarca de Cuiabá. Posteriormente, em 1938, Rondonópolis passou a ser Distrito de Poxoréu[23] e se emancipou no dia 10 de dezembro de 1953.

De acordo com Demamann (2011), o crescimento econômico e demográfico de Rondonópolis até a década de 1940, nem sempre foi contínuo, homogêneo e linear. Somente a partir deste período que não houve mais redução do número de moradores nem no volume de produção agrária total. A autora identificou que as transformações ocorreram através de duas formas de vida, na primeira, os moradores buscavam apenas sobreviver, enquanto que na segunda, novos moradores migrantes procedentes de vários lugares, pretendiam o enriquecimento e o crescimento do povoado de Rondonópolis.

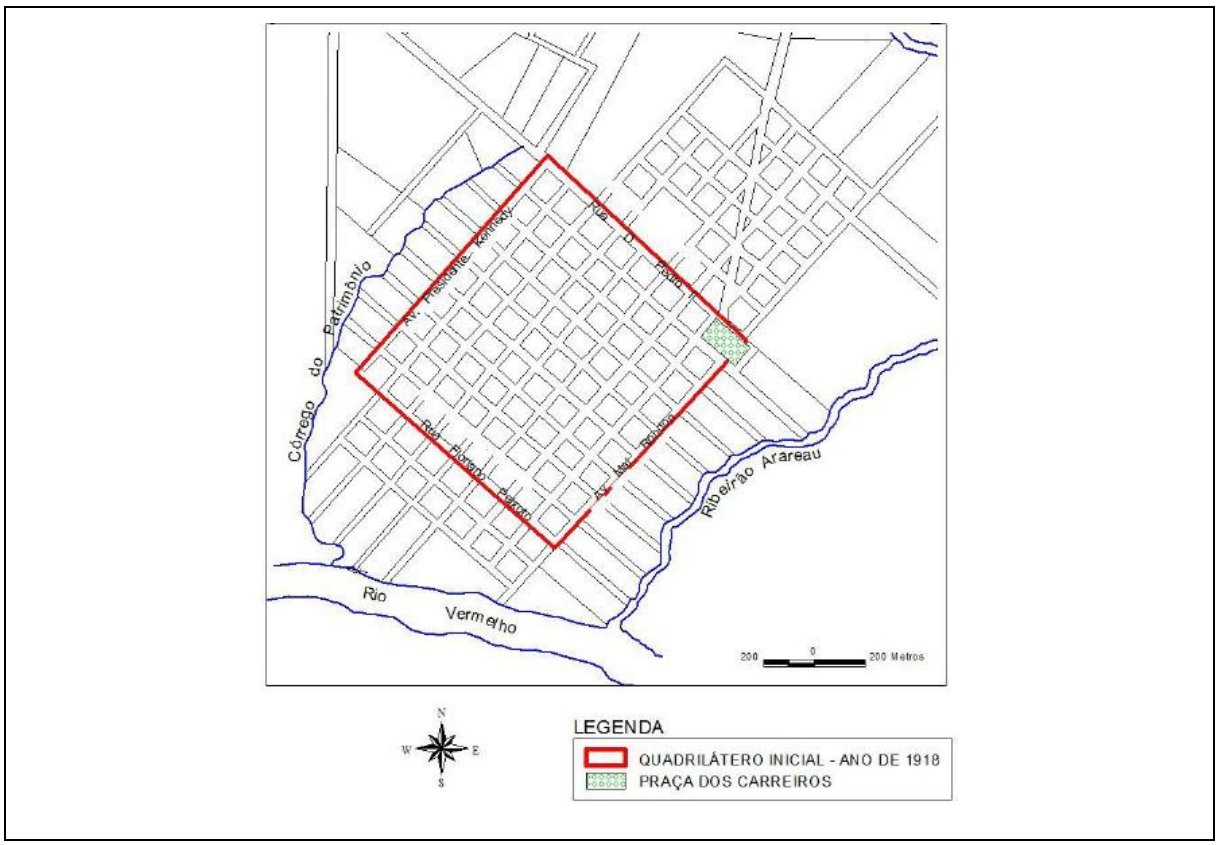
Em um primeiro momento, os migrantes chegavam e se apropriavam das terras devolutas para produzir, entretanto, não produziam tudo o que necessitavam e precisavam ir a capital Cuiabá para promover relações mercantis e trocar parte da produção agrária por outros produtos, como por exemplo o sal. Esses migrantes, em sua maioria goianos, realizaram economia do excedente com o uso de trabalho familiar e as relações comerciais foram se ampliando com a ação de pequenos comerciantes, sobretudo, a partir do final da década de 1940

[22] Resolução Estadual Nº814, de 8 de outubro de 1920.
[23] Lei Estadual Nº 218 de 26 de outubro de 1938.

com a expansão das estradas e pela implantação da “Marcha para o Oeste”. estimulado pelo Governo Federal para ocupação da região Centro-Oeste do país (SUZUKI, 1997; NEGRI, 2008).

O crescimento demográfico foi significativo a partir da década de 1950 a 1960, gerando a primeira expansão da malha urbana com a aprovação dos primeiros loteamentos e doação de terrenos como atrativo para incentivar a migração. Até então havia apenas um quadrilátero inicial (Figura 28), definido em 05/02/1918, pelo Major Otávio Pitaluga, saindo da Rua Marechal Rondon até a Presidente Kennedy e da Rua Dom Pedro II até a Floriano Peixoto (SUZUKI, 1997; NEGRI, 2008; DEMAMANN, 2011; ARAÚJO e NARDES, 2017).

Figura 28 - Quadrilátero central da cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: Demamann (2011)

Suzuki (1997) identifica a existência de dois momentos da urbanização de Rondonópolis que são díspares, mas coexistiam em suas temporalidades e colaboravam no redimensionamento da compreensão do processo de expansão da propriedade privada da terra. O primeiro momento, se refere a um simples povoado, com poucas edificações, algumas ruas e

a vida dos moradores vinculados ao ambiente rural. O segundo momento, trata-se de uma cidade, com vários loteamentos, com edificações e bastante desassociada do rural.

Deste modo, torna-se evidente que essa transição de povoado para cidade não ocorreu de um dia para outro, mas de forma gradual, desde a chegada dos imigrantes, em 1902, até o início da década de 1960. A partir desse período, a apropriação privada da terra por meio da compra e venda possibilitou a transformação da terra em mercadoria, tanto na cidade, quanto no campo. Esse fato, corroborou para a ampliação da produção de excedentes proporcionando a divisão do trabalho e a distinção entre campo e cidade (SUZUKI, 1997).

Com a aprovação dos novos loteamentos ocorreu o aumento populacional e o início de uma virada da população urbana em relação a população rural. Em 1960, o município contava com 22.554 moradores, sendo a maioria 18.072 na zona rural (80,1%) e apenas 4.482, residindo na área urbana (19,9%) (Figura 29).

Figura 29 - Visão área da cidade de Rondonópolis no ano de 1953



Fonte: IBGE (2020)

Para compreender melhor a gênese e o desenvolvimento da cidade de Rondonópolis, é necessário contextualizá-la não apenas em sua dimensão temporal, mas também em sua dimensão regional, levando em consideração os acontecimentos no âmbito da região Centro-Oeste e do estado do Mato Grosso. As primeiras tentativas de ocupação do atual Estado de

Mato Grosso remontam ao século XVI, com as primeiras bandeiras e as descobertas auríferas no início do século XVIII (ciclo do ouro). Estes fatos contribuíram para a expansão das atividades extrativistas e a chegada dos primeiros moradores. Com a crise da extração do ouro e do diamante, os moradores da capitania de Mato Grosso desenvolveram outras atividades extrativas como a produção de aguardente e de açúcar, a produção pecuária, a extração do látex e da erva-mate. Posteriormente, a pecuária cedeu espaço para a agricultura comercial, havendo transformações significativas na estrutura produtiva de Mato Grosso a partir do final da primeira metade do séc. XX (CUNHA, 2008).

A divisão do Estado de Mato Grosso com a criação do Estado de Mato Grosso do Sul em 1977[24], favoreceu o crescimento econômico, e posteriormente, Mato Grosso passou a ser considerado como a principal fronteira agrícola do país, em virtude da elevada expansão do setor agropecuário. A atração pelas terras do cerrado mato-grossense ocorreu devido aos aspectos edafoclimáticos favoráveis (topografia plana, regularidade de chuvas, temperatura elevada e profundidade dos solos), a busca de terras mais baratas (visando aumentar a rentabilidade da exploração agrícola e possibilitar ganhos com valorização do capital fundiário) e economias de escala (com a possibilidade de aumentar a escala de operação, em função do menor valor das terras). Esses fatores proporcionaram um significativo aumento de produtividade e consequentemente se tornou uma prática extremamente rentável (CUNHA, 2008).

A ações do Governo Federal na região, a partir da década de 1970, via políticas e programas de desenvolvimento econômico regional (PIN[25]; PROTERRA[26]; PRODOESTE[27] e POLOCENTRO[28]; PLOAMAZÔNIA[29]), foram criadas as condições necessárias (infraestrutura, pesquisa e extensão agrológica, crédito e financiamento das safras) para a implantação e consolidação do modelo de produção agrícola comercial e empresarial que hoje se encontra instalado nas terras do cerrado do Mato Grosso. Este modelo possui características que o tornam singular no cenário nacional, destacando-se, entre outras, o tamanho das propriedades em que é desenvolvido, uma vez que a maioria dos estabelecimentos são empresas rurais que possuem área superior a 1000 hectares (SANTOS, 2005; FRANCO, 2015).

[24] Lei complementar Nº31, de 11 de outubro de 1977.
[25] Programa de Integração Nacional.
[26] Programa de Distribuição de Terras e de estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste.
[27] Programa de Desenvolvimento do Centro-Oeste.
[28] Programa de Desenvolvimento dos Cerrados.
[29] Programa de Polos Agropecuários de Agrominerais da Amazônia.

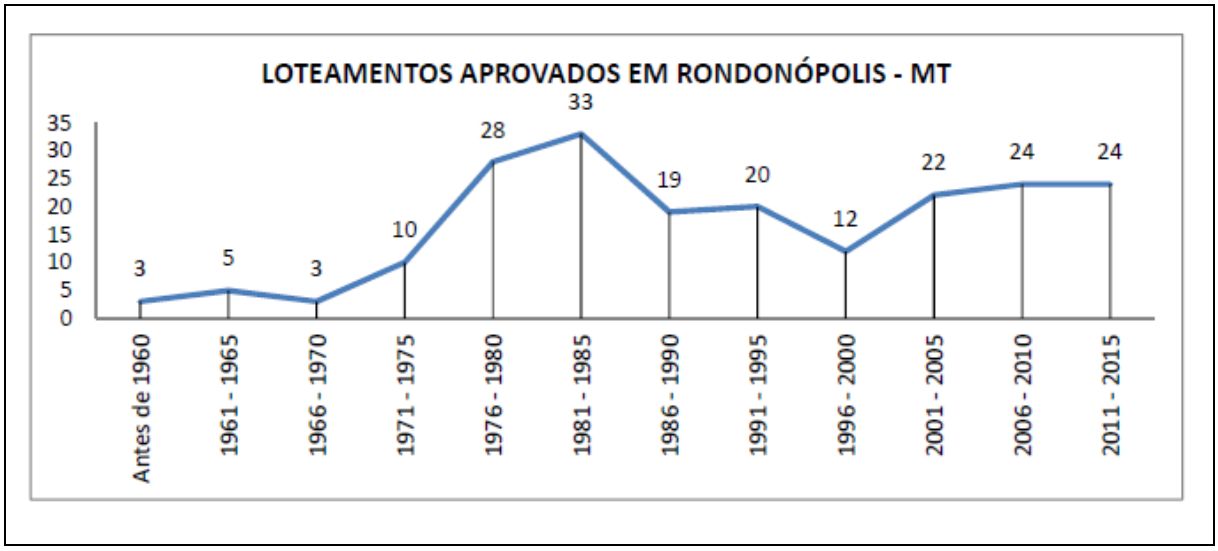
O aumento da mecanização do campo impulsionou a urbanização em Rondonópolis, beneficiando a produção do espaço na cidade, com a consolidação e crescimento do comércio especializado no centro para atender a demanda do campo. Durante a década de 1980, o espaço urbano vai se tornando cada vez mais complexo com o aumento do número de loteamentos em conjuntos habitacionais e a criação do primeiro distrito industrial na área urbana. Neste momento, a cidade ganha impulso na produção agrícola com a implantação do complexo da soja. Instalaram-se dois importantes grupos nacionais processadoras de grãos (SADIA e a CEVAL), atualmente substituídos pelos grupos ADM e BUNGE (DEMAMANN, 2011).

O crescimento econômico do setor agrícola também favoreceu o desenvolvimento da cidade, pois os grandes agropecuaristas tornaram-se fortes agentes produtores do espaço urbano e passaram a investir em novas residências na cidade, estimulando o setor imobiliário, criando áreas de especulação e segregando a população menos favorecida economicamente para os loteamentos de baixo padrão construtivo, localizados nas periferias da cidade. A produção do espaço guiada pelos agentes imobiliários definiu onde seriam as áreas verticalizadas e em quais locais estariam presentes os vazios urbanos favoráveis à expansão horizontal, quase sempre atendendo os interesses políticos e econômicos desses agentes (NEGRI, 2008).

Durante a década de 1990, a cidade de Rondonópolis ganhou projeção como sendo a "Capital do Agronegócio" e o setor agroindustrial cresceu de forma considerável, com empresas e empreendimentos ligados aos setores a montante e a jusante do agronegócio e a criação de mais dois novos parques industriais (Parque Industrial Vetorasso e Parque Industrial Bortoli Razia). Neste contexto, começou um processo de descentralização comercial na área urbana e a cidade passou a ser o polo econômico da região, com aumento demográfico, ampliação da malha urbana e intensificação dos condomínios verticais (DEMAMANN, 2011).

Na década de 2000, com a implantação de novos loteamentos e incorporação da área periurbana à cidade, houve a necessidade de atualização do plano diretor com novos limites para o perímetro urbano e novamente a criação de novas áreas para a especulação imobiliária (DEMAMANN, 2011). De acordo com a Figura 30, observa-se que a cidade de Rondonópolis teve um total de 203 loteamentos aprovados no período de 1960 a 2015, apresentando rápida expansão urbana. Muitas vezes esses loteamentos não foram acompanhados de infraestrutura e equipamentos urbanos para atender a população local, sobretudo, nos bairros mais periféricos e com a presença de população com baixo poder aquisitivo.

Figura 30 - Loteamentos aprovados em Rondonópolis



Fonte: Prefeitura Municipal de Rondonópolis. Org. Duarte (2016).

A homogeneização social de alguns bairros acabou formando "identidades próprias", marcadas no espaço geográfico pelo nível de renda, através das características dos tipos de construções e do modo como organizam o espaço no qual estão inseridos, gerando forte disparidade social entre os bairros do espaço intraurbano. Deste modo, as contradições que se apresentam no espaço urbano de Rondonópolis são grandes, resultando em um processo de segregação socioespacial devido ao crescimento acelerado da cidade vinculado aos períodos econômicos, principalmente, por meio da expansão da fronteira agrícola a partir da década de 1970, baseada na pecuária extensiva e na monocultura da soja (NEGRI, 2008).

No momento em que se intensificou a produção agrícola com a chegada de migrantes, houve o aumento da demanda por moradias e logo surgiram loteamentos sem nenhuma estrutura urbana, cada vez mais afastados (MOREIRA, 2017; TORRES, 2017). Essa ocupação de forma inadequada gerou diversos impactos ambientais urbanos e a ocupação das áreas de preservação permanentes pela população de baixa renda nas margens e nascentes dos rios (PORTELA e TARIFA, 2017).

3. 2 - Caracterização geoambiental e o clima no ambiente tropical continental

A extensão territorial do estado de Mato Grosso, localizado na porção central da América do Sul, impõe características específicas dos climas continentais das latitudes intertropicais. Uma das principais propriedades climatológicas dessa realidade é estar justamente situado em uma área de transição entre os climas tropicais continentais, compostos com cerrado, e os climas equatoriais continentais, integrados com a Floresta Amazônica. Da

mesma maneira, a localização continental, distante entre 1.400 a 2.000 Km do Oceano Atlântico, lhe confere padrões climáticos sazonais com alternância em uma estação úmida (novembro a março), e outra estação seca (maio a setembro), com os meses de outubro e abril sendo considerados períodos de transição entre as estações (SETTE e TARIFA, 2002 e 2007).

> A região Centro-Oeste, mercê de sua posição central no continente sul-americano e de sua própria configuração morfológica, desempenha um papel importantíssimo na circulação geral do continente. A planície paraguaia tendo os rebordos do Planalto Brasileiro a leste e os da cordilheira dos Andes a oeste - funciona como um verdadeiro corredor onde ora sopram os ventos quentes da Amazônia, ora os ventos frios do sul (MONTEIRO, 1951, p.10).

Sette (2005, p. 33-35) apresentou a gênese dos climas no cerrado, com recorte para o Estado de Mato Grosso, a partir de imagens de satélites e cartas sinóticas e identificou os seguintes sistemas atmosféricos (Figura 31):

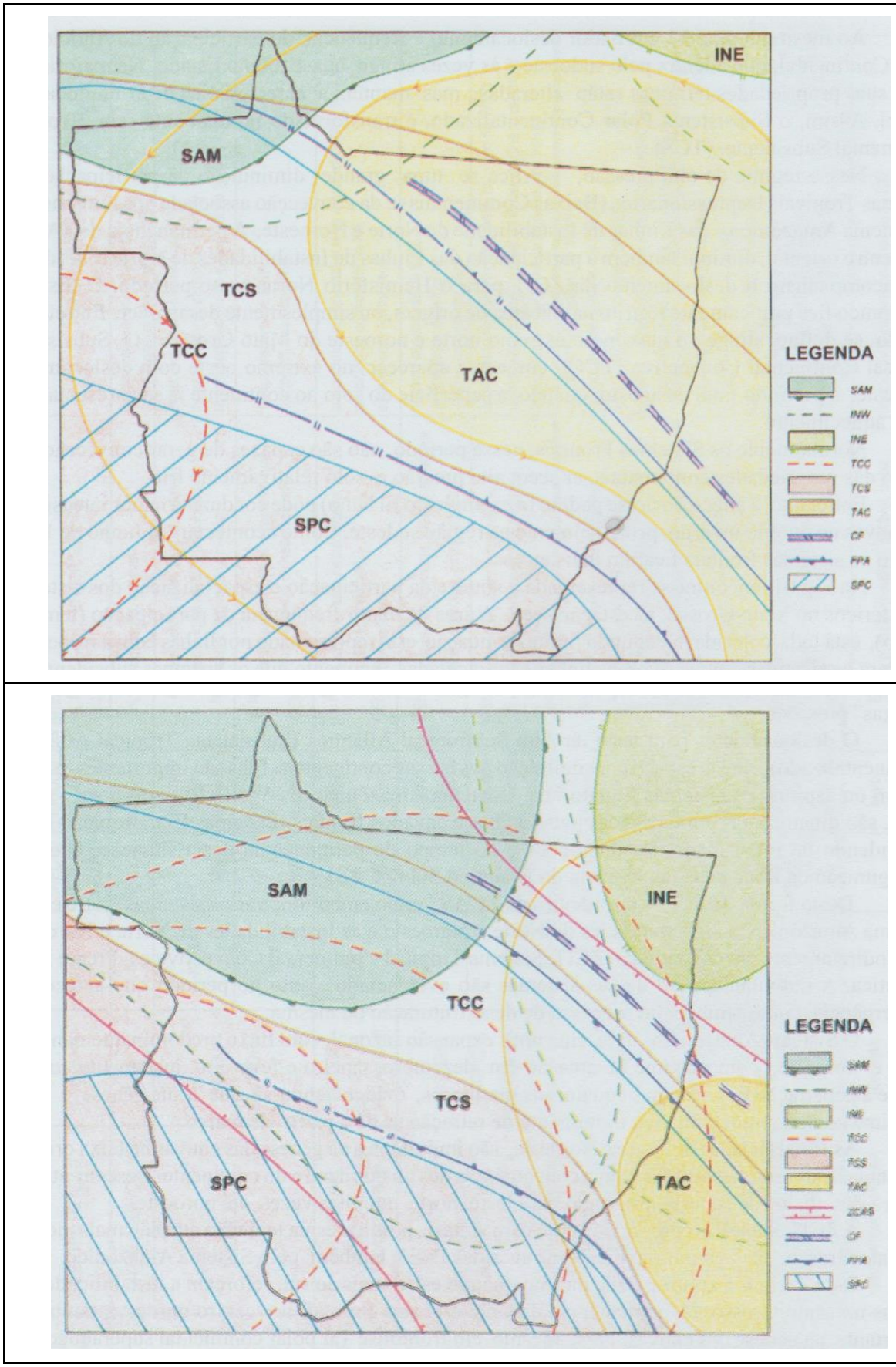
> **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT):** é um dos sistemas mais importantes da faixa equatorial. Sua atuação no extremo Norte e Nordeste do Estado de Mato Grosso está associada ou com a convergência dos alísios dentro do continente, ou pelo giro dos alísios de sudeste, passando para leste, nordeste, noroeste, em direção a baixa continental. [...] A frequência e a maior atividade deste sistema ocorrem no final do verão e início do outono (fevereiro-março até março-abril). (SETTE, 2005, p.33).
>
> **Sistema Equatorial:** origina-se na faixa equatorial das baixas pressões e são três as suas fontes de origem: a Zona dos Alísios de SE do anticiclone do Atlântico Sul, a Equatorial Atlântica; Zona dos Alísios de NE do anticiclone do Atlântico Norte (dos Açores), a Equatorial Norte; [...] O Subsistema Equatorial Continental, que se encontra mais próximo de Mato Grosso, é de caráter transitório [...], fica restrito ao Estado do Amazonas, enquanto que a expansão para região amazônica, que inclui o Mato Grosso, se dá a partir da atuação dos fluxos oceânicos em direção ao continente [...] São fluxos bem definidos em forma de Linhas de Instabilidades, vindas da Amazônia, geralmente na direção noroeste, sendo extremamente instáveis e provocando chuvas intensas. (SETTE, 2005, p.34).
>
> **Sistema Tropical Continental (STC):** está associado às várias depressões continentais (do Chaco-Pantanal, Bolívia e Rondônia). Trata-se de uma depressão barométrica e suas propriedades térmicas estão associadas ao aquecimento das terras baixas do continente sul americano. O forte aquecimento da superfície continental, principalmente na primavera-verão, proporciona a este sistema altas temperaturas, baixo teor de umidade e baixas pressões (quente, seco e instável). (SETTE, 2005, p.34).
>
> **Sistema Tropical Atlântico (STA):** Sua fonte de origem está ligada ao Anticiclone semifixo do Atlântico Sul (23 a 30º LS), sendo que o ramo descendente da circulação de Hadley sofre aquecimento adiabático e torna-se um sistema quente, seco, estável, desprovido de nebulosidade, com ausência

> de precipitação. Sua entrada no continente, no outono-inverno, condiciona a estação seca. No Mato Grosso, por estar bem distante de sua fonte de origem, foi denominado de **Sistema Tropical Atlântico Continentalizado (TAC)**. Normalmente o TAC se configura, no Mato Grosso, a partir do momento em que não se identifica mais a faixa de convergência frontal, sendo a sua entrada, quase sempre, pelo setor oriental do Estado. (SETTE, 2005, p.34).
>
> **Sistema Polar Atlântico (SPA):** este sistema acompanha a evolução e o deslocamento da frente polar no continente sul americano. Em função de sua trajetória, pode ser classificado como de origem oceânica ou continental. No Mato Grosso, por ser um dos últimos estágios da trajetória continental, denominamos de **Sistema Polar Continentalizado (SPC)**. É mais frequente durante o inverno, quando provoca o fenômeno da "friagem" nas regiões centrais do Continente Sul Americano. **A Frente Polar Atlântica (FPA)** tem seu eixo principal no Mato Grosso e depende do tipo de ciclogênese e do deslocamento do sistema frontal. (SETTE, 2005, p.35).
>
> **A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS):** É um sistema de escala zonal que tem sua origem tanto por fatores remotos quanto locais. É um evento em que há convergência de umidade e nebulosidade, com uma interação tridimensional de sistemas (Cavados Frontais, Complexos Convectivos, Fluxo de NW da Amazônia, Alta da Bolívia, Jatos) induzidos por determinadas situações que favorecem tal configuração. Forma-se principalmente durante a primavera-verão, orientado de NW/SE na América do Sul. De início, corta o Mato Grosso inteiro, estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul. No entanto, apresenta um movimento SW/NE e, dessa forma, no sudoeste do estado, os episódios de ZCAS têm um tempo de permanência menor, já que caminha em direção nordeste. (SETTE, 2005, p.35).

Outros importantes estudos foram realizados na porção central do país e abordaram a dinâmica atmosférica e contribuíram para a classificação climática da região, tais como, Nimer (1979), Zavatini (1990 e 2009) Maitelli (2005), Borsato e Mendonça (2014).

De modo geral, a região Centro-Oeste durante a estação seca (maio a setembro) permanece sobre atuação dos sistemas atmosféricos tropicais continentais, com a presença de tempo estável sobre um longo período. Na estação chuvosa a instabilidade está sujeita a três diferentes sistemas de circulação ou correntes perturbadas, dentre os quais destacam-se: o sistema de correntes perturbadas de oeste (Instabilidade tropicais), o sistema de correntes perturbadas de norte (Zona de Convergência Intertropical) e o sistema de correntes perturbadas de Sul (Frente Polar Atlântica), (NIMER, 1979 *apud* TEOBALDO NETO, 2019). Ainda ligados a esses fenômenos temos grande presença de nebulosidade, associadas aos cavados, as Zonas de Convergências de Umidade e as Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Figura 31 - Síntese dos sistemas atmosféricos no Mato Grosso (Estação Seca e Chuvosa)



Fonte: Sette e Tarifa (2007), Org. Sette (2000).

Neste trabalho, os sistemas atmosféricos foram qualificados a partir da leitura e interpretação das cartas sinóticas da Marinha do Brasil[30] e do CPTEC-INPE em conjunto com as imagens do satélite GOES-16[31], banda 13 do canal infravermelho. Optou-se por utilizar os boletins técnicos do CPTEC-INPE[32] para auxiliar na caracterização dos sistemas atmosféricos atuantes e levou-se em consideração as classificações desenvolvidas por Varejão-Silva (2000) e Biscaro (2007). Dentro do período de análise diferentes sistemas atmosféricos foram identificados na região e serão descritos de forma mais aprofundada em conjunto com a Análise Rítmica, sendo eles: Massa Tropical Continental (mTc), Massa Tropical Atlântica (mTa), Massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTac) Massa Equatorial Continental (mEc), Massa Polar Atlântica (mPa), Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt), Frente polar Atlântica (FPA), Repercussão da Frente Polar Atlântica (Rep), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Instabilidade Tropical (IT) e Cavados (CV).

A cidade de Rondonópolis está sujeita a atuação desses sistemas atmosféricos e de acordo com Sette (1996) o clima é caracterizado por uma temperatura média anual de 25ºC, sendo a média das máximas de 32,6ºC e a média das mínimas 18,6ºC. Ela identificou que os meses de setembro e outubro são os mais quentes com temperaturas médias acima de 26ºC, e os meses de junho (21,9ºC) e julho (22,3ºC) são aqueles que apresentam as menores médias.

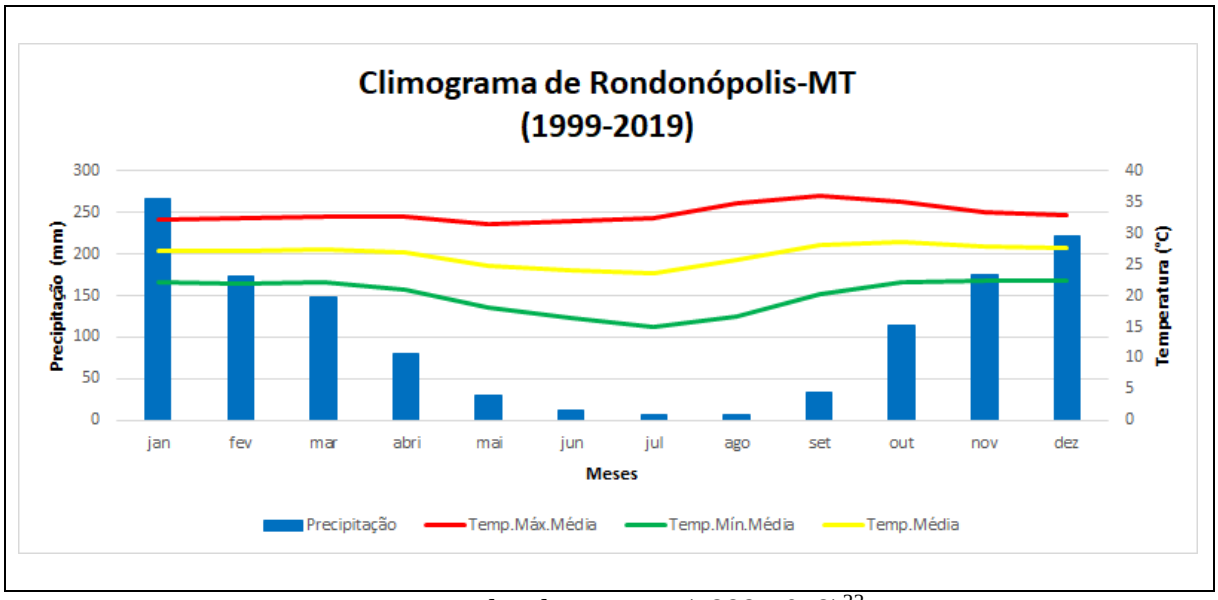
De acordo com o Climograma (1999-2019) elaborado para a cidade de Rondonópolis (Figura 32), pode-se perceber que a cidade apresentou precipitação total média anual de 1.268,7 mm e uma antecipação do período chuvoso de outubro a março. Em determinados anos a estação chuvosa se prolonga até o mês de abril que apresentou um total médio no período de 80,7 mm de precipitação. A estação seca se prolonga de maio a setembro e tem os meses de julho e agosto com uma média de 7,2 mm e 7,5 mm, respectivamente, se configurando como os meses mais secos no período.

Dentro do período analisado as temperaturas apresentam um padrão típico do clima tropical continental com uma pequena diminuição nos meses de inverno (estação seca) e manutenção da temperatura elevada nos meses de verão (estação chuvosa). Assim como apontado por Sette (1996) o mês de outubro continuou sendo o mais quente do ano com uma

[30] Disponível pela Marinha do Brasil < https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>.
[31] Disponível pelo CPTEC-INPE <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>.
[32] Disponível pelo CPTEC-INPE < http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>.

temperatura máxima média de 28,6ºC. Em relação a temperatura mínima mensal para o período o mês de julho apresentou as menores temperaturas médias de 15,1ºC.

Figura 32 - Climograma de Rondonópolis-MT (1999-2019)



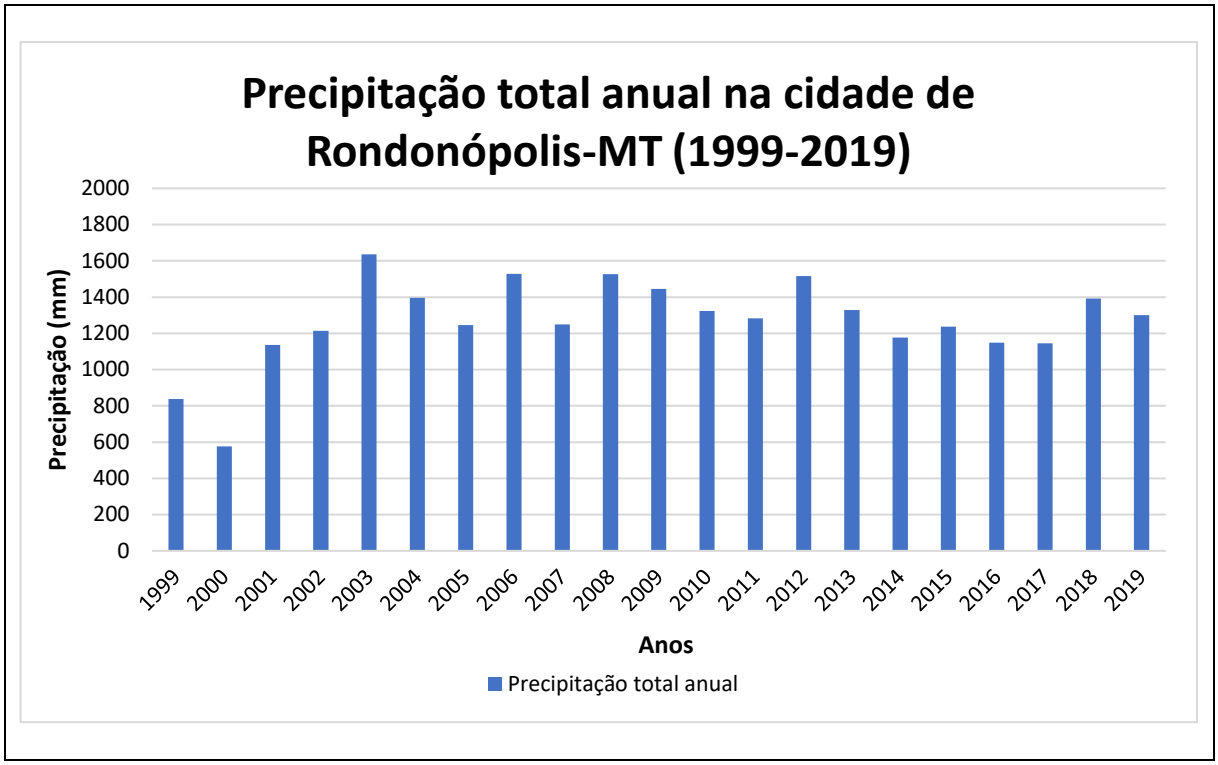
Fonte: Dados do INMET (1999-2019)[33]

Em relação a precipitação (Figura 33), a cidade de Rondonópolis não apresenta totais pluviométricos elevados, com precipitação média anual de 1268,7 mm. Durante o período de 1999-2019, o maior total pluviométrico anual ocorreu no ano de 2003, atingindo um acumulado de 1.636 mm. Ao longo dos vinte anos analisados, pode-se perceber que os totais pluviométricos ultrapassaram os 1.500 mm em quatro anos (2003, 2006, 2008 e 2012) e estiveram abaixo de 1.000 mm em dois anos (1999 e 2000).

Em relação a temperatura, houve um aumento em relação aos dados apresentados por Sette (1996), quando a temperatura média das máximas passou de 32,6ºC para 33,2ºC e a temperatura média das mínimas passou de 18,6ºC para 20ºC no período analisado. Verifica-se uma tendência de aumento das temperaturas médias das máximas e média das mínimas ao longo do período anasalado (Figura 34 e Figura 35). Entende-se que aumento pode estar relacionado a diferentes fatores, tais como, aumento da temperatura na escala global, aumento da temperatura na escala local caracterizado pelo clima urbano e incorporação da estação meteorológica pelo processo de expansão urbana.

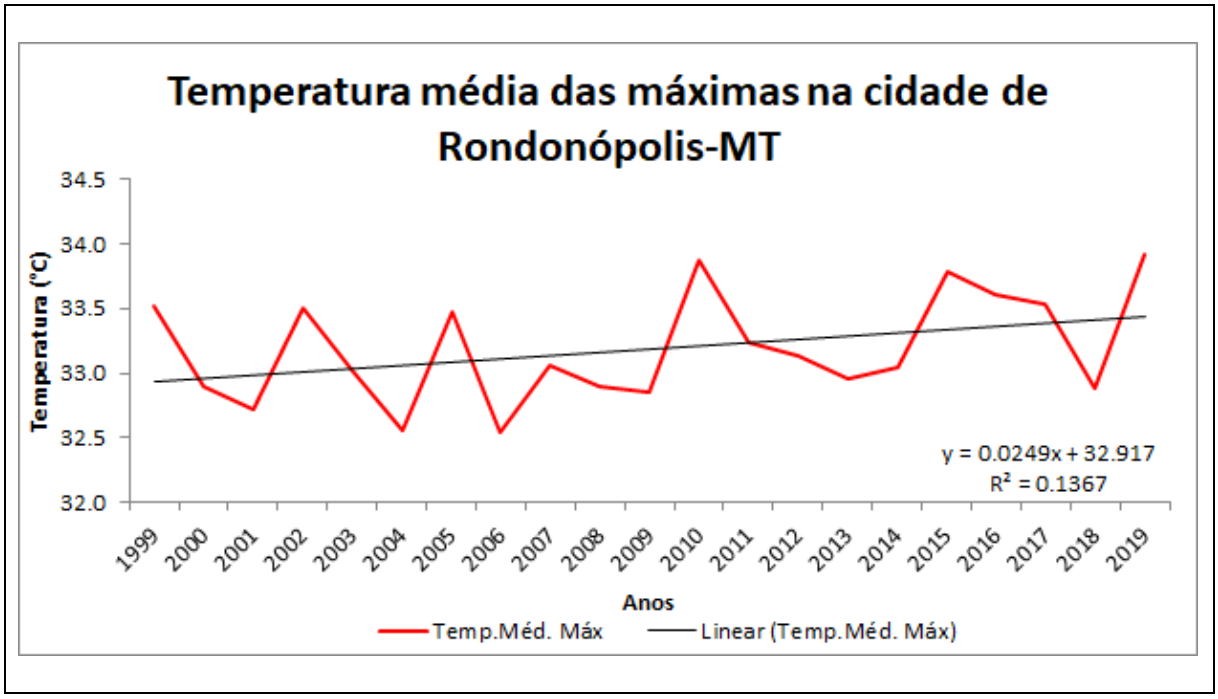
[33] Os dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados históricos (1999-2016) se referem a estação convencional (OMM: 83410) e os dados (2016-2019) são da estação automática (A907), ambas localizadas no campus da Universidade Federal de Rondonópolis.

Figura 33 - Precipitação total anual na cidade de Rondonópolis- MT (1999-2019)



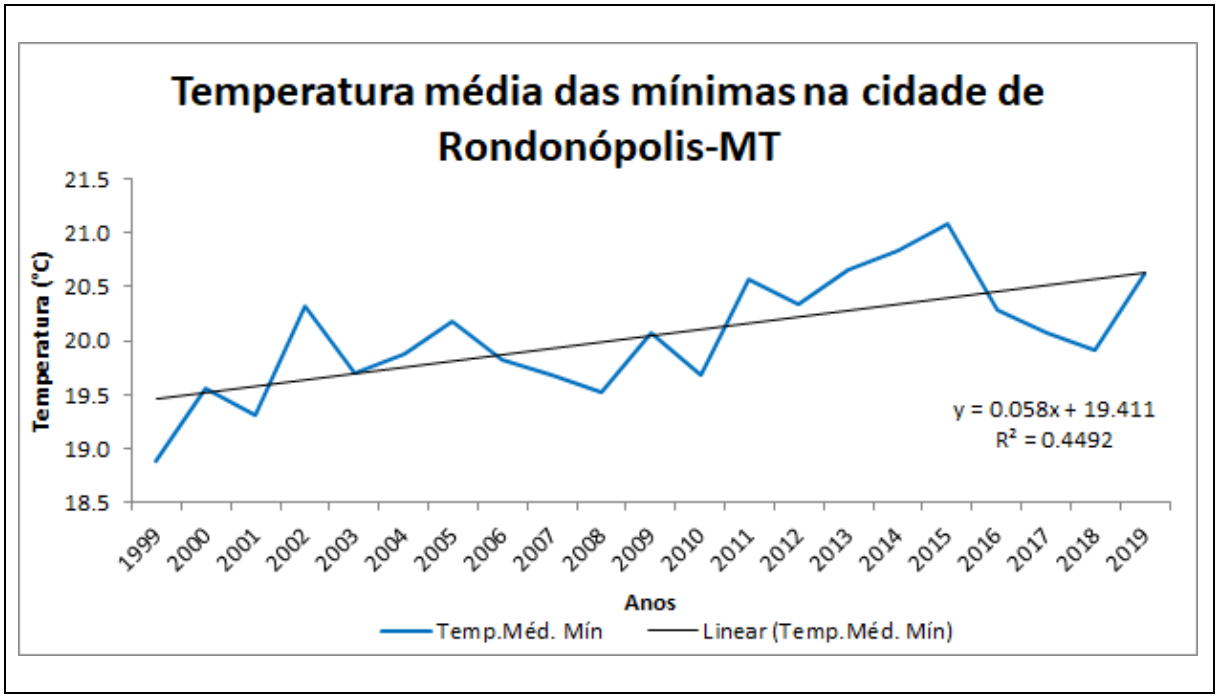
Fonte: Dados do INMET (1999-2019)

Figura 34 - Temperatura média das máximas em Rondonópolis-MT



Fonte: Dados do INMET (1999-2019)

Figura 35 - Temperatura média das mínimas em Rondonópolis-MT



Fonte: Dados do INMET (1999-2019)

O município de Rondonópolis teve diversos usos e ocupações da terra ao longo do tempo, sobretudo com a implantação de pastagens e lavouras para o agronegócio. Deste modo, a vegetação originária composta pelo cerrado com um componente herbáceo contínuo e árvores dispersas foi praticamente todo desmatado, sobrando pequenas áreas próximas aos fundos de vale (Figura 36). O cerrado representa uma formação complexa entre um campo e uma floresta. As espécies que compõem o domínio dos cerrados evoluíram criando formas adaptativas para superar as dificuldades impostas pelo tipo de clima, de solo e pelo fogo (SANT'ANNA et al, 1989; SETTE, 2005).

> Dentro do Domínio do Cerrado, existem diferentes ecossistemas que ocorrem de acordo com a associação de diversos fatores como: a topografia, orientação do relevo, altitude, solo, drenagem do terreno, clima e acontecimentos pelos quais tem estado exposta cada área. Os principais ecossistemas que compõem este domínio são: Cerradão, Cerrado, Vereda Buriti, Campo Cerrado, Mata de Galeria, Campo Sujo, Campo Limpo e Campos Rupestres (SETTE, 2005, p.31).

A cidade de Rondonópolis apresenta uma grande variedade de classes de solos, destacando-se os Latossolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelho-Amarelo, Neossolos Litólicos e Plintossolos (Figura 36). De modo geral, estes solos são profundos, bem drenados, bem estruturados, de baixa capacidade de retenção de água, altamente intemperizados e de

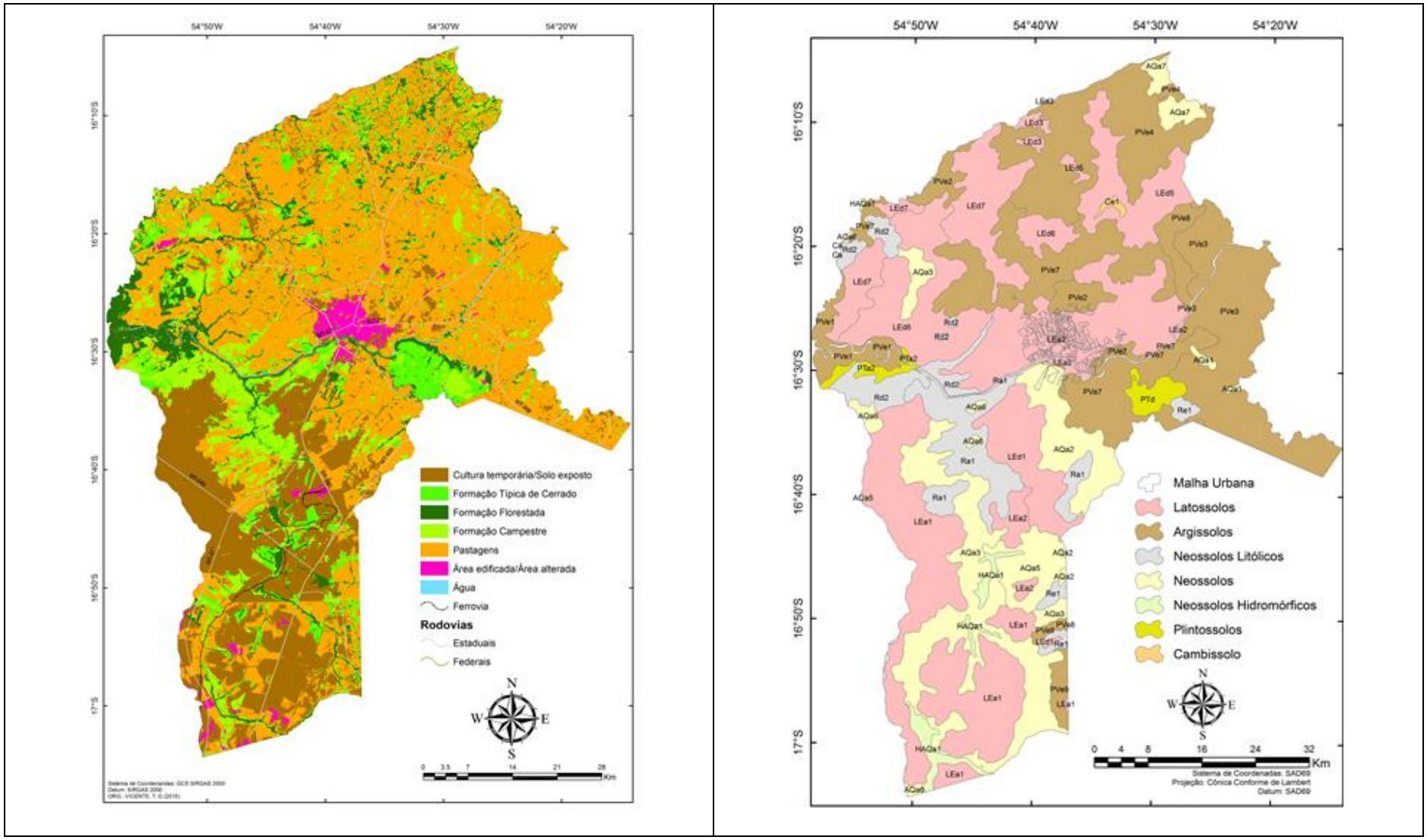
baixa fertilidade natural, que dão sustentação à cobertura vegetal do Cerrado (SANT'ANNA et al, 1989; ELY, 2001; SANTOS et al. 2016; GUIRRA, 2017).

A drenagem predominante do sítio onde se assenta a cidade de Rondonópolis fica sobre o vale do Rio Vermelho e seu afluente, o Ribeirão Arareau, que fazem parte da bacia do rio São Lourenço, afluente do Pantanal. De modo geral, a drenagem desenvolve-se sob o padrão paralelo, condicionado pelo sistema de falhas e o ribeirão Ponte de Pedra comanda esta seção da rede hidrográfica, seu leito percorre no sentido norte/sul. A drenagem estabelecida na porção setentrional diferencia-se por apresentar um padrão dendrítico, com maior concentração de cursos hídricos, que abarcam os principais rios que cortam o município (PORTELA, 2016).

Em relação aos aspectos geológicos, o município faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná, que comporta as Formações Furnas e Ponta Grossa. A Formação Furnas caracteriza-se por uma sedimentação oriunda de sistemas deposicionais fluvial a marinho raso, predominam arenitos esbranquiçados e amarelados e grãos de quartzo médio à grossos. A Formação Ponta Grossa é composta por siltitos e folhelhos de cores cinza a cinza-esverdeados, com intercalações de arenitos finos a muito finos. Além deste grupo, aflora na região a Formação Aquidauana, caracterizada por depósitos fluviais e lacustres, sedimentados durante o Carbonífero superior - Permiano Inferior (SANT'ANNA et al., 1989; ELY, 2001; GUIRRA, 2017).

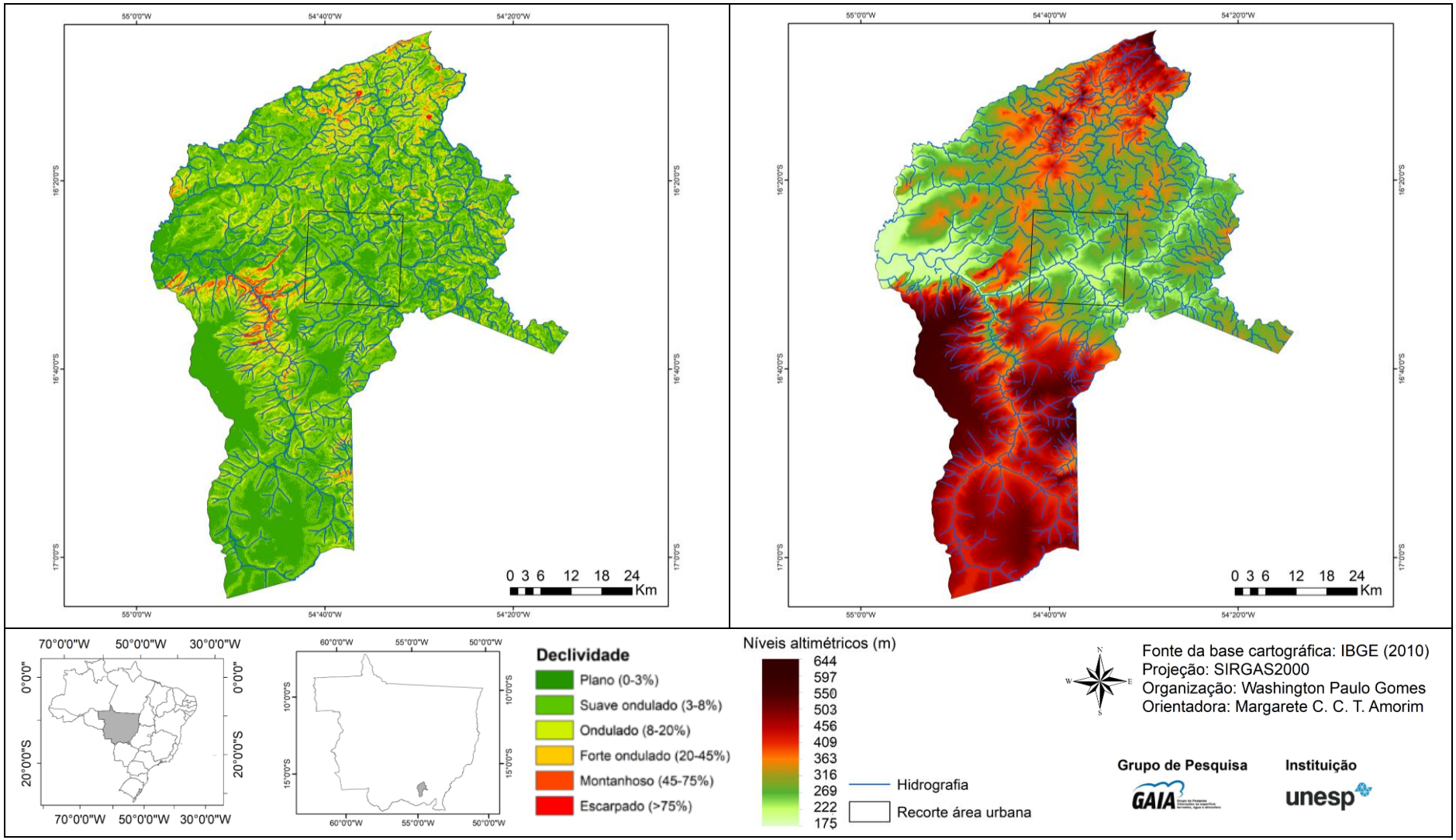
Do ponto de vista geomorfológico Rondonópolis está inserida na seção Sudoeste do Planalto Brasileiro, caracterizado como uma grande bacia sedimentar, apresentando um processo de subsidência da parte central devido à sobrecarga de sedimentos, formando um baixo platô (ELY, 2001). Essa Depressão Interplanáltica é dominada por terrenos devonianos da Formação Ponta Grossa, que ocorrem de forma contínua da parte central para o sul. A parte norte é ocupada por terrenos Permo-Carboníferos da formação Aquidauana, e na parte oeste afloram pequenos núcleos de sedimentos cretáceos e terciários. O relevo do município é constituído de terrenos aplainados, de chapadões levemente ondulados com baixa declividade (Figura 37). Não apresenta altitudes muito elevadas com mais de 600 metros (NEGRI, 2008; PORTELA, 2016; GUIRRA, 2017).

Figura 36 - Uso e ocupação da terra e classes de solos de Rondonópolis



Fonte: Santos et al. (2016), Org. SEPLAN (2012)

Figura 37 - Declividade e hipsométrico do município de Rondonópolis-MT



Elaboração: Autoria própria

De acordo com Guirra (2017) a maior parte do perímetro urbano está contido na Depressão Interplanáltica de Rondonópolis, o padrão geomorfológico mais comum se apresenta na forma de colinas, planícies fluviais associadas à terraços alúvio-coluvionares e em terraços fluviais. Verifica-se que as formas semelhantes do relevo mais comuns neste território são representadas por colinas de topo estreito e aplainado, colinas amplas com vertentes longas e colinas alongadas com topo plano. O recorte escolhido na área urbana de Rondonópolis apresenta altitudes de 197 metros à 393 metros de altitude (Figura 38).

A declividade do terreno (Figura 39) foi elaborada de acordo com a classificação da Embrapa (2009, p. 287), que estabelece seis diferentes classes de relevo:

> **Plano** - superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%.
> S**uave ondulado** - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%.
> O**ndulado** - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%.
> F**orte ondulado** - superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%.
> M**ontanhoso** - superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%.
> E**scarpado** - áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: frentes de cuestas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75%.

A cidade não apresenta relevos muito declivosos e a maior parte está classificado como plano e suave ondulado às margens do rio Vermelho e poucas áreas mais afastadas como ondulado ou forte ondulado, sobretudo em algumas vertentes mais íngremes.

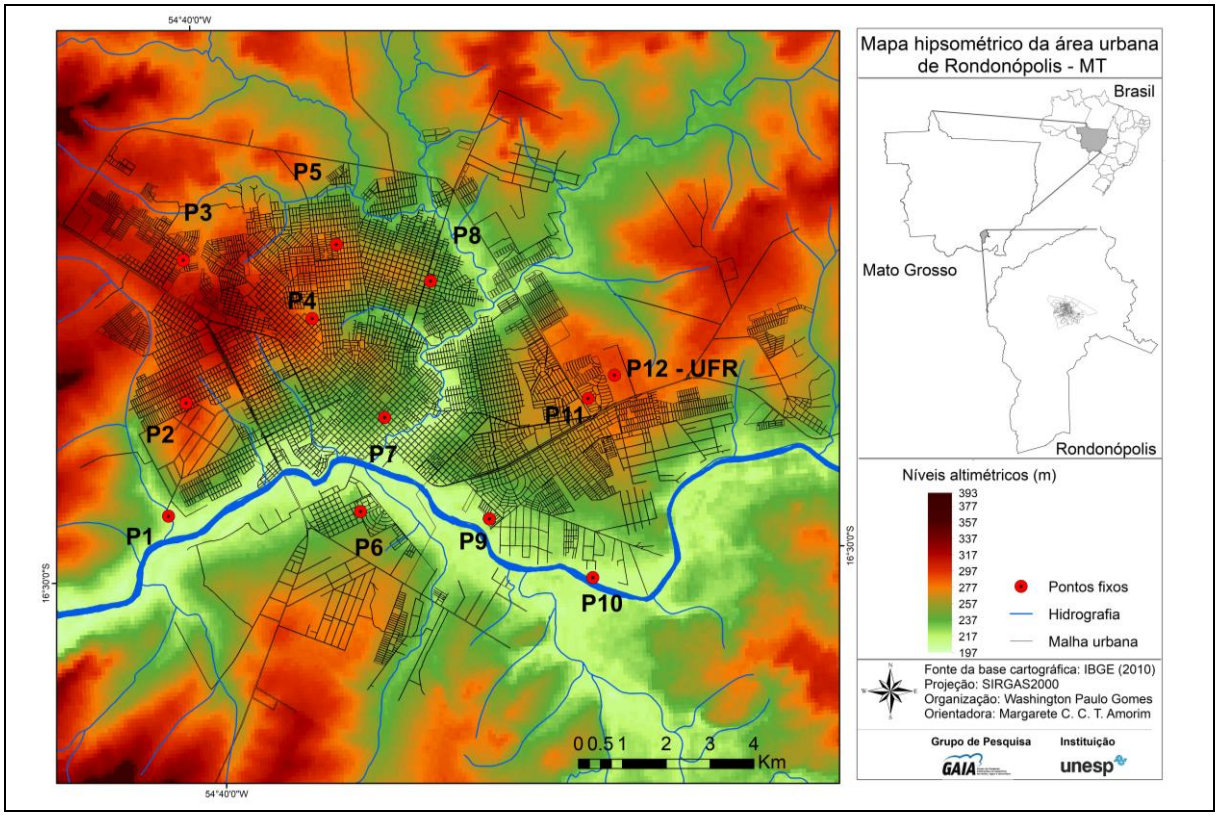
O mapa de orientação das vertentes da área de estudo foi organizado em nove classes: Plano, Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste (Elaboração: Autoria própria

Figura 40). Devido às características pouco declivosas do relevo, não é possível identificar a predominância de apenas uma das orientações das vertentes. Os trabalhos de clima urbano e, sobretudo, aqueles que se referem ao canal termodinâmico, devem se atentar de forma mais contundente para os mapas de orientações das vertentes. Sendo que os mesmos possuem

particularidades que podem contribuir para a compreensão das características das temperaturas do ar e mais especificamente as temperaturas de superfície. O efeito sombra em conjunto com a orientação das vertentes, pode indicar as áreas que recebem mais ou menos incidência da radiação solar de forma direta dependendo da hora do dia. De acordo com o movimento aparente do sol, as vertentes voltadas para os quadrantes sul e oeste demoram a receber a radiação direta, resultando em temperaturas menores quando comparadas com as vertentes voltadas para os quadrantes leste e norte no período da manhã, pois recebem as primeiras radiações solares e são as áreas aquecidas mais rapidamente (AMORIM, 2020).

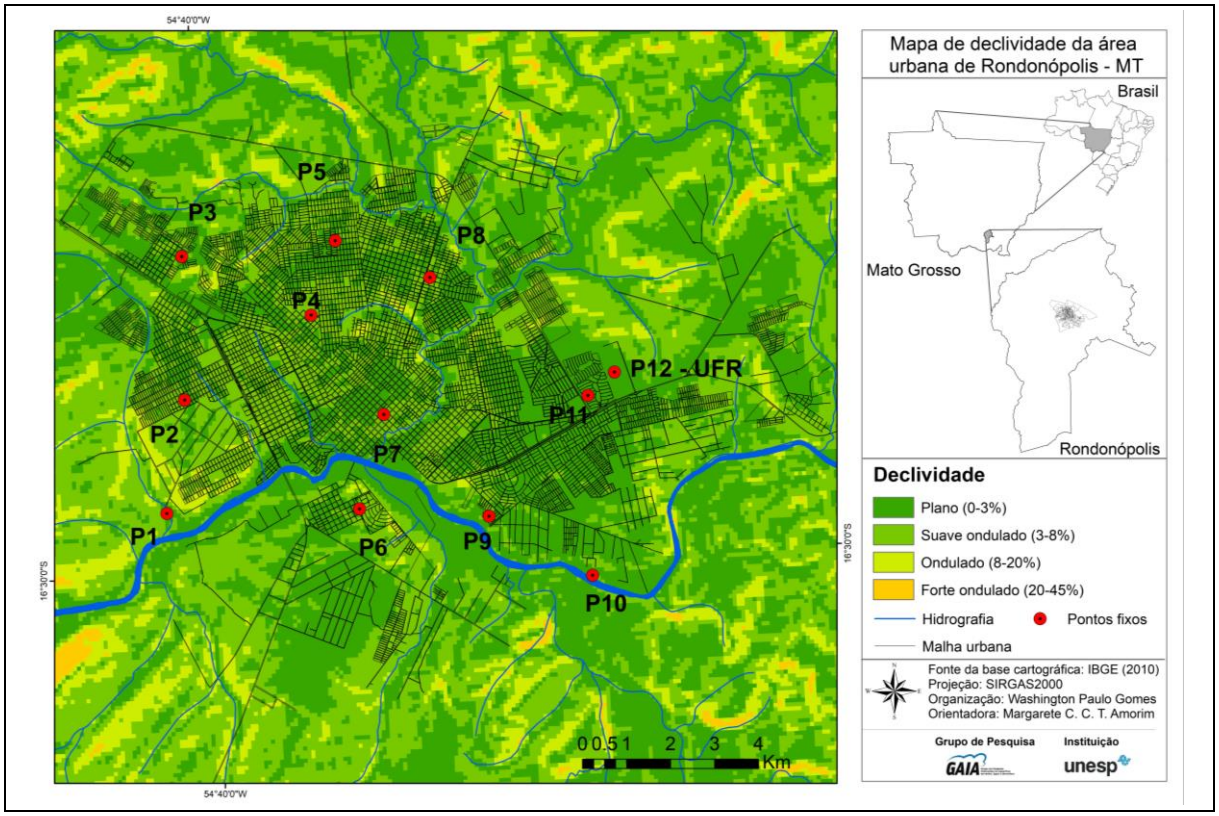
O mapa de relevo sombreado surge como mais um aspecto que pode contribuir para as análises dos trabalhos relacionados ao clima urbano, sendo possível identificar as áreas de maiores sombreamentos e áreas de maiores exposições solar (Figura 41). Os relevos sombreados ajudam a visualizar dados de superfície tridimensionais em um ambiente bidimensional. Realiza o sombreamento e ilumina feições de superfície baseadas na posição de um a fonte de luz, lançando sombras que tornam as feições de superfície reconhecíveis. As duas configurações mais importantes no sombreamento são azimute e altitude. Elas informam a posição do sol usada para iluminar a superfície. O azimute é a direção angular do sol, enquanto que a altitude é a elevação do sol sobre o horizonte. Alterar o azimute expõe células diferentes, enquanto que alterar a altitude torna as sombras mais longas ou mais curtas. Neste caso, o sol foi posicionado na configuração de azimute 315 graus e altitude de 45 graus (GOMES, 2017).

Figura 38 - Hipsometria da área urbana de Rondonópolis-MT



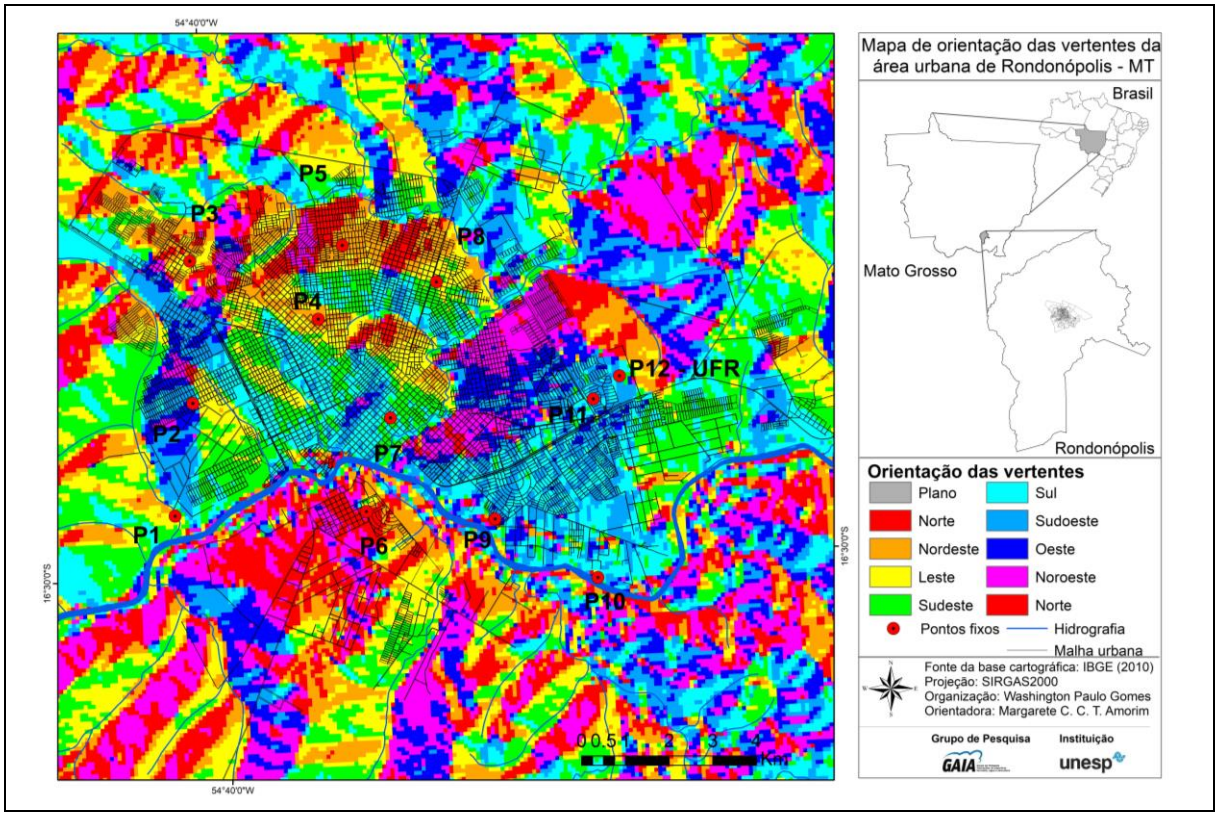
Elaboração: Autoria própria

Figura 39 - Declividade da área urbana de Rondonópolis-MT



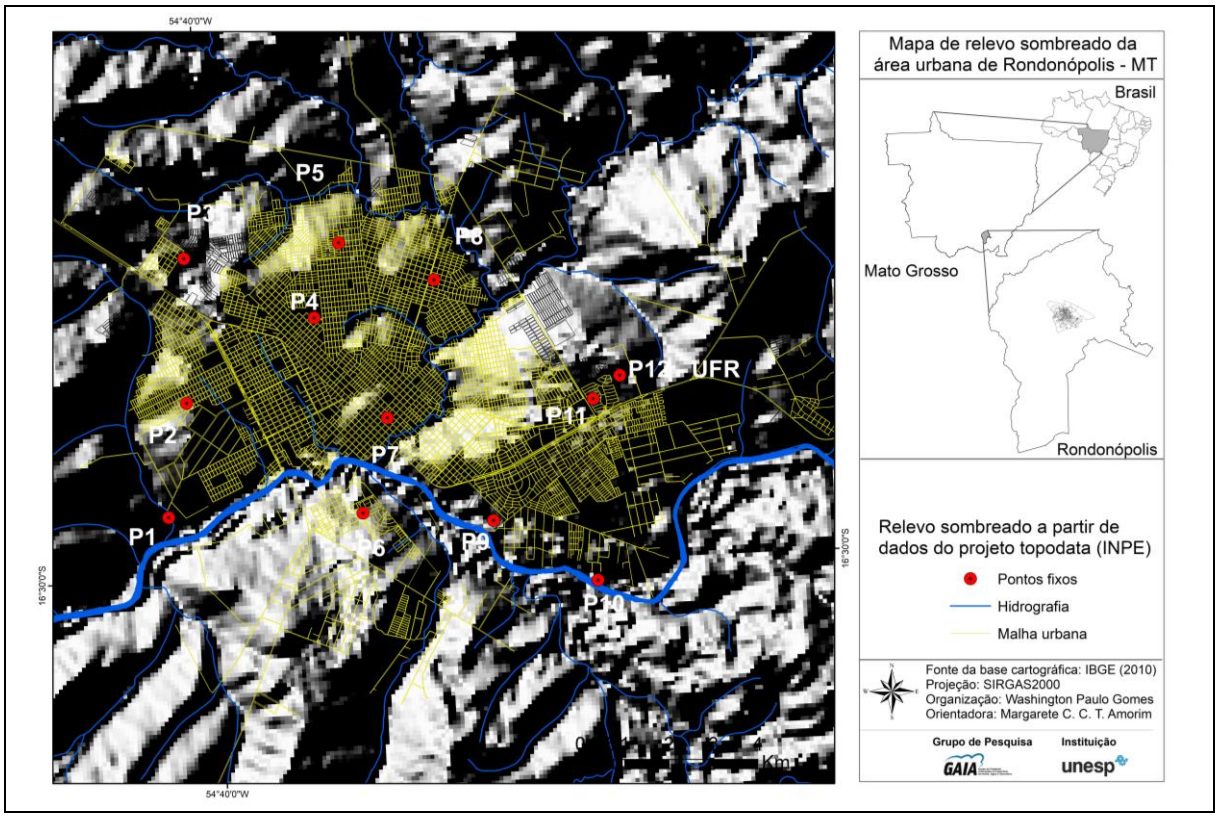
Elaboração: Autoria própria

Figura 40 - Orientação das vertentes da área urbana de Rondonópolis-MT



Elaboração: Autoria própria

Figura 41 - Relevo sombreado da área urbana de Rondonópolis-MT



Elaboração: Autoria própria

4 - A ILHA DE CALOR EM AMBIENTE TROPICAL: O CASO DE RONDONÓPOLIS-MT

4.1 - A intensidade da ilha de calor de superfície

A utilização do sensor infravermelho termal por meio das imagens de satélites se configura como uma técnica importante para conhecer a temperatura intraurbana e auxilia na compreensão da forma como o desenho das ilhas de calor de superfícies ocorrem no espaço, em relação ao uso e ocupação da terra. Os sensores remotos para a detecção das temperaturas de superfícies apresentam vantagens, pois fornecem dados frequentes da superfície terrestre e possibilitam o estudo do ambiente térmico urbano em diferentes escalas espaciais e temporais.

Os avanços, métodos, aplicações e limitações das técnicas do sensoriamento remoto aplicado aos estudos do clima urbano foram explorados em diversos estudos no Brasil e no mundo (VOOGT e OKE, 1997 e 2003; PÉREZ GONZALEZ e GARCÍA RODRIGUES, 2002; MENDONÇA e DUBREUIL, 2002 e 2005; ARNFIELD, 2003; WENG e LARSON, 2005; DUBREUIL, 2005; BIAS e BATISTA, 2005; SOUSA e BATISTA, 2005; CHEN et al. 2006; ANDRADE, et al. 2007; WENG, 2009; AMORIM e MONTEIRO, 2011; NGIE et al. 2014; ZHOU et al. 2014; HUANG et al. 2016; ZHOU et al. 2019).

Zhou et al. (2019), realizou levantamento sobre as publicações em periódicos referentes aos estudos das ilhas de calor de superfícies usando o banco de dados *ISI Web of Science e Google Scholar* de 1972 a 2018. Até 2005 as produções não passaram de cinco artigos publicados por ano, mas cresceram exponencialmente entre 2006 e 2010, sendo 40% maior que o total de produções de 1972 a 2005. A taxa de crescimento continuou a aumentar e pode ser atribuída ao crescente interesse de pesquisas na área de clima urbano associado ao acelerado processo de urbanização e devido aos avanços das técnicas de sensoriamento remoto, atrelado ao desenvolvimento da computação que proporcionou o aumentou da quantidade e da qualidade dos dados para as pesquisas.

De acordo com o autor, o volume de produções também apresenta um viés geográfico, sendo que dentro do universo de análise, 62% concentrou-se predominantemente no continente asiático, seguido pela América do Norte e Europa. No continente Africano, na América do Sul, América Central e Oceania houve poucos estudos publicados em inglês e, por tanto, quase não teve representatividade com menos de 37 publicações em todo o período. As principais cidades analisadas estão localizadas na China (Pequim, Xangai, Nanjing, Guangzhou e Wuhan), Estados Unidos (Indianápolis e Phoenix), França (Paris) e Alemanha (Berlim).

A ilha de calor de superfície é causada essencialmente por alterações no balanço de energia superficial (Figura 42) após a substituição da cobertura da terra de vegetação natural por superfície artificial (OKE, 1978; ARNFIELD, 2003). O balanço de energia de uma superfície urbana típica pode ser expresso como (ZHOU et al. 2019):

$$Q_I + Q_{L\downarrow} + Q_F = Q_R + Q_{L\uparrow} + Q_E + Q_H + Q_S \quad (12)$$

Onde:

Q_I é a radiação solar incidente;

$Q_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa de entrada;

Q_F é a liberação de calor antropogênico;

Q_R é a radiação solar refletida;

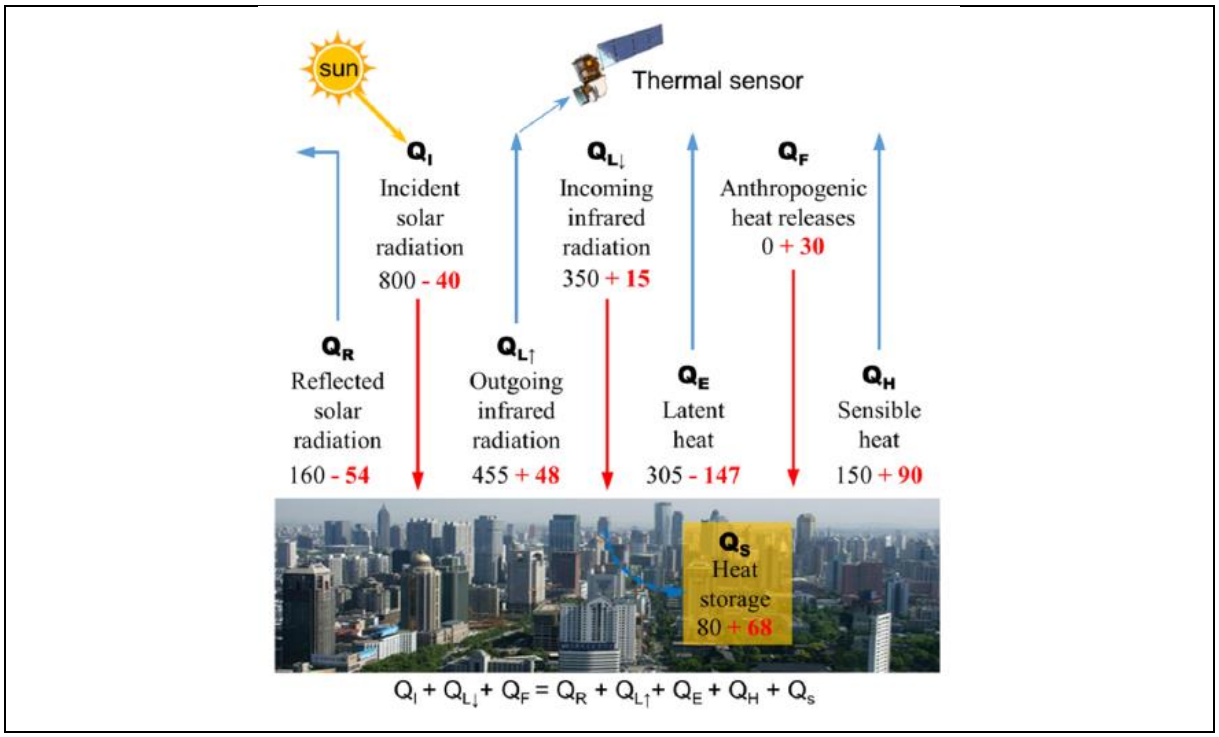
$Q_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa de saída;

Q_E é o calor latente;

Q_H é o calor sensível;

Q_S é o armazenamento de calor.

Figura 42 - Diagrama do balanço de energia para uma área urbana hipotética.



Fonte: Zhou et al. (2019). Setas vermelhas designam a entrada de energia e as setas azuis a partição do sistema urbano. Os valores de exemplo (unidades: W m^{-2}) foram extraídos de Oke (1988). Os valores em vermelho representam a mudança de energia na região urbana em relação às áreas rurais.

A série de satélites Landsat é a mais utilizada nos estudos de clima urbano, pois apresenta longo programa ininterrupto de observações da terra e atualmente pode ser adquirida de forma gratuita. As imagens podem ser utilizadas em diferentes escalas temporais e espaciais nas mais diversas áreas do conhecimento. As imagens são capturadas a cada 16 dias e possuem cobertura de 185 km x 185 km. A verificação da temperatura dos alvos e o diagnóstico das ilhas de calor urbana de superfície na cidade de Rondonópolis, ocorreram por meio da utilização das imagens do Satélite Landsat 8, canal infravermelho termal/TIRS 1 (banda 10), com resolução espectral de 10.60 - 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, tratadas e disponibilizadas com *pixel* de 30 metros pela USGS (*United States Geological Survey*).

A ilha de calor de superfície representa um aumento da radiação de onda longa, gerada por diferentes fluxos de energia durante o dia e a noite. A ilha de calor de superfície diurna é amplamente atribuída a redução na radiação solar refletida e no fluxo de calor latente, o que aumenta o calor sensível e a radiação térmica recebida pelos sensores térmicos. Em contraste, a ilha de calor de superfície noturna ocorre principalmente devido ao maior armazenamento de calor durante o dia para uma liberação posterior à noite. O fluxo de calor antropogênico pode aumentar a ilha de calor de superfície independente da hora do dia, ampliando a radiação térmica ascendente e o armazenamento de calor (VOOG e OKE, 1997; ZHOU et al. 2019).

Foram selecionadas imagens para a elaboração de cartas de temperatura da superfície e NDVI em quatro episódios. As imagens foram capturadas às 9h39min (horário local), sendo que um dos episódios ocorreu no período chuvoso (janeiro) e os demais ocorreram na estação seca (Tabela 13). O número de imagens na estação chuvosa foi pequeno devido à grande presença de nuvens durante essa época do ano, o que limita o tratamento das imagens orbitais. De acordo com as cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha do Brasil e com as imagens do satélite GOES 16 disponibilizada pelo CPTEC/INPE, pode-se constatar que no dia de captura da imagem no primeiro episódio (15 de janeiro de 2019) esteve sob atuação da Massa Equatorial Continental (mTc), e nos episódios da estação seca estiveram sob atuação da Massa Tropical Continental (mTc), o que propiciou o aumento da radiação solar direta sobre a superfície dos alvos.

Com base na metodologia apresentada por Amorim (2020), as imagens foram tratadas levando em consideração a quantidade de dias em que houve a presença de precipitação em relação ao dia de captura da imagem. No episódio do dia 15 de janeiro de 2019, ocorreu precipitação de 50,1 mm, dois dias antes da imagem. No episódio do dia 11 de agosto de 2019, ocorreu precipitação de 5,0 mm, seis dias antes da captura da imagem. No episódio de 28 de julho de 2020 ocorreu precipitação de 49,0 mm, setenta e quatro dias antes da captura da

imagem. No episódio de 13 de agosto de 2020, ocorreu precipitação de 49,0 mm, noventa dias antes da captura da imagem (Tabela 13).

Tabela 13 - Características gerais das imagens termais e NDVI

Data	Temp. Mín. do ar	Tem. Máx. do ar	Intensidade Ilha de calor superfície	Dias sem Precipitação	Sistema Atmosférico
15/01/2019	20,5ºC	34,7ºC	10ºC	2 dias	mEc
11/08/2019	15,2ºC	36,8ºC	13ºC	6 dias	mTc
28/07/2020	14,3ºC	34,8º	12ºC	74 dias	mTc
13/08/2020	17,6ºC	37,4ºC	14ºC	90 dias	mTc

Elaboração: Autoria própria

A análise das ilhas de calor superficiais ocorreu a partir das intensidades, para tanto, foram calculadas as diferenças das temperaturas intraurbanas em relação à área com alta densidade de cobertura vegetal localizada a sudeste da malha urbana na Reserva Indígena Tadarimana (Figura 43). Esta área possui grande quantidade de cobertura vegetal arbórea e se caracteriza por apresentar as menores temperaturas dos alvos e foi considerada como ponto “0”. A partir dela foram calculadas as diferenças de temperatura dos por pixel.

Nos quatro episódios analisados as imagens termais apresentaram diferenças de temperatura acima de 10ºC (Prancha 1). As intensidades das ilhas de calor estão relacionadas aos tipos de materiais construtivos no intraurbano em comparação ao ambiente rural no período chuvoso e a grande quantidade de solo exposto no período seco. Os dados referentes ao NDVI são fundamentais para verificar a variabilidade espacial da temperatura da superfície em relação aos episódios secos e chuvosos, sendo que durante a estação seca ocorre a diminuição da massa vegetal a partir da perda das folhas e maior exposição do solo devido à redução da cobertura vegetal rasteira (Prancha 2).

O primeiro episódio analisado se refere ao período chuvoso e a imagem foi capturada no dia 15 de janeiro de 2019. Dois dias antes da captura da imagem ocorreu precipitação de 50,1 mm. As diferenças térmicas entre a área urbana e a área da Reserva Tadarimana foram de 10ºC, configurando ilhas de calor de muito forte magnitude na cidade de Rondonópolis.

Figura 43 - Localização da Reserva Indígena Tadarimana a sudeste da malha urbana, utilizada como ponto “0” para o cálculo da intensidade das ilhas de calor de superfícies



Fonte: Imagem do Satélite Sentinel 13/04/2019

De modo geral, percebe-se a ilha de calor delimitada em toda a área urbana, com algumas diferenças no intraurbano de acordo com os tipos de materiais construtivos. Nas imagens do dia 15/01/2019 (Prancha 1 e Prancha 2) foram destacados seis pontos principais que apresentaram diferentes intensidades de acordo com as suas características do uso e ocupação da terra.

Os pontos foram detalhados na (Figura 44), sendo três pontos que apresentaram grandes intensidades das ilhas de calor: Conjunto Habitacional São José (Ponto A), Distrito Industrial (Ponto B), Rondon Plaza Shopping (Ponto C); um ponto que apresentou intensidade média: Condomínio Jardim Village do Cerrado (Ponto D); dois pontos que apresentaram baixas intensidades: Horto Florestal (Ponto E) e Área verde localizada nas proximidades do Hospital da Unimed e do Residencial Jardim da Mata II (Ponto F).

Figura 44 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (15/01/2019)

(Ponto A - Conj. Hab. São José)



(Ponto B - Distrito Industrial)



(Ponto C - Shopping)



(Ponto D - Cond. Village do Cerrado)



(Ponto E - Horto Florestal)



(Ponto F - Área verde - Hospital Unimed)



Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 06/12/2018 - Altitude do ponto de visão 2 km

O ponto A se refere a um conjunto habitacional de baixo padrão construtivo criado no final da década de 1990. Com terremos pequenos e sem presença de vegetação, apresentou ilhas de calor de muito forte magnitude, com intensidades de 9ºC em relação ao ponto zero. O ponto B está localizado no Distrito Industrial na margem esquerda da rodovia BR-163 e conta com aproximadamente 85 empreendimentos instalados. Além dos materiais construtivos utilizados nos equipamentos industriais que retém e armazenam calor, a própria atividade produz calor, o que deixa a área com grande intensidade da ilha de calor, chegando a 10ºC. O ponto C (Shopping) também apresentou intensidade de 10ºC devido ao tipo de material construtivo do telhado e por apresentar uma área totalmente impermeável no estacionamento coberto por asfalto (Figura 44).

O ponto D está localizado no Condomínio fechado Jardim Village do Cerrado de alto padrão construtivo, com a ampla área de lazer, lago artificial e grande presença de vegetação arbórea (Figura 44). A intensidade da ilha de calor foi de 5ºC, evidenciando que o clima pode ser tratado como insumo no processo de produção do espaço e que as áreas mais desenvolvidas economicamente, habitadas pela população de maior poder aquisitivo, possuem mecanismos para amenizar as intensidades das ilhas de calor.

Os pontos E e F se destacaram por serem áreas verdes no intraurbano e apresentaram pequenas intensidades de ilhas de calor entre 1ºC e 2ºC. Neste caso, pode-se afirmar que a presença de vegetação de grande porte nas áreas urbanas é muito importante para a redução da temperatura de superfícies. Áreas como essas, fundos de vales, parques e praças são fundamentais para minimizar os efeitos das ilhas de calor de superfícies e também as ilhas de calor relacionadas a temperatura do ar (Figura 44).

Outros pontos se destacam com temperaturas mais elevadas, como o Residencial Parque Rosa Bororo na porção noroeste da malha urbana, que estava em fase de construção e apresentou intensidade de 8ºC; o Parque Industrial Vetorasso, sobretudo, na região da fábrica da Nortox, no extremo sul da malha urbana que apresentou intensidade de 9ºC; e a região central da cidade que apresentou intensidades entre 7ºC e 9ºC em relação ao ambiente rural.

No segundo episódio analisado a imagem foi capturada no dia 11 de agosto de 2019. Embora esteja no período seco, foi registrado precipitação de 5,0 mm, seis dias antes da captura da imagem. Mesmo que o total pluviométrico tenha sido pequeno, foi suficiente para revigorar as áreas de vegetação de grande porte, entretanto, não foi suficiente para reestabelecer a massa vegetal da vegetação rasteira que apresentou um baixo índice de vegetação (Prancha 2). Deste modo, as maiores diferenças térmicas (13ºC) em relação a área da Reserva Tadarimana foram encontradas no rural próximo, nas áreas com a presença do solo exposto.

Nas imagens do dia 11/08/2019 (Prancha 1 e Prancha 2) foram destacados quatro pontos que apresentaram diferentes intensidades. Os pontos foram detalhados na Figura 45, de acordo com as suas características de uso e ocupação da terra. O ponto A está localizado nas proximidades do distrito industrial Parque Vetorasso e o ponto B nas proximidades do residencial Parque das Laranjeiras na porção leste da malha urbana, ambos apresentaram 13ºC de intensidade. Tratam-se de áreas com presença de vegetação herbácea que durante o período seco perderam a sua massa vegetal e o solo ficou exposto. No solo exposto o albedo é reduzido e retém mais calor, resultando em temperaturas de superfícies mais elevadas, neste caso, maiores do que o ambiente construído.

Figura 45 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (11/08/2019)

(Ponto A - Solo exposto Parq. Ind. Vetora.)



(Ponto B - Rural próximo)



(Ponto C - Residencial Mathias Neves.)



(Ponto D - Vegetação arbó. - Rio Vermelho)



Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 27/08/2020 - Altitude do ponto de visão 2 km

O ponto C está localizado no Residencial Mathias Neves, no extremo noroeste da malha urbana (Figura 45). Mesmo que as temperaturas não tenham sido elevadas como nas áreas de solo exposto, ficaram acima de 7ºC, gerando ilhas de calor de muito forte magnitude. O residencial, criado recentemente com verba do programa Minha Casa Minha Vida (2012), abriga a população de menor poder aquisitivo e não apresenta vegetação arbórea. As residências foram construídas sem espaçamento entre elas e não possuem área disponível para inserir vegetação, bem como, não possuí área comum para a prática de atividades recreativas e de lazer.

O ponto D está localizado às margens do Rio Vermelho, próximo a Ponte Nova e aos condomínios residenciais fechados, Bosque I, II e Vila toscana, é uma Área de Preservação Permanente (APP) com vegetação densa (Figura 45). Apresentou temperaturas muito próximas a reserva Tadarimana, com diferença entre 0ºC e 1ºC. Durante o período seco houve um padrão em que apenas as áreas com cobertura vegetal arbórea apresentaram as menores temperaturas.

O terceiro (28/07/2020) e o quarto (13/08/2020) episódios foram registrados na estação seca, quando houve um longo período de estiagem em toda a região Centro-Oeste, resultando em milhares de focos de incêndios. O município de Rondonópolis também foi atingido por queimadas de grandes proporções nas proximidades da Reserva Indígena Tadarimana gerando redução severa na massa vegetal, maior exposição do solo, perda da qualidade do ar e problemas respiratórios graves na população.

O período sem precipitação no terceiro episódio foi de 74 dias e as intensidades das ilhas de calor chegaram a 12ºC (Prancha 1). O índice de vegetação por diferença normalizada ficou muito baixo e os valores da área urbana e rural ficaram semelhantes, o que evidencia a redução da exuberância da vegetação (Prancha 2). Outro agravante está relacionado ao período de entressafra do plantio de soja e milho na região. Deste modo, nos meses de julho, agosto e setembro a terra está sendo preparada para o novo plantio e fica totalmente exposta, reduzindo o albedo e gerando maior retenção de calor.

Na Prancha 1 e Prancha 2 (28/07/2020) foram destacados quatro pontos para a realização da análise e os pontos foram detalhados na Figura 46. O ponto A, se configura como uma área típica de desmatamento no meio de uma área de vegetação arbórea na porção sudoeste na cidade, provavelmente utilizado para as atividades agropecuárias. O ponto B, também utilizado para as atividades agrícolas, está localizado na porção nordeste fora do perímetro urbano. O ponto C, se refere a criação de um novo loteamento próximo ao Parque das Laranjeiras nas mediações do Anel Viário. Os pontos A, B e C se referem a áreas com solo exposto que apresentaram intensidades de 10ºC, 10ºC e 11ºC, respectivamente. Mais uma vez

evidenciado que no período seco a redução da massa vegetal gera temperaturas de superfícies maiores que o ambiente construído.

O Ponto D, foi escolhido por se tratar de uma área nas proximidades do Córrego Canivete e embora não tenha apresentado temperaturas maiores que no ambiente rural, as intensidades foram de 6ºC, um valor que representa praticamente toda a malha urbana, sobretudo, os bairros residenciais (Figura 46). Outro destaque se refere aos distritos industriais que apresentaram intensidades superiores a 10ºC.

Figura 46 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (28/07/2020)

<table>
<tr>
<td>(Ponto A - Solo exposto - Desmatamento)
  </td>
<td>(Ponto B - Solo exposto - Plantio de Soja)
  </td>
</tr>
<tr>
<td>(Ponto C - Solo exposto - Loteamento)
  </td>
<td>(Ponto D - Jd. Marialva - Córrego Canivete)
  </td>
</tr>
</table>

Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 27/08/2020 - Altitude do ponto de visão 2 km

O quarto episódio foi registrado no dia 13 de agosto de 2020 (Prancha 1 e Prancha 2), não houve precipitação por 90 dias, configurando como um enorme período de estiagem. Conforme citado anteriormente as queimadas no mês de agosto foram severas e atingiram boa

parte da região. Na Figura 47, foram detalhados pontos de maiores intensidades das ilhas de calor, sendo que os pontos A, B e C se referem as áreas de queimadas e atingiram 13ºC, 14ºC e 14ºC, respectivamente.

Os resultados demonstraram que o NDVI (Prancha 2) apresentou maiores valores nas áreas com vegetação densa e menores valores em solo exposto, associados à vegetação seca, carbonização ou com completa ausência de vegetação. De acordo com Lotufo et al. (2020), ocorre o aumento da refletância após passagem do fogo devido à deposição de cinzas brancas. Neste caso, a temperatura da superfície foi maior nas áreas de queimadas relacionada ao aumento da capacidade de absorção da superfície (cor preta das cinzas). Estes resultados são atribuídos aos efeitos combinados de maior exposição do solo, aumento da absorção da radiação pela vegetação carbonizada e redução da evapotranspiração (Prancha 1).

Figura 47 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (13/08/2020)

<table>
<tr><td>(Ponto A - Área rural - Próx. Res. Rosa Bo.)
  </td><td>(Ponto B - Área rural - Próx. Parq. Indus.)
  </td></tr>
<tr><td>(Ponto C - Área rural - Próx. Reser. Tadari.)
  </td><td>(Ponto D - Parque Sagrada Família)
  </td></tr>
</table>

Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 27/08/2020 - Altitude do ponto de visão 2 km

Assim como as áreas de solo exposto, após a passagem do fogo as cinzas e os carvões depositados reduzem o albedo e altera de forma direta o balanço de energia ao ocasionar maior absorção da radiação solar e consequentemente elevação da temperatura de superfície. Essas queimadas podem ocorrer de origem natural, provocada por combustão espontânea ou incidência de raios e impulsionado por fatores como a umidade relativa do ar baixa, ausência de precipitação e forte velocidade do vento, bem como de origem social, neste caso, por causas acidentais ou criminosa. No Brasil, grande parte das queimadas estão relacionadas a uma técnica de manejo de "limpeza" do solo, resultando no desmatamento de grandes áreas para dar lugar as atividades ligadas à pecuária extensiva e ao cultivo agrícola (LOTUFO et al. 2020).

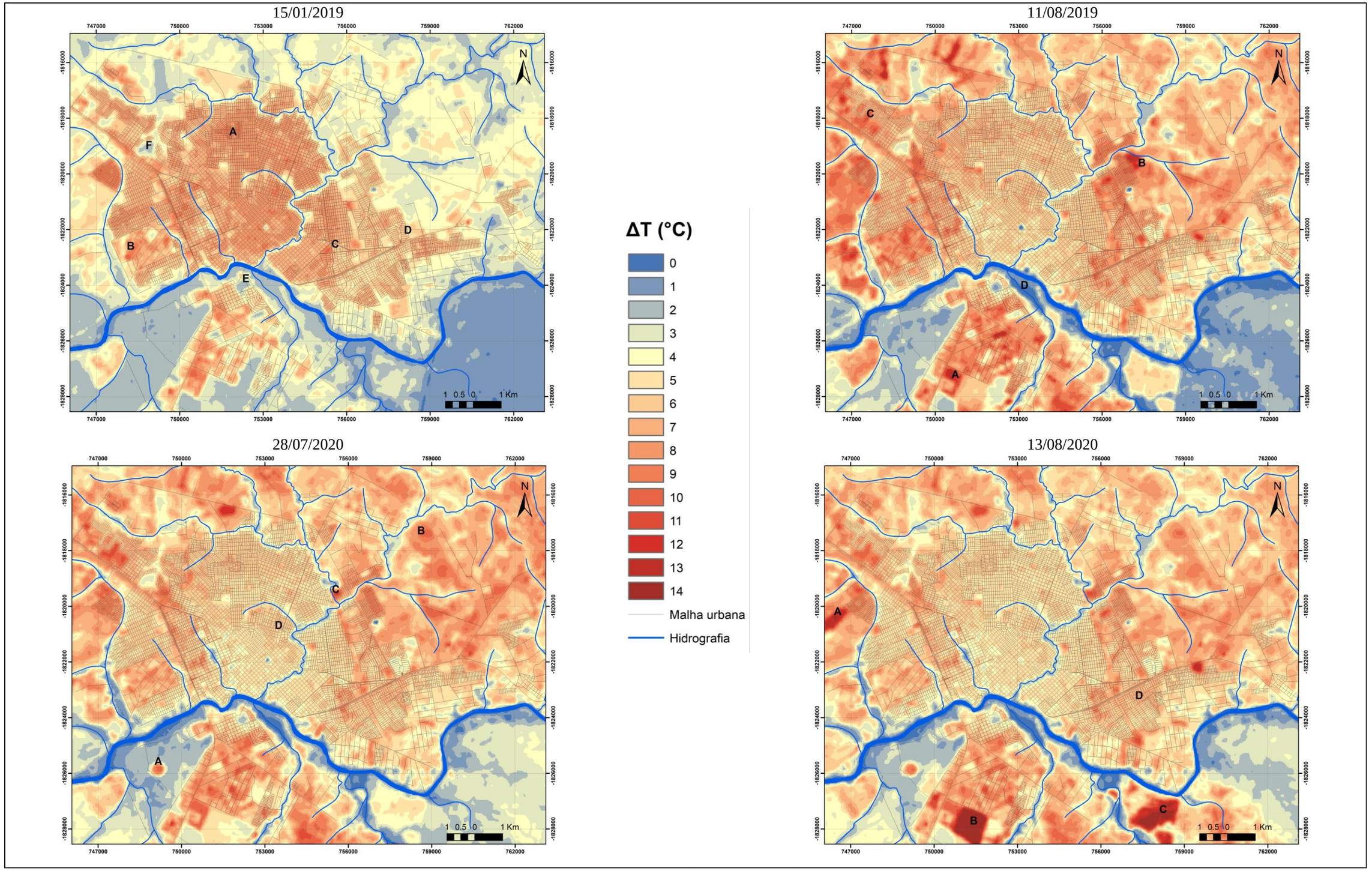
O ponto D, está localizado na região do Parque Sagrada Família, é um bairro residencial com população de baixo poder aquisitivo, apresentou intensidade de 8ºC, em relação a Reserva Tadarimana. Como pode-se observar na Figura 47, trata-se de uma área com a presença de muitos terrenos vazios, sem pavimentação nas ruas, solo exposto e sem presença de vegetação arbórea.

De modo geral, foi possível identificar padrões nos quatro episódios analisados. A ilha de calor de superfície foi bem definida e apresentou forte magnitude no período chuvoso. Nos bairros densamente construídos com materiais construtivos de baixo padrão, telhas de fibrocimento, loteamentos pequenos, sem cobertura vegetal e nos distritos industriais foram registradas as maiores intensidades da ilha de calor em relação as áreas de maior cobertura vegetal arbórea nos fundos de vale, horto florestal e na Reserva Indígena Tadarimana.

Durante a estação seca o padrão esteve relacionado a diminuição da massa vegetal e a presença de solo exposto, gerando grandes intensidades de temperatura na área rural devido a redução do albedo que retém mais calor. A presença de solo exposto também ocorreu devido a criação de novos loteamentos, vazios urbanos, desmatamento para a implantação da agropecuária e ao período de entressafra do cultivo da soja, momento em que ocorre a preparação do solo para o próximo cultivo.

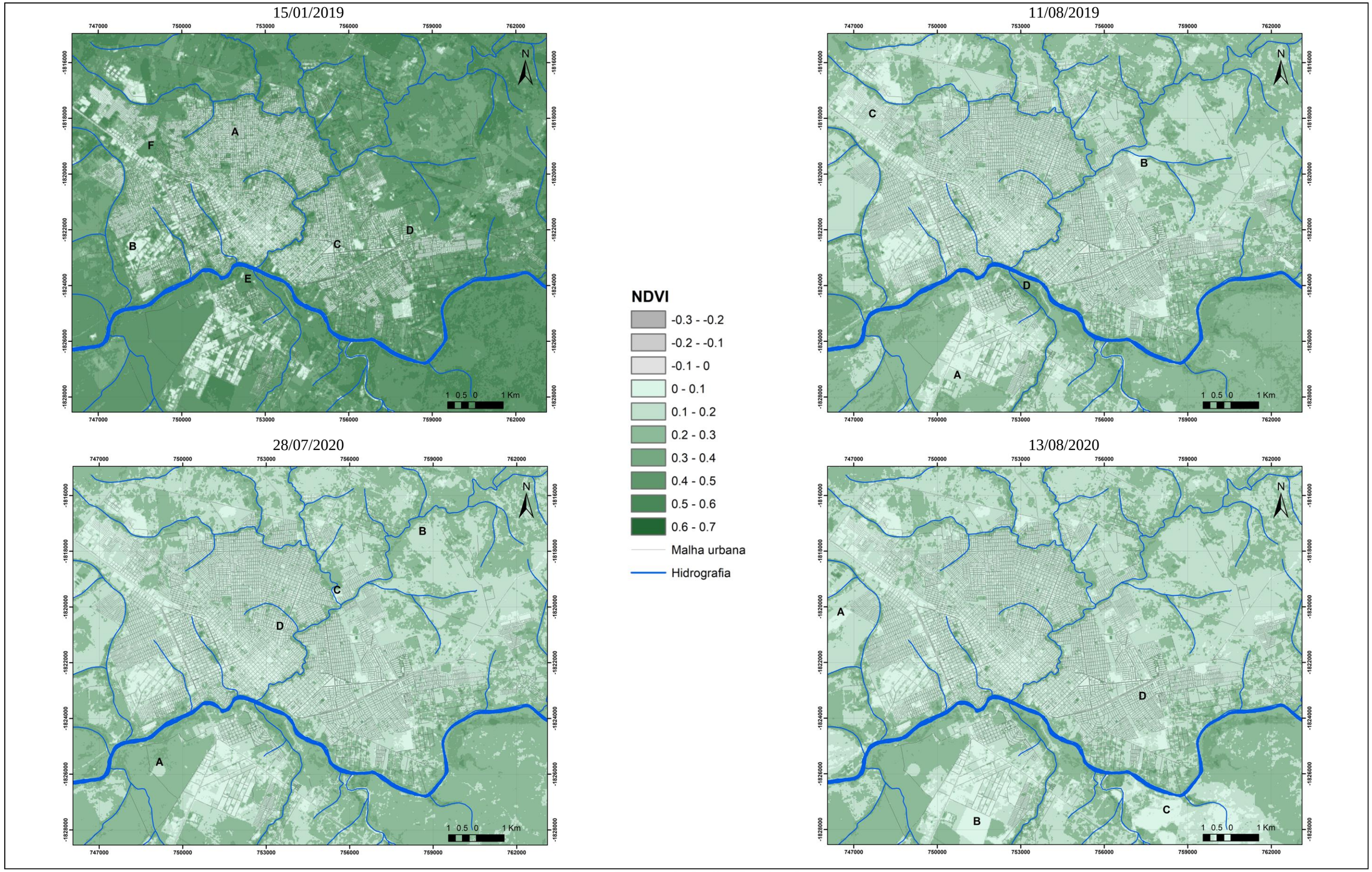
A análise baseada na geografia do clima (SANT'ANNA NETO, 2001), sugere a necessidade de se incorporar a dimensão social na interpretação do clima na perspectiva da análise geográfica, compreendendo que a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território, transformado e produzido pela sociedade de maneira desigual e apropriado segundo os interesses dos agentes sociais. Desta forma, considerar a produção do espaço de acordo com o uso e ocupação da terra é fundamental para compreender as intensidades das ilhas de calor de superfície e a sua repercussão no espaço geográfico.

Prancha 1 - Distribuição espacial da intensidade das ilhas de calor superficiais na cidade de Rondonópolis – MT



Fonte: Imagem do Satélite Landsat 8

Prancha 2 - Distribuição espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Rondonópolis – MT



Fonte: Imagem do Satélite Landsat 8

4.2 - A característica da ilha de calor por meio de transectos móveis

Os transectos móveis foram realizados em 04 episódios, nos dias 01/06/2020, 17/06/2020, 20/07/2020 e 05/09/2020, às 21 horas. Em todos os casos foram realizados dois trajetos simultâneos, um no sentido Noroeste-Sudeste (53 pontos de registros) e outro no sentido Sudoeste-Nordeste (44 pontos de registros), totalizando 97 pontos de registros de temperatura em cada dia. Os dias foram escolhidos por apresentarem estabilidade atmosférica e coincidirem com a data de registro das imagens termais noturnas do satélite Landsat 8 que serão analisadas de forma conjunta na modelagem da ilha de calor urbana.

A Tabela 14 apresenta a síntese dos dados com as temperaturas registradas durante os trajetos realizados, as diferenças térmicas, as direções e velocidades dos ventos, bem como, os sistemas atmosféricos atuantes em cada um dos dias de registro dos dados. De modo geral, as diferenças térmicas durante os dias de análise variaram entre 4,1ºC e 10,5ºC, configurando-se em ilhas de calor com intensidades diferenciadas de forte e muito forte magnitude (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996).

Tabela 14 - Intensidade, direção e velocidade do vento nos dias de registro pelos transectos móveis

Data	Hora	T. Máx. (ºC)	T. Mín. (ºC)	Intensidade (ΔT ºC)	V. V.	D. V.	Sistemas Atmosféricos
01/06/2020	21h	25,5	21,4	4,1	1,1	O	mPt
17/06/2020	21h	25,5	18,3	7,2	1,7	L	mPt
20/07/2020	21h	26,9	16,4	10,5	1,6	NE	mTa
05/09/2020	21h	32,1	22,1	10	1,3	L	mTa

Fonte: Autoria própria

As Prancha 3, Prancha 4, Prancha 5 e Prancha 6 apresentam os dados de cada um dos episódios analisados. No primeiro momento é possível visualizar a espacialização das intensidades das ilhas de calor na malha urbana, sobrepostas a composição colorida da imagem do Satélite Landsat 8. Posteriormente, são apresentados os gráficos das intensidades em cada um dos trajetos, comparando com a altitude e o perfil longitudinal levando em consideração o uso e ocupação da terra com os principais pontos de referências. Em seguida, evidencia-se a frequência, direção e velocidade do vento nas 24 horas do dia de realização do percurso. Na Prancha 7, foi realizada a síntese dos dados registrados nos transectos móveis com a

apresentação da intensidade média da ilha de calor com base em todos os episódios analisados. Além disso foram identificadas as ilhas de calor urbanas e as áreas redutoras de temperatura.

Um fator importante que deve ser considerado ao realizar os estudos a partir dos transectos móveis está relacionado a variação natural da temperatura, ou seja, conforme aumenta o tempo em relação a exposição ao sol, e vai anoitecendo, ocorre a diminuição natural da temperatura do ar. Para tanto, foi usado como referência os dados da estação meteorológica automática gerenciada pelo INMET, localizada na Universidade Federal de Rondonópolis. Como os trajetos levaram aproximadamente 50 minutos de realização, tomou-se como parâmetros os horários das 21h e 22h (Tabela 15).

Tabela 15 - Variação da temperatura do ar entre às 21h e 22h na estação do INMET - (UFR)

Data	**Temp. 21h (ºC)**	**Temp. 22h (ºC)**	**Diferença Temp. (ΔT ºC)**
01/06/2020	23,0	22,0	1,0
17/06/2020	22,8	22,1	0,7
20/07/2020	23,9	21,2	2,7
05/09/2020	29,7	28,9	0,8

Fonte: INMET

O primeiro episódio de realização dos transectos móveis ocorreu em 01 de junho de 2020. Nesse dia, a cidade de Rondonópolis esteve sob atuação da massa Polar Atlântica Tropicalizada. As condições atmosféricas relacionadas a direção e velocidade do vento estiveram de acordo com os parâmetros necessários estabelecidos pela literatura para a realização dos trajetos. Durante o dia a velocidade do vento foi baixa e não ultrapassou os 2,0 m/s, sendo 33% de calmaria. A direção do vento oscilou de forma considerável e apresentou uma frequência predominante de 17% na direção oeste (Prancha 3).

A temperatura máxima registrada no percurso foi de 25,5ºC e a mínima de 21,4ºC, resultando na diferença máxima de 4,1ºC, configurando ilhas de calor de forte magnitude na classificação proposta por Fernández García (1996). A menor temperatura registrada foi no ponto 44 do percurso SO-NE, localizado no rural próximo. A maior intensidade foi localizada em três pontos (29, 34 e 37) do trajeto SO-NE, situados na região da Vila Operária, área densamente construída, com casas de baixo padrão construtivo e com pouca presença de vegetação arbórea (Prancha 3).

De modo geral, houve um padrão na distribuição das menores intensidades das ilhas de calor, localizadas no início e término dos trajetos (rural próximo) e nos fundos de vales em virtude da vegetação e da redução natural da temperatura de acordo com o relevo. As maiores temperaturas ocorreram nas áreas centrais da cidade, na Vila Operária e nas proximidades do Shopping, em áreas densamente construídas, com pouca vegetação arbórea e com grande fluxo de pessoas e veículos (Prancha 3). Neste episódio houve a presença do perfil clássico da ilha de calor (OKE, 1978), com o padrão de aquecimento centro-periferia. Na medida em que houve a redução da densidade construtiva se verificou a diminuição da temperatura do ar.

O segundo episódio de realização dos transectos móveis ocorreu em 17 de junho de 2020. Nesse dia, a cidade de Rondonópolis também esteve sob atuação da massa Polar Atlântica Tropicalizada. Durante o dia houve grande variação da velocidade do vento e chegou a atingir 5 m/s, as frequências predominantes foram de 21,7% para calmaria e velocidades entre 1 e 2 m/s. A direção do vento quase não oscilou e apresentou frequência predominante de 48,8% proveniente de nordeste (Prancha 4).

A temperatura máxima registrada no trajeto foi de 25,5ºC e a mínima de 18,3ºC, resultando na diferença máxima de 7,2ºC (Tabela 14), configurando-se em ilhas de calor de muito forte magnitude (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996). As menores temperaturas foram registradas no início do percurso SO-NE, nas proximidades do Clube Sipros (Rodovia do Peixe). A maior intensidade foi registrada no ponto 23 do trajeto SO-NE, em frente ao supermercado Atacadão, localizado na Avenida dos Bandeirantes, região central da cidade. Trata-se de uma área densamente construída, impermeável em uma região muito movimentada durante o dia (Prancha 4).

No percurso NO-SE, os primeiros três pontos, registraram intensidades entre 1ºC e 2ºC em relação ao ponto zero. Logo em seguida, ao adentrar na malha urbana, as intensidades se elevaram e se apresentaram acima de 6,0ºC entre os pontos 6 ao 18 (Avenida Fernando Corrêa da Costa), configurando ilhas de calor de muito forte magnitude. Do ponto 19 ao 28 (área central), as temperaturas registradas estiveram entre 5ºC e 6ºC. Houve ligeira queda nos pontos 29 e 30, localizados no fundo de vale do Córrego Arareau. Posteriormente, as intensidades voltaram a se elevar ficando entre 5ºC e 6,5ºC, entre os pontos 31 ao 40, localizados na região da Vila Aurora, Avenida Lions Internacional e Shopping. Após o shopping ao adentrar nas áreas do bairro Sagrada Família e na região das Chácaras, as intensidades diminuíram conforme a houve a redução do ambiente construído (Prancha 4).

No percurso SO-NE, houve maior variabilidade nas intensidades das ilhas de calor. As menores intensidades estiveram nos primeiros pontos (1 ao 4), por estarem localizados no rural

próximo e na faixa de transição com a malha urbana. Os pontos 13 (3,2ºC), 30 (4,6ºC) e 38 (2,2ºC), chamaram a atenção pela redução das diferenças das temperaturas em comparação com o entorno. Todos os pontos se encontram em áreas próximas aos fundos de vale, com a presença de córregos e vegetação, contribuindo para a redução da temperatura. Em relação as áreas que apresentaram maiores intensidades destacam-se o início da Avenida Daniel Clemente (entre 5ºC e 6ºC), com grande quantidade de galpões industriais, a região central nas proximidades da Avenida Bandeirantes (entre 5ºC e 7,1ºC), densamente construída com grande fluxo de veículos, e na Vila Operária (entre 6ºC e 7ºC), bairro de baixo padrão construtivo, com casas sem espaçamento e vegetação arbórea (Prancha 4).

O terceiro episódio de realização dos transectos móveis ocorreu em 20 de julho de 2020. A cidade de Rondonópolis esteve sob atuação da massa Tropical Atlântica. A velocidade do vento apresentou calmaria na maior parte do dia, com frequência de 37,5%. A direção do vento predominante foi proveniente do quadrante leste. No momento de realização do trajeto a velocidade do vento foi de 1,6 m/s e direção nordeste (Tabela 14).

A temperatura máxima registrada no trajeto foi de 26,9ºC e a mínima de 16,4ºC, resultando na diferença máxima de 10,5ºC (Tabela 14). Novamente houve padrão em relação as menores intensidades das ilhas de calor, registradas nos pontos extremos dos trajetos, nas áreas com a presença de vegetação arbórea e baixa densidade construtiva. Os fundos de vales, localizados nos pontos 29 (NO-SE), 13, 30 e 38 (SO-NE), novamente tiveram importância significativa no arrefecimento das temperaturas (Prancha 5).

Praticamente toda a malha urbana apresentou intensidades de muito forte magnitude (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996), com destaque para NO-SE, sobretudo, na região da Avenida Fernando Corrêa da Costa, uma das principais ruas da cidade, com grande fluxo de veículos em área comercial. As maiores intensidades foram registradas no ponto 11 (10,5ºC) do trajeto NO-SE, nas proximidades do Hospital da Unimed, uma das áreas mais elevadas da cidade (325 m). Conforme o percurso se aproxima da área central, ocorreu a redução da altitude (209 m) e as intensidades foram diminuindo de acordo com o relevo, até o fundo de vale do Córrego do Arareau (Prancha 5).

Novamente as regiões do Shopping, Avenida Daniel Clemente, Centro e Vila Operária apresentaram elevadas intensidades em relação aos fundos de vales e ao ambiente rural próximo. Como citado anteriormente, essas áreas apresentam grandes densidades construtivas, com a presença de intensa verticalização no caso do Shopping, Galpões Industriais na Avenida D. Clemente e casas de baixo padrão construtivo na Vila Operária.

O quarto episódio de realização dos transectos móveis ocorreu em 05 de setembro de 2020. Nesse dia, a cidade de Rondonópolis também esteve sob atuação da massa Tropical Atlântica. Durante o dia a direção predominante dos ventos foi proveniente do quadrante leste, com frequência de 29%. Houve grande variação da velocidade do vento, mas a frequência predominante de 45,8% esteve entre 1 e 2 m/s (Prancha 6).

A temperatura máxima registrada no trajeto foi de 32,1ºC e a mínima de 22,1ºC, resultando na diferença máxima de 10ºC (Tabela 14). Esse episódio apresentou as maiores temperaturas absolutas que se apresentaram elevadas durante o dia, atingindo 37,9ºC às 16h na estação do INMET, localizado na Universidade Federal de Rondonópolis. Em condições atmosféricas como essas a cidade fornece repostas térmicas e padrões bem definidos de acordo com as características do uso e ocupação da terra.

Desta forma, novamente houve um padrão em relação as áreas de maiores e menores temperaturas. No trajeto NO-SE do ponto 6 ao 28 as intensidades ficaram superiores a 7ºC, chegando a ficar acima de 9ºC em 11 pontos, todos na Avenida Fernando Corrêa da Costa. Após o Córrego Arareau, o trajeto passou pelo tradicional bairro da Vila Aurora, com características de médio a alto padrão construtivo, com lotes grandes. Neste bairro as intensidades foram entre 6ºC e 7ºC, mesmo que se configure ilhas de calor de muito forte magnitude, apresentou 4ºC a menos que outros pontos da malha urbana. A região do entorno do Shopping se manteve com intensidades entre 8ºC e 10ºC. No trajeto SO-NE, as intensidades se mantiveram acima de 7ºC na Avenida Daniel Clemente, Avenida dos Bandeirantes e na Vila Operária. Em relação a área de menores temperaturas, destaca-se o ponto 38 (3ºC), que apresentou redução significativa em relação aos pontos no entorno (Prancha 6).

A Prancha 7 exibe a intensidade média da ilha de calor. O cálculo das médias levou em consideração as diferenças térmicas dos quatro episódios de realização dos transectos móveis (01/06/2020, 17/06/2020, 20/07/2020 e 05/09/2020). Embora este trabalho tenha como referencial teórico a análise episódica, levando em consideração os pressupostos teóricos-metodológicos do ritmo climático e a sucessão habitual dos tipos de tempos, optou-se por utilizar as médias, considerando que são importantes para definirem padrões, contribuem para o desenvolvimento científico e são muito praticados na bibliografia internacional.

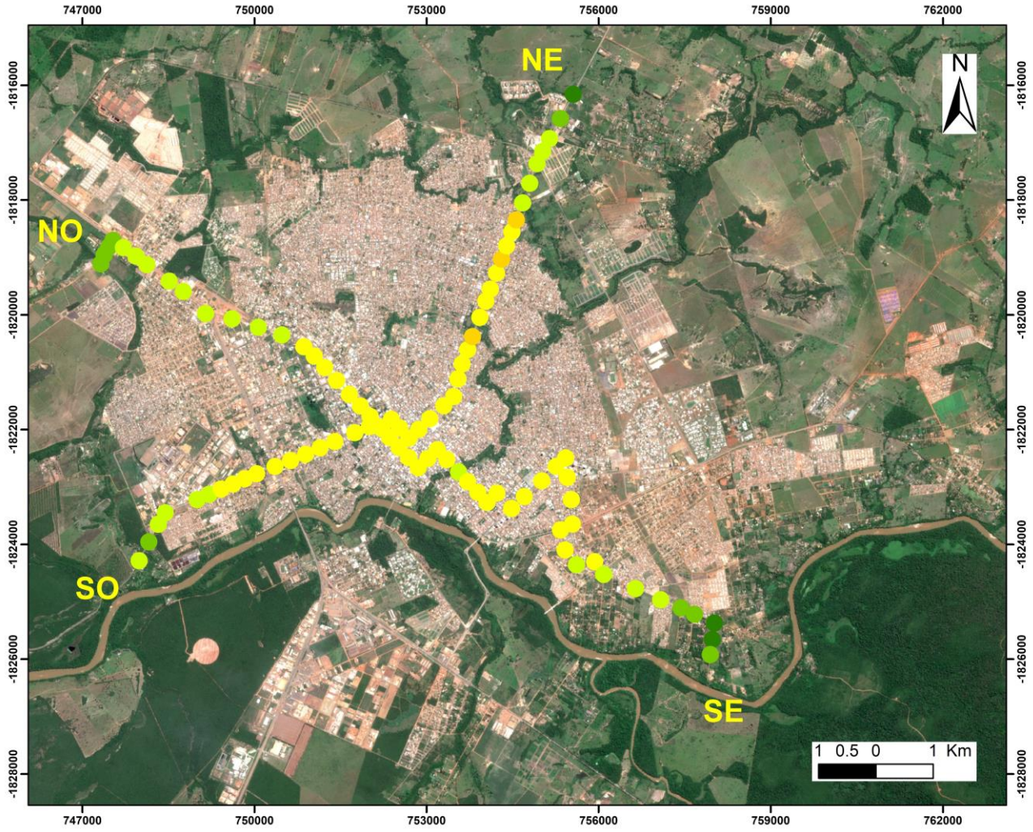
Com base nesse processo, foi possível identificar as áreas que apresentam as maiores intensidades das ilhas de calor urbanas e as áreas redutoras de temperatura nos dois trajetos percorridos (Prancha 7). O conceito de áreas redutoras de temperatura foi utilizado para classificar as paisagens urbanas que apresentaram redução significativa da intensidade das ilhas de calor (TEOBALDO NETO, 2019; DORIGON, 2019; DORIGON e AMORIM, 2020).

No trajeto NO-SE foram identificadas duas áreas com a presença de ilhas de calor urbana e uma área redutora de temperatura. A primeira ilha de calor foi detectada entre os pontos 6 e 23, com intensidades médias variando entre 6,2ºC e 7,4ºC, percorrendo toda a Avenida Fernando Corrêa da Costa, configurando-se em uma área densamente construída, com galpões comerciais, impermeáveis e com pouca presença de vegetação. A segunda ilha de calor urbana, foi registrada entre os pontos 35 e 43, com intensidades médias entre 5,3ºC e 6,9ºC, localizados na Avenida Lions Internacional (área densamente construída e verticalizada), Rondon Plaza Shopping (área totalmente pavimenta e sem presença de vegetação arbórea), até as mediações do SESC no bairro Sagrada Família (área densamente construída de baixo e médio padrão construtivo). A área redutora de temperatura está localizada entre os pontos 29 e 30, com intensidade média de 5,8ºC, se refere ao fundo de vale do Córrego Arareau, que possuem importância significativa para a diminuição da temperatura nas proximidades do centro (Prancha 7).

No trajeto SO-NE foram identificadas três ilhas de calor urbanas e três áreas redutoras de temperatura. A primeira ilha de calor urbana está localizada entre os pontos 5 e 9, na Avenida Daniel Clemente (área com a presença de galpões industriais) e apresentou intensidade média entre 5ºC e 6ºC. A segunda ilha de calor urbana foi detectada entre os pontos 18 e 28, com intensidades médias entre 6,3ºC e 7,3ºC. A área corresponde a região central da cidade, densamente construída, pavimentada, com grande fluxo de veículos e pessoas. A terceira ilha de calor urbana foi identificada entre os pontos 32 e 36, com intensidades variando entre 6,6ºC e 7ºC, na região da Vila Operária, bairro densamente urbanizado de baixo padrão construtivo e com pouca presença de vegetação arbórea. As três áreas redutoras de temperaturas estão localizadas nas proximidades dos fundos de vales do Córrego Piscina (1 ART), Córrego do Canivete (2 ART) e Córrego Lajeadinho (3 ART), pontos 11, 29, 38, respectivamente.

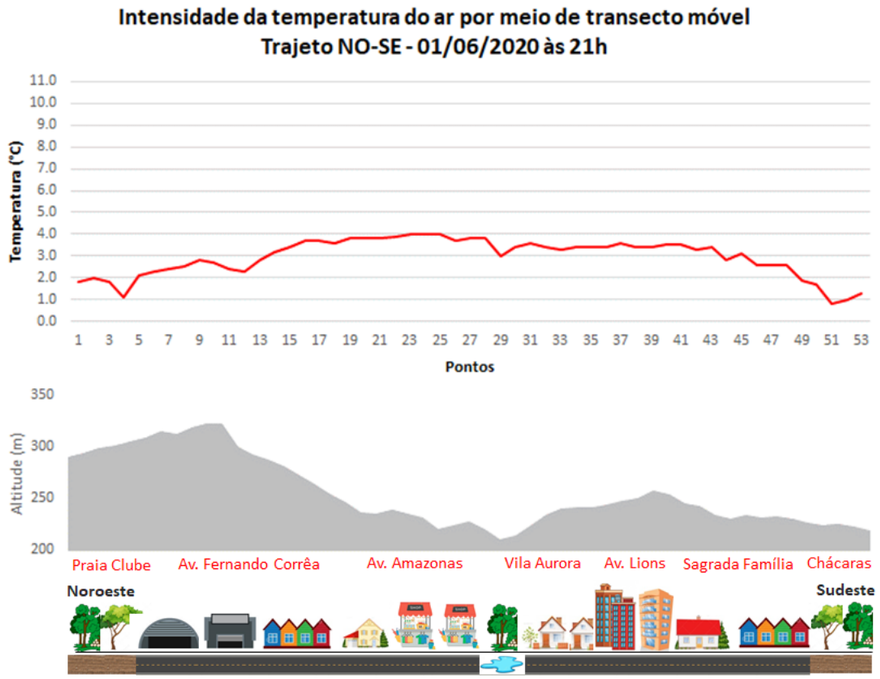
De modo geral, foi possível observar diferentes respostas térmicas variando de acordo com as características do uso e ocupação da terra no intraurbano. A urbanização associada a estes fatores foi responsável pela variação local da temperatura do ar, gerando ilhas de calor nas áreas densamente construídas e com maior fluxo de pessoas e veículos. Evidencia-se que toda a malha urbana apresenta grandes intensidades e ilhas de calor de forte e muito forte magnitudes, gerando desconforto térmico, perda da qualidade de vida, além de agravamento de doenças respiratórias no período de seca. Destaca-se a importância da preservação das nascentes dos córregos para a manutenção das áreas de vegetação, que se mostraram extremamente importantes para a diminuição das temperaturas do ar em diversas áreas da cidade.

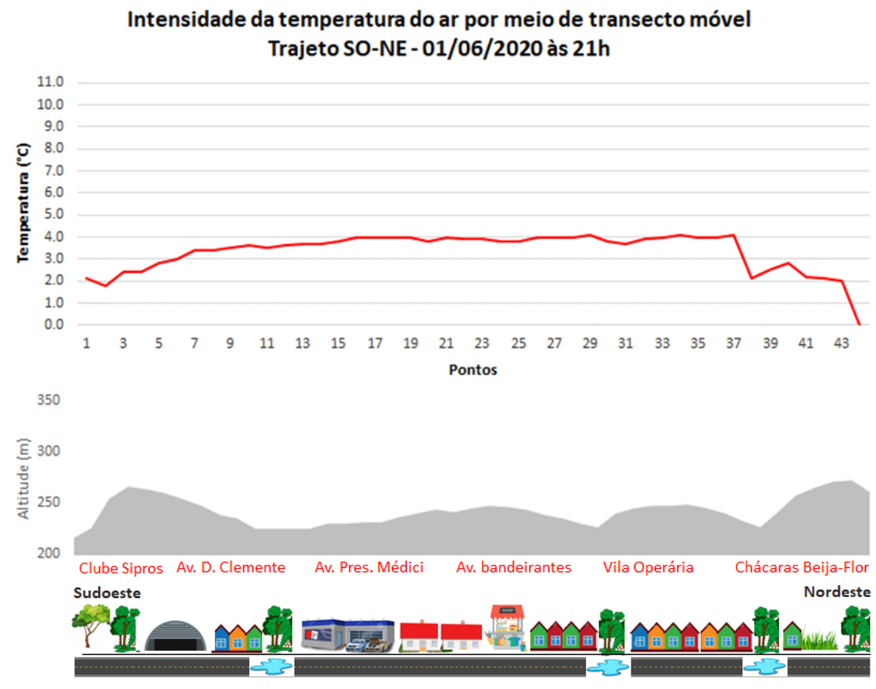
Prancha 3 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 01/06/2020 às 21h

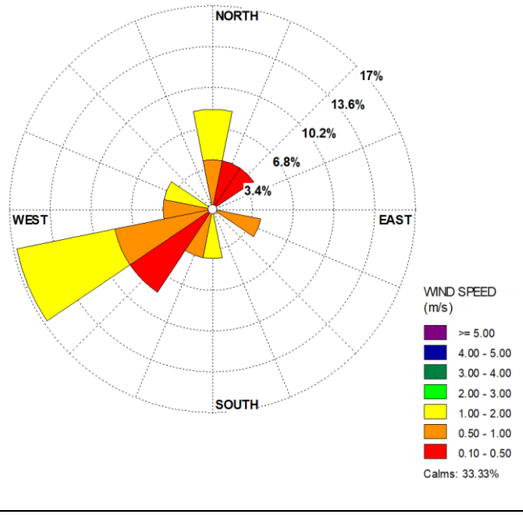


Intensidade da ilha de calor (ΔT ºC)

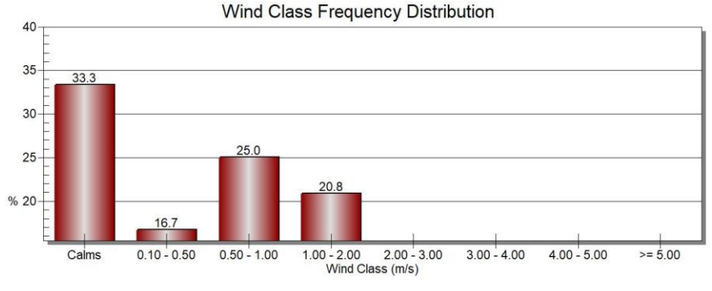
- 0.0 - 1.0
- 1.1 - 2.0
- 2.1 - 3.0
- 3.1 - 4.0
- 4.1 - 5.0
- 5.1 - 6.0
- 6.1 - 7.0
- 7.1 - 8.0
- 8.1 - 9.0
- 9.1 - 10.0
- 10.1 - 11.0





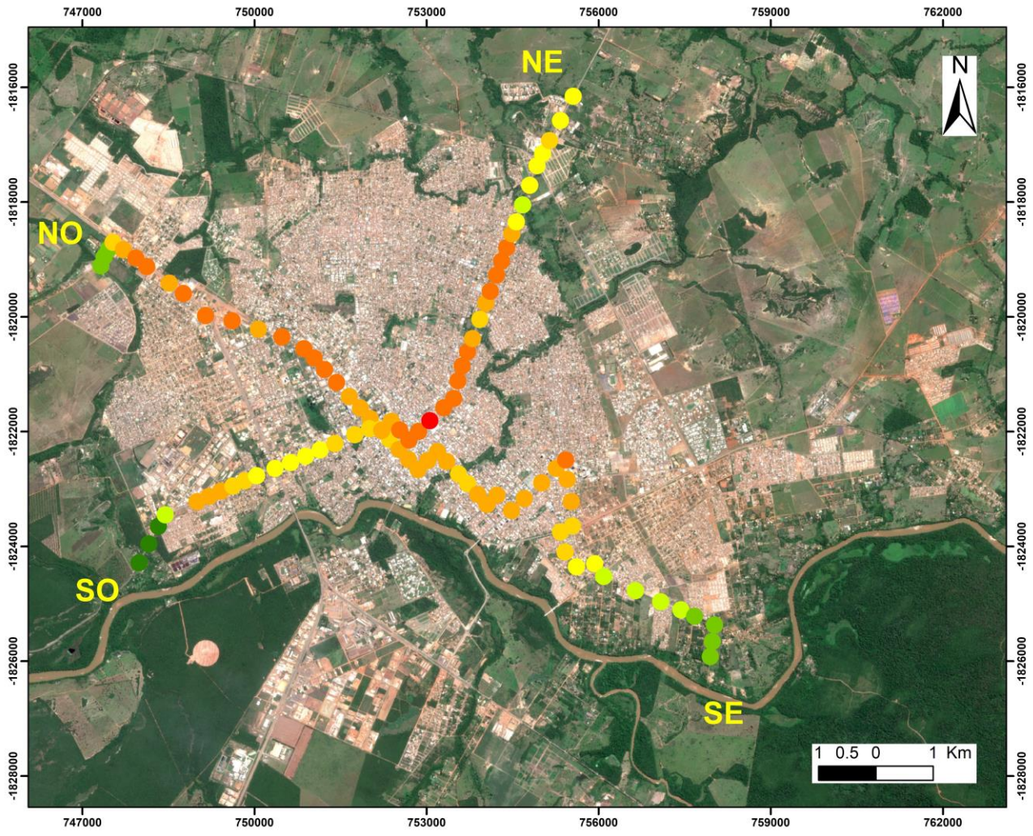


Frequência, direção e velocidade do vento no dia 01/06/2020



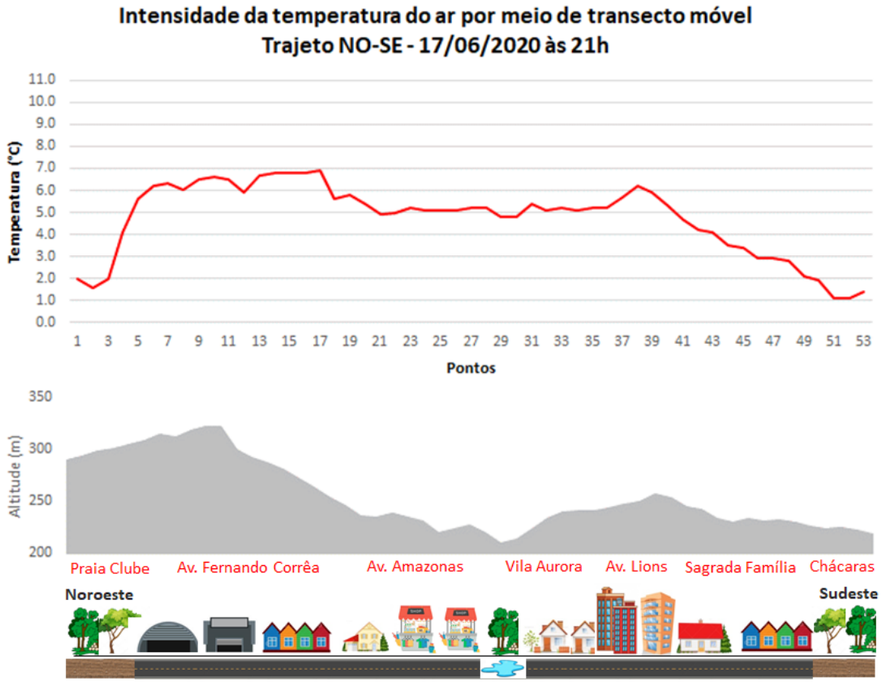
Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET; Imagem do Satélite Sentinel

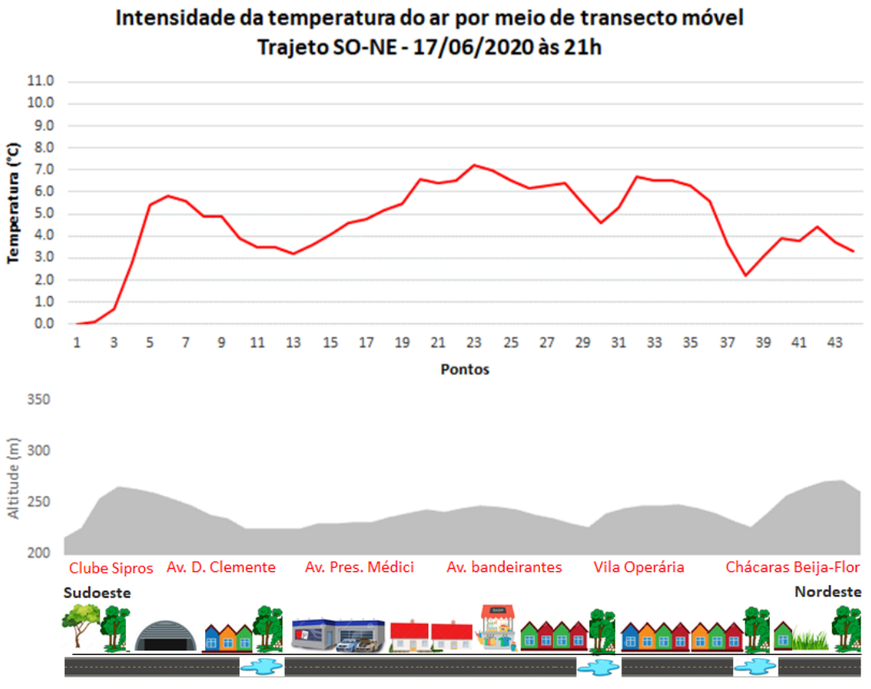
Prancha 4 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 17/06/2020 às 21h

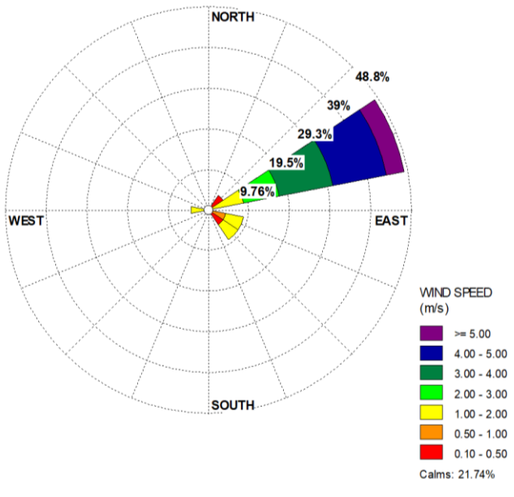


Intensidade da ilha de calor (ΔT ºC)

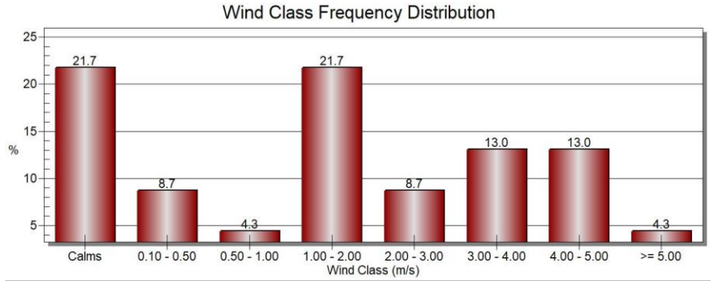
- 0.0 - 1.0
- 1.1 - 2.0
- 2.1 - 3.0
- 3.1 - 4.0
- 4.1 - 5.0
- 5.1 - 6.0
- 6.1 - 7.0
- 7.1 - 8.0
- 8.1 - 9.0
- 9.1 - 10.0
- 10.1 - 11.0





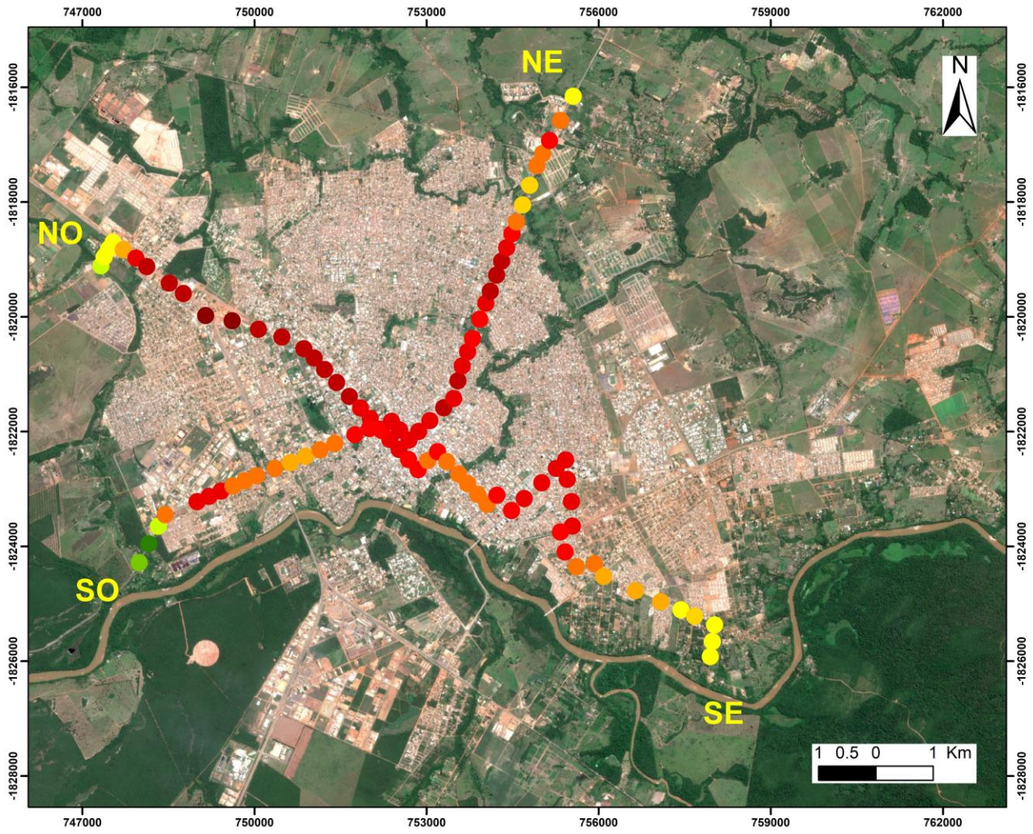


Frequência, direção e velocidade do vento no dia 17/06/2020



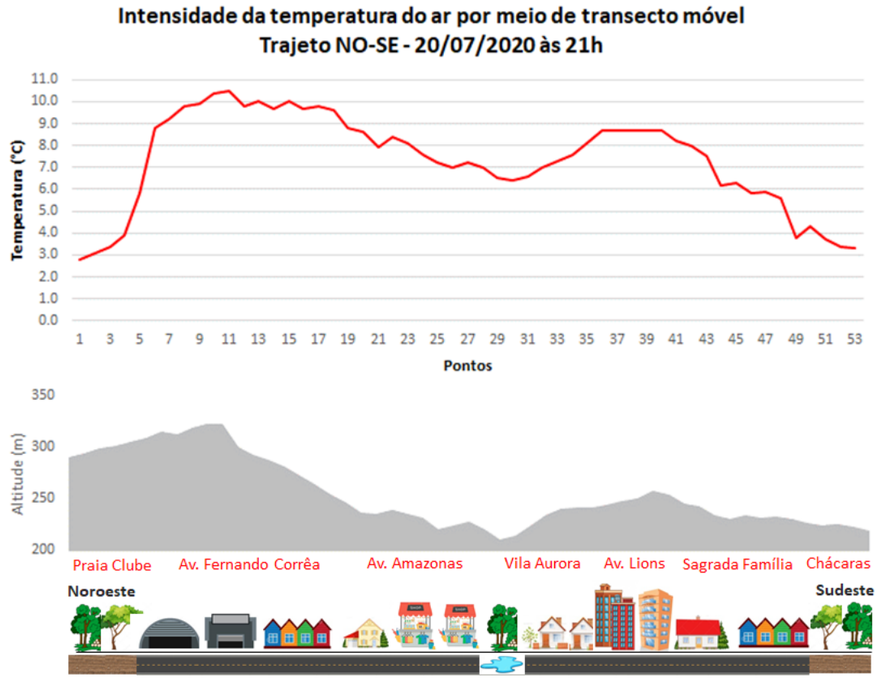
Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET; Imagem do Satélite Sentinel

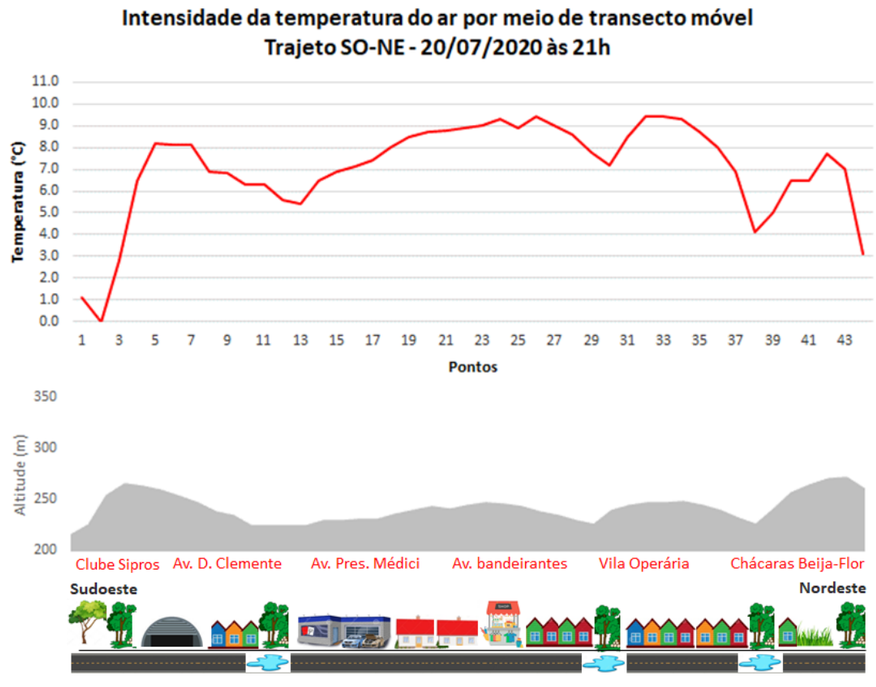
Prancha 5 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 20/07/2020 às 21h

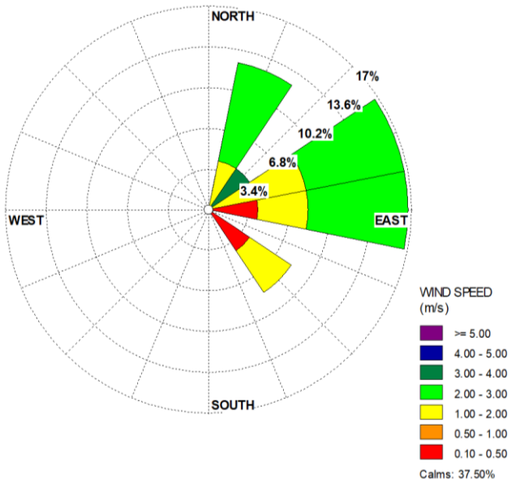


Intensidade da ilha de calor (ΔT ºC)

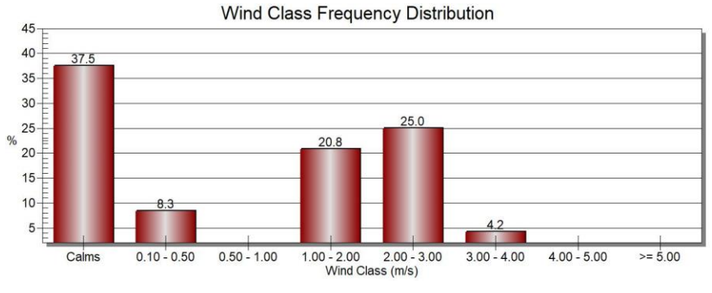
- 0.0 - 1.0
- 1.1 - 2.0
- 2.1 - 3.0
- 3.1 - 4.0
- 4.1 - 5.0
- 5.1 - 6.0
- 6.1 - 7.0
- 7.1 - 8.0
- 8.1 - 9.0
- 9.1 - 10.0
- 10.1 - 11.0





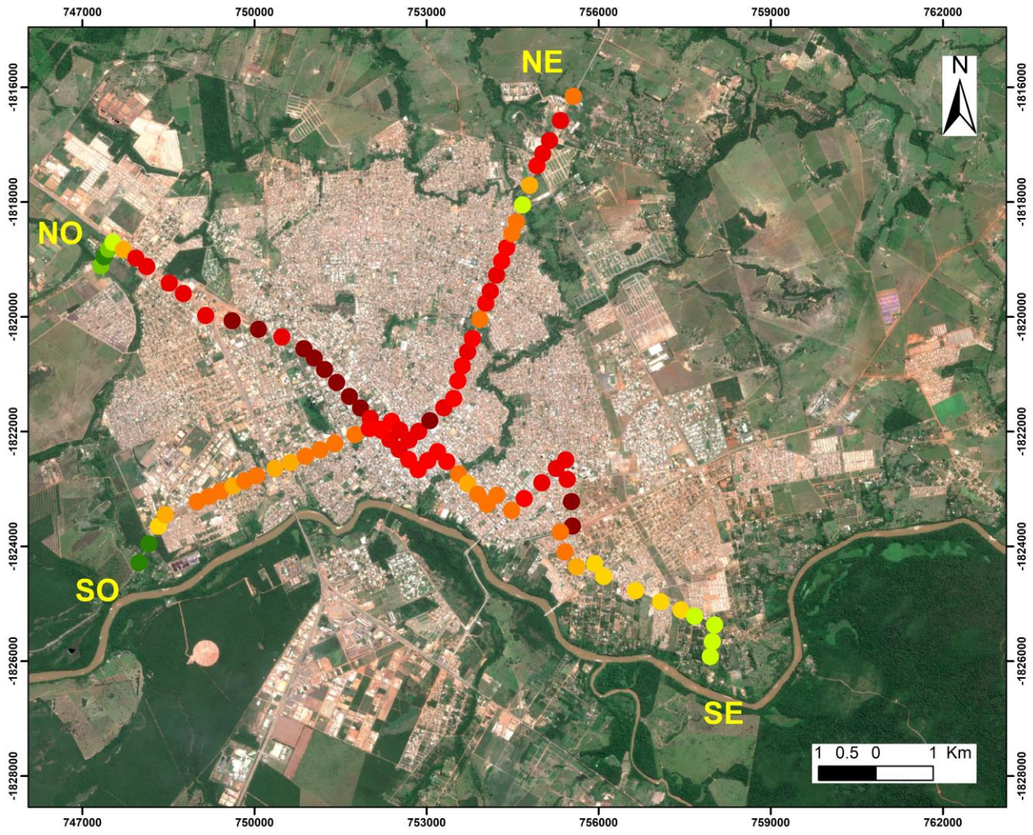


Frequência, direção e velocidade do vento no dia 20/07/2020



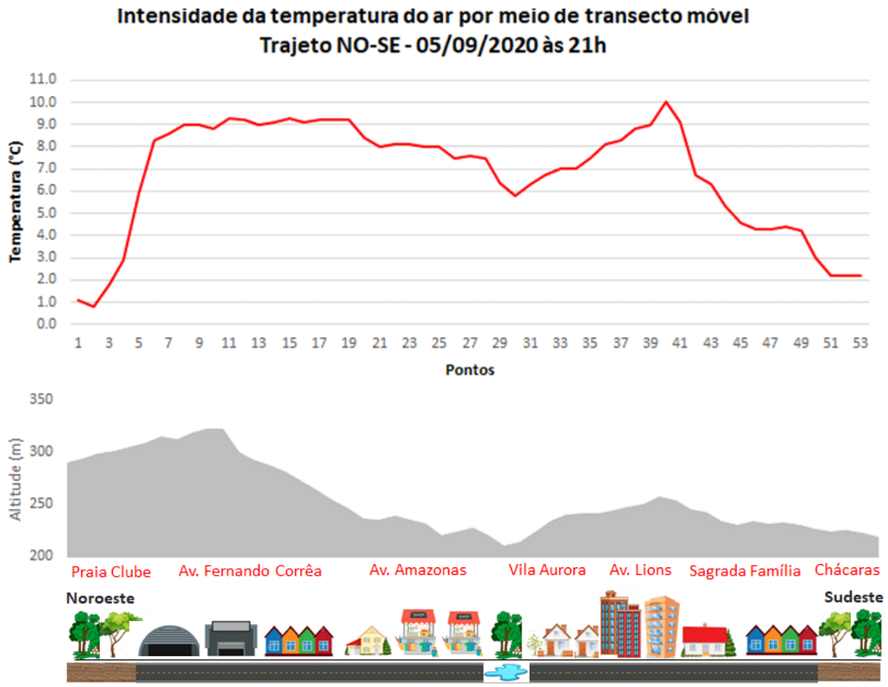
Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET; Imagem do Satélite Sentinel

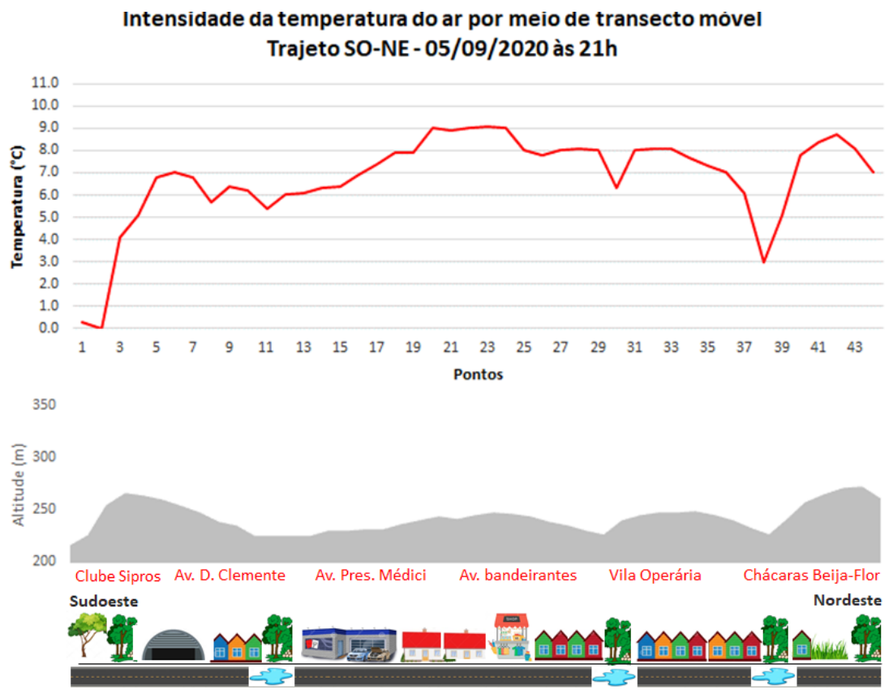
Prancha 6 - Intensidades das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - 05/09/2020 às 21h

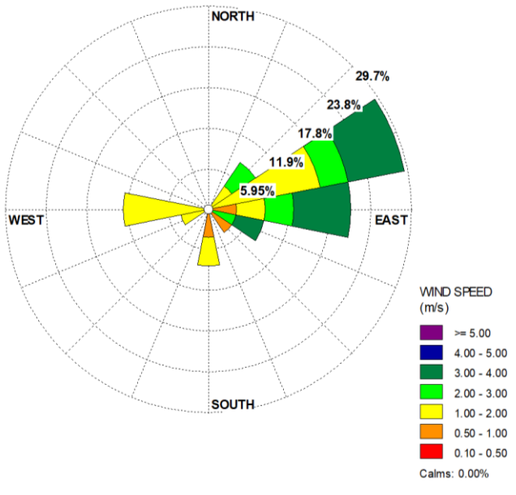


Intensidade da ilha de calor (ΔT ºC)

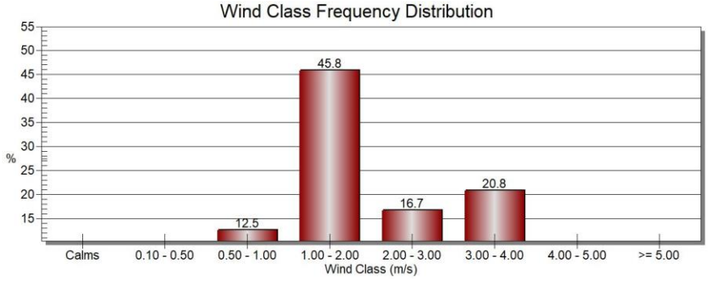
- 0.0 - 1.0
- 1.1 - 2.0
- 2.1 - 3.0
- 3.1 - 4.0
- 4.1 - 5.0
- 5.1 - 6.0
- 6.1 - 7.0
- 7.1 - 8.0
- 8.1 - 9.0
- 9.1 - 10.0
- 10.1 - 11.0





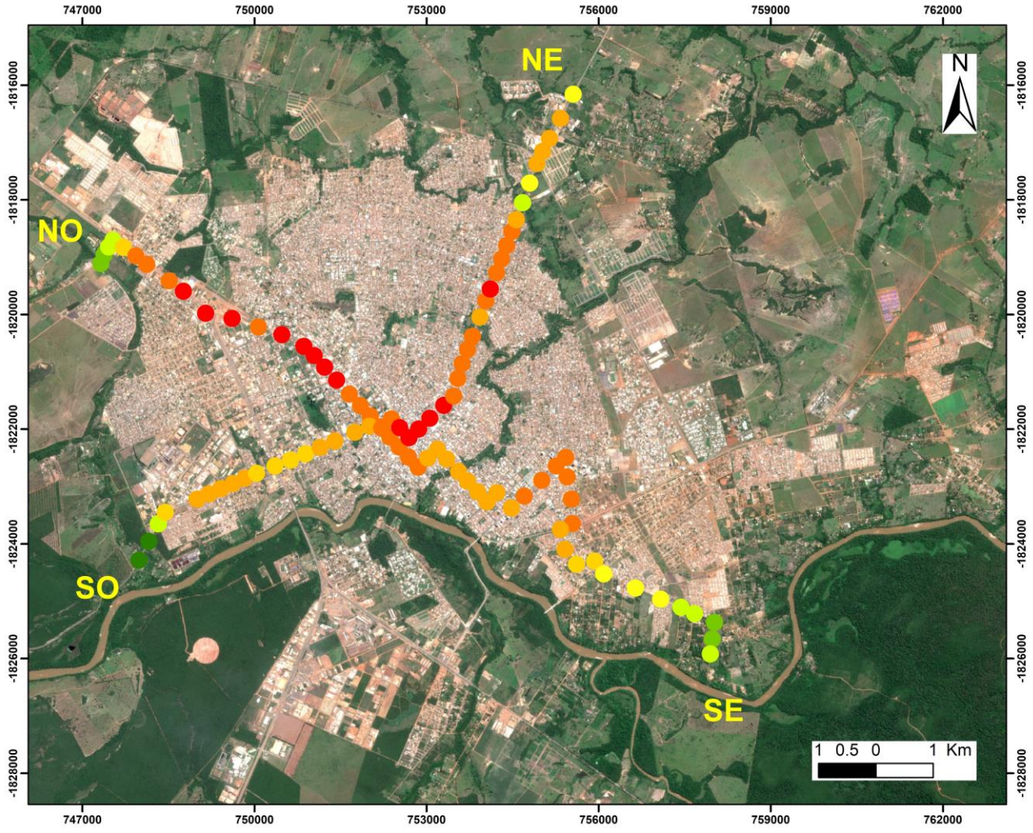


Frequência, direção e velocidade do vento no dia 05/09/2020



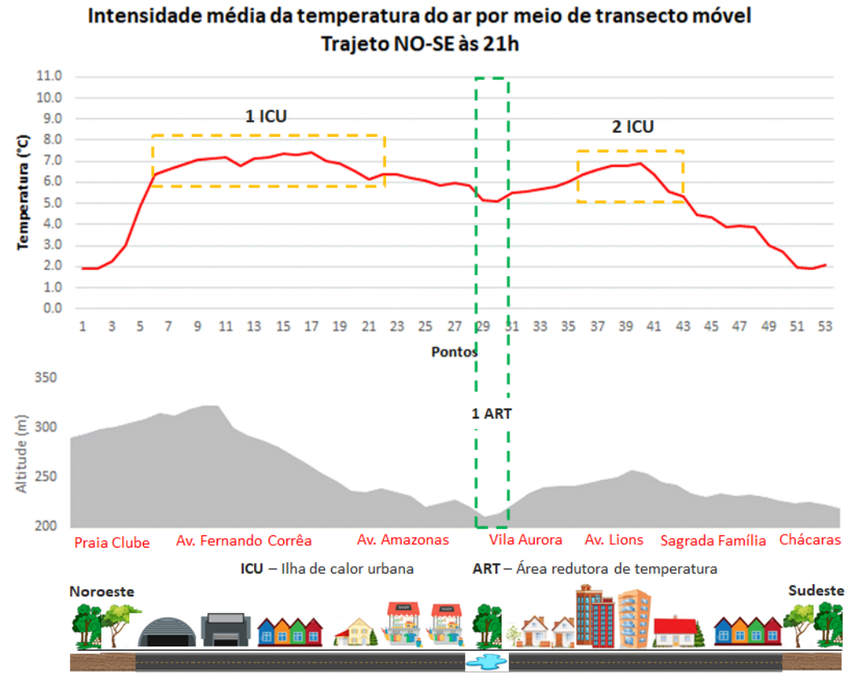
Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET; Imagem do Satélite Sentinel

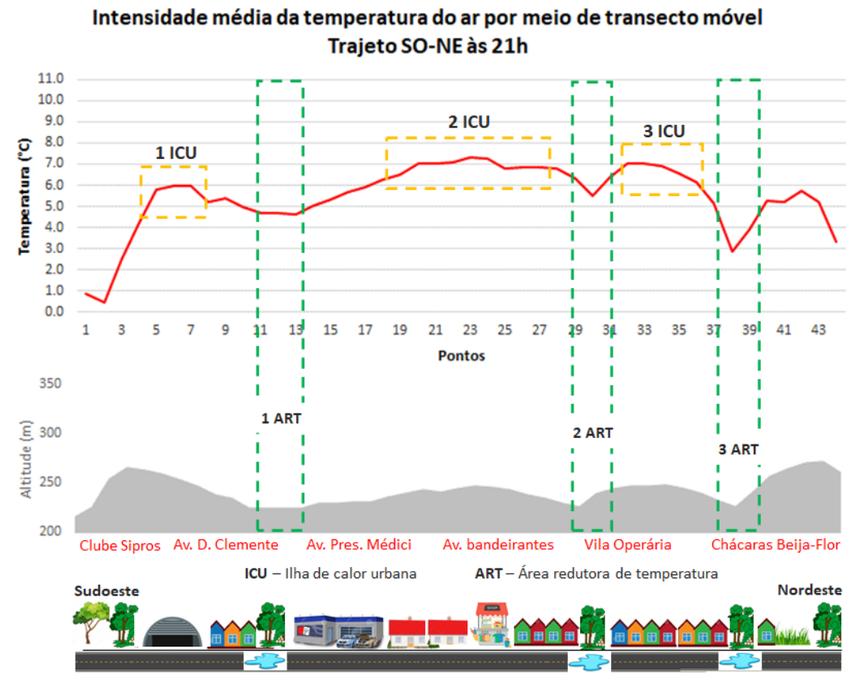
Prancha 7 - Intensidade média das ilhas de calor medidas por meio de transecto móvel - às 21h



Intensidade da ilha de calor (ΔT ºC)

- 0.0 - 1.0
- 1.1 - 2.0
- 2.1 - 3.0
- 3.1 - 4.0
- 4.1 - 5.0
- 5.1 - 6.0
- 6.1 - 7.0
- 7.1 - 8.0
- 8.1 - 9.0
- 9.1 - 10.0
- 10.1 - 11.0





DADOS METEOROLÓGICOS DOS EPSÓDIOS - 21h

Episódio	1	2	3	4
Data	01/06/2020	17/06/2020	20/07/2020	05/09/2020
Temperatura do ar (ºC)	23,0	22,8	23,9	29,7
Umidade relativa do ar (%)	66	59	38	24
Pressão atmosférica	981,9	982,2	981,3	979,4
Vel. do vento (m/s)	1,1	1,7	1.6	1,3
Dir. do vento	➔	➔	➔	➔
Sistema atmosférico	Pt	Pt	Ta	Ta

Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET; Imagem do Satélite Sentinel

4.3 - A evolução da ilha de calor por meio de pontos fixos

A análise das ilhas de calor atmosféricas por meio de pontos fixos foi realizada a partir da instalação de sensores de temperatura no intraurbano em comparação com as características do ambiente rural. Os levantamentos dos dados meteorológicos da temperatura do ar foram realizados a partir da utilização de doze pontos de monitoramento durante os meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro do ano de 2019.

No primeiro momento optou-se por realizar a síntese das ilhas de calor urbanas a partir da metodologia das tabelas dinâmicas no aplicativo Excel (AMORIM e DUBREUIL, 2017). Para a elaboração das tabelas, foram selecionados apenas dois pontos, um representativo do urbano e outro representativo do rural. O ponto escolhido para representar a área urbana se encontra no centro da cidade (Ponto 7 da Figura 9), região densamente construída, com grande fluxo de veículos e na zona comercial da cidade. O ponto representativo do rural (ponto 1 da Figura 9), está localizado no clube SIPROS, no extremo sudoeste da malha urbana, em uma área com a presença de cobertura vegetal arbórea.

A comparação ocorreu a partir do cálculo da diferença da temperatura do ar nos dois pontos analisados (Δt = U (Ponto 7) – R (Ponto1)). Posteriormente foram identificadas as magnitudes da ilha de calor urbana conforme classificação proposta por Fernández García (1996). As tabelas dinâmicas possibilitam uma análise de maior abrangência temporal, passando pela escala horária, diária, mensal e articulando com a escala sazonal (TEIXEIRA, 2019).

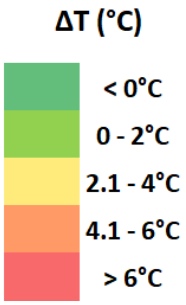
A primeira análise foi desenvolvida a partir da evolução horária e mensal das ilhas de calor no período em que foram realizados os registros de campo (Figura 48). A intensidade horária média mensal demostrou que as maiores intensidades das ilhas de calor em Rondonópolis foram registradas na estação seca. Os meses de julho, agosto e setembro apresentaram baixos totais pluviométricos contribuindo para evidenciar as áreas mais aquecidas de acordo com os tipos de materiais construtivos no ambiente urbano. Nesses meses, verificou-se que as maiores intensidades foram registradas no período noturno, entre 18h e 6h, devido a maior capacidade térmica dos materiais urbanos em reter a energia recebida durante o dia, quando se compara com o ambiente rural.

As ilhas de calor de muito forte magnitude (> 6ºC), ocorreram entre às 18h e 22h nos três meses da estação seca, predominando no mês de setembro, quando houve o menor registro de precipitação. No período chuvoso, observou redução significativa das intensidades e predominou ilhas de calor de moderada magnitude (entre 2ºC e 4ºC), sobretudo durante o dia, enquanto que durante a noite aumentou a frequência das intensidades de fraca magnitude (entre

0ºC e 2ºC). Nesta primeira análise não foram observados nenhum momento com a ocorrência de ilhas de frescor entre os pontos analisados (Figura 48).

Figura 48 - Intensidade horária média da ilha de calor - julho a dezembro de 2019 - Urbano (Ponto 7 - Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)

2019						
	Meses					
Hora	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00:00	4.9	5.5	5.8	3.4	2.5	1.8
01:00	4.7	5.2	5.5	3.2	2.2	1.8
02:00	4.6	5.0	5.4	2.8	2.0	1.7
03:00	4.3	4.9	5.3	2.7	1.9	1.6
04:00	4.0	4.7	5.0	2.7	1.9	1.5
05:00	3.9	4.6	4.9	2.7	1.8	1.4
06:00	3.7	4.6	4.7	2.6	1.8	1.4
07:00	3.4	4.1	4.2	2.4	2.1	1.7
08:00	2.5	3.2	3.1	2.1	2.3	2.1
09:00	1.4	1.8	2.2	1.9	2.5	2.4
10:00	1.1	1.5	1.6	2.0	2.6	2.8
11:00	1.1	1.6	1.9	2.6	3.1	3.4
12:00	1.6	1.7	2.2	2.9	3.9	3.5
13:00	2.2	2.4	3.1	3.7	4.2	4.1
14:00	2.1	3.0	3.6	3.9	4.3	4.2
15:00	2.3	2.7	3.4	3.8	4.3	4.1
16:00	3.1	3.0	3.8	3.2	3.9	3.6
17:00	4.7	4.0	4.5	3.3	3.1	3.3
18:00	6.3	6.0	6.2	3.4	2.9	2.5
19:00	6.4	6.4	6.8	3.7	2.7	2.3
20:00	6.0	6.3	6.9	3.8	2.8	2.2
21:00	5.9	6.0	6.6	3.7	2.7	2.2
22:00	5.5	5.9	6.3	3.2	2.7	2.1
23:00	5.1	5.7	5.8	3.3	2.6	2.0
Precipitação (mm)	5.0	5.6	2.8	164.4	184.2	156.2



Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

A segunda análise foi desenvolvida a partir da intensidade da ilha de calor nas 24 horas do dia, levando em consideração cada mês de registo dos dados de temperatura. Foi possível identificar a variação da temperatura horária, diária e mensal de acordo com a precipitação total acumulada em 24h, a velocidade dos ventos às 9h (INMET/UFR) e os sistemas atmosféricos atuantes, com base nos gráficos de análise rítmica e nos boletins técnicos do CPTEC-INPE (Figura 49, Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54).

Com o intuito de identificar os sistemas atmosféricos atuantes nos meses de coletas dos dados, os gráficos de análise rítmica foram elaborados com base nas contribuições teóricas propostas por Sorre (1951), e posteriormente desenvolvidas por Monteiro (1971). Para a caracterização da gênese dos sistemas atmosféricos é necessário ir além do estabelecimento de padrões médios, buscando entender o ritmo climático a partir da sucessão dos estados atmosféricos em ordem cronológica (SANT'ANNA NETO, 2008).

> [...] o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo (MONTEIRO, 1971, p.9).

Somente a análise detalhada ao nível temporal na escala diária é capaz de oferecer parâmetros válidos para a compreensão dos mecanismos atmosféricos e função dos elementos do clima. O gráfico, portanto, consiste na representação contínua e simultânea dos elementos básicos, com o objetivo de identificar e entender a formação dos diferentes sistemas atuantes na área de estudo.

Desta forma, durante as estações seca e chuvosa, foram identificados diversos sistemas atmosféricos que atuaram na região: massa de ar Polar Atlântica (mPa), massa de ar Polar Atlântica Tropicalizada (mPt), massa de ar Tropical Atlântica (mTa), massa de ar Tropical Atlântica Continentalizada (mTac), massa de ar Tropical Continental (mTc), massa de ar Equatorial Continental (mEc), Frente Polar Atlântica (FPA), Repercussão da Frente Polar Atlântica (Rep), Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Instabilidade Tropical (IT) e Cavado (CV).

O mês de julho (Figura 49), apresentou diferentes intensidades ao longo das horas e mostrou um padrão em relação as ilhas de calor noturnas. As maiores intensidades ocorreram entre 18h e 22h, configurando ilhas de calor de muito forte magnitude (acima de 6ºC). A intensidade máxima atingiu 9ºC às 19h no dia 31, sob atuação da massa Tc. Durante a madrugada, as intensidades diminuíram levemente e houve predominância de ilhas de calor de forte magnitude (entre 4,1ºC e 6ºC). Durante o dia as intensidades foram mais amenas, com ilhas de calor de fraca (entre 0ºC e 2ºC) e moderada (entre 2ºC e 4ºC) magnitudes. Nos dias em que houve instabilidade, com presença de precipitação, as intensidades foram pequenas, como por exemplo, no dia 05 (4,8 mm). Os dias instáveis ocorreram quando a cidade esteve sob atuação da FPA e da Rep.

Durante o mês de agosto (Figura 50), as ilhas de calor de muito forte magnitude também apresentaram o mesmo padrão do mês anterior, porém se estenderam com mais frequência pela madrugada, normalmente, associado aos dias em que houve atuação da massa Tc, com a maior intensidade atingindo 9,6ºC às 19h no dia 01. Novamente as intensidades diminuíram ao longo do dia, principalmente entre às 9h e 11h, atrelado a inclinação dos raios solares e ao efeito sombra, típico dos ambientes urbanos densamente construídos. Nos dias em que houve atuação dos sistemas atmosféricos instáveis, como Rep, FPA e IT, mesmo sem a presença de precipitação, as intensidades diminuíram. Nesses dias, as velocidades dos ventos se intensificaram e dissiparam o calor, além da nebulosidade que interferiu na incidência dos raios solares.

O mês de setembro (Figura 51), foi o mais seco no período analisado e manteve o padrão em relação aos meses anteriores em relação a ilha de calor noturna nos dias com estabilidade atmosférica. A maior intensidade foi de 10,4ºC e ocorreu às 19h do dia 16, sob atuação da massa Tc. Nos dias em que houve atuação dos sistemas atmosféricos instáveis (02, 13, 23, 24 25, 26 e 27), as intensidades foram mais amenas, inclusive no período noturno. Durante os outros dias do mês, principalmente aqueles com atuação da massa Tc, as intensidades foram muito altas e apresentaram ilhas de calor de muito forte magnitude.

No mês de outubro (Figura 52), houve precipitação de 164,4 mm, com atuação de sistemas atmosféricos instáveis (ZCAS, ZCOU, IT e CV), que contribuíram para o aumento da nebulosidade e para as chuvas constantes em treze dias ao longo do mês. As intensidades foram baixas e as ilhas de calor de forte magnitudes ocorreram em apenas seis dias e em horários isolados. No período chuvoso as ilhas de calor mudam as suas características e as intensidades ficaram maiores durante o dia, sobretudo no período da tarde, relacionado a exposição direta dos sensores aos raios solares. Durante a noite a liberação de calor foi pequena nos dias de chuva, pois os fluxos advectivos mais fortes anularam as ilhas de calor ou foram de fraca magnitude.

O mês de novembro (Figura 53), apresentou precipitação de 184,2 mm e seguiu o mesmo padrão do mês anterior, com baixas intensidades das ilhas de calor durante a noite e as diferenças foram maiores durante o dia entre às 12h e 16h. Os sistemas atmosféricos instáveis atuaram em praticamente todo o mês e as chuvas ocorreram durante vinte e um dias.

O mês de dezembro (Figura 54), também apresentou totais pluviométricos elevados de 156,2 mm, com atuação predominante dos sistemas atmosféricos instáveis. As maiores intensidades se limitaram novamente ao período da tarde, típico da estação chuvosa. Durante a noite e na madrugada as magnitudes das ilhas de calor permaneceram entre fracas e moderadas.

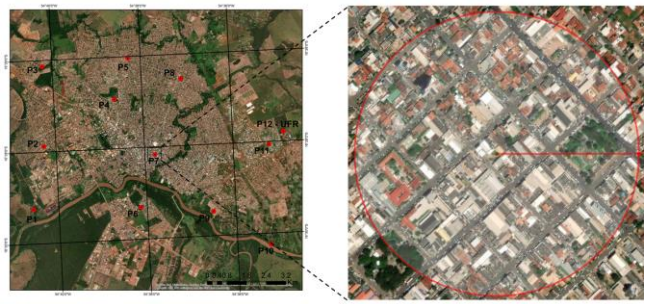
Figura 49 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de julho de 2019: Urbano (Ponto 7 - Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)

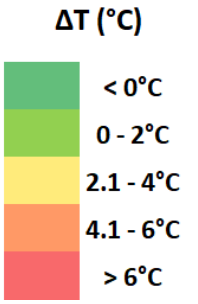
Dia	Hora																								Média	Precipitação (mm)	Vento (m/s) 12:00 (UTC)	Sistema Atmosférico
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
1	5.2	5.4	4.8	4.4	4.4	4.1	3.9	3.7	2.7	1.5	1.5	1.1	2.3	2.8	2.7	2.8	3.8	5.9	7.6	7.0	6.6	5.9	5.2	5.8	4.2	0.0	0.1	Pt
2	5.9	4.8	5.4	4.6	4.6	4.1	3.6	3.5	2.4	1.7	1.2	1.7	2.2	2.5	2.2	2.0	2.9	5.5	8.4	8.0	7.4	6.8	6.3	5.5	4.3	0.0	0.3	Pt
3	4.4	4.7	4.5	4.3	3.9	3.2	2.6	2.7	3.0	1.3	1.5	4.2	2.1	5.0	3.8	2.3	2.1	3.8	7.1	8.0	6.8	5.6	5.6	4.3	4.0	0.0	0.8	Rep
4	4.0	3.3	3.7	3.9	4.3	3.1	3.2	3.7	2.1	2.1	2.3	-0.1	1.7	2.1	4.0	3.5	3.8	4.7	5.8	6.3	5.8	5.7	5.2	5.4	3.7	0.0	1.6	Rep
5	5.1	4.7	4.4	3.0	1.3	1.1	0.8	0.9	1.2	1.2	1.6	1.2	1.2	1.0	1.2	1.1	1.3	1.4	1.1	0.8	0.7	1.0	1.1	1.2	1.7	4.8	1.7	FPA
6	2.1	2.3	2.6	2.1	2.1	2.7	2.8	2.7	1.8	0.7	0.7	0.4	1.0	1.2	1.4	1.4	2.3	2.7	3.6	4.1	3.7	4.9	4.6	4.7	2.4	0.0	1.5	Pa
7	5.4	5.0	4.9	4.7	4.7	4.4	4.3	3.8	2.1	1.2	0.4	-0.1	0.4	0.9	0.7	1.5	2.2	3.8	6.4	7.2	7.1	7.7	6.8	6.1	3.8	0.0	1.0	Pa
8	5.8	5.7	4.8	4.5	4.0	4.2	4.5	4.2	2.7	1.1	-0.1	0.6	1.3	2.6	1.0	1.7	2.8	4.9	7.0	7.5	6.8	6.9	6.6	5.9	4.0	0.0	0.0	Pa
9	5.7	5.4	5.4	5.0	4.3	4.6	4.3	3.9	2.4	1.6	0.7	0.4	0.9	2.4	2.7	2.5	4.0	5.3	7.2	8.0	7.9	7.1	6.4	5.9	4.3	0.2	0.9	Pt
10	5.6	5.4	5.4	4.6	3.7	3.6	3.6	3.7	2.8	1.1	0.6	0.0	1.5	1.8	1.7	2.0	3.6	5.8	8.1	7.7	7.2	6.6	5.9	5.8	4.1	0.0	0.1	Pt
11	5.8	5.1	5.2	4.7	4.2	4.4	4.3	3.9	3.0	1.4	0.5	2.1	1.7	1.4	1.7	1.6	2.5	5.0	7.5	7.7	7.2	6.8	6.3	5.7	4.2	0.0	0.8	Pt
12	5.9	5.5	5.1	5.1	4.8	4.8	4.7	4.6	3.5	1.5	0.7	0.7	1.6	2.7	1.9	1.7	2.7	5.6	7.5	7.3	7.9	7.1	6.5	6.4	4.4	0.0	1.5	Pt
13	6.0	5.2	5.1	4.2	4.5	4.5	4.5	3.1	2.1	1.2	1.5	1.0	1.9	2.7	2.3	4.4	4.2	5.6	6.8	6.9	5.6	5.5	5.3	5.0	4.1	0.0	0.0	Tc
14	4.5	4.4	4.1	4.7	4.3	3.7	3.4	3.7	3.4	1.8	0.8	0.7	1.5	2.1	1.7	2.0	4.4	5.6	6.6	6.4	5.9	5.9	4.8	5.3	3.8	0.0	0.1	Tc
15	5.0	5.1	4.7	4.2	4.8	4.1	3.6	3.6	2.6	2.3	2.2	2.0	1.9	2.5	3.0	5.2	6.1	7.5	7.6	7.7	7.1	7.1	6.7	6.3	4.7	0.0	0.0	Tc
16	5.8	5.6	5.3	4.7	4.3	4.5	4.2	3.3	2.7	1.6	0.9	1.0	1.5	2.0	2.4	3.0	4.3	5.5	5.7	5.0	4.0	4.5	5.0	5.2	3.8	0.0	0.2	Rep
17	5.0	5.0	4.7	4.5	4.3	3.9	3.7	3.7	3.0	1.6	1.2	1.2	1.4	2.4	1.8	2.5	3.3	5.0	7.2	5.9	6.3	6.0	5.7	5.5	4.0	0.0	1.7	Pt
18	5.2	4.5	4.2	3.9	4.3	3.9	4.2	3.6	2.5	1.5	1.7	1.5	2.4	2.9	2.8	2.6	3.6	5.8	8.4	7.4	6.5	6.2	4.8	5.5	4.2	0.0	1.7	Tc
19	5.0	5.1	5.1	4.6	4.0	4.5	4.9	4.8	3.5	2.4	2.4	1.2	1.8	2.2	2.7	3.2	5.0	8.0	8.5	7.9	7.3	6.1	5.5	5.3	4.6	0.0	1.5	Tc
20	5.4	5.6	4.9	5.0	4.7	4.8	4.2	3.8	2.2	1.3	2.2	1.1	1.5	2.3	2.5	2.3	2.0	2.7	5.6	6.4	7.0	6.9	6.2	5.6	4.0	0.0	1.1	Rep
21	5.3	4.7	4.6	4.3	4.1	4.5	4.8	4.3	2.9	2.4	2.8	3.4	2.0	2.4	2.5	1.4	1.7	3.3	6.4	7.1	6.3	5.7	5.3	5.0	4.1	0.0	0.6	Rep
22	4.6	4.7	4.4	4.2	4.1	4.1	4.4	4.1	3.3	1.9	1.4	2.0	2.2	2.6	2.5	2.8	4.6	5.5	7.1	7.5	7.0	6.3	6.3	5.7	4.3	0.0	0.5	IT
23	5.2	4.8	5.0	5.2	5.2	4.8	4.8	4.5	3.9	1.9	0.9	0.8	1.5	2.3	2.8	1.9	2.7	4.4	7.4	8.1	6.8	7.2	6.3	4.9	4.3	0.0	0.1	Ta
24	4.9	5.2	5.0	5.1	4.8	4.9	5.1	4.6	3.6	1.8	1.1	0.5	1.9	2.2	1.7	2.6	3.2	6.0	2.2	1.4	1.8	2.3	1.9	2.1	3.2	0.0	0.0	Ta
25	1.7	2.7	2.9	2.5	1.7	1.3	1.3	0.8	0.7	0.6	0.9	1.3	1.5	1.4	1.6	1.4	1.3	1.7	2.0	1.9	2.5	2.7	2.7	1.8	1.7	0.0	2.1	FPA
26	2.2	2.0	2.2	1.9	1.6	1.4	1.2	0.9	0.4	0.7	-0.1	0.1	0.3	1.2	0.9	1.3	1.7	2.3	3.1	3.6	3.8	4.6	4.7	4.3	1.9	0.0	1.3	Rep
27	4.0	4.1	3.6	3.9	3.2	2.6	1.9	1.6	1.1	0.0	-0.2	0.3	0.9	1.4	2.1	2.0	2.7	3.1	3.0	3.5	3.0	3.9	4.9	4.7	2.6	0.0	1.4	Pt
28	4.2	4.2	4.7	4.5	3.7	3.5	3.8	3.7	2.2	0.7	0.3	0.8	2.1	1.8	1.9	2.6	2.0	3.4	6.3	7.6	7.6	7.1	6.6	5.7	3.8	0.0	0.5	Pt
29	5.4	5.5	5.1	4.9	5.1	5.4	4.8	4.2	3.2	1.8	0.9	1.4	1.2	2.1	2.3	1.9	3.4	5.3	7.9	7.8	7.2	7.7	7.7	6.0	4.5	0.0	0.0	Tc
30	6.2	5.7	5.6	5.3	4.6	4.6	4.1	3.6	3.0	1.3	1.0	0.4	1.3	2.4	1.8	1.8	3.3	5.2	7.6	8.3	8.0	7.6	7.2	6.7	4.4	0.0	0.4	Tc
31	5.9	5.7	5.4	4.7	5.2	4.3	4.6	3.7	2.9	1.5	0.8	1.2	1.8	2.7	2.3	2.6	3.6	5.9	8.8	9.0	8.7	7.8	7.4	6.3	4.7	0.0	0.0	Tc
Média	4.9	4.7	4.6	4.3	4.0	3.9	3.7	3.4	2.5	1.4	1.1	1.1	1.6	2.2	2.1	2.3	3.1	4.7	6.3	6.4	6.0	5.9	5.5	5.1	3.8	5.0	x	x

Ponto 1 - Sipros



Ponto 7 - Centro





Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

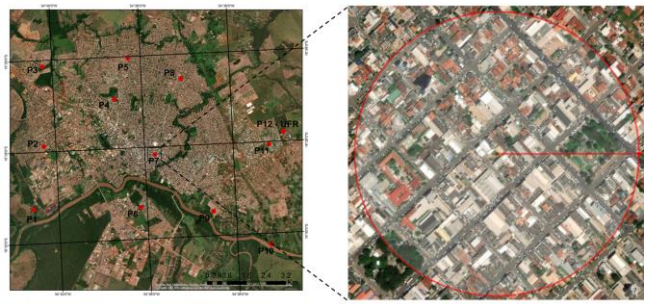
Figura 50 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de agosto de 2019: Urbano (Ponto 7 - Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)

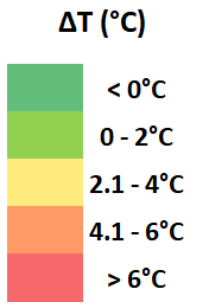
Dia	Hora																							Média	Precipitação (mm)	Vento (m/s) 12:00 (UTC)	Sistema Atmosférico
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
1	6.0	5.8	5.7	4.9	5.0	5.1	4.9	4.7	3.7	1.9	1.1	1.3	2.0	3.0	2.7	3.0	3.4	3.5	8.8	9.6	8.2	7.6	7.0	6.5	4.8	0.0	0.0	Tc
2	5.6	5.4	4.6	4.8	5.3	5.0	4.8	4.4	4.2	4.3	4.0	5.8	3.4	1.7	1.9	1.9	1.5	1.3	1.0	0.7	0.6	0.6	0.8	1.0	3.1	0.0	0.2	Rep
3	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6	0.9	1.1	1.0	0.5	0.6	0.8	0.6	1.1	1.5	1.3	1.6	1.5	1.7	2.6	1.2	1.3	1.5	1.7	2.0	1.2	0.0	3.0	FPA
4	2.1	1.6	1.5	2.6	3.1	1.6	2.4	1.8	1.0	0.1	-0.1	0.2	1.7	1.0	1.6	1.3	1.4	1.9	2.6	2.4	3.0	3.7	5.1	5.2	2.0	0.0	1.8	Pa
5	4.8	4.6	4.6	4.2	4.2	3.9	4.0	3.9	2.5	1.0	-0.4	0.8	0.8	1.7	2.6	1.3	2.0	4.2	6.3	5.7	5.5	5.0	5.3	5.7	3.5	0.0	0.1	Pt
6	5.0	4.5	4.0	4.1	3.7	3.7	3.7	3.4	2.3	1.0	1.3	0.8	1.1	2.6	2.6	1.3	1.1	1.0	4.6	2.4	2.0	1.3	2.1	2.9	2.6	5.0	1.8	IT
7	3.4	3.6	4.0	3.8	3.8	3.7	3.7	3.4	2.7	0.7	1.2	0.2	0.3	1.2	2.5	1.1	1.3	1.5	5.3	7.2	7.4	6.3	5.9	5.2	3.3	0.0	1.7	Tc
8	5.4	5.3	5.0	4.7	4.4	4.8	5.1	4.3	3.4	1.2	0.0	1.4	0.2	2.2	2.3	2.0	2.0	3.6	8.0	9.1	8.4	7.9	7.0	6.1	4.3	0.0	0.8	Tc
9	6.5	6.4	6.0	6.1	5.6	5.2	5.2	4.9	3.5	1.1	-0.1	0.7	0.9	1.9	2.5	2.3	1.6	3.4	6.9	8.7	8.4	7.6	7.5	6.9	4.6	0.0	0.0	Tc
10	6.8	6.6	6.1	5.9	5.9	5.5	5.3	4.6	3.6	1.3	0.5	1.1	1.0	1.5	2.8	2.2	2.9	5.6	7.5	7.9	8.7	8.7	8.2	7.6	4.9	0.0	1.0	Tc
11	6.1	5.9	5.8	5.2	5.3	5.1	4.9	3.8	2.6	0.8	0.2	1.0	1.1	2.1	3.1	2.0	1.5	2.8	6.6	9.0	9.0	7.8	7.4	6.7	4.4	0.0	0.0	Tc
12	6.7	5.8	5.8	5.5	5.2	4.9	4.7	3.8	3.6	1.5	0.8	0.9	2.1	3.5	2.8	3.2	2.8	5.0	8.6	8.3	7.9	6.7	6.2	5.8	4.7	0.0	0.9	Tc
13	5.9	5.8	6.1	5.9	6.0	6.2	5.3	5.0	4.4	4.3	3.8	1.9	1.9	5.3	5.5	1.2	2.2	2.6	3.2	2.3	1.6	1.6	1.5	1.7	3.8	0.0	0.1	Rep
14	2.0	2.3	2.0	1.7	2.4	3.1	2.6	2.3	1.2	0.5	1.2	0.8	0.8	2.2	2.5	1.6	2.1	1.8	2.5	2.8	3.3	2.8	3.0	4.6	2.2	0.0	2.5	FPA
15	4.7	4.8	4.0	4.4	5.1	5.1	4.3	4.0	2.8	1.0	0.9	1.9	1.6	1.9	2.5	1.2	1.0	1.4	5.4	7.7	9.0	7.8	7.3	7.6	4.1	0.0	0.5	Pt
16	7.9	6.8	6.6	6.4	6.4	6.1	5.9	5.2	4.1	1.6	2.0	1.2	1.2	2.3	3.3	1.8	4.0	4.6	8.2	8.3	8.4	7.6	6.7	6.3	5.1	0.0	1.2	Tc
17	6.1	5.9	5.8	5.3	5.1	5.2	5.6	4.1	3.5	1.9	2.3	1.6	2.2	1.6	1.6	2.6	2.7	4.8	6.5	7.0	8.0	7.2	7.2	6.3	4.6	0.0	1.2	Tc
18	6.2	6.5	5.7	6.2	5.3	5.0	4.9	4.5	4.1	2.7	3.5	3.5	1.4	1.8	2.8	2.8	3.9	5.0	7.8	7.6	7.7	7.9	7.2	6.6	5.0	0.0	0.0	Tc
19	6.0	5.3	5.5	4.9	4.9	4.1	4.3	3.8	2.7	2.1	1.8	1.8	2.2	4.1	3.2	2.9	3.6	4.0	4.0	4.8	3.9	3.1	3.2	2.0	3.7	0.0	2.5	Rep
20	1.4	1.4	2.1	3.0	3.2	3.5	4.1	3.3	2.3	1.3	1.0	1.1	1.3	1.3	2.1	2.4	2.4	3.2	3.5	3.0	4.2	4.3	4.4	5.2	2.7	0.0	1.1	Pt
21	4.7	4.0	3.9	4.2	4.3	4.2	4.7	4.0	3.0	1.3	1.0	1.5	2.1	3.2	3.3	3.1	3.8	5.5	5.2	5.9	6.3	7.1	6.8	7.5	4.2	0.0	0.0	Tc
22	7.7	7.0	5.7	5.2	5.6	5.1	5.3	5.1	4.2	3.2	1.8	1.4	1.4	2.2	3.8	3.4	4.8	6.3	7.8	8.1	3.3	4.9	6.0	6.4	4.8	0.0	2.7	Tc
23	6.7	7.2	6.7	6.5	6.7	6.4	6.0	5.2	4.7	2.7	1.4	1.8	1.5	3.0	3.4	5.4	3.6	3.7	5.0	6.6	7.4	7.4	7.8	7.9	5.2	0.0	1.3	Tc
24	7.2	7.2	6.9	6.7	5.3	6.0	5.5	5.0	3.2	1.2	1.3	2.6	2.2	2.5	3.3	4.4	5.1	7.0	8.3	9.1	8.8	8.2	7.5	7.1	5.5	0.0	2.3	IT
25	7.0	6.7	6.4	6.2	5.7	6.1	5.5	4.8	3.1	1.3	1.6	1.8	1.7	2.7	2.2	3.2	3.0	4.1	8.0	9.2	9.1	8.6	8.3	7.1	5.1	0.0	2.2	Tc
26	7.2	6.6	6.5	6.1	6.4	5.5	6.2	5.2	4.0	2.2	1.4	1.6	2.2	3.4	4.4	4.0	5.5	4.6	6.6	6.6	6.1	8.1	7.5	7.0	5.2	0.0	1.4	Rep
27	6.7	6.4	5.2	4.8	1.8	2.0	2.4	1.9	1.3	1.5	1.8	1.5	1.7	2.9	4.0	4.9	5.4	5.7	5.9	4.5	5.1	5.2	5.2	5.3	3.9	0.6	2.1	FPA
28	5.0	4.3	4.0	4.2	4.0	4.0	4.1	3.9	3.0	2.6	2.8	2.0	3.8	2.9	3.5	3.7	5.1	6.2	8.1	7.9	7.5	7.5	7.1	6.9	4.8	0.0	0.0	Rep
29	6.3	6.0	6.2	5.4	4.9	5.1	4.6	4.4	4.3	2.8	2.9	1.8	2.8	3.0	4.2	3.4	2.9	4.4	5.6	7.1	7.2	6.8	6.7	6.0	4.8	0.0	1.2	Tc
30	5.2	5.2	5.4	5.7	5.7	5.3	5.3	4.7	4.4	2.6	1.7	2.8	2.3	0.8	4.3	4.7	4.5	6.7	8.7	8.9	8.2	6.9	6.8	6.9	5.2	0.0	0.9	Tc
31	6.8	6.4	6.4	6.1	5.8	5.7	5.7	5.3	3.8	2.8	1.7	1.7	1.4	2.5	5.0	5.1	5.2	5.9	8.2	8.5	8.5	8.4	8.1	7.3	5.5	0.0	0.4	Tc
Média	5.5	5.2	5.0	4.9	4.7	4.6	4.6	4.1	3.2	1.8	1.5	1.6	1.7	2.4	3.0	2.7	3.0	4.0	6.0	6.4	6.3	6.0	5.9	5.7	4.2	5.6	x	x

Ponto 1 - Sipros



Ponto 7 - Centro





Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

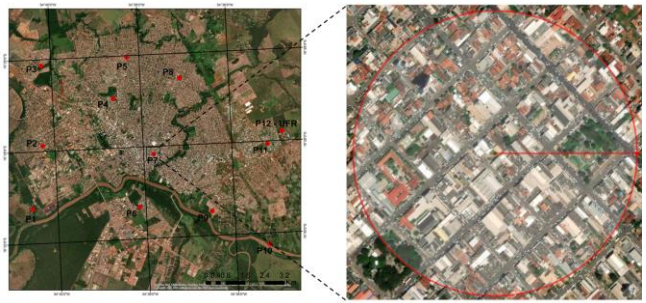
Figura 51 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de setembro de 2019: Urbano (Ponto 7-Centro) e Rural (Ponto 1-Sipros)

Dia	Hora																								Média	Precipitação (mm)	Vento (m/s) 12:00 (UTC)	Sistema Atmosférico
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
1	6.7	6.1	6.1	5.3	5.6	5.7	5.6	4.9	3.3	1.2	0.6	1.2	1.2	2.8	2.4	2.3	1.9	3.1	3.6	3.7	2.9	2.7	1.2	1.1	3.4	0.0	2.2	Tc
2	1.5	1.5	2.1	2.0	2.1	2.8	2.3	2.0	0.9	0.4	0.5	1.5	1.6	3.2	2.7	3.3	4.2	5.2	6.2	5.9	6.6	6.8	6.8	6.4	3.3	0.0	1.5	Rep
3	6.1	5.5	5.7	5.3	5.2	5.1	4.6	4.4	3.7	2.7	2.0	1.7	2.0	5.9	5.4	3.6	4.2	5.2	7.4	7.8	7.3	6.9	6.6	6.7	5.0	0.0	0.5	Tc
4	6.5	5.9	5.3	5.3	5.1	4.9	5.2	4.5	3.3	2.3	1.3	1.3	2.1	3.5	3.9	3.6	4.9	6.6	9.7	9.3	9.4	7.9	6.8	7.1	5.2	0.0	0.0	Tc
5	7.3	7.3	6.0	6.0	6.2	6.1	5.9	5.2	4.1	2.4	1.9	2.1	2.3	3.8	4.4	3.0	4.1	5.9	8.5	9.3	9.3	9.2	9.4	8.4	5.8	0.0	1.9	Tc
6	8.2	7.3	6.4	6.0	5.4	4.9	4.8	4.6	3.1	1.3	0.6	2.4	1.8	2.9	3.3	1.5	2.0	2.7	7.4	9.2	10.4	9.5	9.9	8.9	5.2	0.0	0.7	Tc
7	8.8	8.6	8.1	8.1	7.6	6.6	6.7	6.0	3.9	1.8	2.0	1.3	1.8	2.5	3.6	2.6	2.4	2.6	7.1	9.6	10.1	9.2	8.4	7.7	5.7	0.0	1.1	Tc
8	7.7	7.4	7.5	7.1	6.3	6.6	6.5	5.4	3.8	2.6	2.9	1.3	2.2	2.6	3.8	2.9	4.3	5.0	7.6	8.8	9.1	8.8	8.1	7.5	5.7	0.0	0.5	Tc
9	7.1	6.6	7.0	6.7	6.1	6.0	6.4	4.5	2.6	2.6	2.4	1.4	2.6	3.5	2.3	1.8	1.5	1.6	6.2	8.9	9.0	8.5	7.8	7.4	5.0	0.0	1.9	Tc
10	6.9	6.8	6.5	6.6	6.3	6.4	6.8	6.1	4.3	2.7	0.0	1.2	1.8	3.0	4.2	5.1	4.8	4.0	7.7	9.0	9.2	8.4	7.0	7.2	5.5	0.0	0.4	Tc
11	7.4	6.5	7.1	6.9	6.8	6.5	6.6	6.2	4.8	3.0	1.7	2.3	1.8	2.8	4.7	5.8	6.3	7.1	9.3	9.7	9.2	8.6	8.6	8.8	6.2	0.0	0.2	Tc
12	8.0	7.3	5.9	6.0	6.0	5.6	5.6	4.7	4.5	3.9	2.1	3.5	1.9	1.7	2.7	3.8	2.8	2.8	2.9	2.4	2.6	2.4	2.4	2.6	3.9	0.0	0.8	Tc
13	3.4	3.5	3.3	3.1	2.8	2.4	2.2	1.8	0.6	0.2	0.0	0.8	0.8	1.3	2.1	1.9	2.7	2.9	3.5	4.2	4.7	5.5	6.0	5.3	2.7	0.0	1.4	Rep
14	5.6	5.5	5.4	5.0	4.9	5.3	5.5	4.0	2.6	1.9	1.0	1.7	2.3	2.7	5.8	4.1	5.5	7.3	8.8	9.4	8.4	8.4	7.5	6.6	5.2	0.0	0.7	Tc
15	6.4	6.0	6.2	6.1	5.7	5.4	5.1	4.4	3.4	2.4	1.7	2.8	3.3	3.3	3.9	3.3	3.7	6.7	9.2	9.5	9.8	9.5	9.3	8.9	5.7	0.0	0.9	Tc
16	8.1	7.9	7.9	7.6	6.0	6.6	6.6	5.4	4.2	2.1	3.1	2.3	2.2	3.5	4.1	4.7	5.2	7.6	9.7	10.4	10.1	9.7	8.8	8.3	6.3	0.0	0.6	Tc
17	8.7	7.5	7.7	7.9	6.8	7.4	6.9	5.3	3.2	2.0	1.3	3.7	2.9	2.8	3.9	4.6	5.7	5.3	5.7	6.0	5.4	6.5	7.7	7.0	5.5	0.0	0.2	Tc
18	6.9	6.6	6.3	6.3	5.8	5.5	4.8	4.3	3.4	2.2	0.6	1.7	1.6	2.4	3.4	4.0	5.2	7.1	8.7	9.3	8.9	8.3	7.8	7.5	5.4	0.0	0.0	Tc
19	7.4	5.9	6.4	6.1	6.1	5.7	6.2	6.0	4.6	3.1	1.0	1.5	2.8	2.6	1.1	3.2	4.4	3.9	6.9	9.0	9.6	9.3	8.6	7.5	5.4	0.0	1.0	Tc
20	7.0	6.7	6.0	5.8	5.8	5.0	5.5	4.6	3.2	2.9	1.9	0.6	1.8	2.3	0.9	1.2	2.6	4.7	2.2	3.6	5.0	5.0	4.6	4.9	3.9	0.0	0.4	Tc
21	5.1	4.9	4.3	5.0	4.6	4.8	4.9	4.5	2.4	1.4	1.1	2.2	2.2	4.8	3.6	2.9	3.6	1.3	2.6	2.4	3.0	3.7	4.4	4.7	3.5	0.0	1.3	Tc
22	3.7	2.7	2.7	3.3	3.3	2.9	2.6	2.6	2.9	3.2	2.7	2.7	3.5	3.3	3.3	2.0	2.5	2.9	3.3	4.3	4.4	3.5	3.8	3.6	3.2	0.4	0.0	Tc
23	3.7	3.8	3.9	3.8	4.0	3.9	3.4	2.9	2.7	2.0	2.1	1.8	2.6	3.4	4.4	4.1	4.5	6.4	7.8	6.1	4.8	2.1	2.9	1.7	3.7	0.0	1.0	IT
24	2.8	3.7	4.3	4.5	4.0	4.3	4.0	4.2	3.6	2.8	3.4	0.7	2.2	3.9	4.3	4.1	3.9	5.7	6.6	5.4	6.0	5.6	3.1	0.7	3.9	0.2	3.0	IT
25	1.7	1.2	1.4	2.2	1.9	2.0	2.0	2.4	2.8	1.9	1.9	2.6	2.1	1.4	2.1	2.7	1.0	0.8	1.2	2.4	2.9	2.9	2.8	1.8	2.0	1.2	0.0	CV
26	1.4	2.0	2.4	2.4	2.7	2.4	2.4	1.9	1.4	1.4	1.5	1.4	2.7	2.5	2.2	2.3	1.7	2.6	2.9	2.8	3.2	3.1	3.0	3.2	2.3	0.0	0.8	CV
27	3.5	3.7	3.9	3.3	3.3	3.0	3.0	2.4	1.5	1.8	1.7	1.6	2.0	4.2	4.7	4.6	3.8	5.3	6.7	7.5	7.5	7.0	6.6	6.3	4.1	0.0	1.3	IT
28	5.8	5.7	5.5	5.5	5.1	4.5	4.0	3.7	2.4	2.3	2.0	2.0	3.0	3.1	4.0	2.9	2.8	4.2	5.7	7.2	7.1	7.1	7.0	6.4	4.5	0.0	2.3	Tc
29	5.8	5.7	5.0	5.1	4.7	4.2	3.3	3.2	2.2	1.8	1.7	2.2	2.9	3.9	5.2	5.8	7.5	7.9	7.7	6.5	6.7	6.6	6.1	4.9	4.9	0.0	1.8	Ec
30	5.1	4.3	4.4	3.6	3.2	3.4	2.0	2.6	3.0	2.4	2.7	3.3	3.3	3.4	4.9	4.8	5.2	1.7	2.5	4.4	4.4	4.5	4.5	4.8	3.7	1.0	1.1	Ec
Média	5.8	5.5	5.4	5.3	5.0	4.9	4.7	4.2	3.1	2.2	1.6	1.9	2.2	3.1	3.6	3.4	3.8	4.5	6.2	6.8	6.9	6.6	6.3	5.8	4.5	2.8	x	x

Ponto 1 - Sipros



Ponto 7 - Centro



ΔT (°C)

< 0°C

0 - 2°C

2.1 - 4°C

4.1 - 6°C

> 6°C

Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

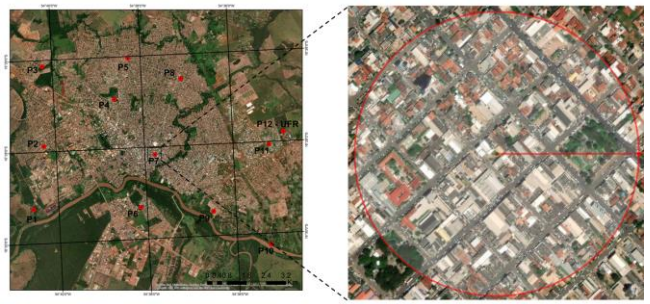
Figura 52 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de outubro de 2019: Urbano (Ponto 7- Centro) e Rural (Ponto 1 - Sipros)

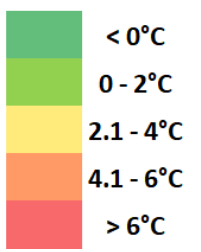
Dia	Hora																								Média	Precipitação (mm)	Vento (m/s) 12:00 (UTC)	Sistema Atmosférico
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
1	4.3	4.4	4.2	4.1	4.2	3.8	3.7	3.3	2.2	1.6	0.7	1.9	2.2	3.5	5.2	4.3	4.4	4.0	6.7	7.6	7.6	7.5	2.6	3.5	4.1	0.0	1.0	Ec
2	2.9	3.0	2.0	1.1	1.1	1.0	0.4	1.2	1.6	2.1	1.6	2.8	2.5	3.1	3.5	4.4	4.9	4.3	2.9	4.2	5.3	5.9	5.5	5.0	3.0	0.2	2.0	Ec
3	5.1	4.1	4.2	3.8	3.6	4.1	4.2	3.4	1.8	1.3	1.4	1.8	2.9	3.8	5.3	3.4	2.5	2.7	4.8	4.6	5.0	5.5	6.4	6.1	3.8	0.0	0.7	Ec
4	4.8	4.6	5.0	4.6	5.0	4.5	3.6	3.2	2.8	2.5	2.9	4.4	3.3	4.7	3.2	2.6	3.1	2.5	2.4	3.9	3.9	2.9	3.7	4.3	3.7	0.0	0.5	Ec
5	4.9	4.1	4.6	3.8	4.4	4.2	3.8	2.7	1.7	1.3	2.1	2.1	2.1	3.2	0.7	1.5	3.1	2.7	2.8	2.6	2.3	1.2	0.8	1.5	2.7	0.8	1.4	ZCAS
6	1.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.3	1.0	1.4	1.4	1.3	1.1	1.4	2.6	1.4	1.7	1.8	1.2	0.7	0.9	0.8	1.6	1.7	0.9	1.3	0.0	2.8	ZCAS
7	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.3	1.0	1.0	1.2	1.6	1.6	2.0	3.4	3.9	3.2	1.4	1.9	1.7	1.5	1.2	1.3	2.0	2.6	1.6	0.0	0.6	ZCAS
8	3.2	3.2	3.1	2.4	2.3	2.4	2.9	2.0	2.0	1.0	2.0	1.7	3.9	5.3	2.7	2.9	3.0	2.6	3.4	3.5	3.1	2.4	2.5	3.0	2.8	0.0	0.5	ZCAS
9	2.2	2.0	2.0	2.5	2.6	2.3	1.7	1.4	2.1	2.0	2.6	3.2	3.2	3.9	5.2	3.0	4.2	4.2	4.0	4.5	4.3	4.0	3.6	3.3	3.1	0.0	1.7	ZCAS
10	3.1	3.3	2.9	2.8	2.9	2.6	2.2	2.5	3.9	3.3	1.3	2.1	2.1	3.1	3.9	4.5	2.0	3.3	4.2	4.1	3.3	1.7	1.2	1.6	2.8	0.6	2.1	ZCAS
11	2.9	3.2	2.8	2.6	2.9	2.8	3.0	1.9	2.2	0.9	2.0	2.8	2.1	2.4	2.1	3.2	3.3	2.9	3.3	3.4	3.3	3.2	2.9	3.0	2.7	1.0	2.5	ZCAS
12	3.0	2.7	2.7	3.2	3.4	3.2	2.4	2.3	2.2	2.5	3.1	3.2	3.5	4.8	5.1	3.7	0.8	3.7	2.7	2.5	3.7	4.7	1.9	2.0	3.0	0.2	2.2	CV
13	2.0	2.3	2.6	2.1	1.6	2.3	1.4	1.5	1.7	1.3	1.4	2.3	2.8	3.3	3.8	1.3	2.2	0.8	1.2	1.8	1.9	1.2	1.1	1.3	1.9	6.8	0.1	CV
14	2.1	2.1	2.1	1.9	2.3	3.1	2.7	2.0	1.8	1.6	1.7	3.0	3.3	4.8	5.7	6.0	3.2	2.3	3.7	5.3	5.7	5.6	4.7	5.2	3.4	0.0	1.3	Ec
15	4.4	4.0	3.3	3.5	3.0	2.8	3.2	2.9	2.5	1.5	1.7	1.9	1.6	2.0	3.0	4.4	-2.4	1.1	2.1	2.0	3.3	4.4	3.9	4.5	2.7	3.6	1.8	Ec
16	4.8	4.5	3.9	3.5	2.7	2.6	2.5	1.9	1.1	0.6	0.4	1.4	1.9	2.5	2.9	4.8	4.1	3.2	3.1	2.4	2.8	4.4	5.1	4.3	3.0	0.0	1.1	Tc
17	4.3	4.6	3.8	3.3	4.2	3.6	3.9	3.4	2.3	1.9	1.4	2.5	3.4	2.9	4.1	5.6	1.8	3.0	2.3	2.0	1.0	3.2	2.4	1.8	3.0	0.0	1.3	Tc
18	1.7	1.5	1.6	1.9	1.8	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	3.5	3.5	2.3	3.2	4.3	2.8	4.9	4.7	5.4	5.9	5.6	4.7	4.4	4.4	3.4	6.0	1.1	IT
19	4.3	3.9	3.5	3.2	2.6	3.2	3.1	2.7	2.6	2.6	1.8	3.1	3.0	3.8	2.8	2.5	4.8	5.1	4.2	3.4	4.3	3.0	2.5	2.8	3.3	0.0	0.6	IT
20	1.3	2.2	2.6	3.3	3.1	3.5	3.1	2.2	1.0	1.4	1.7	2.0	2.7	3.5	3.1	2.3	2.5	3.1	3.3	3.8	4.8	3.3	2.6	3.4	2.7	3.8	2.6	IT
21	3.7	3.3	3.9	3.9	3.5	2.9	3.0	2.6	2.8	1.7	2.5	3.3	3.3	3.1	3.8	2.0	0.7	1.7	0.6	0.8	0.6	0.6	0.4	0.6	2.3	107.4	0.9	IT
22	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	0.6	0.7	1.2	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.9	4.2	4.5	4.0	3.7	4.3	4.0	3.6	3.3	3.2	2.3	15.4	0.6	ZCOU
23	2.9	2.5	2.4	1.8	2.3	2.5	2.3	1.6	1.8	1.6	2.0	2.5	2.8	3.6	4.9	5.4	4.6	4.8	5.6	6.6	7.2	6.8	6.1	5.7	3.8	0.0	0.9	ZCOU
24	5.1	4.7	4.3	3.8	3.7	3.5	3.3	3.2	3.0	2.4	2.9	3.1	3.6	5.3	5.3	5.9	4.3	4.4	6.5	7.8	7.1	6.9	6.4	5.5	4.7	0.0	3.0	ZCOU
25	4.9	4.7	4.5	3.8	3.3	3.4	3.0	3.6	2.8	2.5	2.7	3.3	4.2	4.6	3.1	1.6	2.3	2.8	0.8	1.6	2.3	2.8	2.6	2.7	3.1	0.0	2.4	IT
26	2.8	2.8	2.4	2.3	2.4	2.6	2.7	2.7	2.4	2.1	2.2	3.4	3.3	3.3	4.2	4.0	4.4	3.6	3.1	4.4	4.0	4.1	3.8	4.0	3.2	0.0	1.6	IT
27	4.2	4.4	1.6	2.5	2.4	2.5	2.8	3.0	2.4	2.6	2.8	2.4	3.6	3.8	4.2	4.2	3.8	4.0	3.9	2.5	3.1	4.5	4.8	4.6	3.4	0.0	2.0	Ec
28	4.7	4.9	4.7	4.8	4.3	3.8	3.5	3.1	1.7	2.2	2.0	2.5	3.4	4.0	4.4	2.9	3.1	1.8	2.6	3.5	4.7	3.8	3.1	3.1	3.4	0.0	2.3	Ec
29	3.1	2.9	0.6	0.7	1.4	1.4	1.9	2.4	2.4	1.8	2.3	2.0	2.6	4.7	5.4	6.3	4.1	4.3	1.7	1.6	3.0	3.1	3.5	2.9	2.8	11.6	1.3	IT
30	3.4	3.3	2.5	2.8	3.0	3.3	3.4	2.5	2.2	2.0	2.8	3.0	4.6	5.5	6.6	6.9	5.6	6.0	5.4	6.0	4.4	5.1	3.9	4.8	4.1	0.0	2.1	Ec
31	4.9	4.4	2.1	0.9	1.1	2.1	1.9	2.8	2.9	3.1	3.2	3.8	3.7	5.1	5.2	6.5	6.4	5.5	6.9	7.1	5.1	0.3	1.2	2.2	3.7	7.0	0.1	IT
Média	3.4	3.2	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.4	2.1	1.9	2.0	2.6	2.9	3.7	3.9	3.8	3.2	3.3	3.4	3.7	3.8	3.7	3.2	3.3	3.1	164.4	x	x

Ponto 1 - Sipros



Ponto 7 - Centro



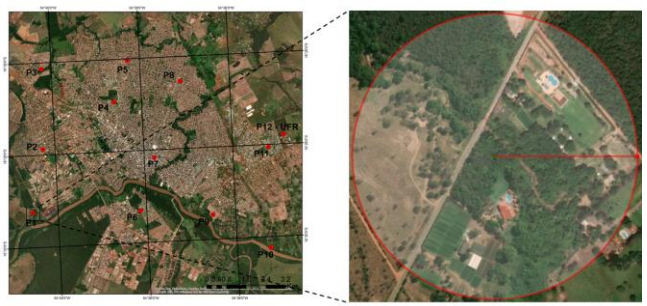


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

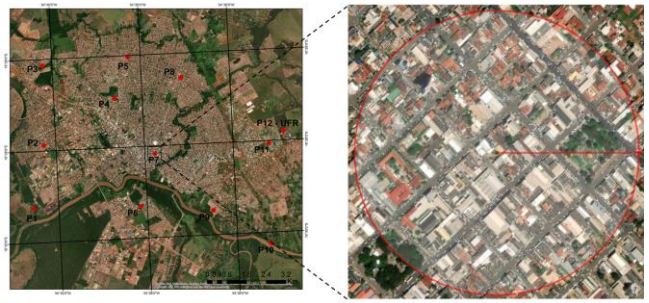
Figura 53 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de novembro de 2019: Urbano (Ponto 7-Centro) e Rural (Ponto1-Sipros)

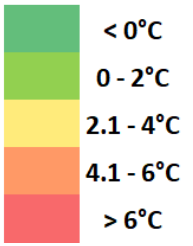
Dia	Hora																								Média	Precipitação (mm)	Vento (m/s) 12:00 (UTC)	Sistema Atmosférico
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
1	2.2	1.7	1.7	2.1	2.1	2.0	1.7	1.4	1.7	1.5	1.8	2.7	4.0	3.9	5.0	6.6	5.8	4.7	5.4	5.2	5.4	5.4	4.2	4.0	3.4	3.4	1.4	Ec
2	4.3	4.0	3.0	3.1	3.1	3.1	2.9	2.8	3.3	3.6	3.4	3.2	3.6	4.9	5.6	2.1	4.8	4.5	5.8	3.9	3.5	4.2	4.0	3.8	3.8	0.0	1.1	Ec
3	3.0	2.5	2.7	2.5	0.6	0.9	1.3	1.6	2.2	2.0	2.3	2.3	4.2	5.2	4.2	3.7	3.3	2.7	2.5	2.6	3.0	3.3	3.7	3.1	2.7	2.0	1.2	IT
4	2.8	2.4	2.8	2.6	2.6	2.9	2.4	2.3	2.3	2.2	2.3	3.7	3.6	5.0	5.4	5.9	5.0	5.0	4.7	4.6	4.6	4.3	4.0	4.2	3.7	0.0	1.2	Tc
5	3.5	3.1	3.3	3.1	2.5	2.7	2.9	3.8	3.5	3.7	4.3	4.6	4.6	5.6	3.1	4.8	1.7	0.9	0.5	0.8	1.3	1.2	1.5	2.2	2.9	0.0	1.0	Tc
6	2.4	1.7	1.1	1.6	1.5	1.4	1.5	2.0	1.3	2.8	2.1	2.5	4.4	4.7	5.5	4.6	5.3	3.6	3.7	4.4	4.6	4.5	3.9	3.1	3.1	0.0	1.1	IT
7	2.7	2.9	2.1	2.0	2.2	1.9	1.8	2.6	3.2	2.5	2.4	4.1	4.8	4.6	5.6	5.7	1.3	1.4	2.0	2.5	2.6	2.1	1.8	1.7	2.8	7.8	0.7	IT
8	2.0	1.7	2.0	1.2	1.3	1.2	0.9	1.3	1.9	2.3	2.5	1.5	3.0	3.7	3.3	4.3	5.8	3.8	4.4	4.3	4.4	4.2	3.9	3.5	2.9	0.2	0.1	CV
9	3.1	3.0	3.0	3.0	2.8	1.8	1.8	2.2	2.5	1.5	1.7	2.4	4.1	4.8	4.6	4.5	0.7	0.6	1.1	0.8	1.5	1.0	1.5	1.1	2.3	13.4	1.8	CV
10	1.1	1.5	1.3	1.0	1.4	1.6	1.6	1.9	2.1	2.0	2.2	2.2	2.8	3.5	4.9	4.9	4.8	4.1	4.5	4.7	3.5	3.8	3.4	3.2	2.8	0.2	1.9	CV
11	3.2	2.7	2.4	2.2	2.5	2.3	2.0	2.2	2.5	2.5	2.5	3.3	4.5	4.3	3.3	2.0	0.9	3.5	3.5	3.4	2.9	2.9	2.6	2.6	2.8	4.8	0.9	Ec
12	2.9	2.6	2.6	2.4	2.2	2.2	2.0	1.9	2.0	2.7	3.0	3.5	4.2	5.1	3.8	5.9	6.4	4.7	4.8	2.9	3.3	4.8	4.3	4.7	3.5	0.0	0.7	Ec
13	4.0	2.9	1.9	2.4	2.8	2.4	2.1	2.6	2.1	0.5	0.7	1.1	1.4	1.4	1.8	2.3	2.1	2.2	1.6	1.5	1.8	2.0	2.1	1.8	2.0	19.0	5.2	IT
14	1.7	1.3	1.2	1.3	1.3	1.0	1.2	1.3	1.8	1.9	2.3	2.7	4.3	4.1	3.9	4.2	4.0	3.4	3.2	1.4	1.7	2.0	2.4	2.4	2.3	0.0	1.0	ZCAS
15	2.6	2.6	2.1	1.7	1.7	1.6	1.5	1.8	2.0	1.8	1.2	1.7	2.3	3.2	3.0	2.9	2.9	2.4	2.2	2.6	2.9	2.4	2.6	2.4	2.3	0.2	0.8	ZCAS
16	1.4	1.5	1.7	1.4	1.0	1.3	1.4	2.1	1.8	2.4	2.7	3.0	3.9	3.2	5.6	6.0	5.8	4.3	4.6	5.1	4.8	5.0	4.5	4.3	3.3	0.0	1.5	ZCAS
17	3.8	3.4	3.4	3.3	2.8	2.4	2.4	2.9	2.3	2.5	2.7	5.1	4.4	5.0	5.7	3.1	6.1	3.3	1.7	1.9	2.9	3.1	3.4	3.2	3.4	0.2	1.7	ZCAS
18	2.8	2.8	2.4	1.6	1.4	1.4	1.6	1.9	2.2	3.0	2.9	3.2	3.9	4.8	5.2	7.0	6.4	3.8	3.1	2.6	2.6	1.1	2.3	2.7	3.0	0.0	2.6	ZCAS
19	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	2.6	2.9	2.4	2.9	2.4	3.2	3.4	4.6	5.9	8.1	5.6	2.3	2.3	2.8	3.5	3.9	3.8	3.6	3.2	3.4	0.2	1.6	ZCAS
20	3.1	2.9	2.7	2.9	2.8	2.5	2.1	3.0	2.6	2.3	3.2	5.1	4.7	4.0	2.8	6.2	4.6	1.7	1.1	0.9	1.2	1.1	2.5	2.2	2.8	0.0	1.2	Ec
21	2.4	1.7	1.8	2.2	2.3	2.4	2.4	2.6	2.0	2.8	2.3	2.1	3.7	4.9	2.4	3.0	2.5	4.0	3.2	3.3	2.9	2.9	3.3	3.3	2.8	7.6	0.7	CV
22	3.3	2.5	2.4	2.3	2.7	2.4	2.4	3.0	4.0	3.7	3.5	4.1	4.8	4.7	5.2	1.2	1.7	2.0	2.0	2.5	2.2	1.9	1.9	1.8	2.8	21.2	2.7	CV
23	1.7	1.7	1.5	1.5	1.2	1.4	1.5	2.3	3.0	3.0	3.6	3.2	2.5	4.0	5.4	4.1	4.5	3.5	2.5	1.7	2.3	2.5	2.4	2.5	2.6	8.8	0.6	CV
24	2.5	1.4	1.1	0.9	1.3	0.9	1.1	1.5	2.6	3.4	3.3	3.5	4.4	3.4	4.2	4.7	5.5	4.6	4.4	4.4	4.2	4.4	3.8	3.5	3.1	0.6	0.7	IT
25	3.3	2.8	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.5	2.3	2.3	3.1	3.0	4.6	4.9	4.2	5.3	6.5	1.5	0.9	1.4	2.1	2.3	1.7	0.8	2.8	0.2	1.3	IT
26	1.3	1.4	1.7	1.7	1.6	2.0	2.1	2.4	2.0	2.4	3.1	3.0	3.9	4.6	4.9	5.0	1.2	2.7	2.3	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	2.5	10.8	2.7	CV
27	1.7	1.5	1.6	1.5	1.4	1.0	0.6	1.0	2.0	3.0	2.6	3.6	3.4	4.0	0.6	2.1	3.1	2.3	2.2	2.5	1.1	1.3	1.3	1.5	2.0	20.6	1.1	ZCOU
28	1.1	1.1	0.7	0.4	0.6	1.2	1.1	1.6	1.5	2.3	2.0	2.5	3.2	3.6	4.9	4.8	6.2	4.4	1.7	1.1	2.0	0.4	0.1	0.7	2.0	0.0	0.7	ZCOU
29	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.9	3.6	3.9	3.5	4.4	4.5	4.8	0.8	2.4	2.0	1.8	1.4	1.1	1.5	1.2	1.4	1.9	62.4	0.7	ZCOU
30	1.2	0.8	1.0	0.8	0.7	0.9	1.2	1.4	2.7	2.3	2.5	3.0	3.7	1.9	1.9	5.4	3.7	2.9	2.3	1.4	1.0	1.0	1.2	1.0	1.9	0.6	1.6	CV
Média	2.5	2.2	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	2.1	2.3	2.5	2.6	3.1	3.9	4.2	4.3	4.3	3.9	3.1	2.9	2.7	2.8	2.7	2.7	2.6	2.8	184.2	x	x

Ponto 1 - Sipros



Ponto 7 - Centro





Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

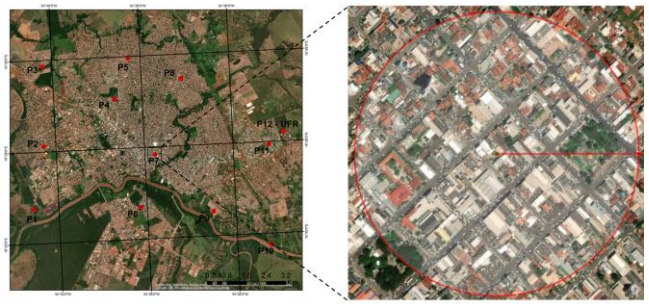
Figura 54 - Intensidade e magnitude da ilha de calor atmosférica no mês de dezembro de 2019: Urbano (Ponto 7-Centro) e Rural (Ponto 1-Sipros)

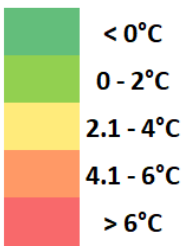
Dia	Hora																								Média	Precipitação (mm)	Vento (m/s) 12:00 (UTC)	Sistema Atmosférico
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
1	0.9	1.0	1.2	1.0	0.9	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	2.9	3.7	3.6	4.4	4.2	2.7	3.0	2.6	2.3	1.7	1.7	2.2	1.9	1.6	2.0	0.2	0.2	CV
2	1.5	1.8	1.8	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	2.1	1.9	2.3	3.2	3.6	3.6	4.1	4.7	3.3	3.7	3.0	3.1	2.1	2.4	2.5	2.3	2.5	0.0	0.4	ZCOU
3	2.5	2.2	2.2	2.5	2.1	1.7	1.6	2.0	2.1	1.9	2.5	3.5	3.1	4.8	4.2	3.2	2.3	2.1	2.3	1.9	2.1	2.6	2.4	2.6	2.5	0.0	0.8	ZCOU
4	2.3	1.7	2.1	2.1	1.9	1.4	1.5	1.5	2.2	2.2	2.9	3.3	1.9	4.4	2.8	0.5	1.4	0.8	1.2	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.9	34.8	0.0	CV
5	1.6	1.7	1.6	1.9	1.8	1.4	1.4	1.8	2.3	2.4	2.8	3.6	3.4	2.5	2.9	3.5	4.2	3.5	3.2	3.2	3.1	2.2	1.7	1.7	2.5	5.8	1.4	ZCAS
6	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.3	1.6	1.9	1.6	1.3	1.8	3.1	3.3	4.0	4.1	6.5	4.9	4.3	3.6	3.9	3.5	3.3	2.8	2.7	2.8	0.0	0.6	ZCAS
7	2.7	2.8	2.5	2.2	2.3	2.4	2.1	2.4	2.6	2.7	2.1	3.4	3.9	5.7	4.3	6.4	7.2	5.5	4.1	1.9	1.4	1.8	1.0	1.0	3.1	0.0	0.6	ZCAS
8	0.8	1.5	1.1	1.0	1.1	0.9	0.7	0.7	1.8	1.4	2.1	3.7	4.0	1.5	2.9	2.7	3.5	3.5	2.8	2.5	2.1	2.1	2.1	1.6	2.0	0.2	0.6	ZCAS
9	1.5	1.7	1.4	1.2	1.3	1.3	1.2	1.8	2.6	3.0	2.6	1.8	1.7	2.4	2.7	2.4	2.0	2.4	1.9	-0.4	0.0	0.4	0.5	0.3	1.6	13.4	0.0	IT
10	0.1	0.5	0.5	0.3	0.7	0.5	0.5	1.2	1.2	2.2	3.3	3.5	3.7	4.3	1.0	1.5	1.7	2.4	1.6	1.7	1.8	1.7	1.5	1.4	1.6	89.4	0.0	CV
11	1.0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.5	0.5	1.1	1.6	2.8	2.6	4.4	4.4	4.7	4.9	5.5	6.5	5.4	4.4	4.5	4.5	3.9	3.1	3.1	3.0	0.2	0.1	Ec
12	2.8	2.7	2.6	2.2	2.2	1.9	1.8	2.4	2.6	2.6	3.4	3.6	2.9	2.8	3.0	3.4	3.7	3.8	3.2	2.7	1.4	2.0	2.3	2.0	2.7	0.0	0.7	Ec
13	1.8	1.8	1.8	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.8	2.4	3.4	4.2	4.3	4.7	4.0	4.7	3.8	2.5	2.7	2.8	3.0	2.9	2.6	2.2	2.6	0.0	0.6	CV
14	2.3	2.4	2.2	1.8	1.4	1.4	1.3	2.0	2.5	2.7	3.0	3.9	2.4	5.6	4.1	4.5	0.0	0.5	0.4	0.9	1.2	1.6	1.3	1.2	2.1	2.8	1.7	CV
15	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.3	1.7	1.6	1.9	4.4	4.0	5.0	6.5	4.7	3.5	2.9	3.0	3.1	3.0	2.7	2.5	2.7	2.6	0.4	0.5	CV
16	1.5	1.5	1.8	1.4	1.6	1.6	1.9	2.1	2.7	2.2	3.2	3.3	2.9	3.1	4.3	5.6	6.5	5.1	4.2	3.2	3.5	3.1	2.9	3.1	3.0	0.0	0.4	Ec
17	2.7	2.3	2.0	1.5	1.3	1.8	1.7	2.1	2.3	3.4	3.2	2.7	3.0	3.2	2.7	5.5	5.4	5.5	3.5	2.8	2.4	1.9	1.7	1.7	2.8	2.8	0.9	IT
18	1.7	2.1	1.1	1.5	1.6	1.2	1.2	1.5	2.2	2.9	2.5	2.4	3.3	3.6	4.3	2.4	-2.5	-0.6	0.2	-0.4	0.3	0.5	0.3	0.6	1.4	1.2	0.6	Ec
19	0.5	0.4	0.6	0.9	0.8	0.8	0.8	1.1	1.8	2.2	2.8	3.0	3.2	4.5	4.4	3.5	5.9	5.6	4.1	4.0	3.1	0.7	0.8	0.7	2.3	0.4	0.9	Ec
20	1.1	1.1	0.9	0.6	0.8	1.0	1.1	1.5	2.0	2.5	3.5	3.6	3.9	4.1	4.0	6.2	6.2	4.3	1.1	2.0	1.7	1.8	1.9	2.2	2.5	0.0	1.4	Ec
21	1.5	1.6	2.1	2.0	1.9	1.6	1.4	1.7	1.6	1.8	2.2	2.4	2.8	3.4	3.6	2.6	2.2	2.0	1.3	0.9	1.1	1.1	0.9	1.2	1.9	0.6	0.1	Ec
22	0.7	1.0	1.2	0.9	0.9	0.9	1.0	0.8	1.3	1.5	2.2	3.0	2.5	2.8	3.2	2.9	2.5	3.0	1.9	1.9	2.1	2.3	1.9	1.7	1.8	0.2	0.1	Ec
23	1.9	1.6	1.3	1.2	0.9	0.9	0.9	1.2	2.1	2.4	3.5	3.0	3.9	4.4	5.6	3.2	6.0	1.6	1.7	1.7	1.4	1.5	1.2	1.3	2.3	0.8	0.2	ZCOU
24	1.7	1.5	1.3	1.4	1.4	0.9	1.1	1.8	2.7	3.3	2.6	4.0	3.7	3.9	5.6	6.0	4.6	4.9	3.1	3.6	4.2	3.9	2.9	3.0	3.0	0.2	0.4	ZCOU
25	2.8	1.9	1.9	2.1	1.9	1.5	1.9	2.2	2.2	2.1	2.5	3.6	3.9	5.4	5.1	4.6	6.6	5.6	3.1	3.4	3.3	3.7	4.2	3.8	3.3	0.2	3.4	CV
26	3.1	1.8	1.7	2.2	2.6	2.2	2.1	2.3	2.6	2.5	2.6	2.8	3.2	4.4	5.1	2.8	1.8	2.3	1.6	2.5	2.3	2.7	2.6	2.7	2.6	0.0	0.5	CV
27	2.0	2.4	2.2	2.3	2.1	1.8	2.1	2.4	2.4	3.2	3.4	4.1	4.9	5.2	6.2	6.7	7.1	7.0	2.3	0.9	1.1	1.8	2.5	1.7	3.2	0.2	1.7	Tc
28	1.8	1.4	1.7	1.2	1.7	2.5	2.2	2.0	1.6	2.5	3.4	4.1	4.7	4.5	6.2	5.8	6.0	4.3	3.2	3.1	2.6	3.4	3.9	3.5	3.2	0.0	0.0	Ec
29	2.8	2.9	2.4	2.5	2.0	2.2	2.5	2.3	2.8	2.9	2.6	3.5	4.3	2.5	2.0	2.2	2.1	1.9	2.1	2.6	2.5	3.1	3.2	2.9	2.6	0.2	1.3	Ec
30	2.2	2.2	2.3	2.2	1.9	2.0	2.0	2.4	2.7	2.7	3.3	3.4	4.5	4.8	6.4	6.2	3.3	2.3	3.3	3.1	3.8	3.5	3.2	2.9	3.2	0.2	0.4	Ec
31	3.7	3.1	2.8	2.6	2.1	1.9	1.7	2.2	1.9	3.2	3.7	3.8	3.5	3.9	4.5	3.1	-1.7	0.8	0.2	0.5	1.0	0.9	0.8	1.1	2.1	2.0	1.3	Ec
Média	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.7	2.1	2.4	2.8	3.4	3.5	4.1	4.2	4.1	3.6	3.3	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.5	156.2	x	x

Ponto 1 - Sipros



Ponto 7 - Centro





Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

Para realizar a análise mais detalhada das características da temperatura do ar na cidade de Rondonópolis, foram elaborados os painéis espaço-temporais levando em consideração os doze pontos de coleta dos dados. Os registros ocorreram a cada 1 hora, entretanto, optou-se por analisar os horários das 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h do período entre julho e dezembro de 2019 (Prancha 8, Prancha 10, Prancha 12, Prancha 14, Prancha 16, Prancha 18).

Novamente elegeu-se o ponto 1 para ser a referência representativa do ambiente rural e, a partir dele, procedeu-se o cálculo da intensidade da ilha de calor dos outros pontos, subtraindo-se o valor medido em cada um, com o objetivo de identificar as intensidades das ilhas de calor. A partir deste procedimento também foram detectadas as ilhas de frescor (MENDONÇA, 1994; STEINECK, 1999; AMORIM, 2000 e 2020), que ocorreram quando as diferenças entre as temperaturas do ar das áreas urbanas foram menores do que zero.

Os pontos para o levantamento dos dados da temperatura do ar foram escolhidos com base em suas características do uso e ocupação da terra (Figura 11 a Figura 22), levando em consideração as áreas representativas do entorno, presença ou não de cobertura vegetal arbórea, as características do relevo, e também, a segurança dos equipamentos (Tabela 16).

Tabela 16 - Síntese dos pontos fixos para coleta da temperatura do ar na cidade de Rondonópolis-MT

Pontos	**Altitude (m)**	**Orient. da Vertente**	**Densidade construtiva**	**Padrão construtivo**	**Cobertura Vegetal**
Ponto 1 - Sipros	213	L	Baixa	-	Alta
Ponto 2 - Par. Res. Uni.	299	O	Alta	Baixo	Baixa
Ponto 3 - Jd. Res. J. M.	290	L	Média	Baixo	Média
Ponto 4 - Jd. Santa Mar.	269	NE	Média	Alto	Média
Ponto 5 - Conj. S. José	274	NE	Alta	Baixo	Baixa
Ponto 6 - Con. Bosque I	230	N	Média	Alto	Alta
Ponto 7 - Centro	229	SE	Alta	Médio	Baixa
Ponto 8 - Vila Iracy	242	SE	Alta	Baixo	Baixa
Ponto 9 - Con. T. Nova	218	O	Alta	Médio	Baixa
Ponto 10 - Gleba S. Ro.	207	S	Baixa	-	Alta
Ponto 11 - Con. Village	280	SO	Média	Alto	Alta
Ponto 12 - UFR	289	SO	Baixa	Médio	Alta

Fonte: Trabalho de campo

Na Tabela 17, foi realizado o agrupamento dos pontos em relação as características geourbanas, com o objetivo de encontrar padrões e para facilitar as correlações entre eles. Como pode-se perceber os pontos foram distribuídos em diferentes características para obter uma análise mais abrangente e melhor espacialização dos dados. Neste caso, chama atenção que os pontos com alta densidade construtiva foram os mesmos que apresentaram menor cobertura vegetal arbórea (Pontos 2, 5, 7, 8 e 9). Ao se comparar a presença da cobertura vegetal arbórea com o padrão construtivo, também é possível encontrar uma relação, sendo que quanto menor o padrão construtivo menor a quantidade de vegetação (Pontos 2, 5 e 8), e quanto maior o padrão construtivo maior a presença de vegetação (Pontos 6 e 11).

Tabela 17 - Agrupamento da síntese dos pontos fixos em relação as características geourbanas

Pontos	**Densidade construtiva**	**Padrão construtivo**	**Cobertura vegetal arbórea**
Alto	2; 5; 7; 8 e 9	4; 6 e 11	1; 6; 10; 11 e 12
Médio	3; 4; 6 e 11	7; 9 e 12	3 e 4
Baixo	1; 10 e 12	2; 3; 5 e 8	2; 5; 7; 8 e 9

Fonte: Trabalho de campo

Em conjunto com a análise espacial e temporal das intensidades das ilhas de calor, também foram identificadas as frequências, as direções e as velocidades dos ventos para os horários das 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, em cada um dos meses analisados (Prancha 9, Prancha 11, Prancha 13, Prancha 15, Prancha 17, Prancha 19). Os gráficos foram elaborados no aplicativo WRPLOT View[34], com o intuito de compreender como os fluxos advectivos influenciaram na espacialização das ilhas de calor.

De modo geral, houve uma relação entre os sistemas atmosféricos atuantes, a intensidade e a magnitude das ilhas de calor. Nos dias com a presença dos sistemas atmosféricos estáveis, céu claro, baixa velocidade do vento e sem precipitação, as ilhas de calor foram mais intensas. Ao levar em consideração a espacialização das ilhas de calor atmosféricas, foi possível identificar uma correlação entre as maiores intensidades das ilhas de calor com as áreas densamente construídas de menor padrão construtivo e com baixa presença de vegetação.

A orientação das vertentes também apresentou padrão em relação ao aquecimento diferencial das superfícies, e consequentemente, em relação a temperatura do ar. Assim como

[34] WRPLOT View é marca registrada da Lakes Software.

em outros trabalhos realizados no ambiente tropical (AMORIM, 2020; GOMES, 2017 e TEIXEIRA, 2019), as vertentes voltadas para o quadrante Leste e Norte receberam os primeiros raios solares e se aqueceram de forma mais intensa no período da manhã (Pontos 3, 4 e 5), as vertentes votadas para Sul apresentam menores intensidades no período da manhã e maiores durante a tarde (Pontos 7 e 8).

Outro padrão de distribuição da temperatura do ar está diretamente relacionado a sazonalidade, se apresentando bem distinta entre a estação seca (julho, agosto e setembro) e a estação chuvosa (outubro, novembro e dezembro). Neste caso, as maiores intensidades ocorreram durante o período seco, chegando atingir até 12,5ºC, sobretudo no período noturno entre às 18h e 6h (Figuras A, B, C, G e H das Pranchas 8, 10 e 12). Durante a estação chuvosa as maiores intensidades ocorreram durante o dia entre às 9h e 15h (Figuras D, E e F das Pranchas 14, 16 e 18). A elevada quantidade de água na atmosfera reduz a intensidade das ilhas de calor, uma vez que a maior quantidade de calor latente intensifica o efeito estufa, mantendo o calor nas áreas urbanas e rurais, próximo à superfície, de forma semelhante atuando como equalizador térmico e até mesmo gerando ilhas de frescor nas áreas urbanas (DORIGON, 2019).

Os dados de frequência, direção e velocidade dos ventos não apresentaram um padrão significativo na escala horária mensal que pudesse correlacionar com as análises diárias das espacializações das intensidades das ilhas de calor. As características predominantes estão diretamente atreladas aos sistemas atmosféricos atuantes na estação seca e chuvosa. No período seco houve predominância da direção proveniente do quadrante oeste devido a atuação da massa Tc, a frequência das velocidades foram baixas com predomínio entre 1 e 2 m/s (Prancha 9, Prancha 11, Prancha 13). No período chuvoso, as direções foram mais variáveis devido a atuação dos sistemas atmosféricos instáveis e apresentou fluxos advectivos mais intensos, atingindo mais de 5 m/s, favorecendo a dissipação das ilhas de calor (Prancha 15, Prancha 17, Prancha 19).

Além das características naturais, os atributos geourbanos, especialmente as formas de uso e ocupação da terra, associados as condições socioeconômicas da população, principalmente em relação ao padrão construtivo das residências, foi um fator extremamente importante na análise geográfica do clima na cidade de Rondonópolis.

Deve-se destacar que no ambiente tropical continental as temperaturas são naturalmente elevadas e provocam situações de muito desconforto e várias consequências para a saúde das pessoas. A população com maior poder aquisitivo possui condições de reduzir as intensidades das ilhas de calor, criando jardins, construindo suas casas em lotes grandes e com materiais adequados, além de criarem ambientes climatizados (Pontos 6 e 11). Enquanto isso, a população

de menor poder aquisitivo habita os conjuntos habitacionais, construindo suas casas em lotes pequenos, sem espaço para circulação do ar e sem presença de vegetação (Pontos 2, 3, 5 e 8).

Os impactos ocorrem de forma seletiva nas diferentes áreas da cidade, levando em consideração a lógica desigual que culminam na diferenciação socioespacial, resultado das ações dos agentes econômicos e imobiliários que determinam a produção do espaço. Assume-se que as características do clima urbano são reflexos das desigualdades sociais, econômicas e ambientais, na medida em que os padrões construtivos das residências estão diretamente associados ao poder aquisitivo da população.

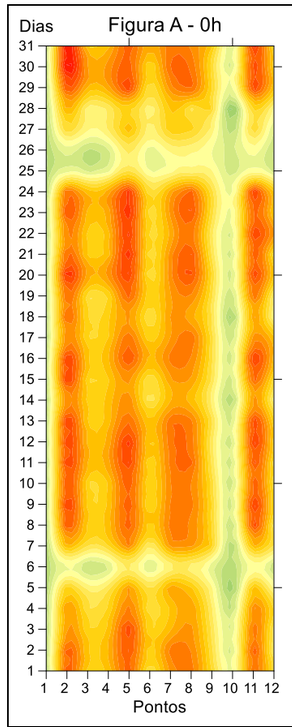
De acordo com Nascimento Jr (2018), a cidade e o clima urbano são expressões geográficas do Desenvolvimento Desigual e Combinado (SHITH, 1988) e da inserção diferencial do Meio Técnico-Científico-Informacional (SANTOS, 2002) nos lugares. A apropriação da natureza está diretamente relacionada ao modo de produção capitalista que se territorializa de distintas formas a partir do uso e ocupação da terra. Como vimos, o efeito dos tipos de tempo sobre o espaço construído de maneira desigual, também gerou impactos desiguais em função da capacidade (ou possibilidade) que os diversos grupos sociais tiveram para amenizarem as suas ações (SANT'ANNA NETO, 2004).

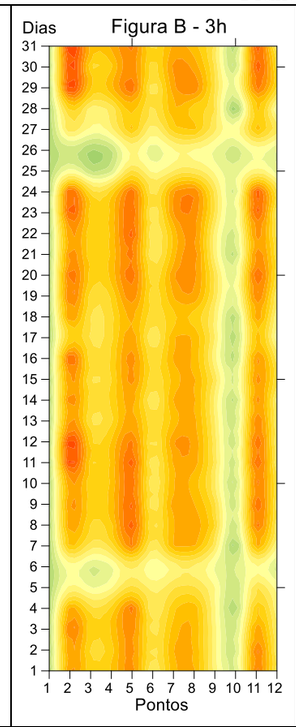
Na sociedade capitalista a relação entre a sociedade e a natureza passa a ser permeada pelas estruturas de classes. Desta forma, à medida que os diferentes agentes socioeconômicos produzem o espaço a partir da ocupação do território, com a substituição do ambiente natural pelo ambiente construído de acordo com o nível de desenvolvimento econômico e tecnológico, ocorre a necessidade de se incorporar a dimensão social na interpretação do clima na perspectiva da análise geográfica (SANT'ANNA NETO, 2001, 2004, 2008).

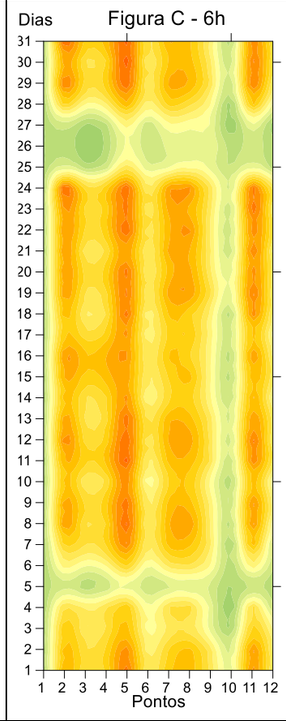
> O clima, tratado como insumo no processo de apropriação e de produção da natureza, assume um papel variado na medida em que as diferentes sociedades (e dentro delas, os distintos grupos sociais) se encontram em momentos diferentes em relação ao processo de globalização e de mundialização e que, num mesmo território uma sociedade desigual, estruturada em classes sociais, não dispõe (ou sua lógica assim não o permite) dos mesmos meios para lidar com a ação dos fenômenos atmosféricos, de forma a minimizar ou otimizar os seus efeitos para todos os segmentos sociais (SANT'ANNA NETO, 2004, p. 97-98).

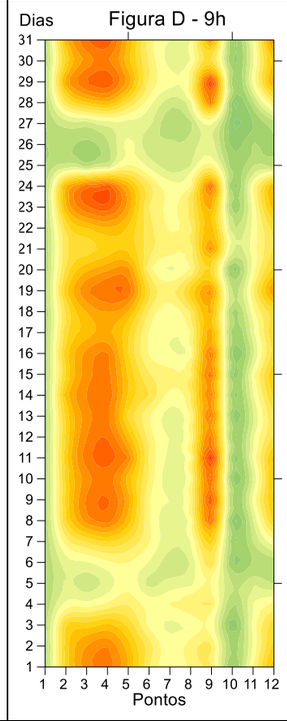
A compreensão das repercussões dos fenômenos atmosféricos atrelados as intensidades e as magnitudes das ilhas de calor a partir da lógica capitalista, fornece mais uma forma de análise na perspectiva geográfica do clima, uma vez que a produção do espaço ocorre de maneira desigual segundo os interesses dos agentes sociais.

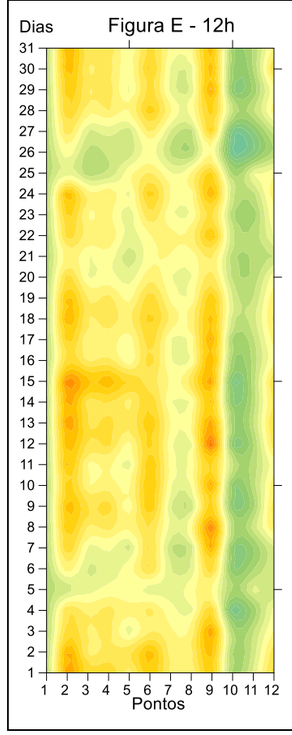
Prancha 8 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de julho de 2019 - Rondonópolis-MT

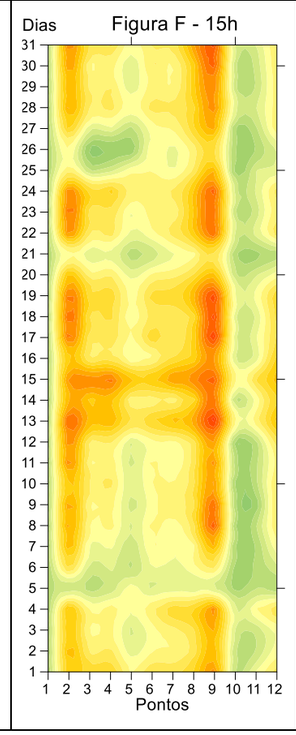


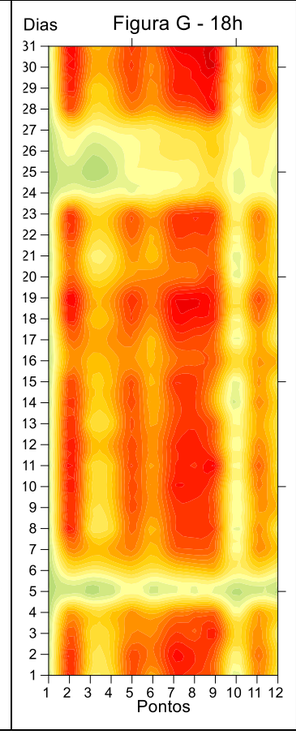


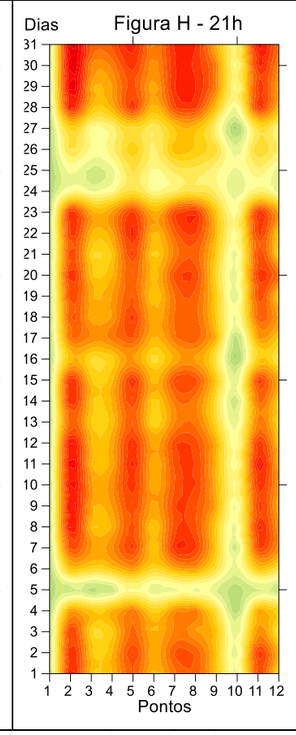


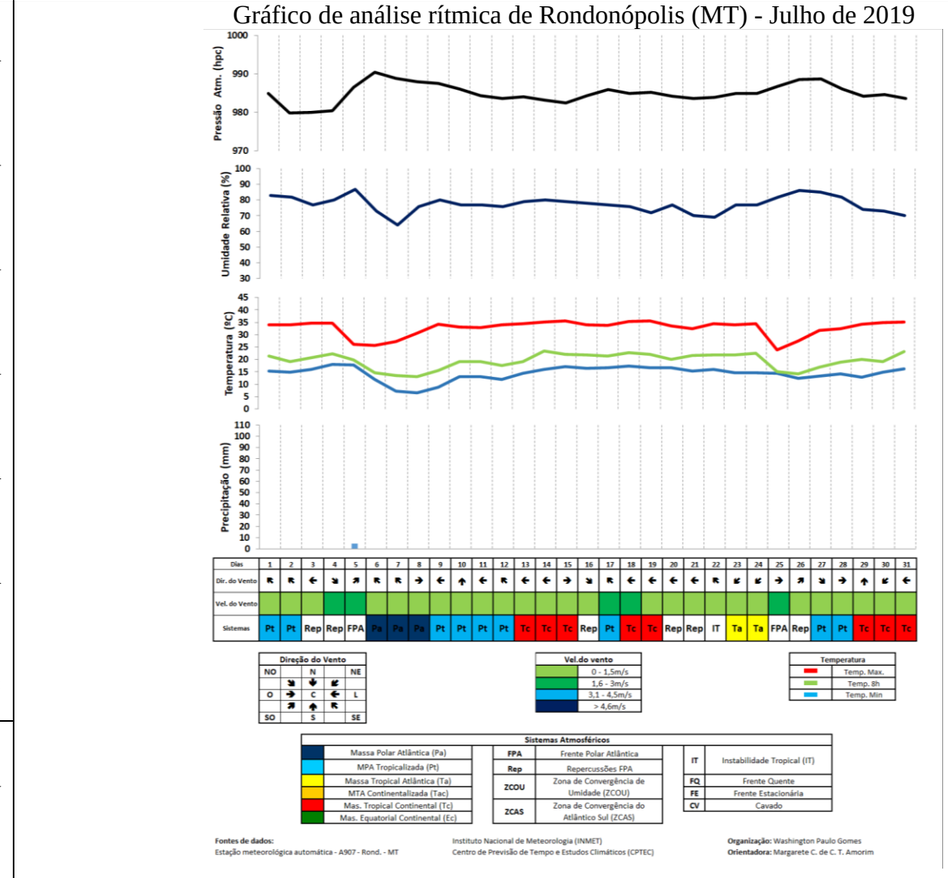


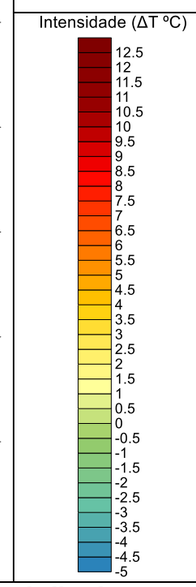


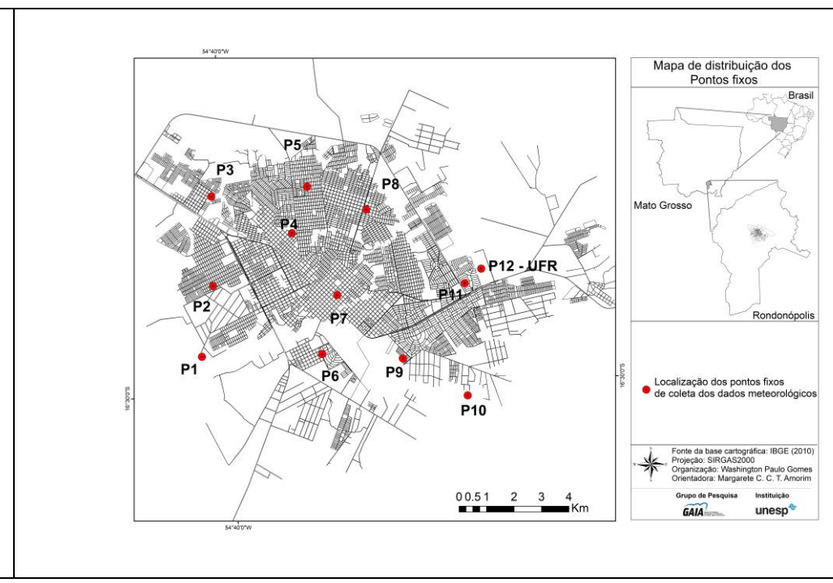








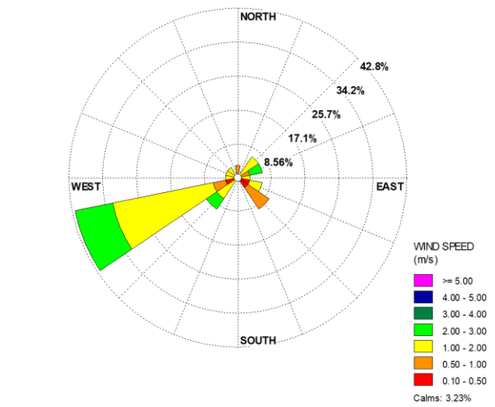


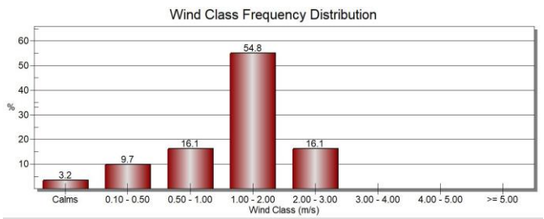


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET

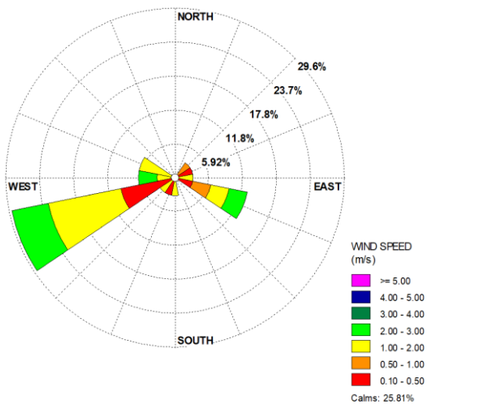
Prancha 9 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de julho de 2019 - Rondonópolis-MT

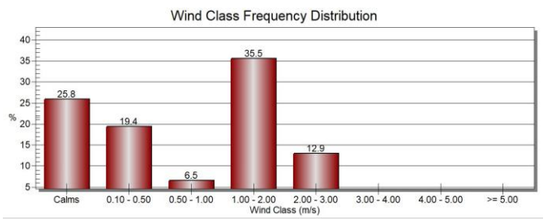
0h



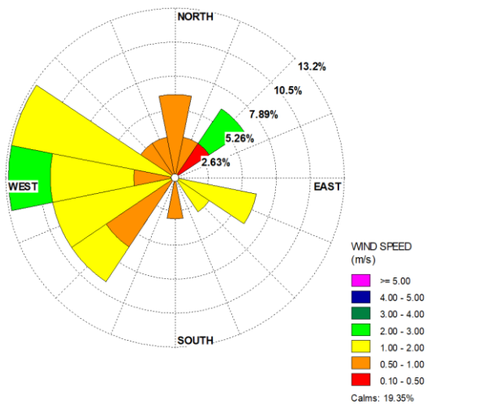


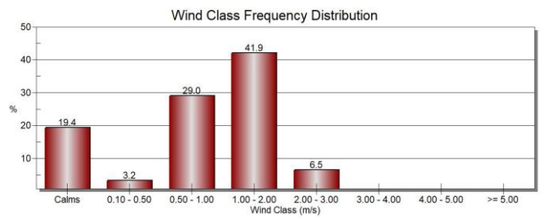
03h



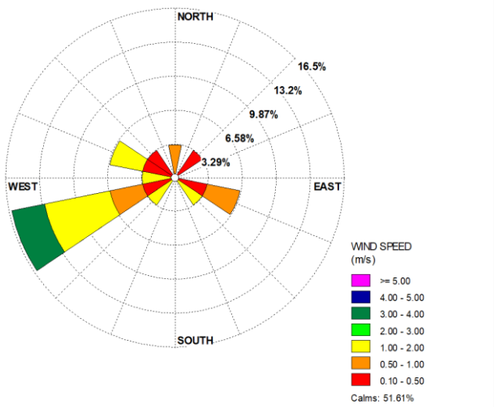


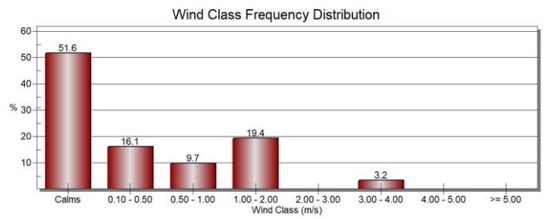
06h



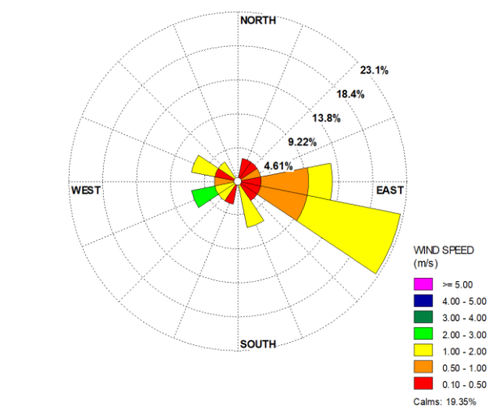


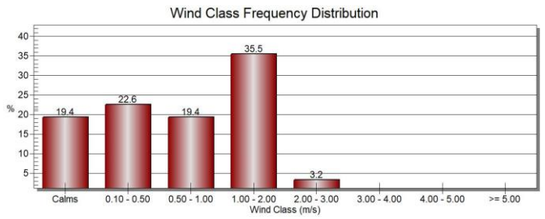
9h



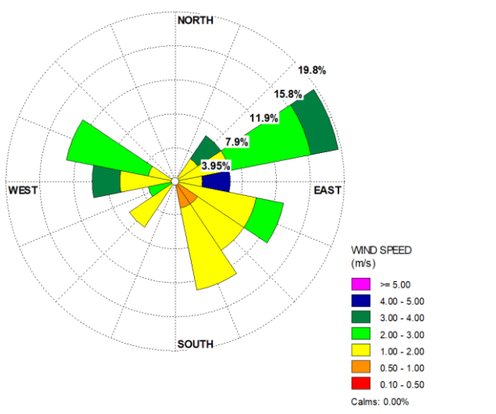


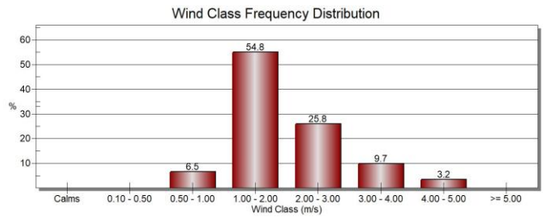
12h



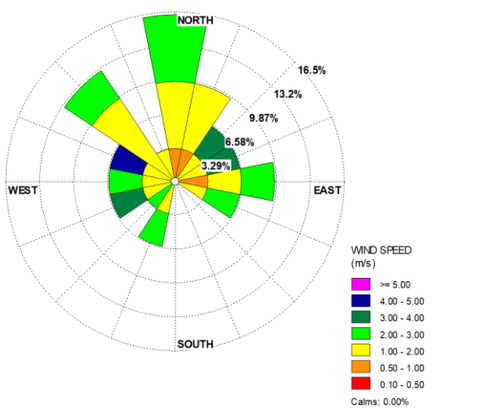


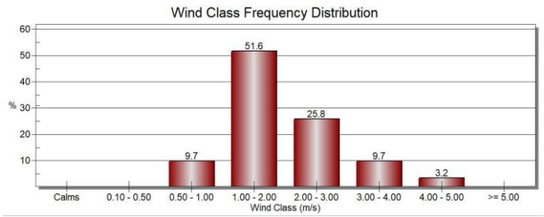
15h



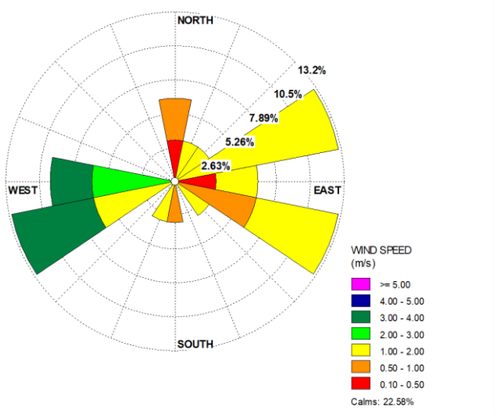


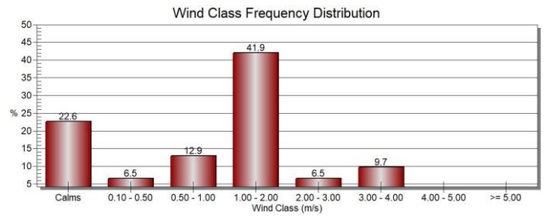
18h





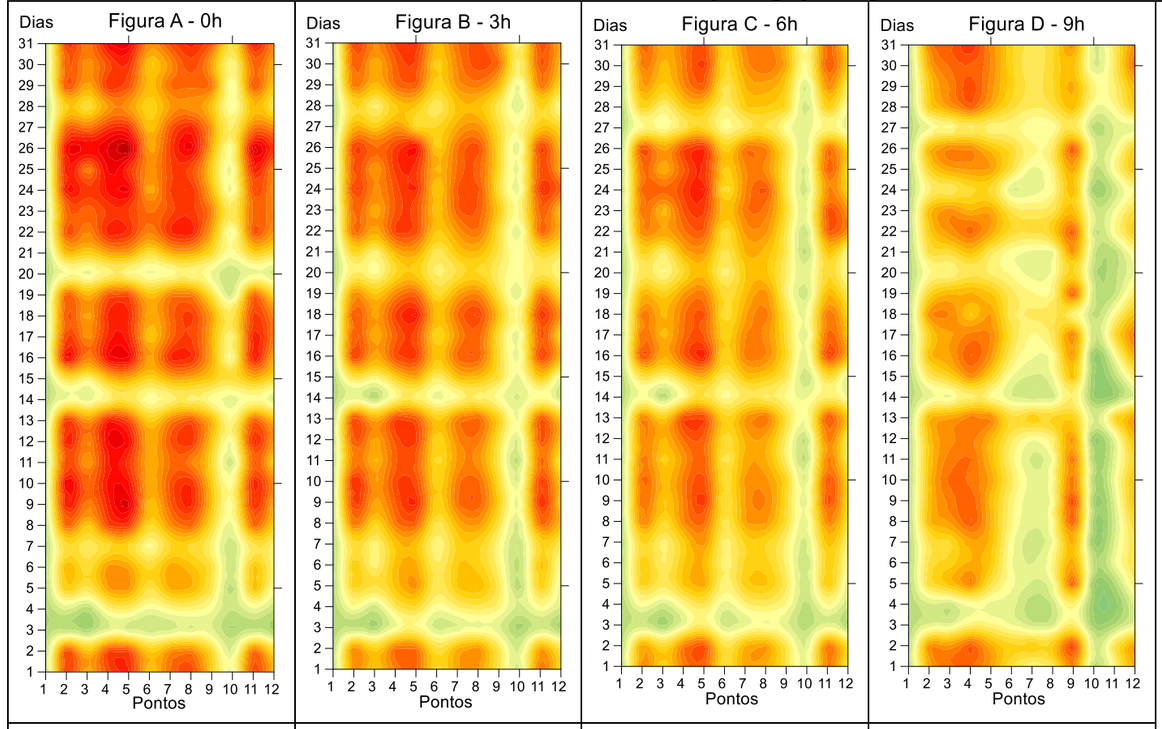
21h

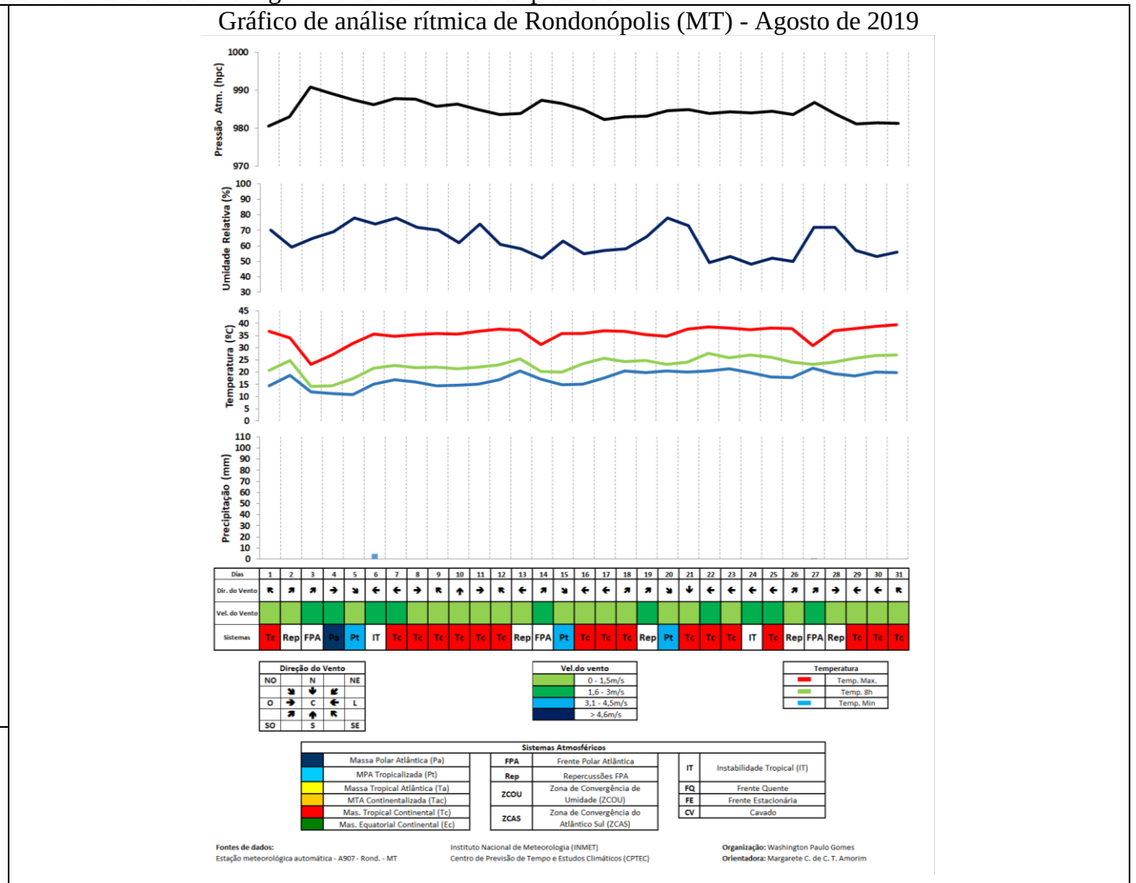


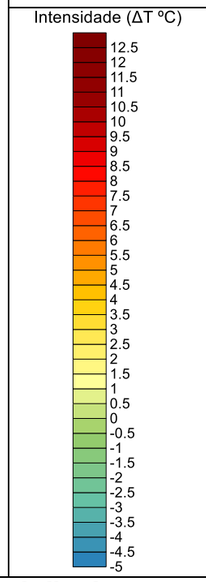


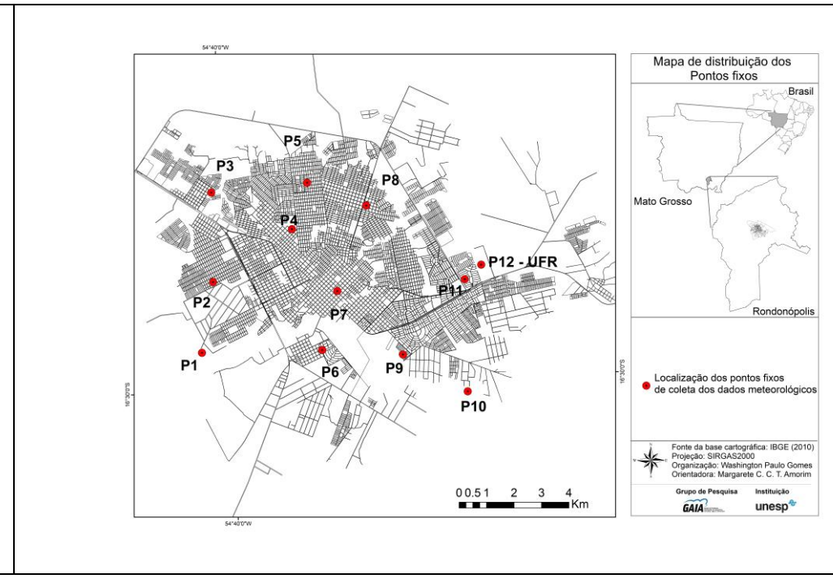
Fonte: INMET

Prancha 10 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de agosto de 2019 - Rondonópolis-MT





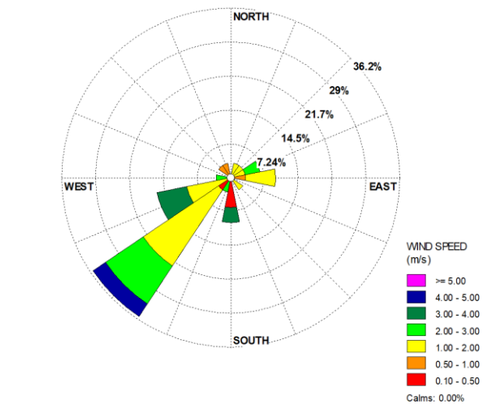


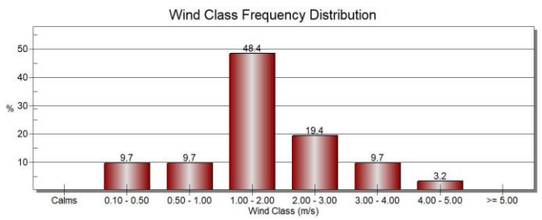


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET

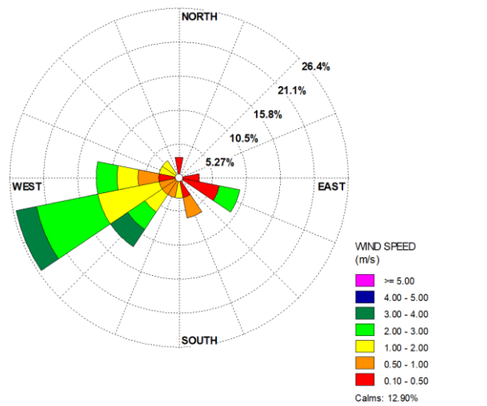
Prancha 11 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de agosto de 2019 - Rondonópolis-MT

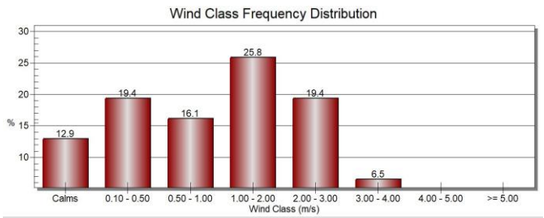
0h



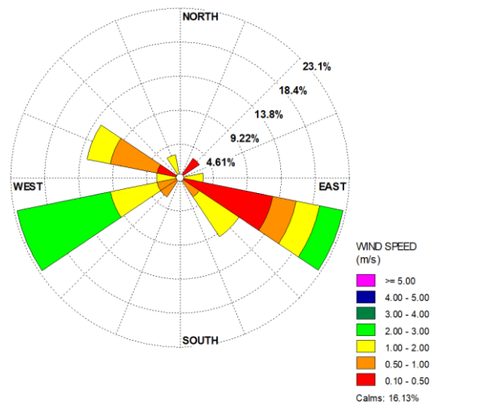


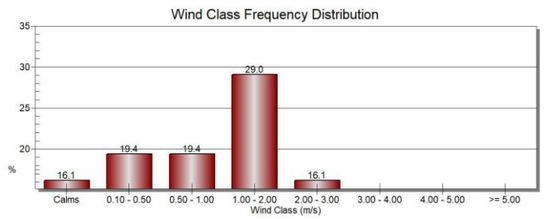
03h



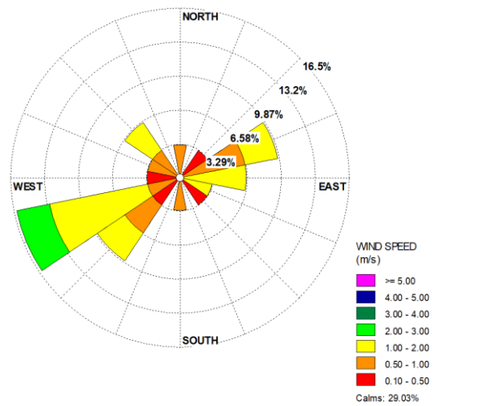


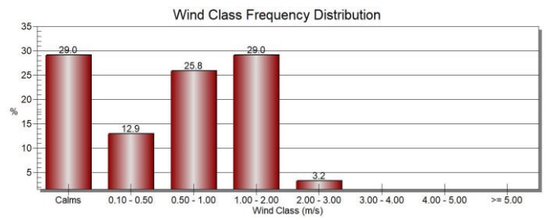
06h



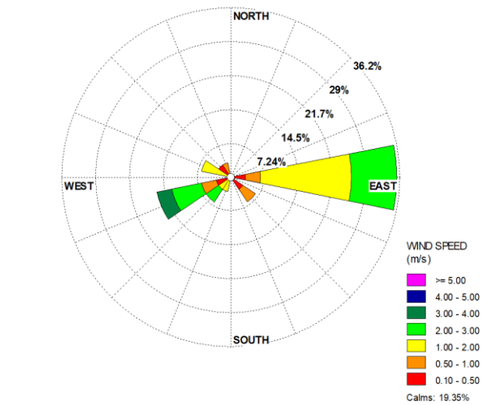


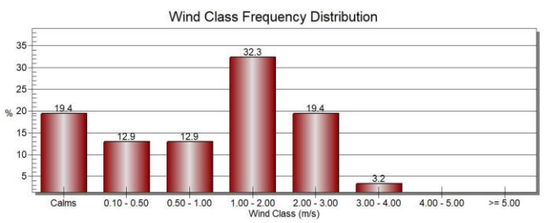
9h



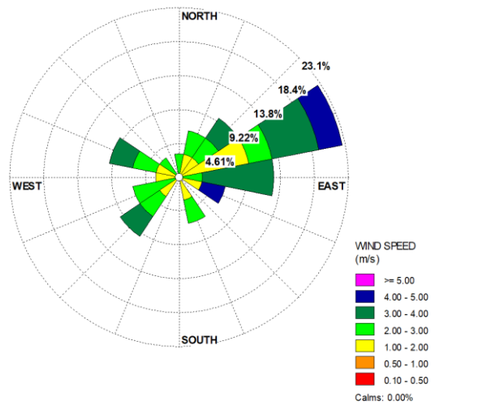


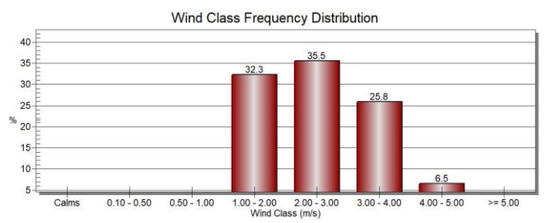
12h



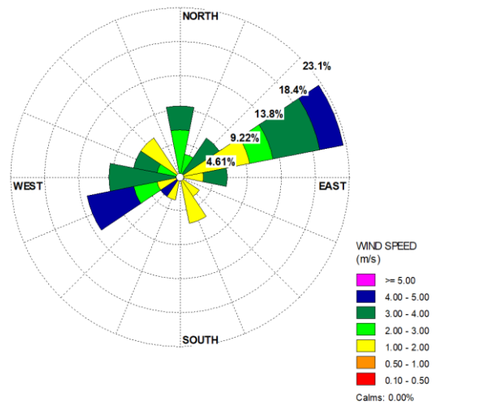


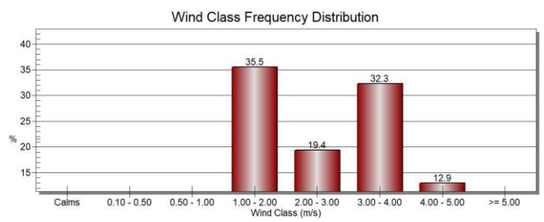
15h



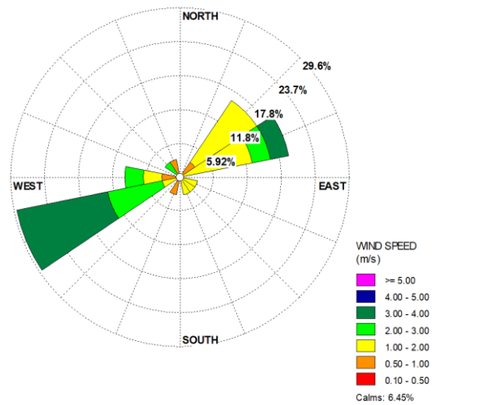


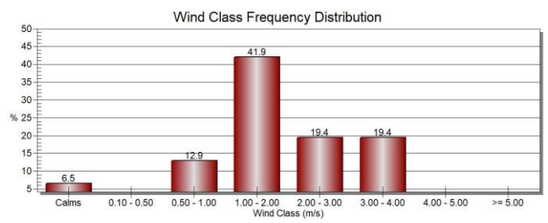
18h





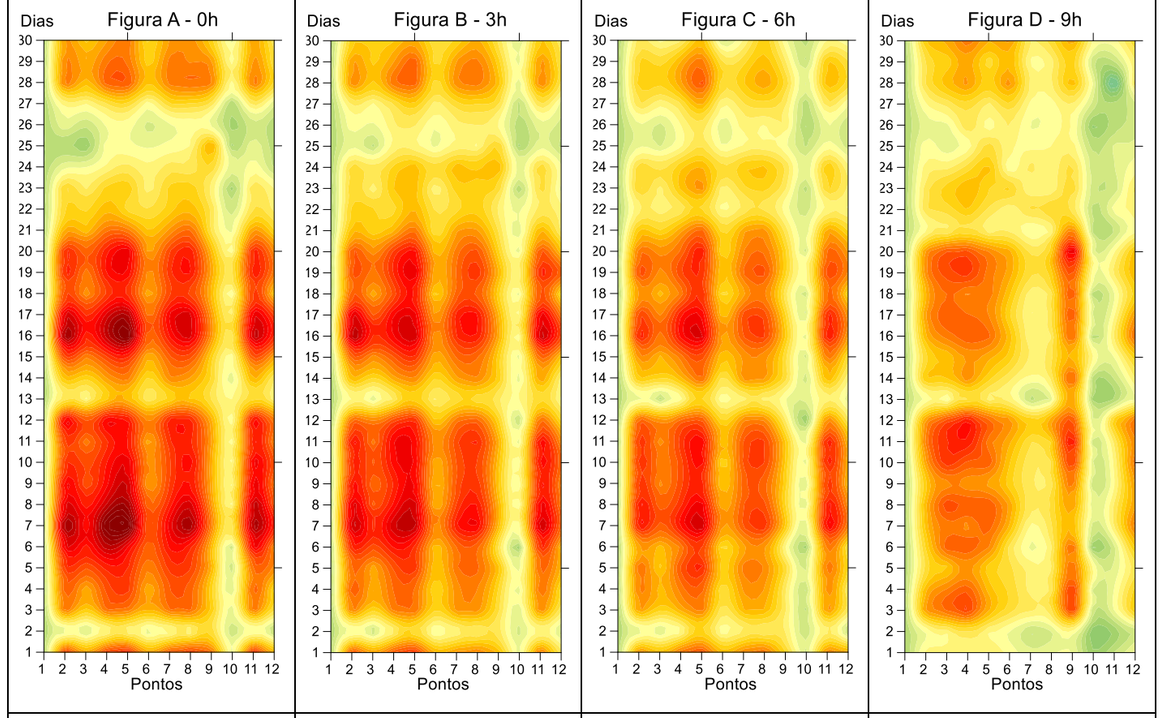
21h

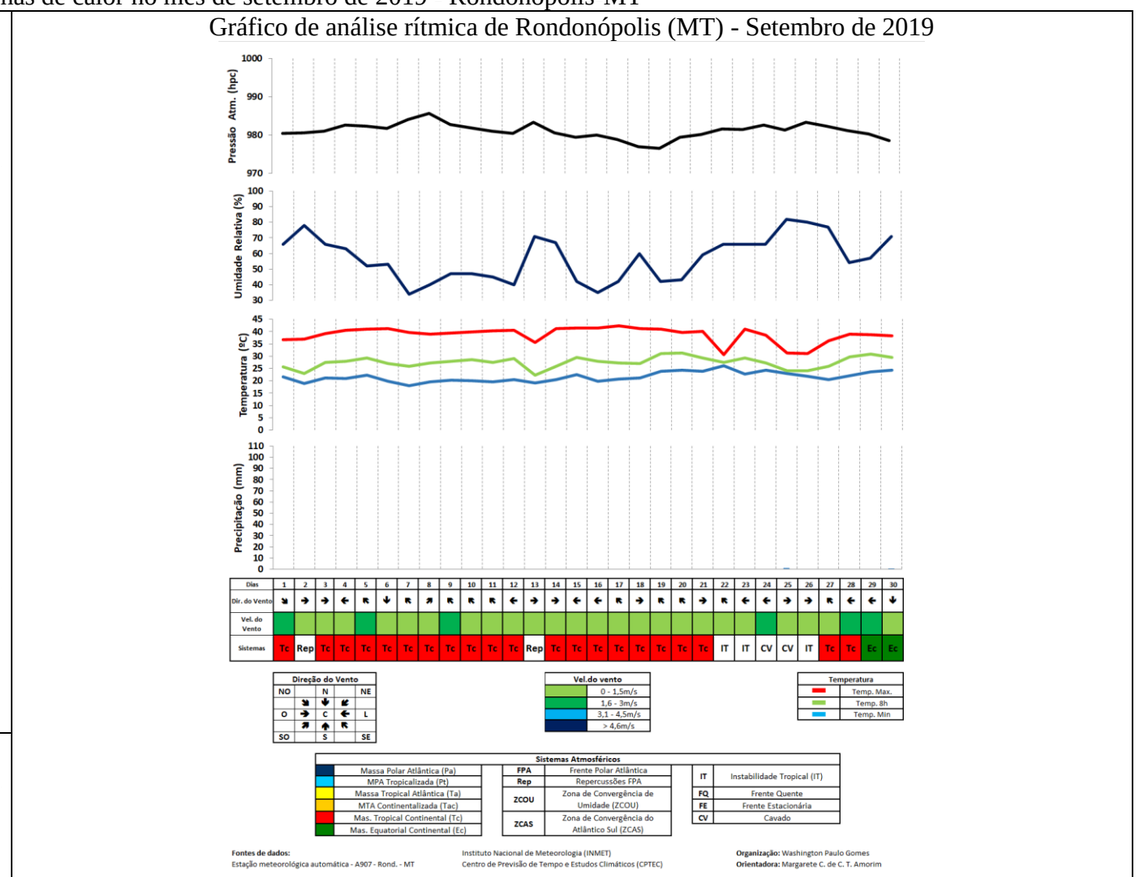


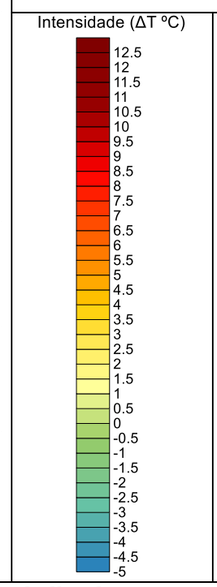


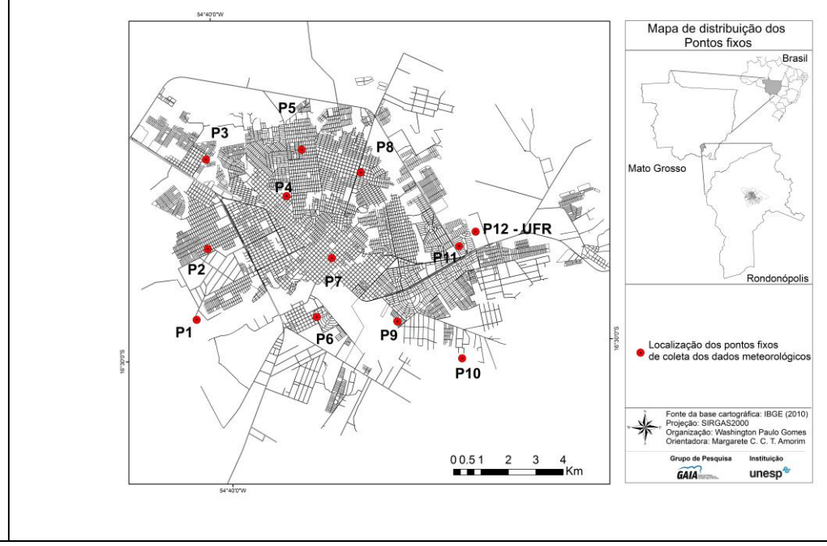
Fonte: INMET

Prancha 12 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de setembro de 2019 - Rondonópolis-MT





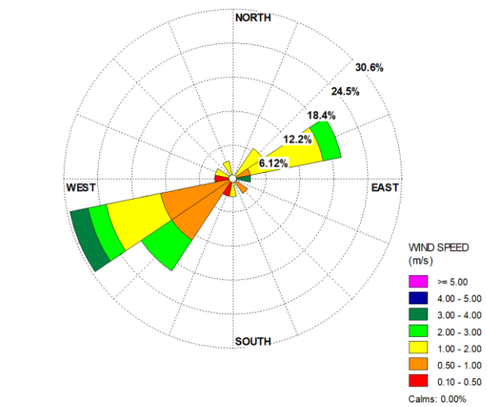


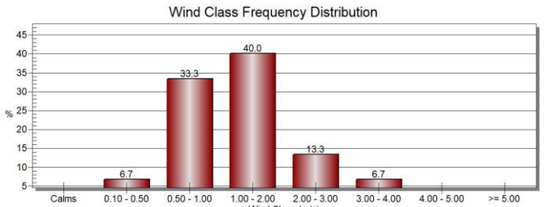


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET

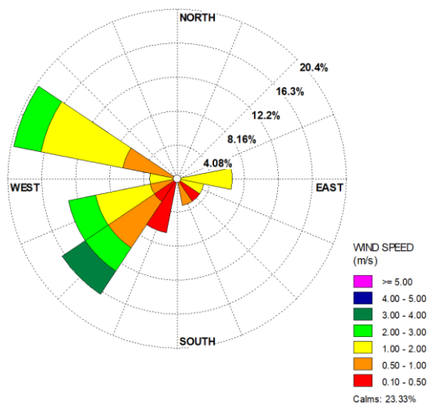
Prancha 13 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de setembro de 2019 - Rondonópolis-MT

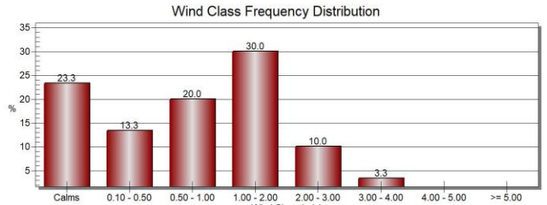
0h



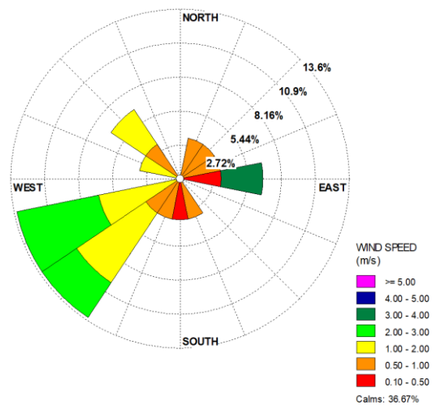


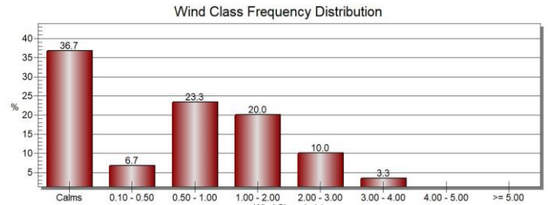
03h



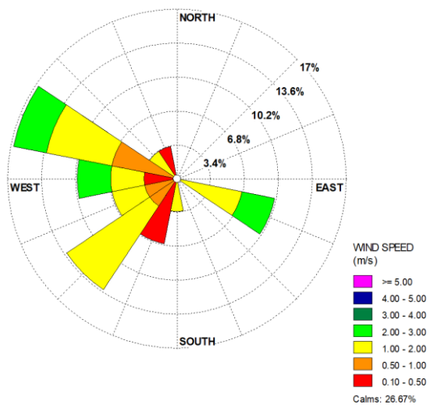


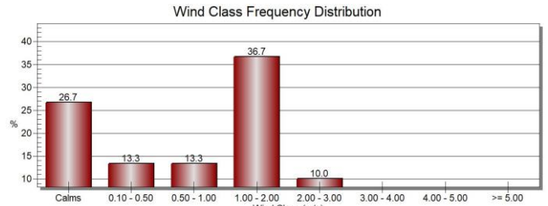
06h



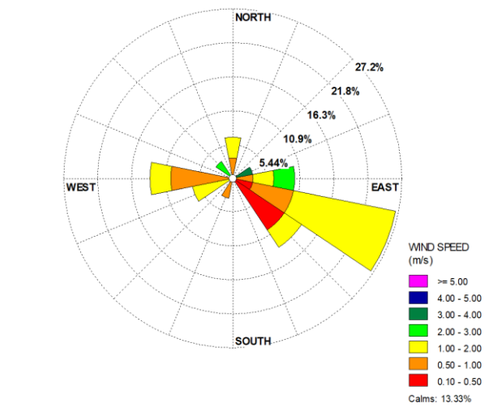


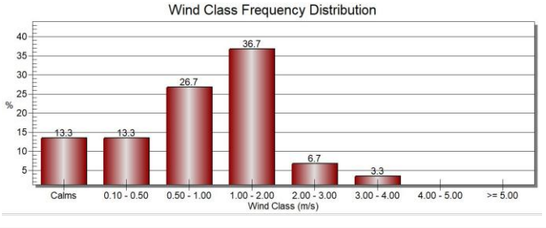
9h



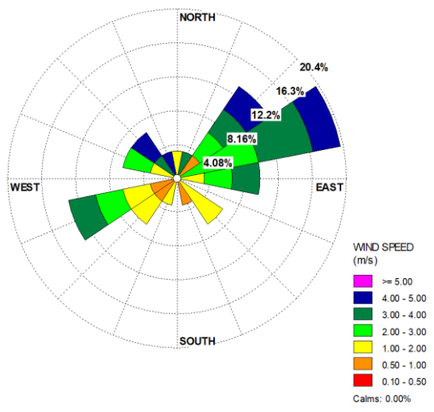


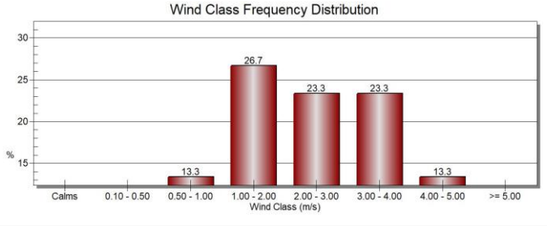
12h



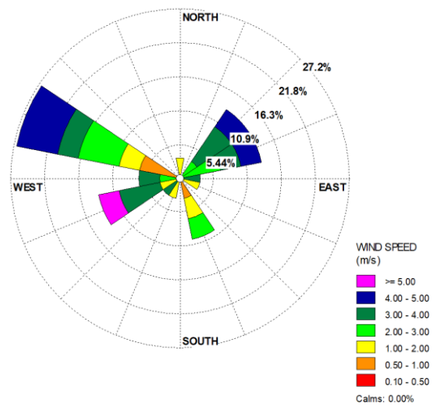


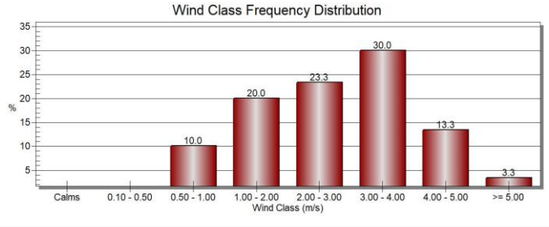
15h



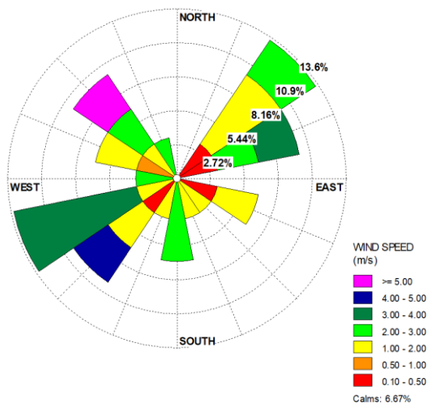


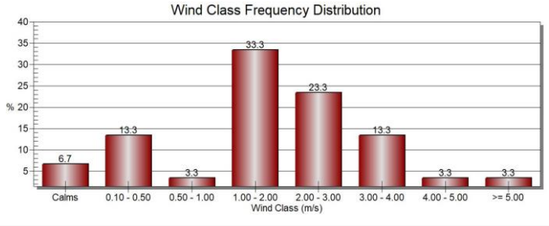
18h





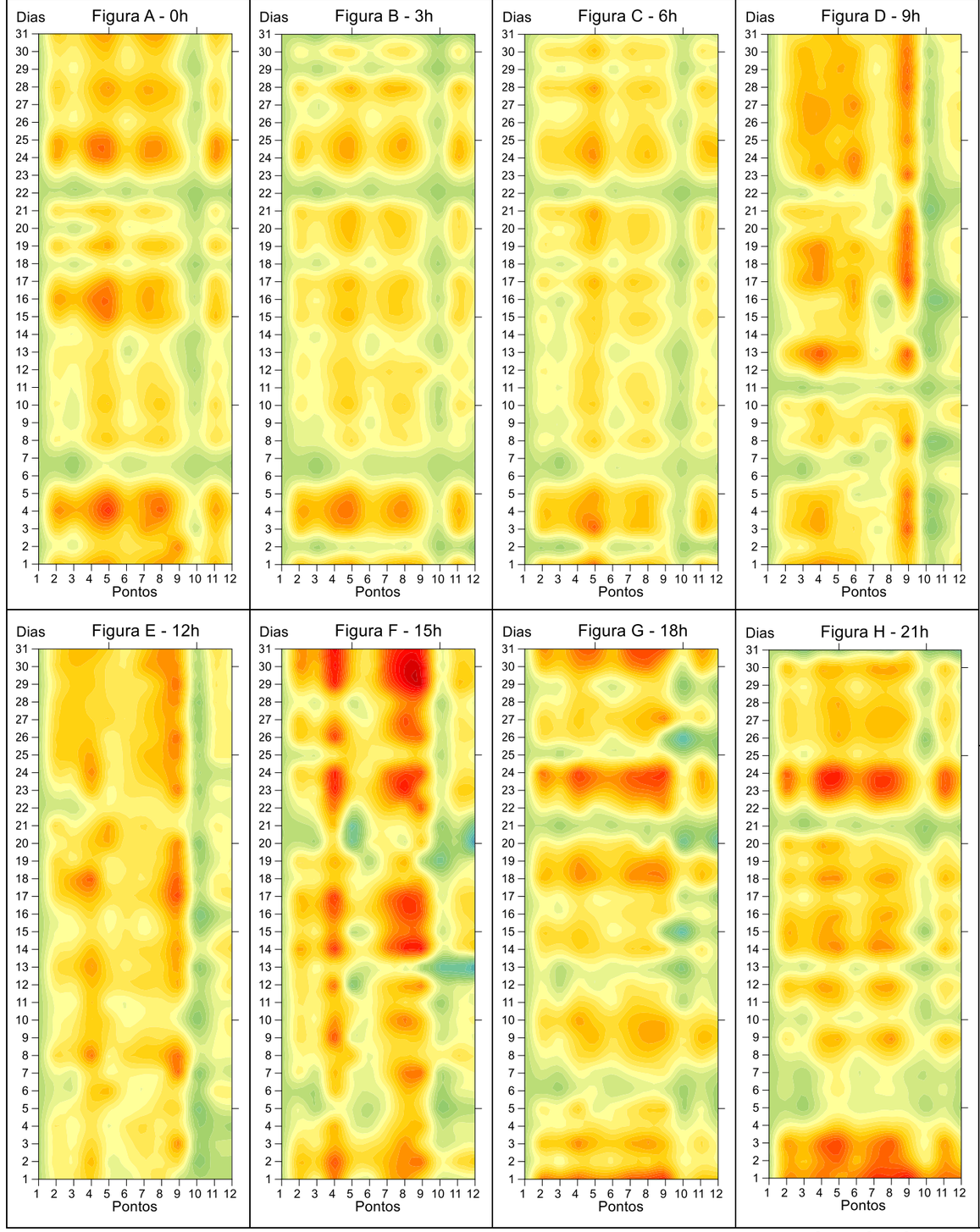
21h

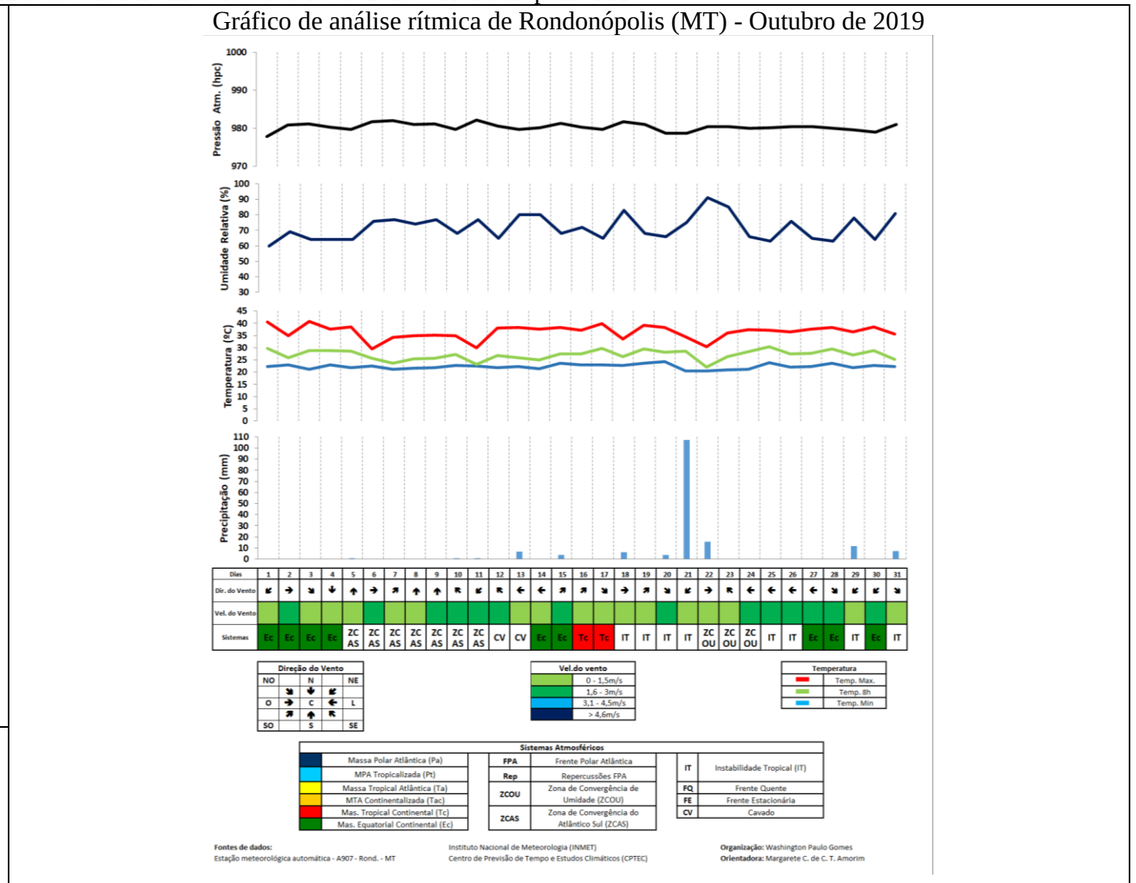


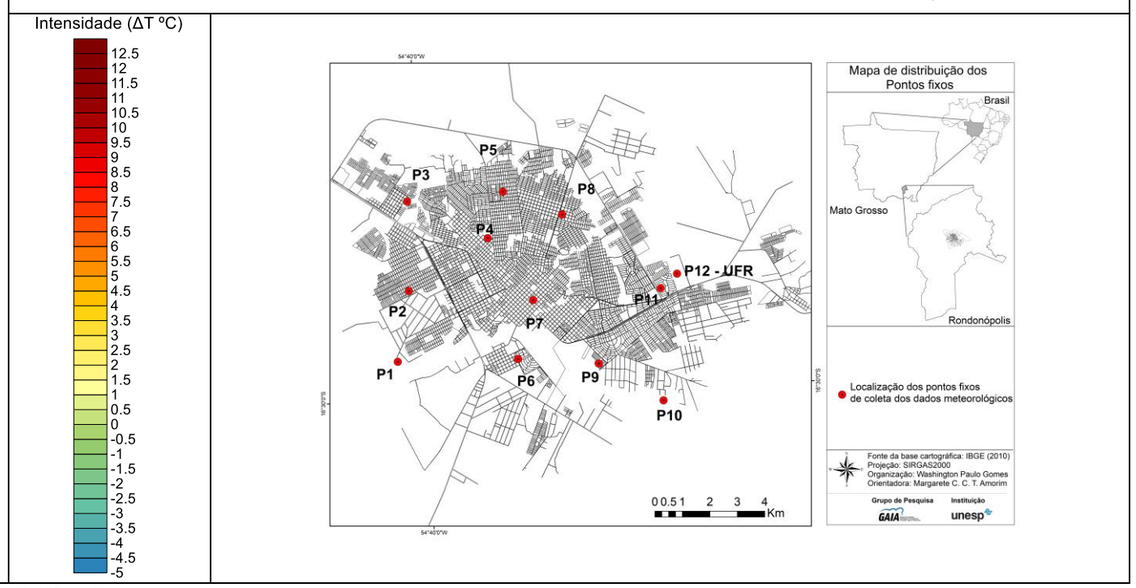


Fonte: INMET

Prancha 14 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de outubro de 2019 - Rondonópolis-MT



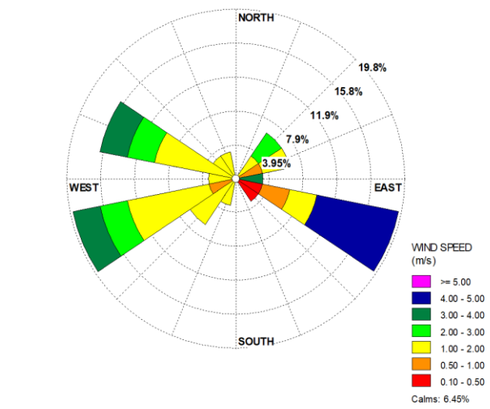


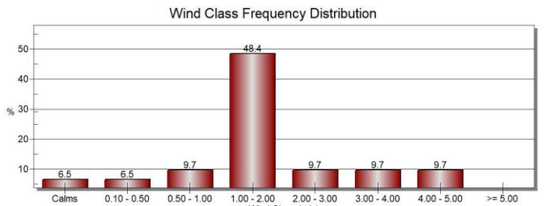


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET

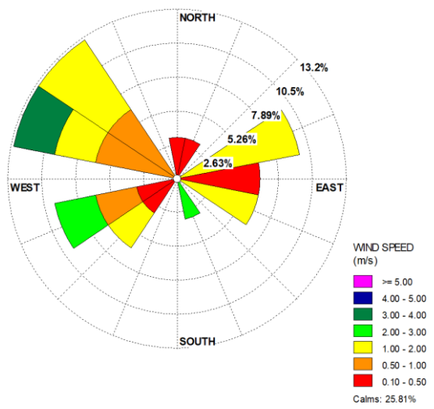
Prancha 15 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de outubro de 2019 - Rondonópolis-MT

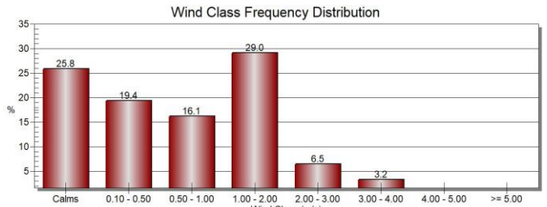
0h



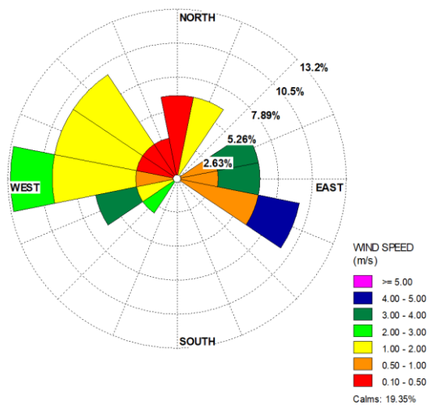


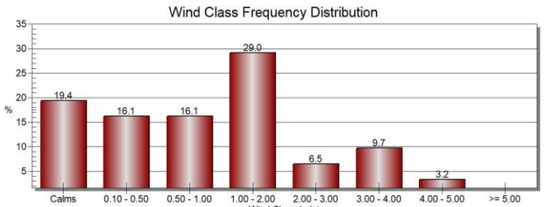
03h



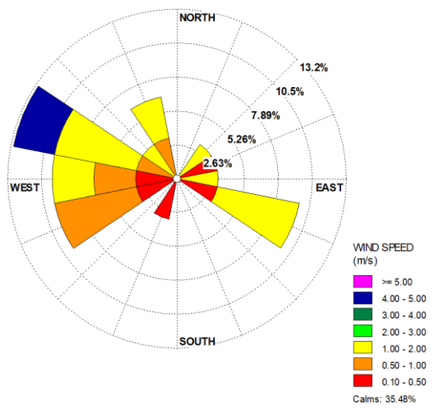


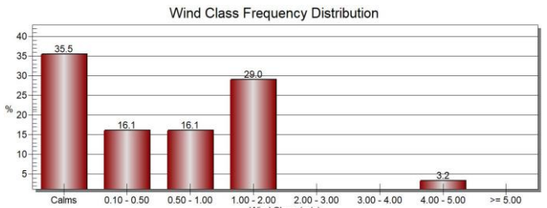
06h



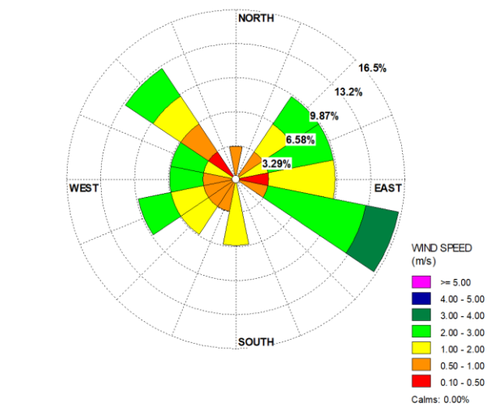


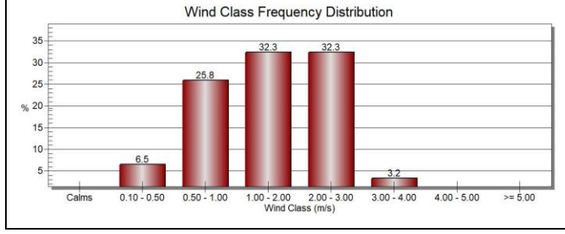
9h



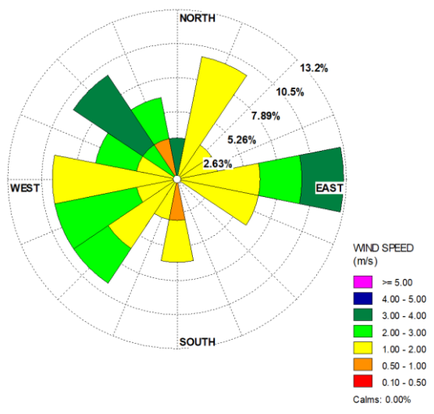


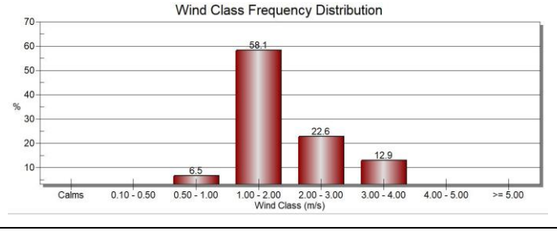
12h



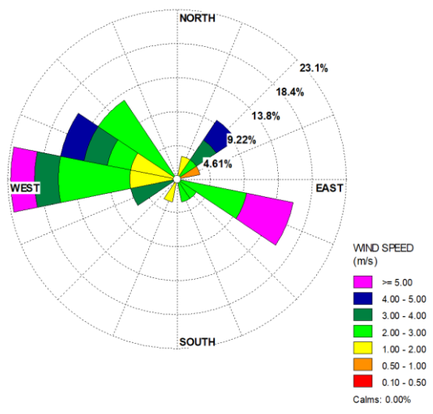


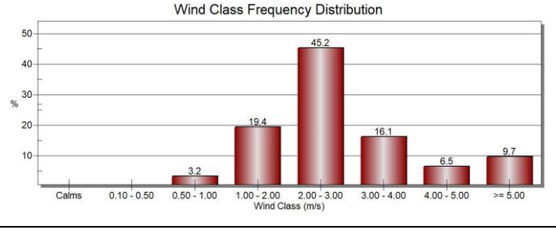
15h



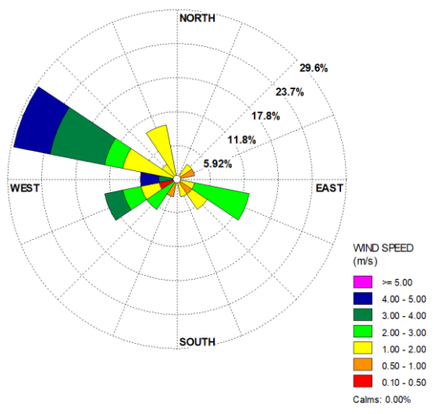


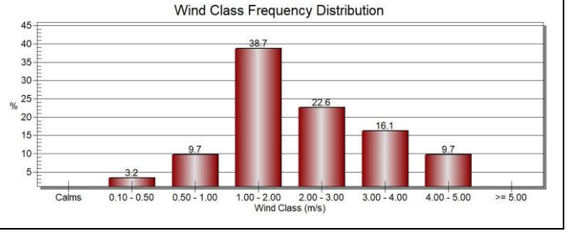
18h





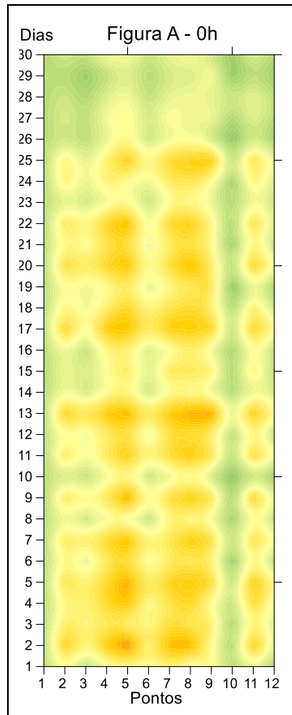
21h

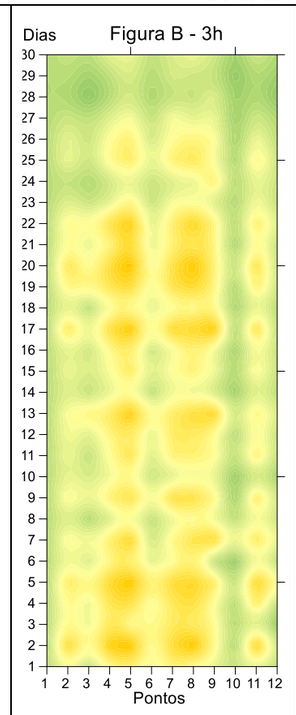


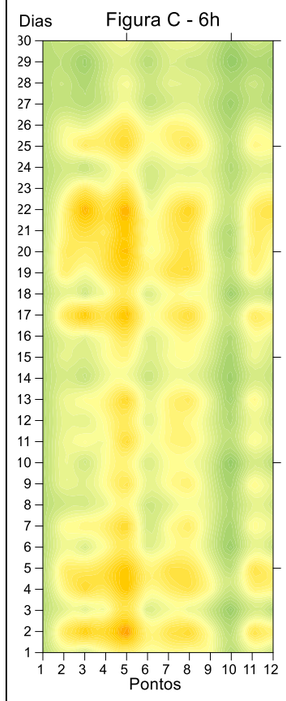


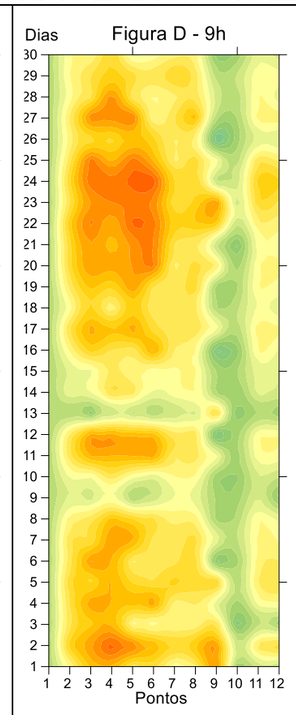
Fonte: INMET

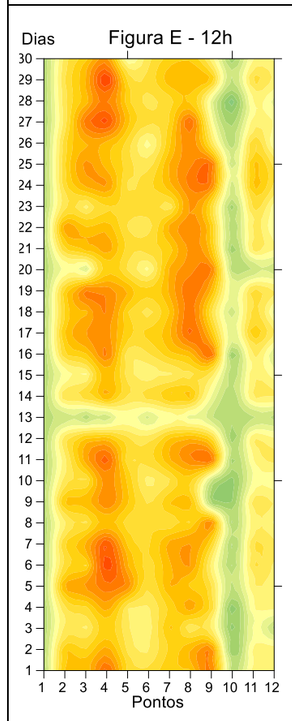
Prancha 16 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de novembro de 2019 - Rondonópolis-MT

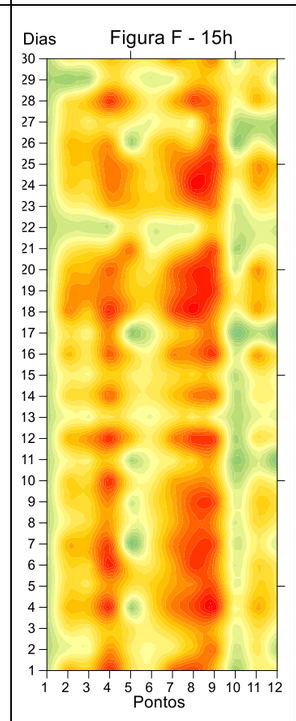


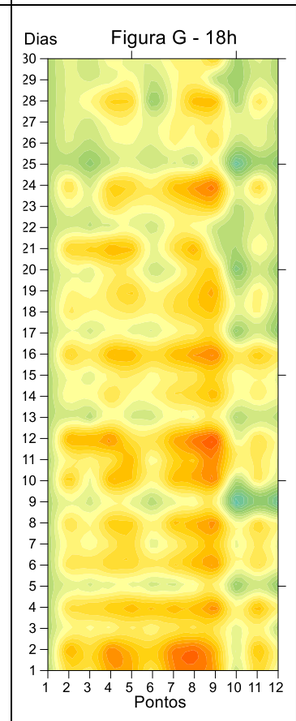












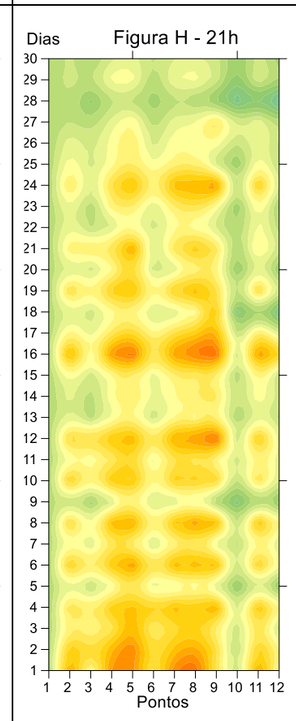
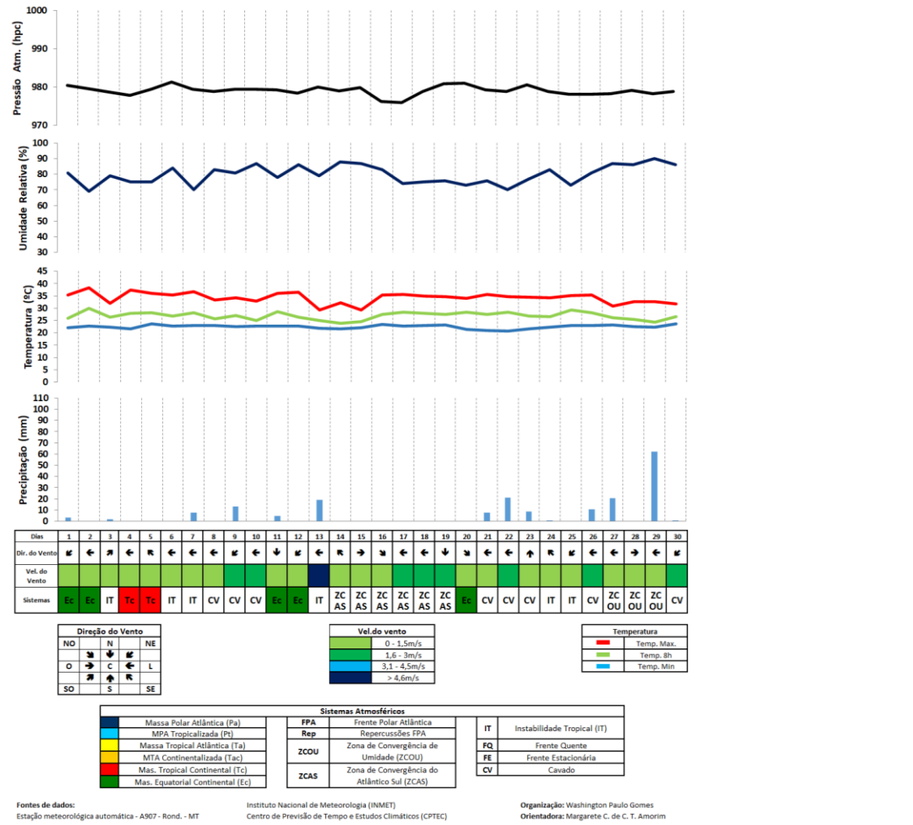
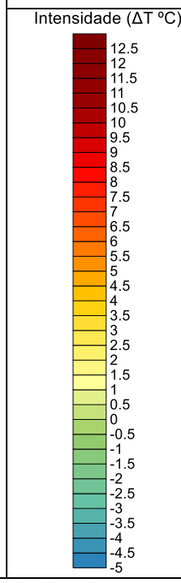
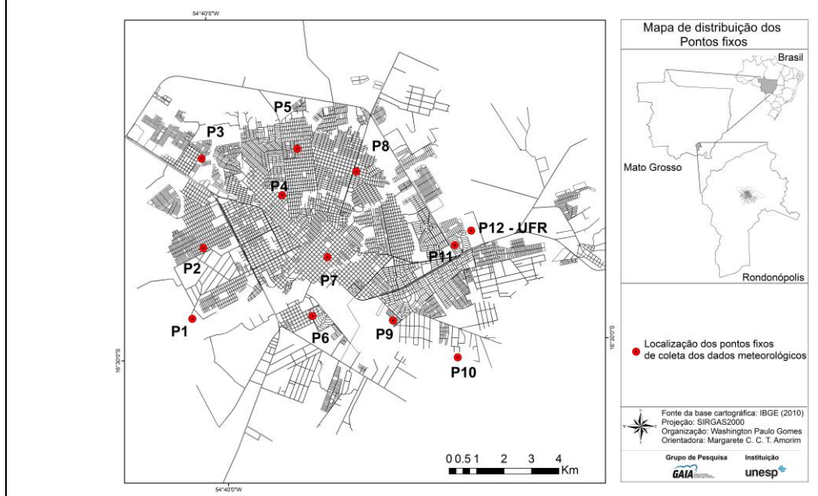


Gráfico de análise rítmica de Rondonópolis (MT) - Novembro de 2019



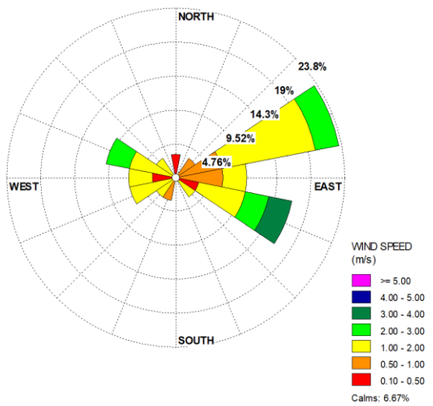


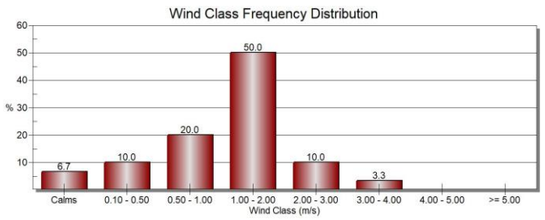


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET

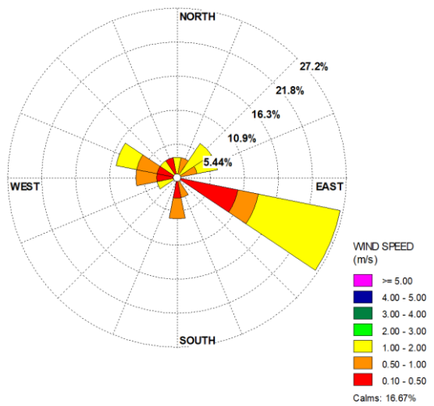
Prancha 17 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de novembro de 2019 - Rondonópolis-MT

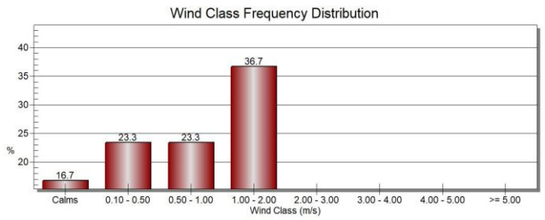
0h



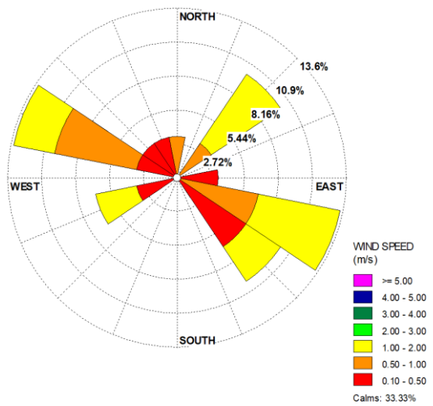


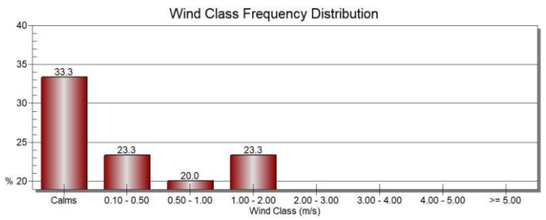
03h



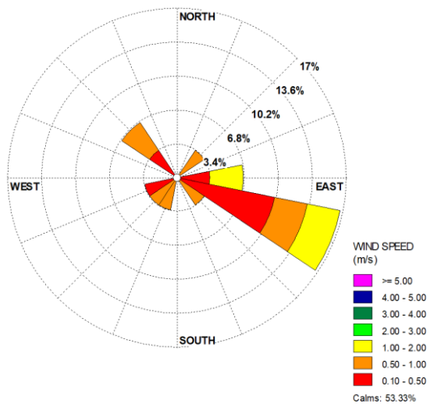


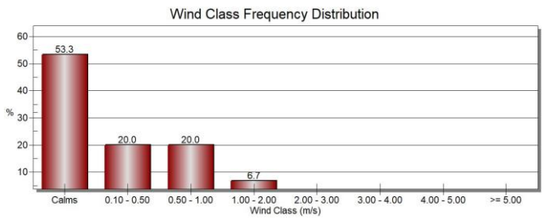
06h



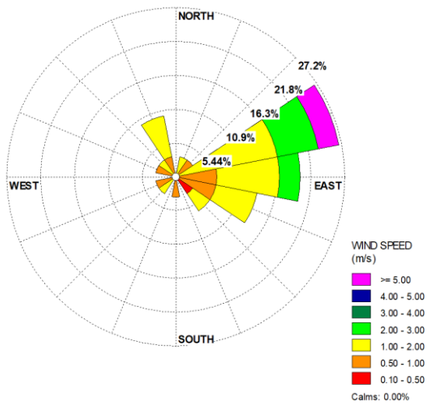


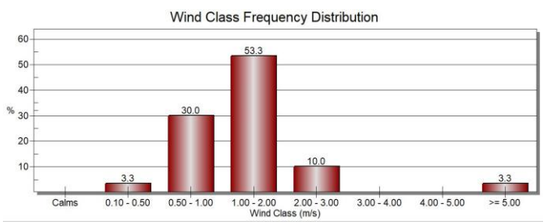
9h



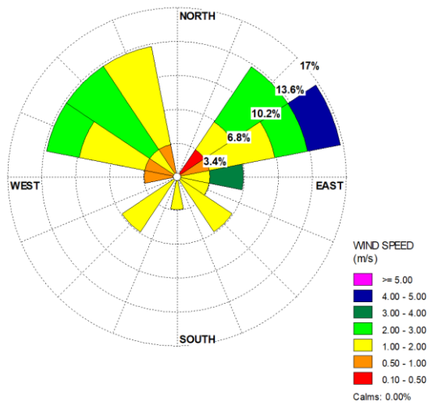


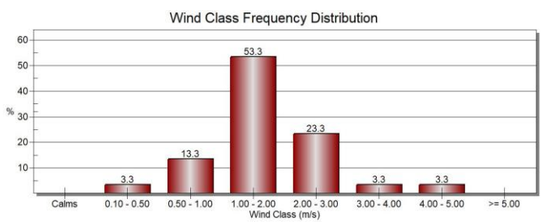
12h



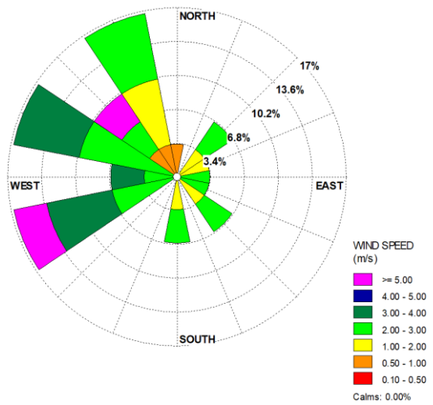


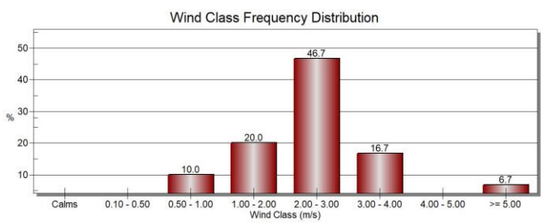
15h



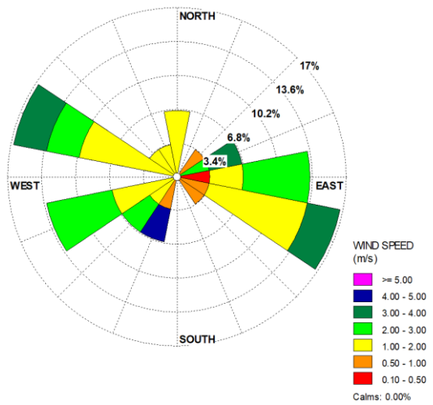


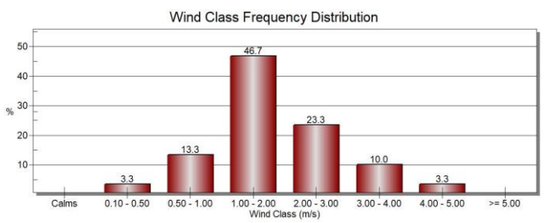
18h





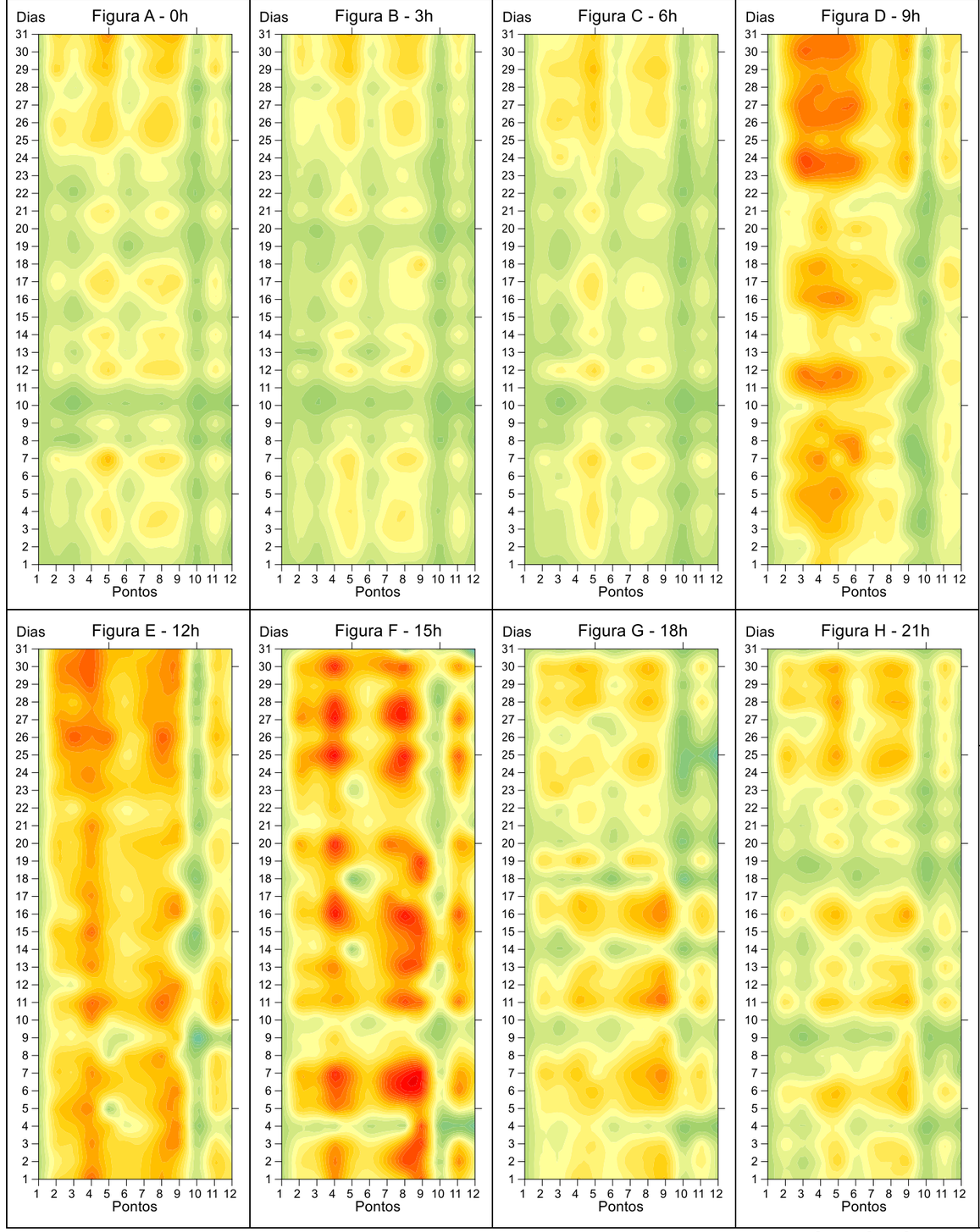
21h

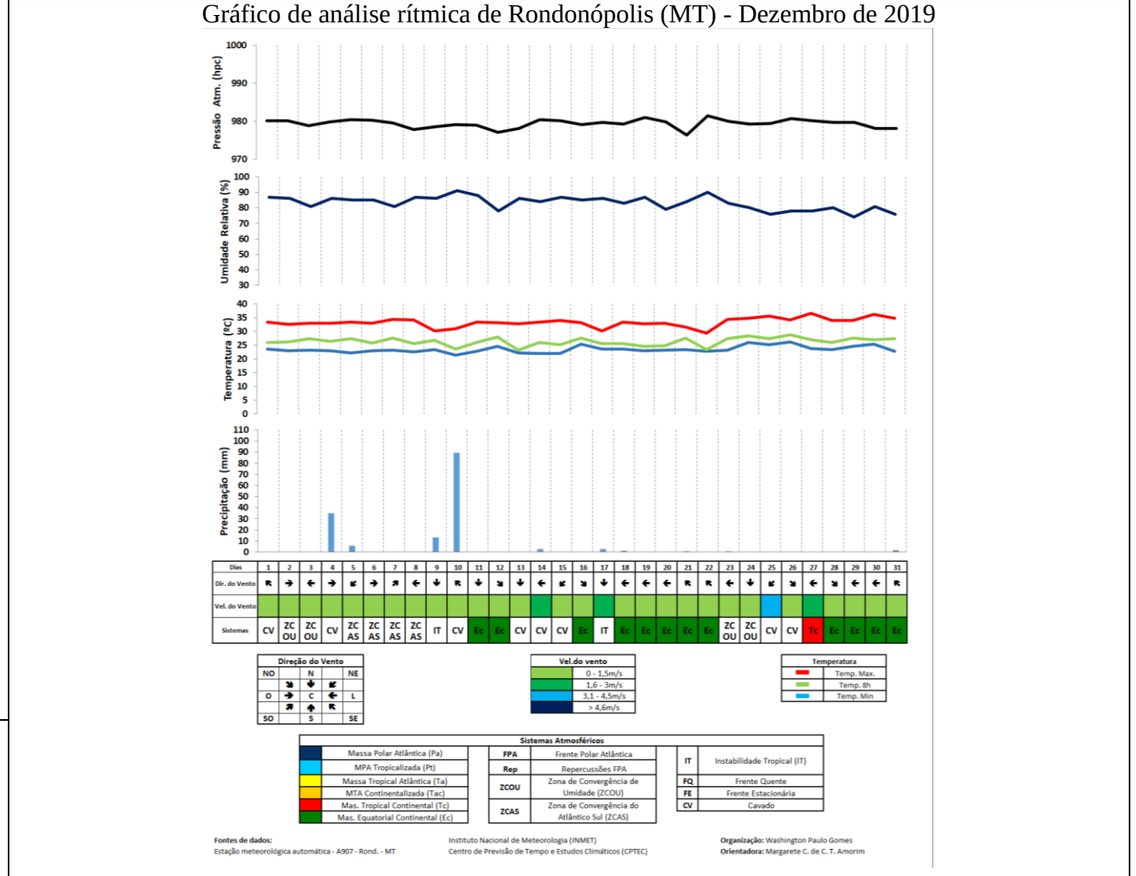


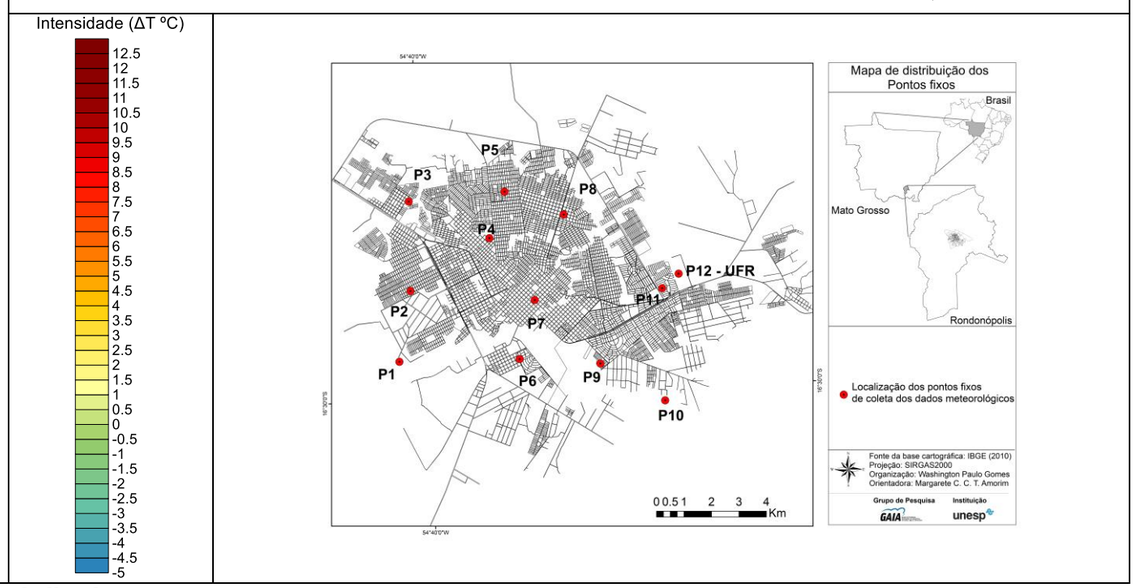


Fonte: INMET

Prancha 18 - Variação espaço-temporal das intensidades das ilhas de calor no mês de dezembro de 2019 - Rondonópolis-MT



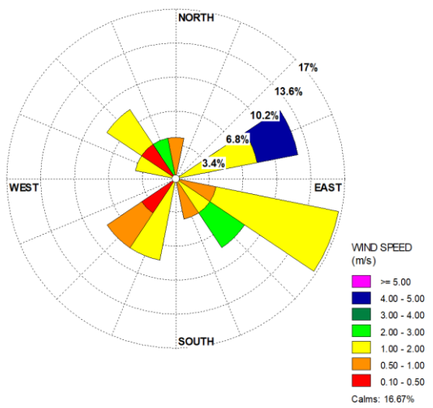


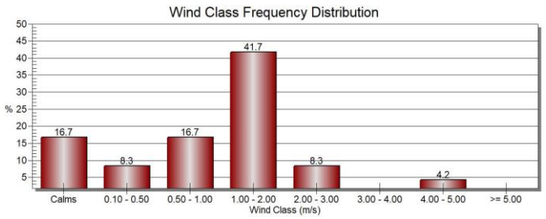


Fonte: Dados coletados em trabalho de campo; INMET

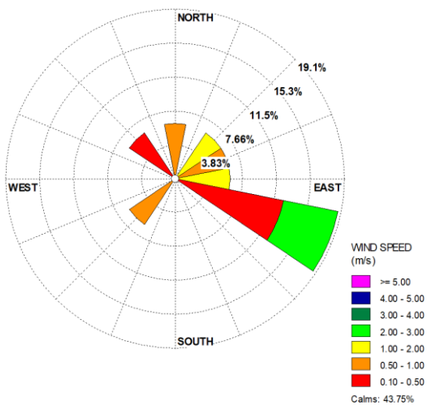
Prancha 19 - Frequência, direção e velocidade do vento no mês de dezembro de 2019 - Rondonópolis-MT

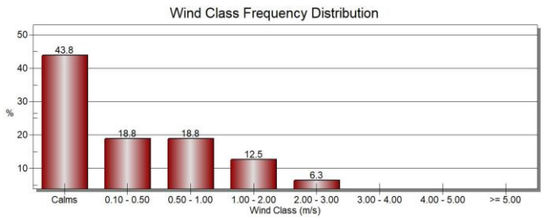
0h



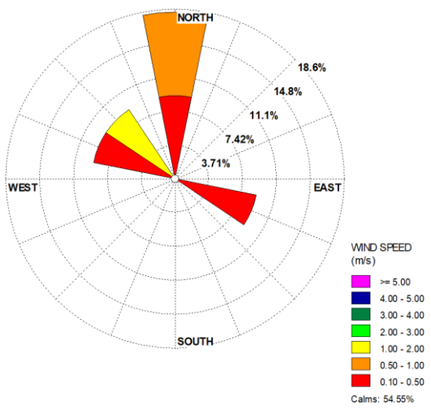


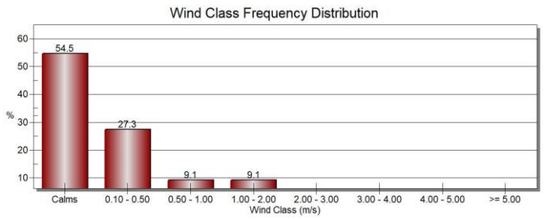
03h



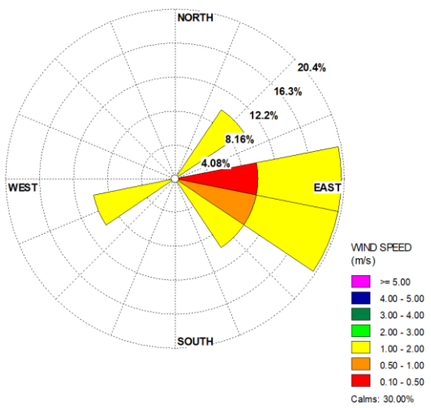


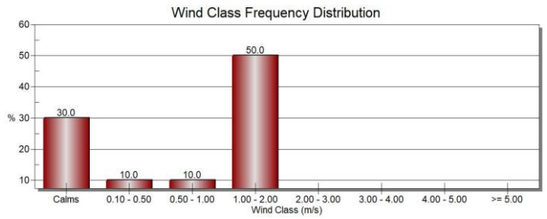
06h



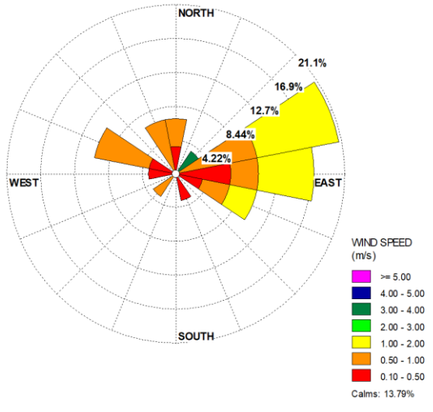


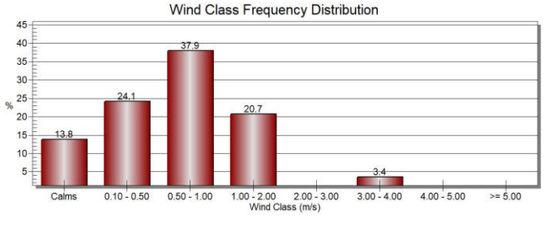
9h



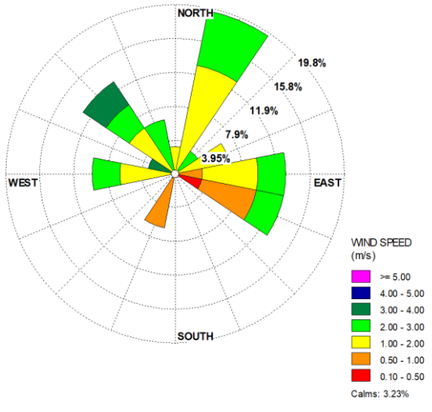


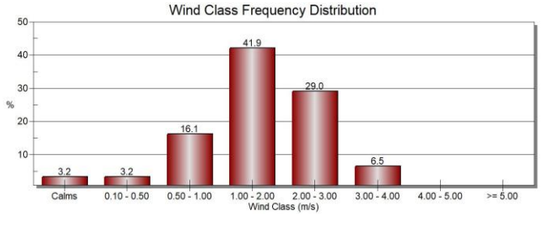
12h



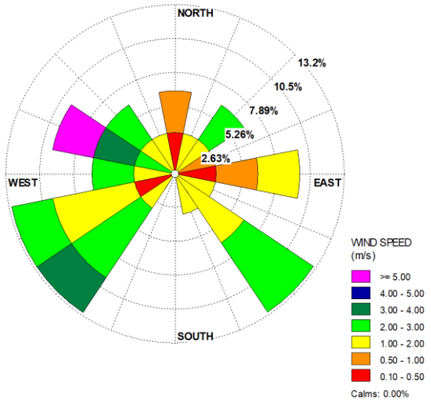


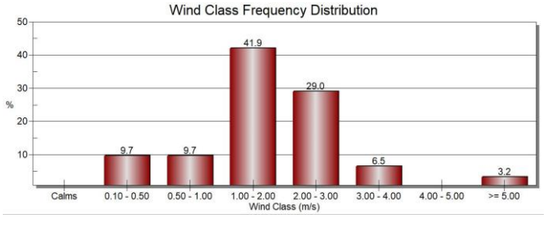
15h



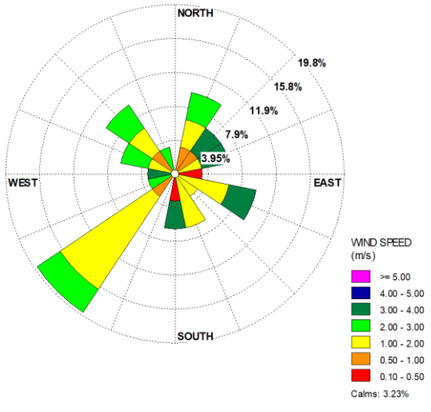


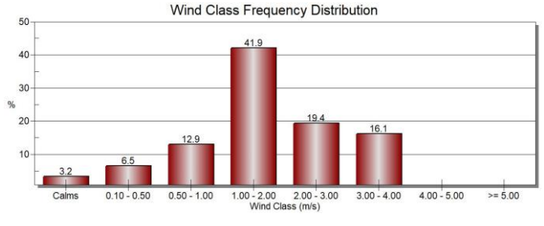
18h





21h





Fonte: INMET

Com o intuito de aperfeiçoar os resultados dos pontos fixos, foi realizada a análise da frequência da intensidade das ilhas de calor nos doze pontos onde os sensores foram instalados. Foi utilizada a proposta metodológica aplicada por Amorim (2020), selecionando apenas os dias sem registro de precipitação. Para realizar esse procedimento levou-se em consideração os dados de precipitação da estação meteorológica automática (INMET-UFR), em conjunto com os dados dos gráficos de análises rítmicas.

De acordo Amorim (2020), a opção por retirar os dias com precipitação da análise da frequência da intensidade das ilhas de calor ocorre porque as mesmas não são bem definidas sob condições atmosféricas instáveis. Deste modo, do total de 184 dias de registros horários da temperatura em 12 pontos na cidade de Rondonópolis (julho a dezembro de 2019), as precipitações foram registradas em 62 dias (Tabela 18). Portanto, a análise da frequência das intensidades e magnitudes das ilhas de calor foi realizada nos 122 dias estáveis, sem presença de chuva.

Tabela 18 - Dias com precipitação retirados da análise da frequência das intensidades e magnitudes das ilhas de calor

Mês	**Dias**	**Total**
Julho	05 e 09	2 dias
Agosto	06 e 27	2 dias
Setembro	22, 24, 25 e 30	4 dias
Outubro	02, 05, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 20, 21, 22, 29 e 30	13 dias
Novembro	01, 03, 07, 08, 09, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29 e 30	20 dias
Dezembro	01, 04, 05, 08, 09, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 30 e 31	21 dias

Fonte: INMET

Para realizar a intensidade das frequências das ilhas de calor e frescor, foram escolhidos os mesmos horários representativos do dia utilizados nos painéis espaço-temporais (0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h). As tabelas foram divididas seguindo a classificação de Fernández García (1996), observando as magnitudes das ilhas de calo (Prancha 20).

De modo geral, as maiores frequências das intensidades das ilhas de calor ocorreram no período noturno (0h, 3h e 21h), no começo da manhã (6h) e no final da tarde (18h). Durante o dia (9h, 12h e 15h) as intensidades foram menores, com predominância de ilhas de calor de médias magnitudes (entre 2ºC e 4ºC).

As ilhas de frescor foram registradas principalmente durante o dia, nos horários das 9h, 12h e 15h. O ponto 10 apresentou as maiores frequências das ilhas de frescor, chegando a mais de 50% às 9h e 12h. Mesmo com características semelhantes ao do ponto 1 (no ambiente rural), as intensidades baixas estão diretamente associadas a exposição da vertente, sendo que o ponto 1 (zero), posicionado na vertente leste, recebe os primeiros raios solares da manhã, enquanto que o ponto 10, localizado na vertente sul, demora mais para receber os raios solares de forma intensa. Entre os pontos localizados na malha urbana, as maiores frequências em relação as ilhas de frescor, ocorreram nos pontos 6 e 11, localizados nos condomínios do Bosque I e Village do Cerrado.

As maiores frequências com ilhas de calor de muito forte magnitude ocorreram principalmente às 21h. Neste horário apenas os pontos representativos do rural (1 e 10) não apresentaram intensidades acima de 6ºC, mostrando mais uma vez a influência do ambiente urbano e das áreas construídas na intensidade das ilhas de calor. Somando-se as intensidades forte e de muito forte magnitudes sete pontos apresentaram frequências acima de 50%: 2 (60,8%); 4 (63,1%); 5 (74,6%); 7 (68,8%); 8 (70,5%); 9 (54,1%) e 11 (62,3%).

Os horários noturnos das 0h e 3h, seguiram o mesmo padrão de intensidade com leve diminuição nas frequências das ilhas de calor de muito forte magnitude. Nestes horários os materiais construtivos ainda estão liberando o calor que foram armazenados durante o dia, sendo evidenciados com temperaturas do ar mais elevadas do que o entorno rural próximo.

Os horários de transição no início da manhã (6h) e final da tarde (18h), apresentaram diferentes intensidades. Enquanto que às 6h houve uma predominância das ilhas de calor de fraca e média magnitudes, às 18h ocorreram intensidades mais elevadas de muito forte magnitude, principalmente entres os pontos 2, 7, 8 e 9, que apresentaram mais de 40% de frequência.

Diversos fatores estão associados as maiores ou menores frequências das ilhas de calor. Notou-se que as características da superfície em relação ao uso e ocupação da terra, a orientação das vertentes e os sistemas atmosféricos estáveis apresentaram forte influência nas intensidades.

Prancha 20 - Frequência em porcentagem das intensidades e magnitudes das ilhas de frescor (IF) e das ilhas de calor (IC) nos pontos de registros às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h - Em dias sem precipitação

0h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	23.0	16.4	14.8	45.9
3	4.1	27.0	32.0	27.0	9.8
4	0.0	18.0	27.0	24.6	30.3
5	0.0	8.2	21.3	23.8	46.7
6	0.0	30.3	43.4	25.4	0.8
7	0.0	13.9	20.5	39.3	26.2
8	0.0	10.7	24.6	30.3	34.4
9	0.0	21.3	54.1	22.1	2.5
10	18.9	74.6	6.6	0.0	0.0
11	0.0	18.0	21.3	13.9	46.7
12	6.6	33.6	32.8	22.1	4.9

3h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	1.6	25.4	17.2	22.1	33.6
3	6.6	32.0	33.6	23.0	4.9
4	0.0	20.5	36.9	15.6	27.0
5	0.0	7.4	25.4	29.5	37.7
6	1.6	29.5	59.0	9.8	0.0
7	0.0	15.6	26.2	43.4	14.8
8	0.0	12.3	27.0	39.3	21.3
9	0.0	25.4	61.5	12.3	0.8
10	19.7	80.3	0.0	0.0	0.0
11	0.0	19.7	18.9	27.0	34.4
12	2.5	40.2	42.6	12.3	2.5

6h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	26.2	22.1	32.8	18.9
3	5.7	21.3	52.5	18.9	1.6
4	0.0	23.0	35.2	27.9	13.9
5	0.0	4.9	23.8	32.0	39.3
6	0.0	40.2	56.6	3.3	0.0
7	0.0	16.4	34.4	41.8	7.4
8	0.0	15.6	31.1	44.3	9.0
9	0.0	31.1	64.8	4.1	0.0
10	19.7	80.3	0.0	0.0	0.0
11	0.0	18.9	21.3	38.5	21.3
12	3.3	39.3	45.9	11.5	0.0

9h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	22.1	50.0	27.9	0.0
3	2.5	13.9	22.1	50.8	10.7
4	0.0	7.4	19.7	51.6	21.3
5	0.0	9.0	38.5	47.5	4.9
6	0.8	21.3	53.3	24.6	0.0
7	0.0	57.4	41.0	1.6	0.0
8	0.0	41.8	57.4	0.8	0.0
9	4.9	12.3	18.9	32.0	32.0
10	58.2	41.0	0.8	0.0	0.0
11	6.6	69.7	23.0	0.8	0.0
12	0.8	33.6	34.4	28.7	2.5

12h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	10.7	71.3	18.0	0.0
3	0.8	41.0	53.3	4.1	0.8
4	0.0	8.2	50.8	39.3	1.6
5	0.8	60.7	34.4	3.3	0.8
6	0.8	21.3	73.8	4.1	0.0
7	0.0	46.7	45.9	7.4	0.0
8	0.8	40.2	38.5	19.7	0.8
9	2.5	9.8	31.1	50.0	6.6
10	54.1	45.1	0.8	0.0	0.0
11	23.8	52.5	22.1	1.6	0.0
12	0.8	58.2	40.2	0.8	0.0

15h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	13.9	30.3	46.7	9.0
3	3.3	37.7	49.2	9.0	0.8
4	0.8	7.4	25.4	35.2	31.1
5	2.5	56.6	32.8	7.4	0.8
6	1.6	32.0	62.3	4.1	0.0
7	0.0	26.2	42.6	26.2	4.9
8	0.0	4.1	36.9	34.4	24.6
9	0.8	3.3	21.3	36.1	38.5
10	20.5	72.1	7.4	0.0	0.0
11	2.5	60.7	25.4	9.8	1.6
12	0.8	36.1	54.1	8.2	0.8

18h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	18.0	22.1	12.3	47.5
3	2.5	25.4	35.2	31.1	5.7
4	0.0	9.8	33.6	22.1	34.4
5	0.0	10.7	28.7	23.8	36.9
6	0.8	19.7	28.7	42.6	8.2
7	0.0	8.2	27.9	16.4	47.5
8	0.0	4.9	25.4	19.7	50.0
9	0.8	4.9	20.5	21.3	52.5
10	8.2	57.4	32.0	2.5	0.0
11	0.8	13.9	26.2	35.2	23.8
12	8.2	27.0	45.1	19.7	0.0

21h (Jul - Dez)

PONTOS	IF - Ilha de Frescor (%) (< 0°C)	IC - Fraca magnitude (%) (0 - 2°C)	IC - Média magnitude (%) (2.1 - 4°C)	IC - Forte magnitude (%) (4.1 - 6°C)	IC - Muito forte magnitude (%) (> 6°C)
1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	18.0	20.5	9.8	51.6
3	1.6	26.2	29.5	30.3	12.3
4	0.0	13.1	23.8	27.0	36.1
5	0.0	4.9	20.5	20.5	54.1
6	1.6	20.5	32.8	36.9	8.2
7	0.0	10.7	20.5	21.3	47.5
8	0.0	7.4	22.1	19.7	50.8
9	0.8	7.4	37.7	41.0	13.1
10	13.1	68.0	17.2	1.6	0.0
11	1.6	9.8	26.2	12.3	50.0
12	5.7	28.7	26.2	25.4	13.9

Fonte: Dados coletados em trabalho de campo

4.4 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor urbana

A modelagem espacial das ilhas de calor se refere a espacialização da temperatura do ar associadas as características da superfície e representa um avanço em relação à forma das representações cartográficas nos estudos de climatologia urbana. O aperfeiçoamento estatístico, o desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto e o geoprocessamento de dados auxiliam nas análises dos dados e servem como instrumentos para aplicação e intervenções localizadas no espaço urbano.

Para realizar a modelagem espacial da ilha de calor na cidade de Rondonópolis-MT, foram utilizados os dados das intensidades das temperaturas do ar por meio dos transectos móveis (Capítulo 4.2). Como citado anteriormente, os dias para a realização dos transectos foram escolhidos por apresentarem estabilidade atmosférica e coincidirem com a data de registro das imagens termais noturnas do satélite Landsat 8[35].

Devido a um ajuste de processamento dos dados, no qual o aplicativo Idrisi não reconhece dois pontos em um mesmo *pixel*, foi necessário retirar do modelo estatístico o ponto 19 do trajeto S0-NE, pois trata-se do local de cruzamento dos dois trajetos percorridos. Assim, foram utilizados 53 pontos de registro do percurso NO-SE e 43 pontos de registro do percurso SO-NE, totalizando 96 pontos de registro da temperatura do ar inseridos na modelagem.

O objetivo de realizar a espacialização e o cruzamento dos dados das intensidades das ilhas de calor atmosféricas e superficiais noturnas (Tabela 19 e Prancha 21), ocorre no sentido de oferecer um avanço em relação as técnicas de estudos na climatologia geográfica, uma vez que, os trabalhos realizados até o momento, buscaram evidenciar a comparação da temperatura do ar noturna com as imagens termais diurnas.

Tabela 19 - Intensidades das ilhas de calor atmosféricas e superficiais noturnas

Data	**Transecto móvel**		**Termal noturna**		**Sistemas atmosféricos**
	Hora	**Intensidade (ΔT ºC)**	**Hora**	**Intensidade (ΔT ºC)**	
01/06/2020	21h	4,1	21h57min	8,3	mPt
17/06/2020	21h	7,2	21h57min	10,8	mPt
20/07/2020	21h	10,5	21h57min	11,2	mTa
05/05/2020	21h	10	21h57min	11,7	mTa

Fonte: Trabalho de campo e USGS

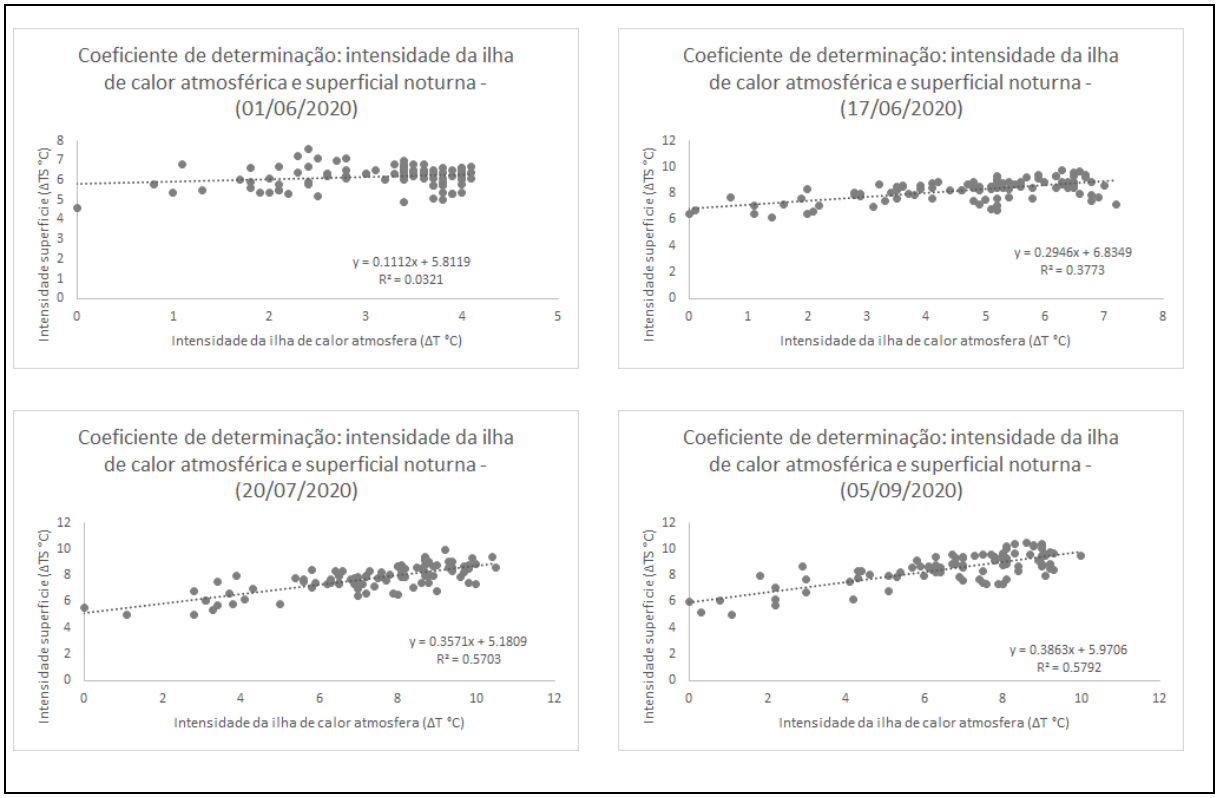
[35] Disponibilizadas gratuitamente pela USGS no *site:* https://earthexplorer.usgs.gov/.

Na modelagem as intensidades das ilhas de calor atmosféricas são inseridas como variável resposta (dependente) e as intensidades das ilhas de calor superficiais são inseridas como variável explicativa (independente). Assim, pode-se perceber um coeficiente positivo em relação as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e superficiais (Figura 55).

Conforme verifica-se ilhas de calor atmosféricas com maiores intensidades no intraurbano, pode-se perceber um aumento das intensidades das ilhas de calor superficiais noturnas, associadas as características da superfície (Prancha 21). Nos dias sob atuação da massa tropical atlântica (17/07/2020 e 05/09/2020) em que as intensidades das ilhas de calor foram mais acentuadas, os coeficientes de determinação (R^2) também foram maiores, chegando a 57%.

O coeficiente de determinação indica quanto a variável independente foi capaz de explicar os dados registrados, sendo uma medida da proporção da variabilidade de uma variável, explicada pela variabilidade da outra. Pode ser usado como uma estatística de teste para avaliação da existência de uma relação útil, entre a variável resposta e explicativa, em um modelo de regressão linear (GOMES, 2017).

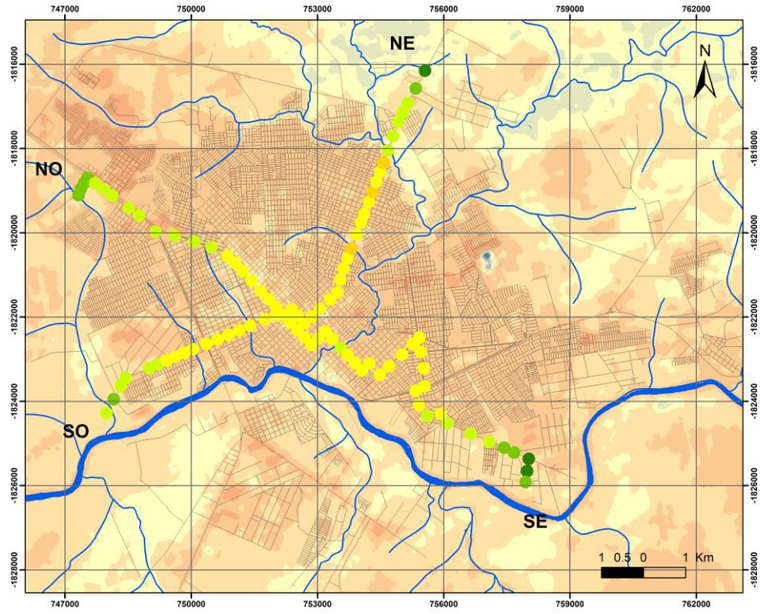
Figura 55 - Coeficiente de determinação entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e superficiais noturnas na cidade de Rondonópolis-MT



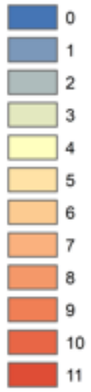
Fonte: Autoria própria

Prancha 21 - Distribuição espacial das intensidades das ilhas de calor superficiais e atmosféricas na cidade de Rondonópolis - MT

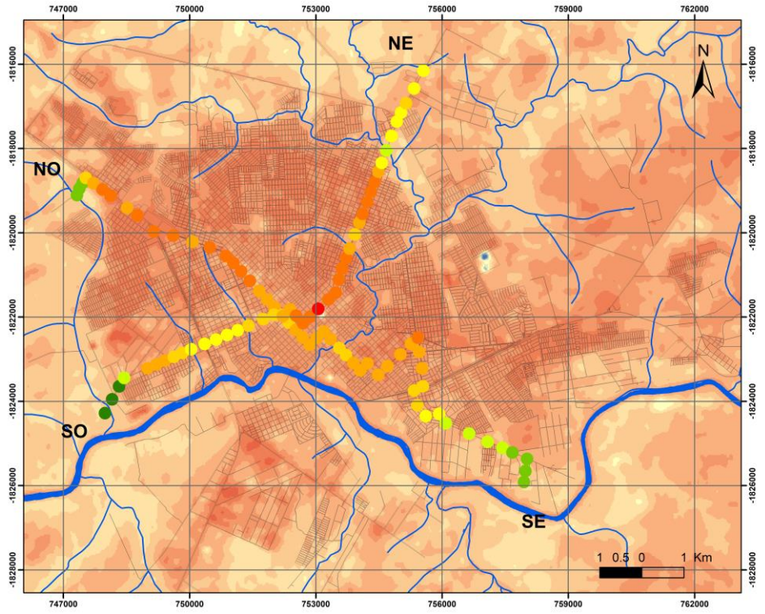
A - 01/06/2020



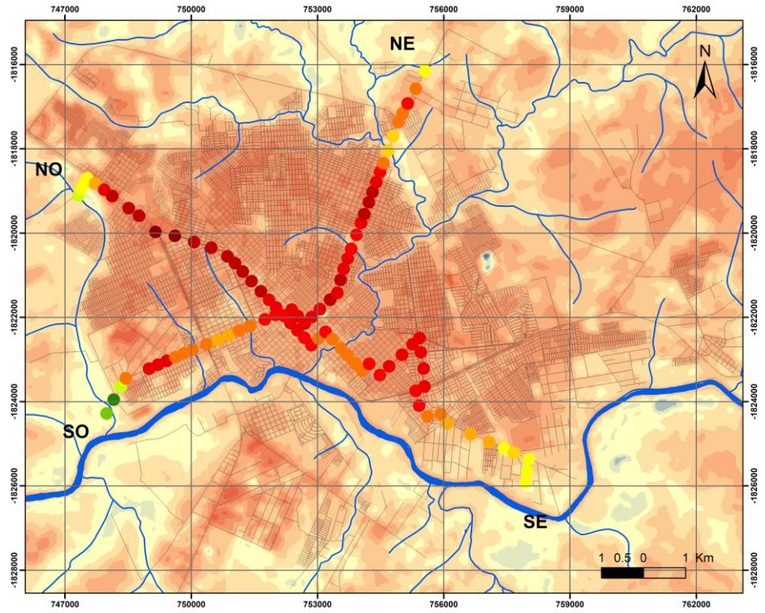
Intensidade da ilha de calor de superficie noturna (ΔT ºC)



B - 17/06/2020



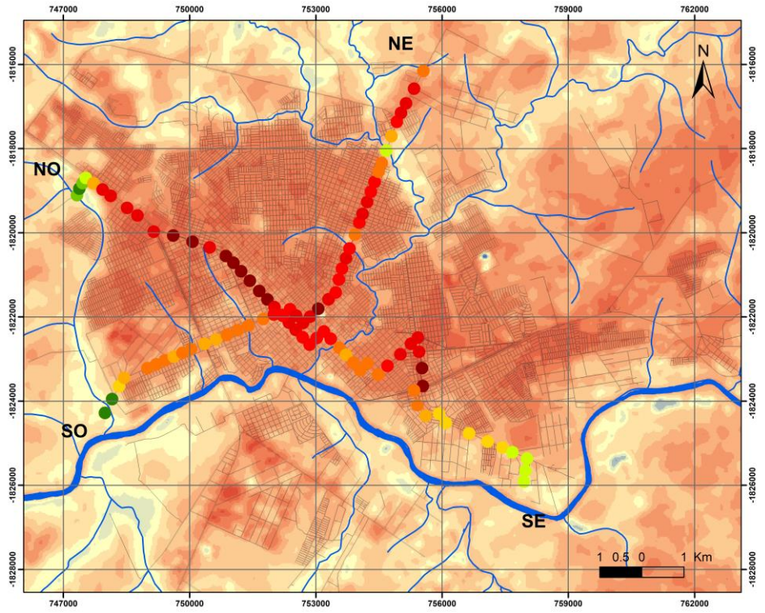
C - 20/07/2020



Intensidade da ilha de calor atmosférica (ΔT ºC)



D - 05/09/2020



Hidrografia

Malha urbana

Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul

Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

Após o primeiro diagnóstico entre a temperatura do ar e a temperatura de superfície, a modelagem espacial das intensidades das ilhas de calor seguiu os procedimentos para a elaboração dos mapas com as características da superfície (FOISSARD, 2015; AMORIM et al. 2015; GOMES, 2017; TEIXEIRA, 2019; DORIGON, 2019; TEOBALDO NETO, 2019).

As cartas de uso e ocupação da terra (composição colorida, índice de vegetação, classificação não supervisionada (cluster) e distância geométrica do centro), foram elaborados com base nas imagens diurnas do satélite Landsat 8, mais próxima do dia da realização do transecto. A não utilização das imagens na mesma data das termais noturnas ocorre porque durante a noite o satélite não gera todas as bandas necessárias pela ausência de radiação.

Deste modo, para realizar a modelagem das intensidades das ilhas de calor noturnas dos dias 01/06/2020 e 17/06/2020, foram utilizadas as imagens diurnas do satélite Landsat 8 do dia 10/06/2020 para a elaboração das cartas de entrada no modelo (Prancha 22). A modelagem do dia 20/07/2020 utilizou as imagens diurnas do dia 28/07/2020 (Prancha 23) e a modelagem do dia 05/09/2020 utilizou as imagens diurnas do dia 29/08/2020 (Prancha 24).

A carta de composição colorida permite diferenciar as áreas urbanas e rurais e a partir dela elabora-se a classificação não supervisionada com as classes de usos da terra. Foram elaboradas a partir da combinação das bandas 3, 5 e 4 do satélite Landsat 8 (Mapa A das Pranchas 22, 23 e 24).

O procedimento para obtenção do NDVI se utiliza das bandas 4 e 5 do satélite Landsat 8 e permite identificar a distribuição da densidade da vegetação. Os valores variam entre (-1) e (+1), os positivos demostram maiores densidades e a exuberância da vegetação, os valores negativos representam os locais com pouca ou nenhuma vegetação (Mapa B das Pranchas 22, 23, e 24).

O mapa hipsométrico foi elaborado a partir do modelo digital de elevação, disponibilidade pelo projeto TOPODATA a partir dos dados SRTM desenvolvida pelo USGS. Para serem adicionadas na modelagem as cartas passaram por um processo de georreferenciamento e ajuste da resolução espacial (Mapa C das Pranchas 22, 23, e 24).

A classificação não supervisionada (cluster) foi gerada a partir da composição colorida e do NDVI e consiste no agrupamento dos *pixels* segundo as suas características espectrais de acordo com as classes de uso da terra (Mapa D das Pranchas 22, 23, e 24). A partir da classificação cluster realizou-se o agrupamento das classes (cluster reduzido) levando em consideração o elemento que predominou em cada pixel, sendo identificadas áreas correspondentes as construções, vegetação densa, vegetação baixa, hidrografia, e solo exposto (Mapa E das Pranchas 22, 23, e 24).

A última carta relacionada às variáveis explicativas elaborada para entrar no modelo foi a distância do centro. Levando em consideração a literatura internacional e o perfil clássico da ilha de calor (OKE, 1978), pressupõe-se que conforme se aproxima do centro as temperaturas tendem a ser maiores devido a densidade da malha urbana e consequentemente maior retenção de calor pelos materiais construtivos (Mapa F das Pranchas 22, 23, e 24).

Após a elaboração das cartas, foram calculadas a relação entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e os diferentes usos da terra. Buscou-se avaliar quantos *pixels* de cada classe (construções, vegetação densa, vegetação baixa, hidrografia e solo exposto) estavam no entorno dos pontos de registro dos transectos móveis. Essa análise estatística ocorreu por meio de janelas móveis de tamanhos variados considerando a resolução espacial de 30 metros do satélite Landsat 8. Para a área de estudo as melhores correlações estatísticas foram encontradas na janela 33x33 *pixels* (990 x 990 metros).

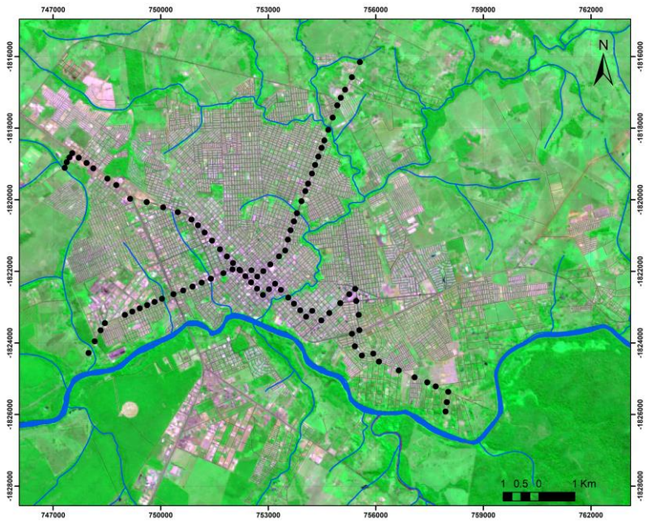
Tabela 20 - Correlação estatística por meio de regressão linear simples entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e as classes de uso e ocupação da terra na janela 33x33

Data	**Classe de uso da terra**	**Correlação janela 33x33**
01/06/2020	Construções	0,722
	Vegetação baixa	-0,680
	Vegetação densa	-0,577
	Hidrografia	0,313
17/06/2020	Construções	0,794
	Vegetação baixa	-0,726
	Vegetação densa	-0,665
	Hidrografia	0,339
20/07/2020	Construções	0,748
	Vegetação baixa	-0,608
	Vegetação densa	-0,674
	Hidrografia	0,107
05/09/2020	Construções	0,736
	Vegetação baixa	0,436
	Vegetação densa	0,722
	Solo exposto	0,274

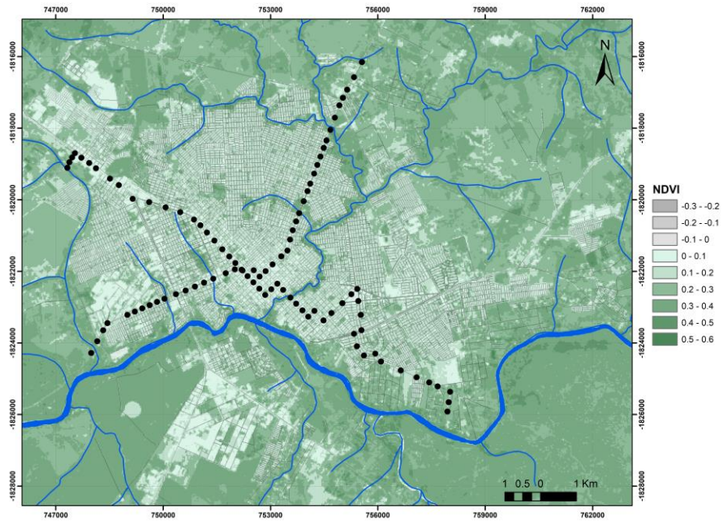
Fonte: Autoria própria

Prancha 22 - Cartas geradas para a elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar a partir de transectos móveis (01/06/2020 e 17/06/2020)

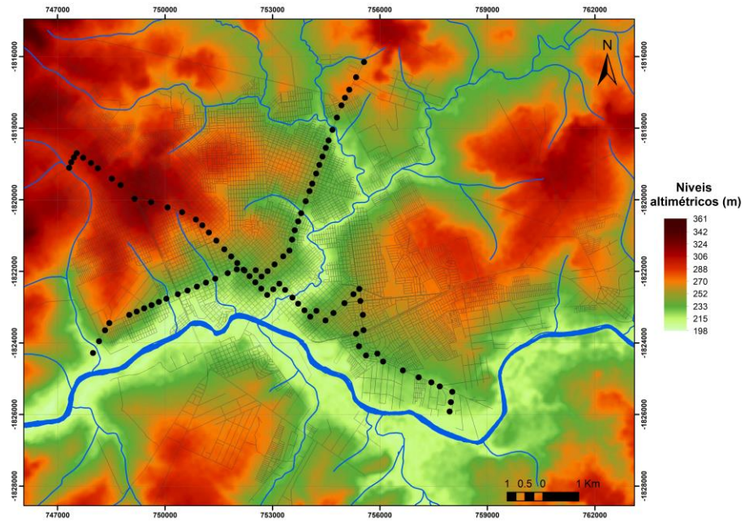
A - Composição colorida



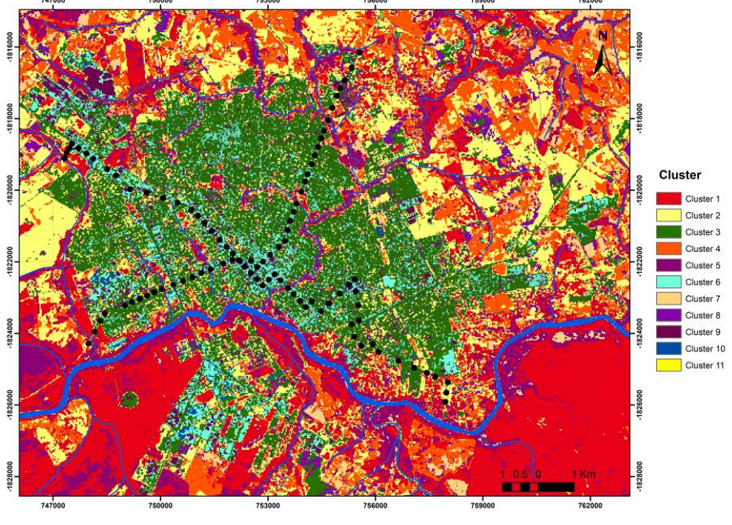
B - NDVI



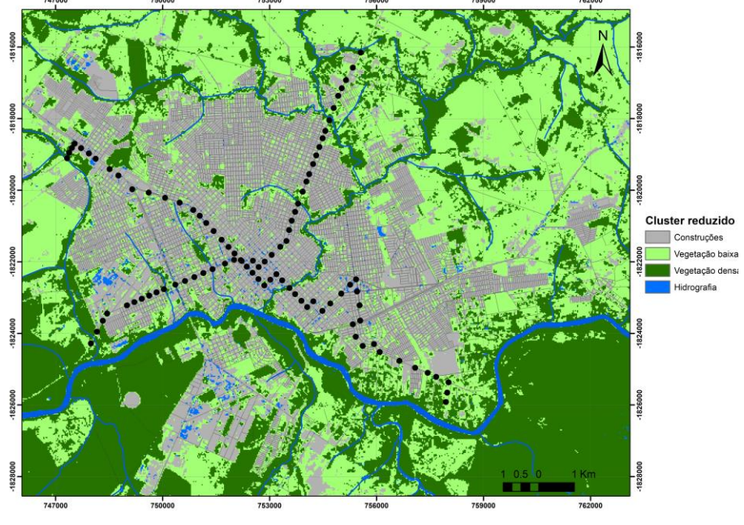
C - Hipsometria



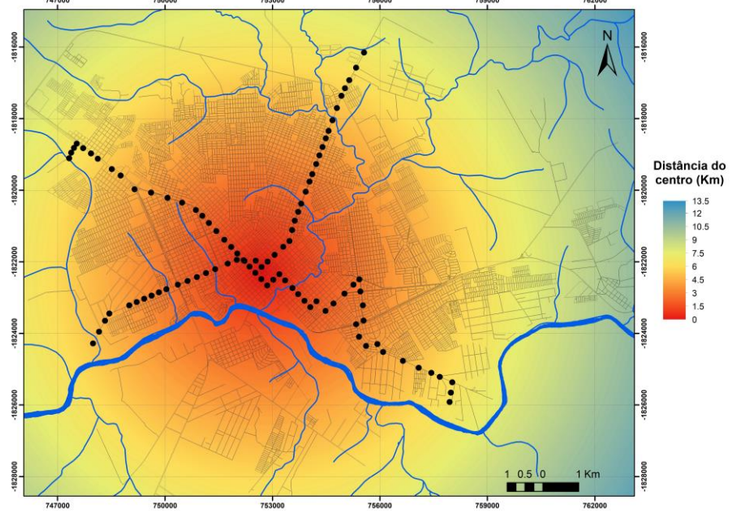
D - Cluster



E - Cluster reduzido



F - Distância do centro



Hidrografia

Malha urbana

Pontos de registros das temperaturas do ar

Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul
Imagem do satélite Landsat 8: 10/06/2020
Transecto móvel: 01/06/2020 e 17/06/2020

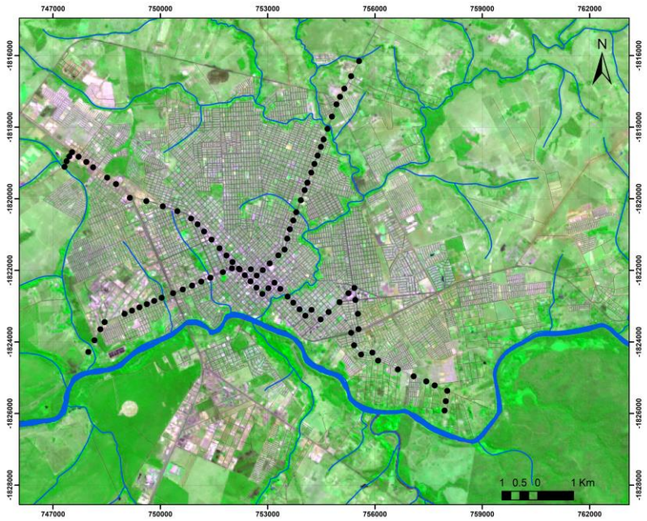
GAIA Grupo de Pesquisa Interações na superfície terrestre, água e atmosfera

unesp

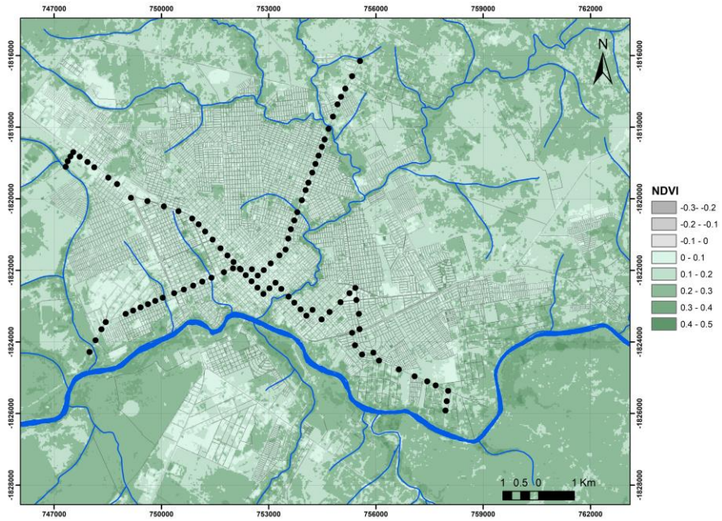
Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

Prancha 23 - Cartas geradas para a elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar a partir de transectos móveis (20/07/2020)

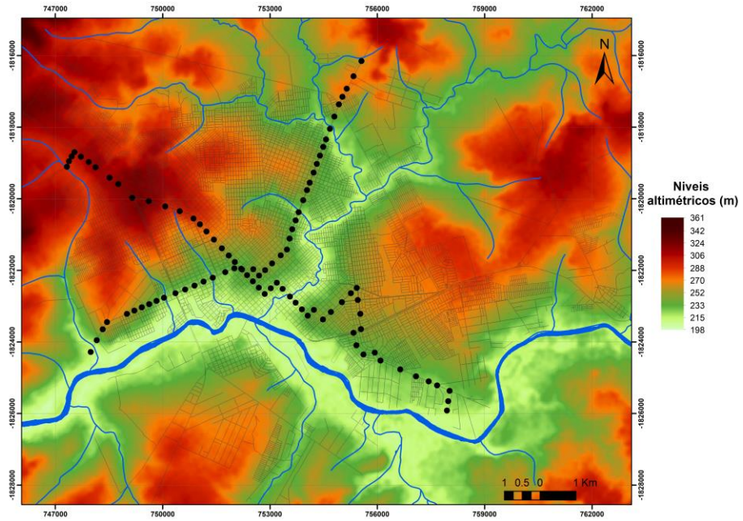
A - Composição colorida



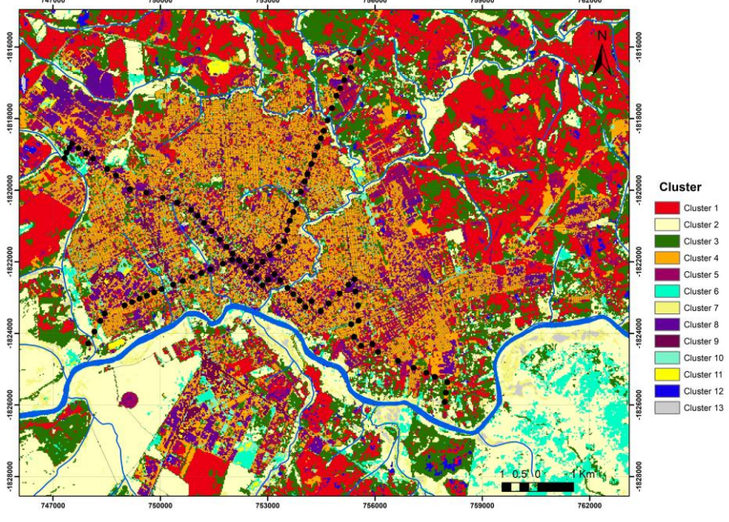
B - NDVI



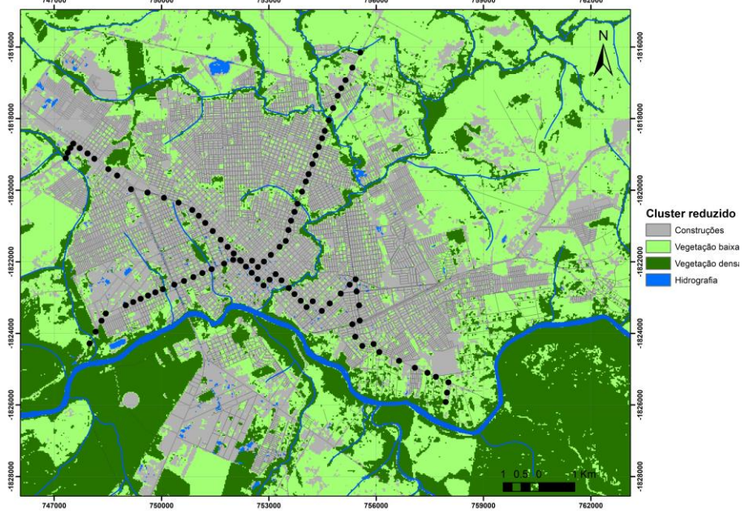
C - Hipsometria



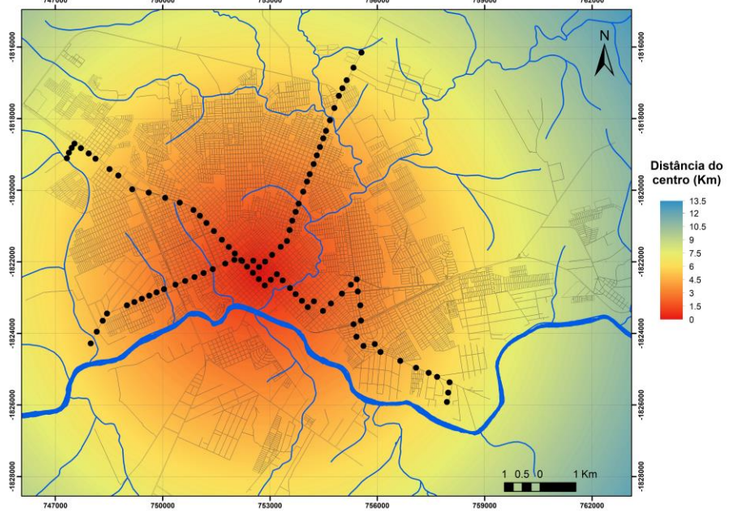
D - Cluster



E - Cluster reduzido



F - Distância do centro



Hidrografia

Malha urbana

Pontos de registros das temperaturas do ar

Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul
Imagem do satélite Landsat 8: 28/07/2020
Transecto móvel: 20/07/2020

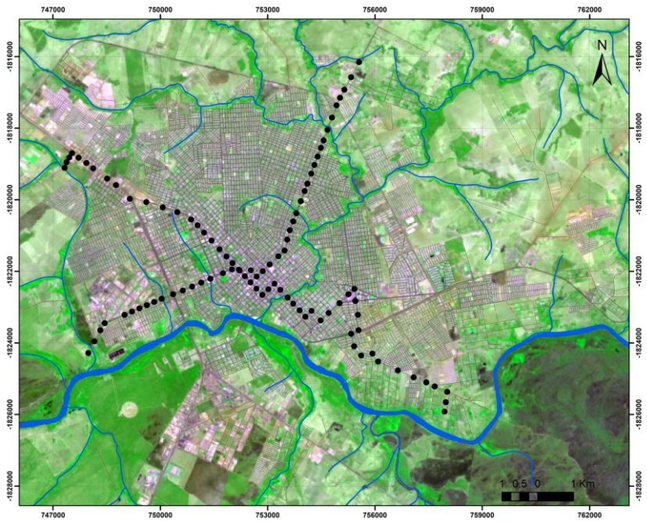
GAIA Grupo de Pesquisa Interações na superfície terrestre, água e atmosfera

unesp

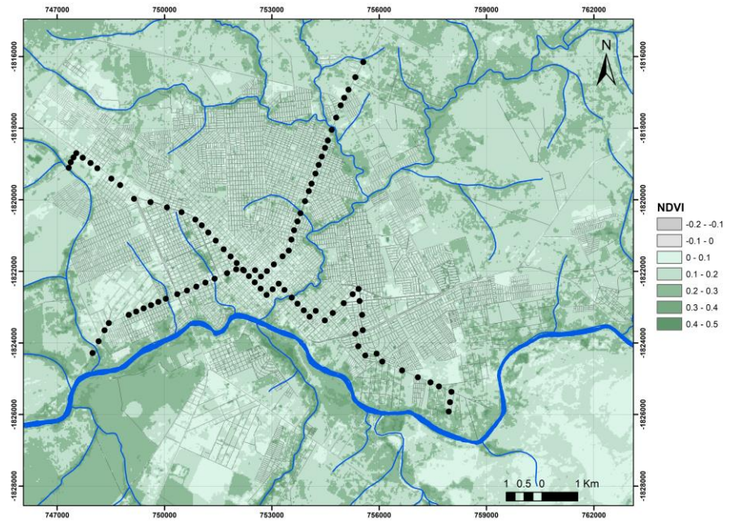
Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

Prancha 24 - Cartas geradas para a elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar a partir de transectos móveis (05/09/2020)

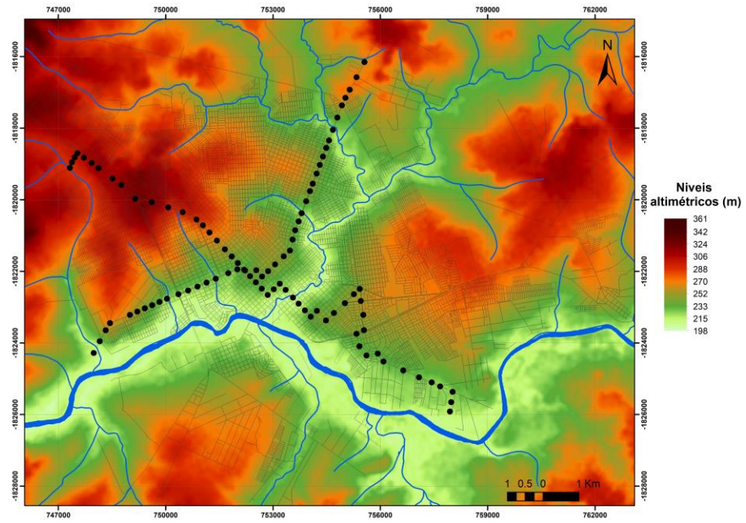
A - Composição colorida



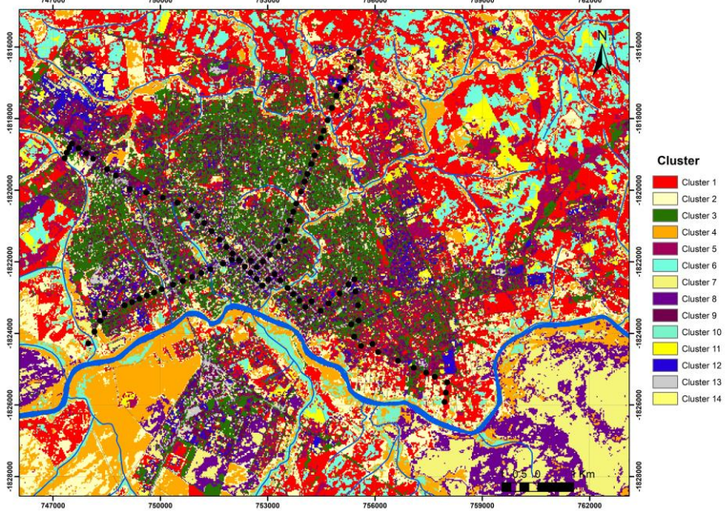
B - NDVI



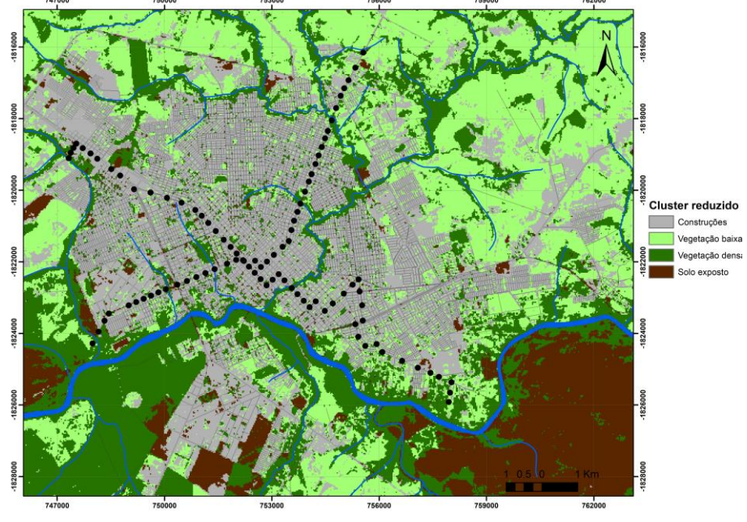
C - Hipsometria



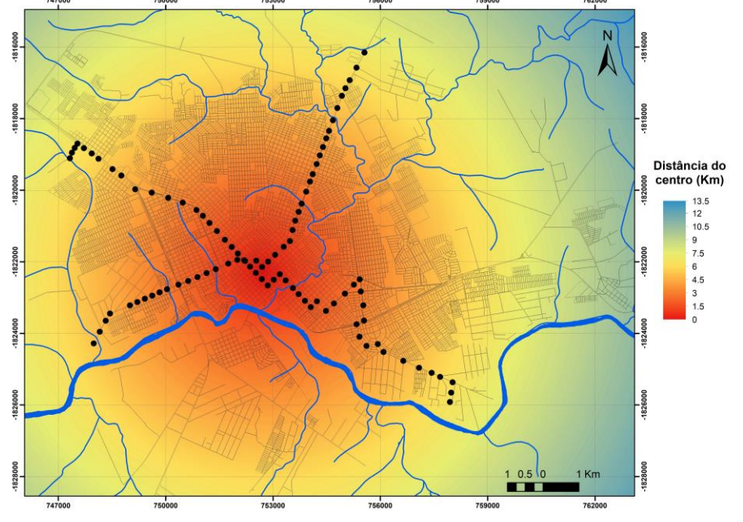
D - Cluster



E - Cluster reduzido



F - Distância do centro



Hidrografia

Malha urbana

Pontos de registros das temperaturas do ar

Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul
Imagem do satélite Landsat 8: 29/08/2020
Transecto móvel: 05/09/2020

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

unesp

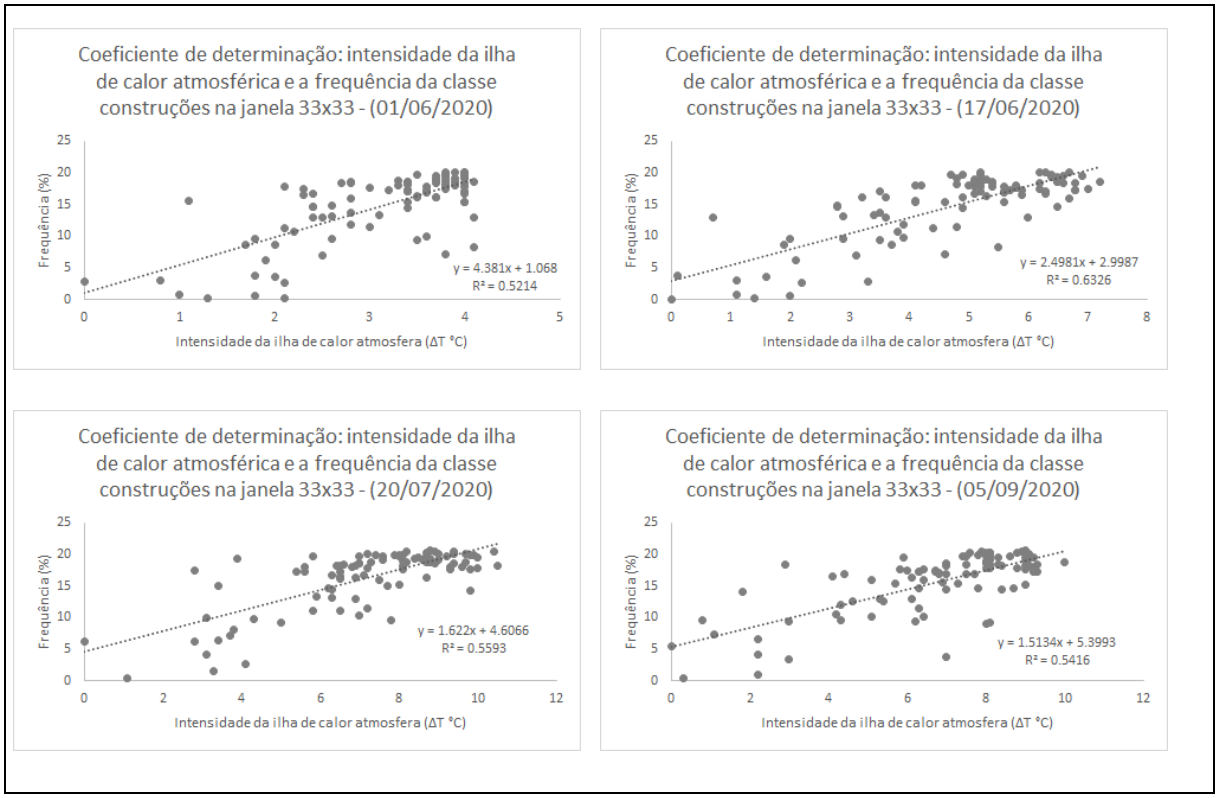
Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

A classe “solo exposto” esteve presente apenas no dia 05/09/2020, devido as grandes queimadas ocorridas na região durante o mês de agosto. As áreas permaneceram com coloração escura na composição colorida (Mapa A da Prancha 24) e demonstraram valores baixos do NDVI devido a carbonização e ausência da vegetação (Mapa B da Prancha 24).

Após definida as correlações estatísticas entre os diferentes usos da terra, foram escolhidas as variáveis explicativas que melhor se enquadraram para serem inseridas no modelo. Em seguida, realizou-se os cálculos dos coeficientes de determinação (R^2) entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas e cada uma das variáveis (
Figura 56 a 60).

As correlações entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) e a frequência das áreas construídas (Y) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) positivo (
Figura 56), ou seja, conforme aumentaram as áreas construídas intensificaram as ilhas de calor atmosféricas. Nos quatro gráficos apresentados (
Figura 56) todos os coeficientes foram superiores a 50%, apresentando boa correlação entre os dados. Os valores dos R^2 foram de 0,52 (01/06/2020), 0,63 (17/06/2020), 0,55 (20/07/2020) e 0,54 (05/09/2020). Isso significa que 52%, 63%, 55% e 54% das variações de X foram explicadas pelas variações de Y.

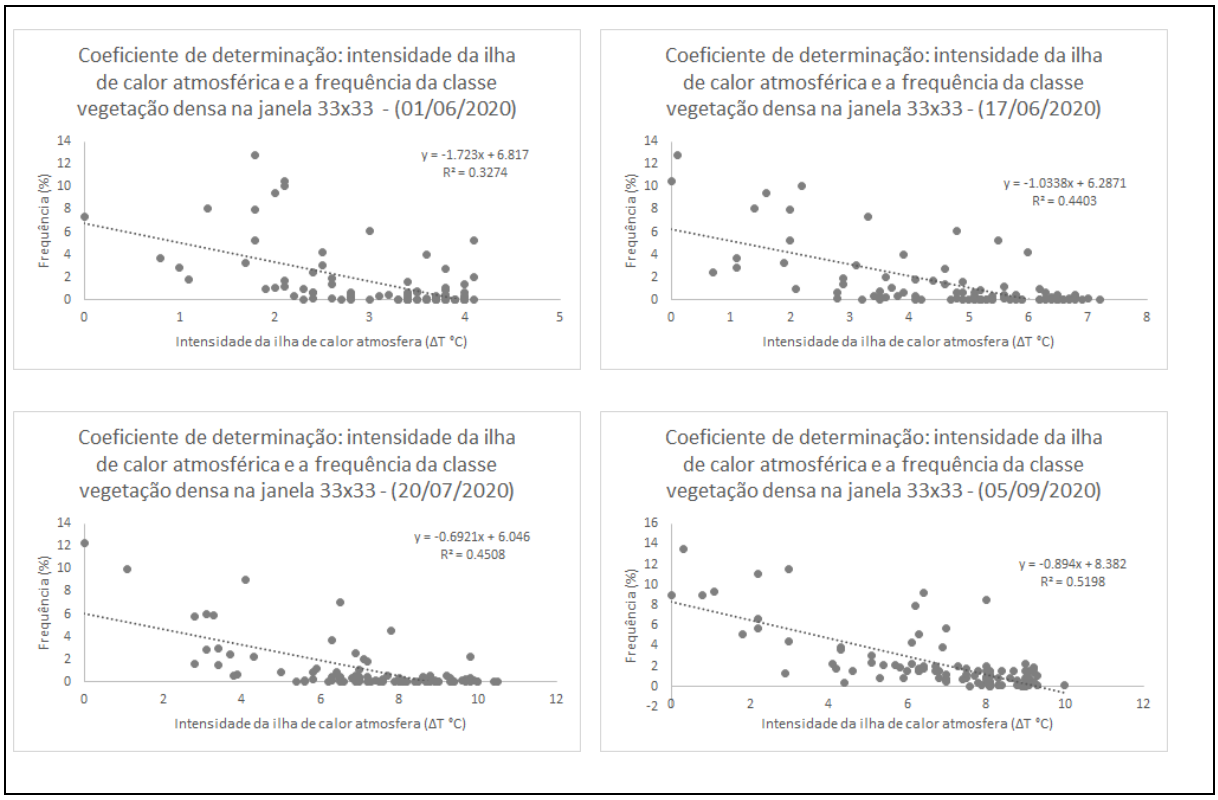
Figura 56 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a frequência das áreas construídas (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: Autoria própria

As correlações entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) e a frequência da vegetação densa (Y) apontaram uma linha de tendência negativa (Figura 57), isso ocorre quando as variáveis X e Y variam em sentidos contrários, ou seja, enquanto aumentaram as intensidades das ilhas de calor atmosféricas diminuiu a frequência da quantidade de vegetação densa. Os valores dos R^2 foram de 0,32 (01/06/2020), 0,44 (17/06/2020), 0,45 (20/07/2020) e 0,51 (05/09/2020). Isso significa que 32%, 44%, 45% e 51% das variações de X foram explicadas pelas variações de Y. Os coeficientes negativos para a classe de frequência da vegetação densa evidenciaram a importância e o papel da vegetação arbórea para a redução das temperaturas.

Figura 57 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a frequência da vegetação densa (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT

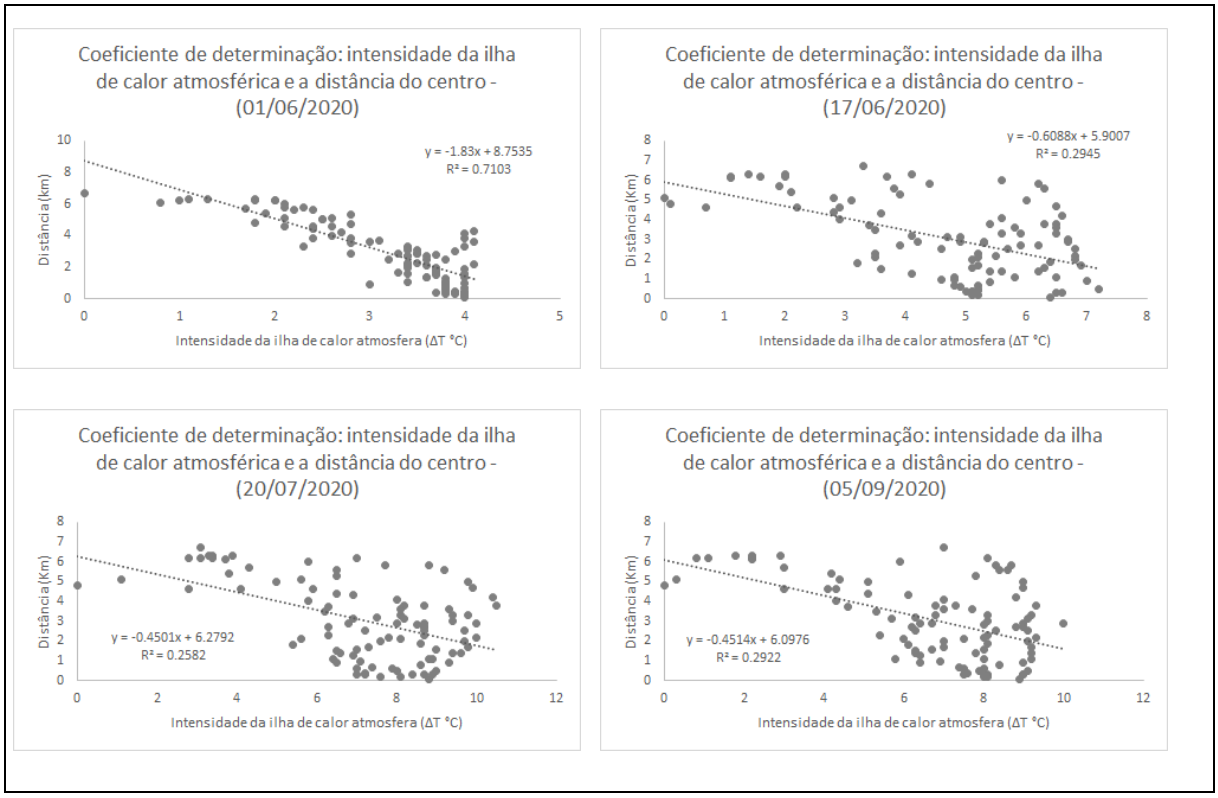


Fonte: Autoria própria

As correlações entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) e a distância do centro (Y) também foram negativas (Figura 58), com valores dos R^2 de 0,71 (01/06/2020), 0,29 (17/06/2020), 0,25 (20/07/2020) e 0,29 (05/09/2020). Isso significa que 71%, 29%, 25% e 29% das variações de X foram explicadas pelas variações de Y. Embora os coeficientes não tenham sido elevados nos três últimos episódios pode-se encontrar relações entre as maiores intensidades das ilhas de calor atmosféricas nas áreas próximas ao centro. Além disso, outras

áreas urbanizadas também apresentaram elevadas intensidades fora da área central, mostrando as particularidades e a complexidade da produção do espaço podendo resultar em arquipélagos de ilhas de calor em diferentes áreas da cidade.

Figura 58 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a distância do centro (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT

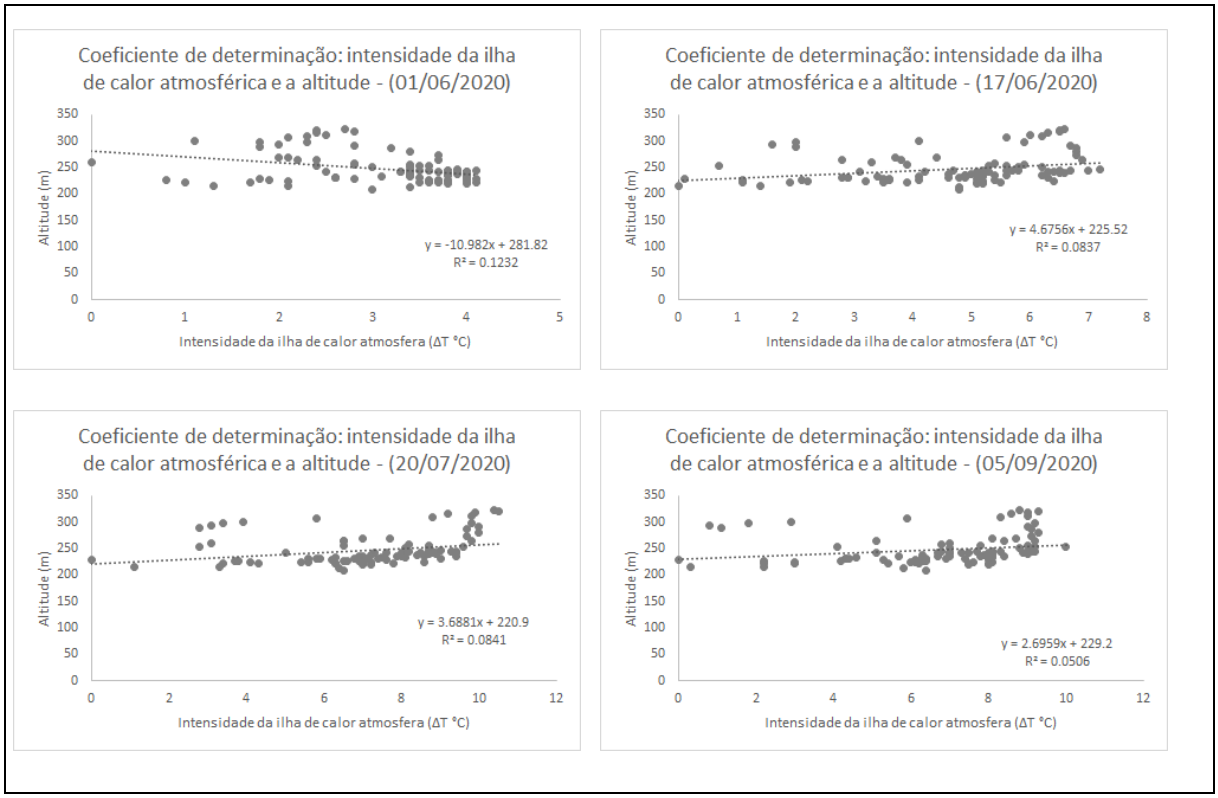


Fonte: Autoria própria

As correlações entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) e o relevo (Y) apresentaram baixos coeficientes de determinação com valores de 0,12 (01/06/2020), 0,08 (17/06/2020), 0,08 (20/07/2020) e 0,05 (05/09/2020). Isso significa que 12%, 8%, 8% e 5% das variações de X foram explicadas pelas variações de Y. Embora seja um importante fator que influencia no clima, apresentou um potencial explicativo baixo para os episódios analisados.

Assim como foi observado por Teobaldo Neto (2019) em estudo realizado na cidade de Cuiabá-MT, alguns fatores podem estar relacionados as baixas correlações entre as intensidades das ilhas de calor e o relevo. Na cidade de Rondonópolis-MT, pode-se observar o fato de as variações de altitude serem de apenas 150 metros na área urbana e com baixas declividades. Outro fator pode estar relacionado aos usos e ocupações da terra que minimizam os efeitos do relevo e evidenciam os fatores da urbanização, pois a área central da cidade se localiza nas proximidades do rio vermelho e são as áreas de menor altitude.

Figura 59 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e a altitude (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT

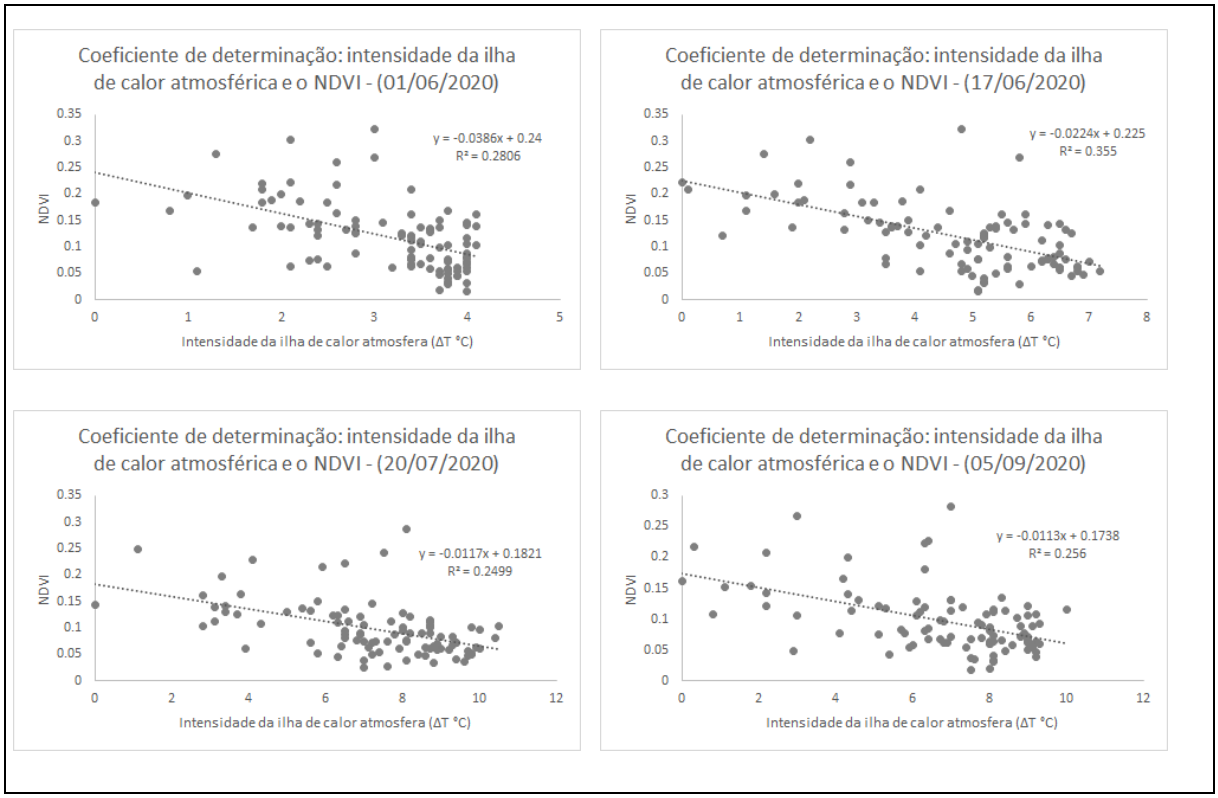


Fonte: Autoria própria

As correlações entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) e o NDVI (Y) também foram negativas (Figura 60), com valores dos R^2 de 0,28 (01/06/2020), 0,35 (17/06/2020), 0,24 (20/07/2020) e 0,25 (05/09/2020). Isso significa que 28%, 35%, 24% e 25% das variações de X foram explicadas pelas variações de Y. Conforme citado anteriormente, o NDVI se baseia na assinatura espectral das plantas e quanto mais verdes, nutridas e bem supridas do ponto de vista hídrico maior será o índice que varia de (-1) a (+1). Nos episódios analisados, pode-se perceber que quanto maior as intensidades das ilhas de calor atmosféricas, menores são os índices de NDVI, mostrando mais uma vez que a vegetação possui uma importância significativa na redução das temperaturas.

A Tabela 21 apresenta uma síntese dos coeficientes de determinação com o percentual de explicação das variações das intensidades das ilhas de calor atmosféricas por cada variável explicativa em todos os episódios analisados. Após esse procedimento foi realizado a regressão linear múltipla com o objetivo de estimar as intensidades das ilhas de calor atmosféricas para toda a área de estudo levando em consideração as variáveis geográficas (explicativas) e a variável a ser explicada (intensidades da ilha de calor) pelo modelo.

Figura 60 - Coeficiente de determinação entre a intensidade da ilha de calor atmosférica (variável resposta) e o NDVI (variável explicativa) na cidade de Rondonópolis-MT



Fonte: Autoria própria

Tabela 21 - Percentual de explicação das intensidades das ilhas de calor atmosféricas (X) pelas variáveis independentes (Y)

Variáveis independentes (explicativas)	**Episódios**			
	01/06/2020	**17/06/2020**	**20/07/2020**	**05/09/2020**
Intensidade da ilha de calor superficial	32%	37%	57%	57%
Construções	52%	63%	55%	54%
Vegetação densa	32%	43%	45%	51%
Distância do centro	68%	28%	25%	29%
Altitude	12%	8%	8%	5%
NDVI	28%	35%	24%	25%

Fonte: Autoria própria

As equações das regressões lineares múltiplas foram realizadas por meio da função *multireg* no aplicativo IDRISI. Neste momento, foram inseridas a variável dependente

(intensidade das ilhas de calor atmosféricas) e todas as variáveis explicativas selecionadas a partir dos seus coeficientes de determinação:

$$\Delta T\ (01/06/2020) = 3.2973 + 0.0450 * C1 - 0.0088 * C3 - 0.2550 * D - 0.0060 * A + 0.2398 * \Delta TS - 0.4245 * N \quad (13)$$

$$\Delta T\ (17/06/2020) = -4.6763 + 0.0707 * C1 - 0.0701 * C3 - 0.4069 * D + 0.0231 * A + 0.4882 * \Delta TS - 0.4245 * N \quad (14)$$

$$\Delta T\ (20/07/2020) = -4.0381 - 0.1706 * C1 - 0.3992 * C3 - 0.7642 * D + 0.0346 * A + 1.0345 * \Delta TS + 1.8419 * N \quad (15)$$

$$\Delta T\ (05/09/2020) = -0.7726 - 0.3077 * C1 - 0.4407 * C3 - 0.8668 * D + 0.0325 * A + 0.9614 * \Delta TS - 2.5636 * N \quad (16)$$

Onde:

ΔT é a temperatura estimada;

C1 é a porcentagem da classe 1 (construções) no uso da terra dentro da janela 33x33 pixels em torno de cada ponto;

C3 é a porcentagem da classe 3 (vegetação densa) no uso da terra dentro da janela 33x33 pixels em torno de cada ponto;

D é a distância do centro em Km;

A é a altitude em metros;

ΔTS é a intensidade das ilhas de calor superficiais

N é o NDVI

Conforme os coeficientes apresentados, nota-se que cada variável apresentou diferentes valores de importância nos parâmetros multiplicadores da regressão linear múltipla levando em consideração as características do uso e ocupação da terra e as intensidades das ilhas de calor atmosféricas. De modo geral, entre os fatores multiplicadores negativos estão a presença da

vegetação densa, a distância do centro e o NDVI que contribuíram para a diminuição das intensidades das ilhas de calor atmosféricas. Entre os parâmetros multiplicadores positivos estão as áreas construídas, altitude e as intensidades das ilhas de calor superficiais, mostrando os efeitos na geração e intensificação das ilhas de calor atmosféricas.

Os resultados das regressões lineares múltiplas mostram que as correlações globais e os valores de R^2 ajustado foram muito significativos (Tabela 22). Nos episódios analisados as variáveis independentes explicaram 77% (01/06/2020), 74% (17/06/2020), 81% (20/07/2020) e 79% (05/09/2020) da variabilidade das intensidades das ilhas de calor atmosféricas.

Tabela 22 - Resultados da regressão linear múltipla para os episódios analisados

Episódios	**Correlação Global (R)**	**R – Quadrado ajustado (R^2)**
01/06/2020	0,88	0,77
17/06/2020	0,87	0,74
20/07/2020	0,90	0,81
05/09/2020	0,89	0,79

Fonte: Autoria própria

Após os resultados das regressões múltiplas foram realizados os testes de análise dos resíduos (Prancha 25, Prancha 26, Prancha 27 e Prancha 28) com o objetivo de quantificar a precisão do modelo a partir da diferença entre as intensidades das ilhas de calor atmosféricas (observada) e as intensidades estimadas (modelizada):

$$\varepsilon = \Delta T - \Delta T' \qquad (17)$$

Onde:

ε é o resíduo do modelo;

ΔT é a intensidades das ilhas de calor atmosféricas;

ΔT é a intensidades das ilhas de calor atmosféricas estimadas;

Os resíduos expressam o quanto as variáveis independentes não conseguiram explicar as variações das intensidades das ilhas de calor atmosféricas, ou seja, quanto menor a diferença entre o observado e o modelizado, mais próximo da realidade e maior grau de confiabilidade foi a representação do modelo.

Os desvios positivos ocorreram quando a intensidade observada foi maior do que a intensidade modelizada, mostrando que houve uma subestimação do modelo. Os desvios negativos mostram uma superestimação do modelo em relação a realidade, ou seja, significa que as intensidades observadas foram menores do que as intensidades modelizadas.

A modelagem do dia 01 de junho de 2020, mostrou que 97,9% dos resíduos ficaram entre (-1ºC) e (+1 ºC) e se aproximaram da realidade. Apenas um ponto (1,05%) ficou subestimado (entre 2ºC e 1ºC abaixo do real) e um ponto (1,05%) superestimado (entre 1ºC e 2ºC acima do real). A espacialização das intensidades das ilhas de calor atmosféricas a partir da modelagem, apresentou um padrão de aquecimento com as maiores intensidades na área central da cidade com até 5ºC de diferença em relação as áreas periféricas fora da malha urbana (Prancha 25). Durante o episódio a intensidade máxima das ilhas de calor atmosféricas observadas durante os percursos dos transectos móveis foram de 4,1ºC, sob atuação de uma massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt).

O modelo desenvolvido para o dia 17 de junho de 2020, apresentou intensidades variando entre -3º e 6ºC. As intensidades negativas se localizaram nas áreas periféricas da malha urbana, com presença de vegetação arbórea na Reserva Indígena Tadarimana e nas áreas próximas aos fundos de vale. Em toda a malha pode-se observar intensidades positivas variando entre 3ºC e 6ºC, com as maiores intensidades localizadas na área central, Conjunto São José, Loteamento José Sobrinho, Jardim Belo Horizonte, Parque Residencial Universitário e Distritos Industriais (Prancha 26). Os resultados dos resíduos mostraram que 83,34% dos pontos ficaram entre (-1ºC) e (+1 ºC) e se aproximaram da realidade. Dez pontos (10,41%) foram subestimados pelo modelo e permaneceram entre 2ºC e 1ºC abaixo do real. No total seis pontos foram superestimados pelo modelo, sendo cinco (5,20%) entre 1ºC e 2ºC acima do real e um (1,05%) entre 2ºC e 3ºC acima do real.

A modelagem elaborada para o dia 20 de julho de 2020, apresentou intensidades variando entre -8ºC e 11ºC. Novamente as intensidades negativas ficaram nas áreas com grande presença de vegetação arbórea e nos fundos de vales. Neste caso, os parâmetros multiplicadores negativos para a vegetação e distância do centro, além do fator multiplicador positivo para a altitude e áreas construídas foram importantes para a configuração da distribuição espacial das intensidades das ilhas de calor. As maiores intensidades se localizaram na região central nas proximidades do bairro Santa Cruz, no Jardim Monte Líbano, no Conjunto São José e nos distritos indústrias (Prancha 27). Como pode-se observar, também ocorreram intensidades elevadas de até 8ºC na área rural, sobretudo nas regiões à norte, nordeste e noroeste da malha urbana. Essas intensidades estão relacionadas ao coeficiente positivo do parâmetro

multiplicador do NDVI na fórmula de regressão linear múltipla devido a baixa presença de vegetação, visto que a cidade passou por longo período de estiagem deixando grande parte do rural com a presença de solo exposto e com intensidades maiores do que alguns pontos no intraurbano. Os resultados dos resíduos mostraram que 70,92% dos pontos ficaram entre (-1ºC) e (+1 ºC) e se aproximaram da realidade. Treze pontos (13,55%) foram subestimados pelo modelo e permaneceram entre 2ºC e 1ºC abaixo do real. Outros treze pontos foram superestimados pelo modelo, sendo dez (10,41%) entre 1ºC e 2ºC acima do real e três (3,12%) entre 2ºC e 3ºC acima do real.

O modelo realizado no 05 de setembro de 2020, apresentou intensidades variando entre -6ºC e 11ºC. Embora tenha apresentado elevadas intensidades no intraurbano o destaque se refere as elevadas intensidades no rural próximo devido à grande quantidade de solo exposto e presença de vegetação carbonizada pelas grandes queimadas que atingiram a região no mês de agosto. Até mesmo a reserva indígena Tadarimana (região sudeste) apresentou intensidades elevadas, fugindo do padrão de aquecimento centro-periferia nos modelos anteriores. As áreas com menores intensidades ficaram restritas aos fundos de vale e na região à sudoeste da malha urbana com a presença de vegetação arbórea. Os resultados dos resíduos mostraram que 70,83% dos pontos ficaram entre (-1ºC) e (+1 ºC) e se aproximaram da realidade. Entre os pontos que foram subestimados pelo modelo, dois (2,10%) ficaram entre 3ºC e 2ºC abaixo do real e quatorze (14,58%) permaneceram entre 2ºC e 1ºC abaixo do real, totalizando 16,68%. No total, quatorze pontos foram superestimados pelo modelo, sendo nove (9,37%) entre 1ºC e 2ºC acima do real e três (3,12%) entre 2ºC e 3ºC acima do real.

De modo geral, os resultados das modelagens se aproximaram da realidade com os valores dos R^2 ajustados muito significativos, com média de 0,77 e coeficientes globais com média de 0,88. No total, 81,2% dos resíduos se aproximaram da realidade, 10,4% foram subestimados e 8,4% superestimados, evidenciando o rigor estatístico das modelagens e o grau de confiabilidade dos resultados apresentados.

Com os resultados obtidos, foi elaborado um mapa térmico da cidade de Rondonópolis a partir das médias das intensidades das ilhas de calor urbanas (Prancha 29). O mapa se baseou na proposta de zoneamento térmico apresentado por Monteiro et al. (2018) e adaptada por Dorigon (2019). Foram definidas oito classes térmicas a partir das intensidades das ilhas de calor urbanas: Área mais fria (-4 a -2ºC), Área fria (-2 a 0ºC), Ponto zero (0 a 1ºC), Área moderada (1 a 3ºC), Área aquecida (3 a 5ºC), Área mais aquecida (5 a 6ºC), Área sobreaquecida (6 a 7ºC) e Área superaquecida (7 a 8ºC).

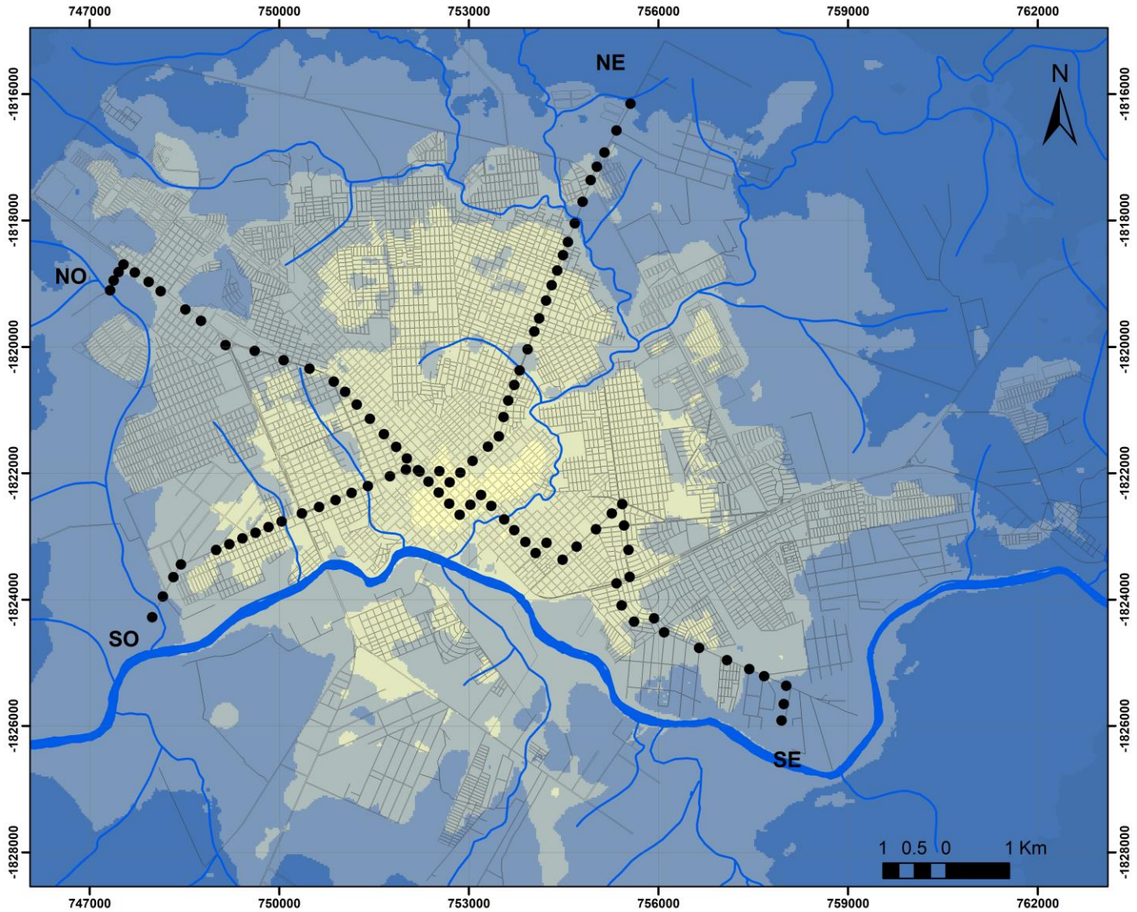
De modo geral, houve um padrão de aquecimento centro-periferia conforme o perfil clássico da ilha de calor urbana apresentado por Oke (1978). Entretanto, este padrão não ocorreu em todas as áreas da cidade, podendo se observar um alongamento das áreas superaquecidas saindo do centro em sentido noroeste, passando pelos bairros Santa Cruz, Jardim Monte Líbano, Loteamento Zé Sobrinho e se estendendo pelas margens da rodovia BR-163 até o distrito industrial. Muitos fatores estão relacionados ao aumento das intensidades das ilhas de calor urbanas nessas áreas da cidade, entre eles o adensamento urbano, o volume dos fluxos de pessoas e veículos, os tipos de materiais construtivos e a expressiva ausência de vegetação.

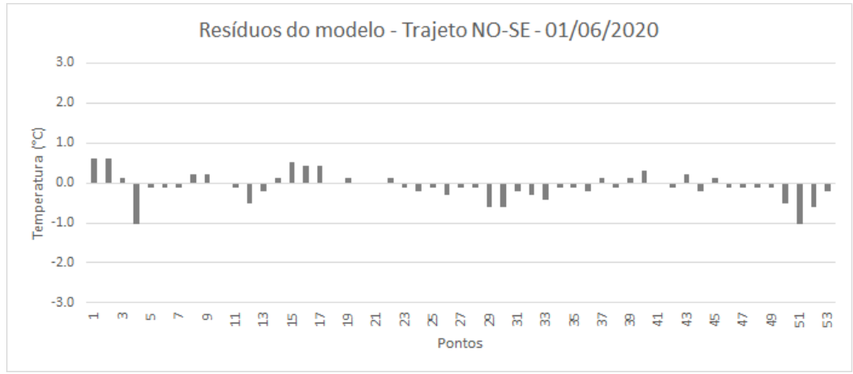
Outras áreas da cidade apresentaram características sobreaquecidas como o Vila Aurora, Parque Residencial Cidade Alta, Conjunto Habitacional São José, Jardim Residencial João Moraes, Parque Residencial Universitário e a Vila Operária. Com exceção da Vila Aurora, todos os demais bairros são habitados pela população de baixo poder aquisitivo e apresentam padrão construtivo pouco eficiente do ponto de vista térmico. Vale ressaltar que a exposição ao calor em uma cidade de clima tropical continental faz parte do cotidiano dos moradores, entretanto, quando o espaço urbano é produzido de forma desigual os efeitos das intensidades das ilhas de calor também são desiguais.

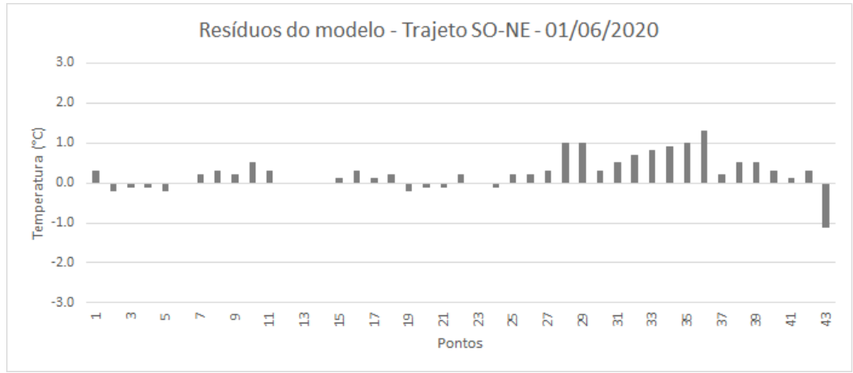
As condições socioeconômicas definem como os diferentes agentes sociais podem minimizar o impacto dos efeitos das ilhas de calor urbanas nas áreas mais aquecidas da cidade. A população que vive nos condomínios residenciais fechados e possuem os meios para amenizar as intensidades das ilhas de calor em edificações construídas com materiais apropriados, pé-direito alto, terrenos amplos, vegetação arbórea nas calçadas, jardins com sistemas de irrigação, e até mesmo, as formas de climatização artificial com o uso de ar condicionados em todos os ambientes, favorecem as condições de conforto térmico.

O conhecimento do contexto climático local a partir de uma abordagem multiescalar é fundamental para com o desenvolvimento de uma cartografia múltipla das variáveis climáticas e as suas relações com a produção do espaço urbano (MONTEIRO, et al. 2018). Deste modo, a metodologia da modelagem das intensidades das ilhas de calor urbanas se apresenta como um avanço no campo da climatologia urbana e pode contribuir para intervenções mais localizadas nas áreas que necessitam de maiores iniciativas do poder público a curto, médio e longo prazo, como o plantio de vegetação arbórea nas calçadas, canteiros laterais e centrais, bem como a criação de parques, praças e etc. Os resultados deixaram evidente que as áreas com cobertura vegetal arbórea contribuem de forma efetiva para a redução das intensidades das ilhas de calor urbanas.

Prancha 25 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 01/06/2020 na cidade de Rondonópolis-MT.








```
Multiple Regression Results:

  Regression Equation :

        Temperatura transecto_2020_06_01_intensidade = 3.2973 + 0.0450*cl1 33x33 - 0.0088*cl3 33x33
                    - 0.2550*DISTANCIA DO CENTRO_KM - 0.0060*Relevo_resample + 0.2398*TERMAL NOTURNA_INTENSIDADE
                    - 0.4245*NDVI

  Regression Statistics :

          Apparent R = 0.887477     Apparent R square = 0.787616
          Adjusted R = 0.880805     Adjusted R square = 0.775817
          F ( 6,          89) = 55.008644
```

RESULTADO DO MODELO	QT. DE PONTOS	PORCENTAGEM DOS PONTOS	CONCLUSÕES DO MODELO
De 2 a 1°C abaixo do real	1	1,05%	Subestimou
Entre -1 e +1°C diferente do real	94	97,9%	Aproximou
De 1 a 2°C acima do real	1	1,05%	Superestimou

Hidrografia

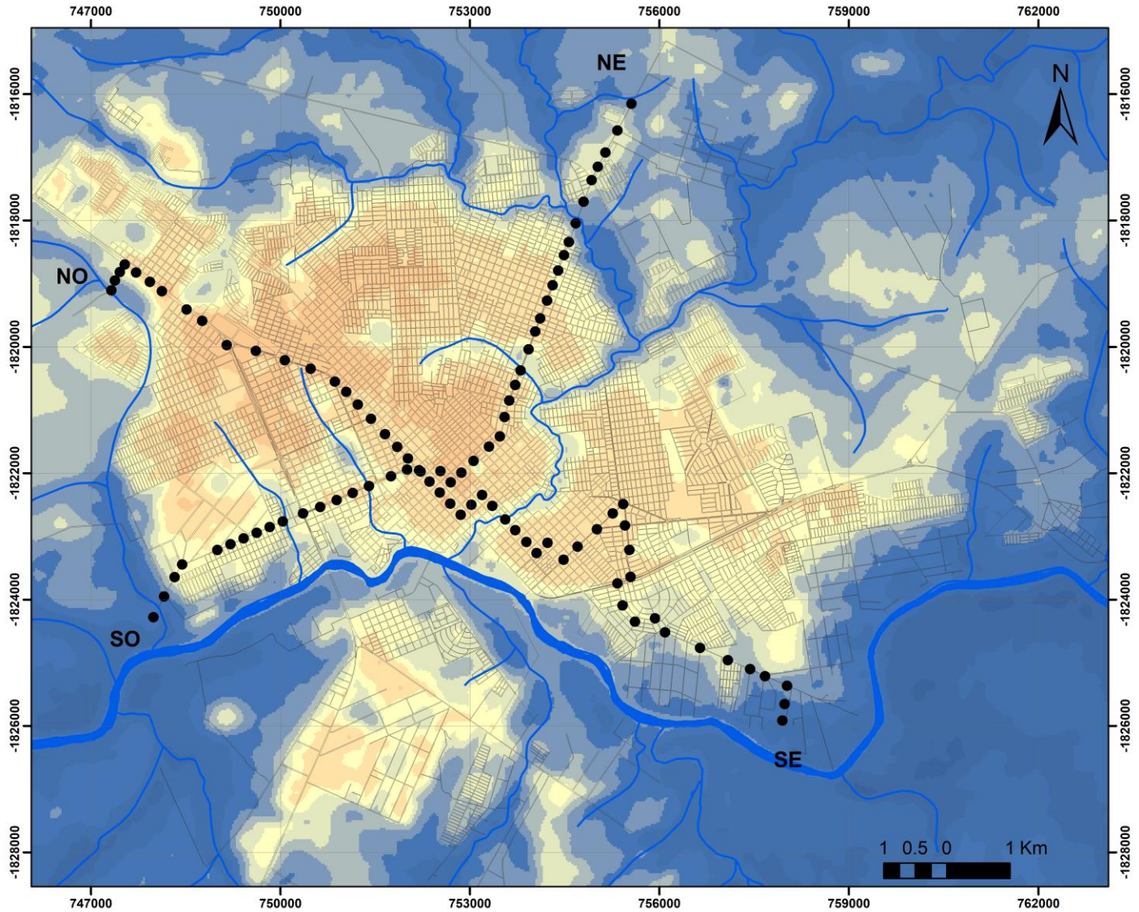
Malha urbana

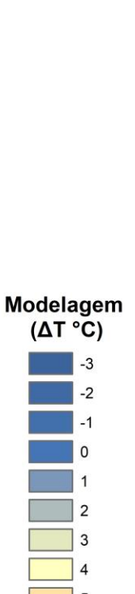
Pontos de registros das temperaturas do ar

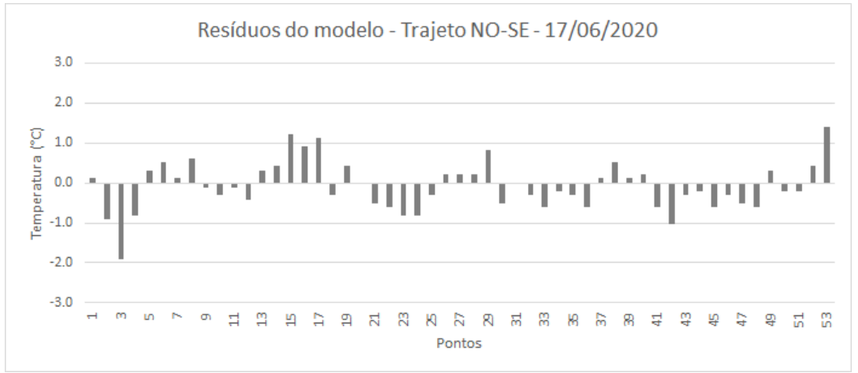
Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul

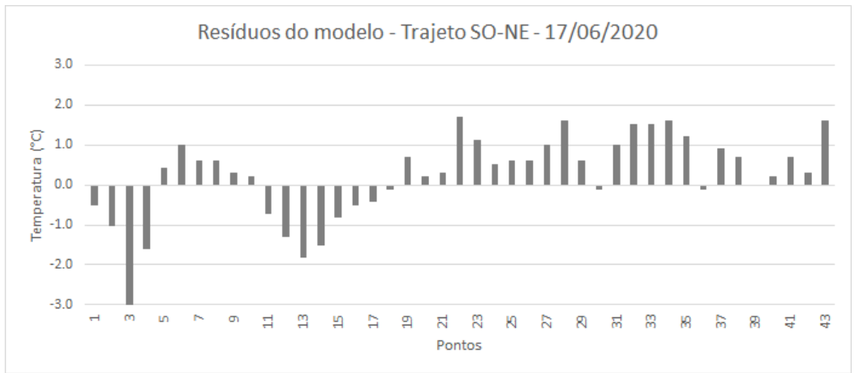
Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

Prancha 26 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 17/06/2020 na cidade de Rondonópolis-MT.










```
Multiple Regression Results:

  Regression Equation :

        Temperatura_transecto_2020_06_17 = -4.6763 + 0.0707*cl1 33x33 - 0.0701*cl3 33x33
                    - 0.4069*DISTANCIA DO CENTRO_KM + 0.0231*Relevo_resample + 0.4882*TERMAL NOTURNA_INTENSIDADE
                    - 0.6524*NDVI

  Regression Statistics :

          Apparent R = 0.872868     Apparent R square = 0.761898
          Adjusted R = 0.865257     Adjusted R square = 0.748670
          F ( 6,          89) = 47.464943
```

RESULTADO DO MODELO	QT. DE PONTOS	PORCENTAGEM DOS PONTOS	CONCLUSÕES DO MODELO
De 2 a 1°C abaixo do real	10	10,41%	Subestimou
Entre -1 e +1°C diferente do real	80	83,34%	Aproximou
De 1 a 2°C acima do real	5	5,20%	Superestimou
De 2 a 3°C acima do real	1	1,05%	

Hidrografia

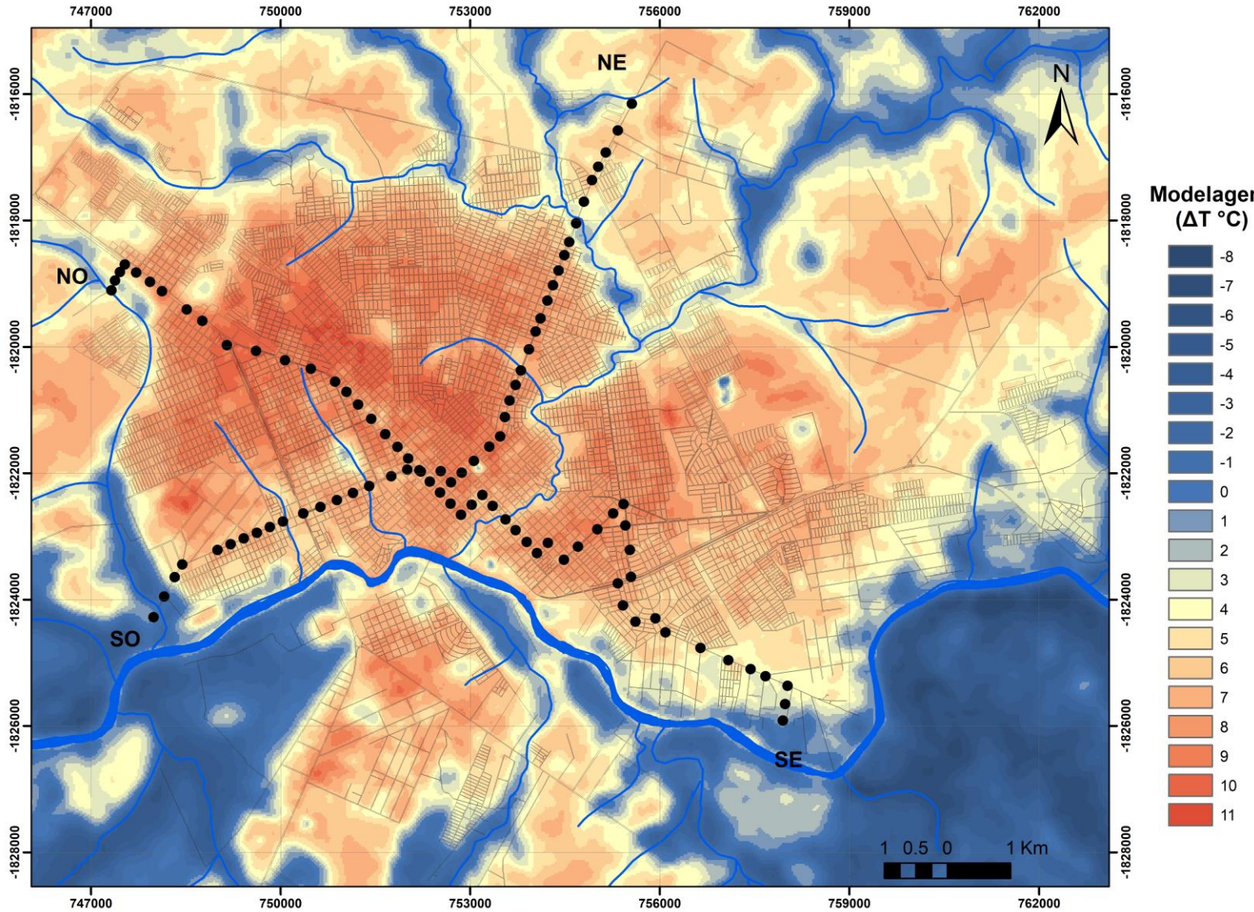
Malha urbana

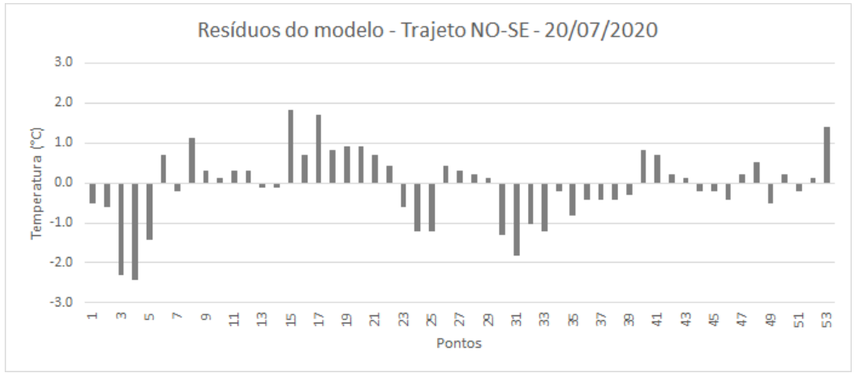
Pontos de registros das temperaturas do ar

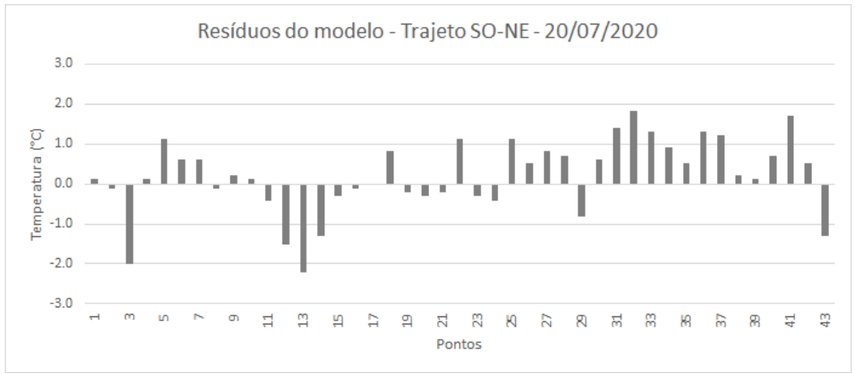
Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul

Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

Prancha 27 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 20/07/2020 na cidade de Rondonópolis-MT.








```
Multiple Regression Results:

  Regression Equation :

        Temperatura_transecto_2020_07_20_intensidade = -4.0381 - 0.1706*cl1 33 x 33 - 0.3992*cl3 33 x 33
                    - 0.7642*DISTANCIA DO CENTRO_KM + 0.0346*Relevo_resample + 1.0345*2020_07_20_TERMAL NOTURNA_INTENSIDADE
                    + 1.8419*NDVI

  Regression Statistics :

          Apparent R = 0.906947     Apparent R square = 0.822553
          Adjusted R = 0.901496     Adjusted R square = 0.812695
          F ( 6,          89) = 68.759682
```

RESULTADO DO MODELO	QT. DE PONTOS	PORCENTAGEM DOS PONTOS	CONCLUSÕES DO MODELO
De 2 a 1°C abaixo do real	13	13,55%	Subestimou
Entre -1 e +1°C diferente do real	70	72,92%	Aproximou
De 1 a 2°C acima do real	10	10,41%	Superestimou
De 2 a 3°C acima do real	3	3,12%	

Hidrografia

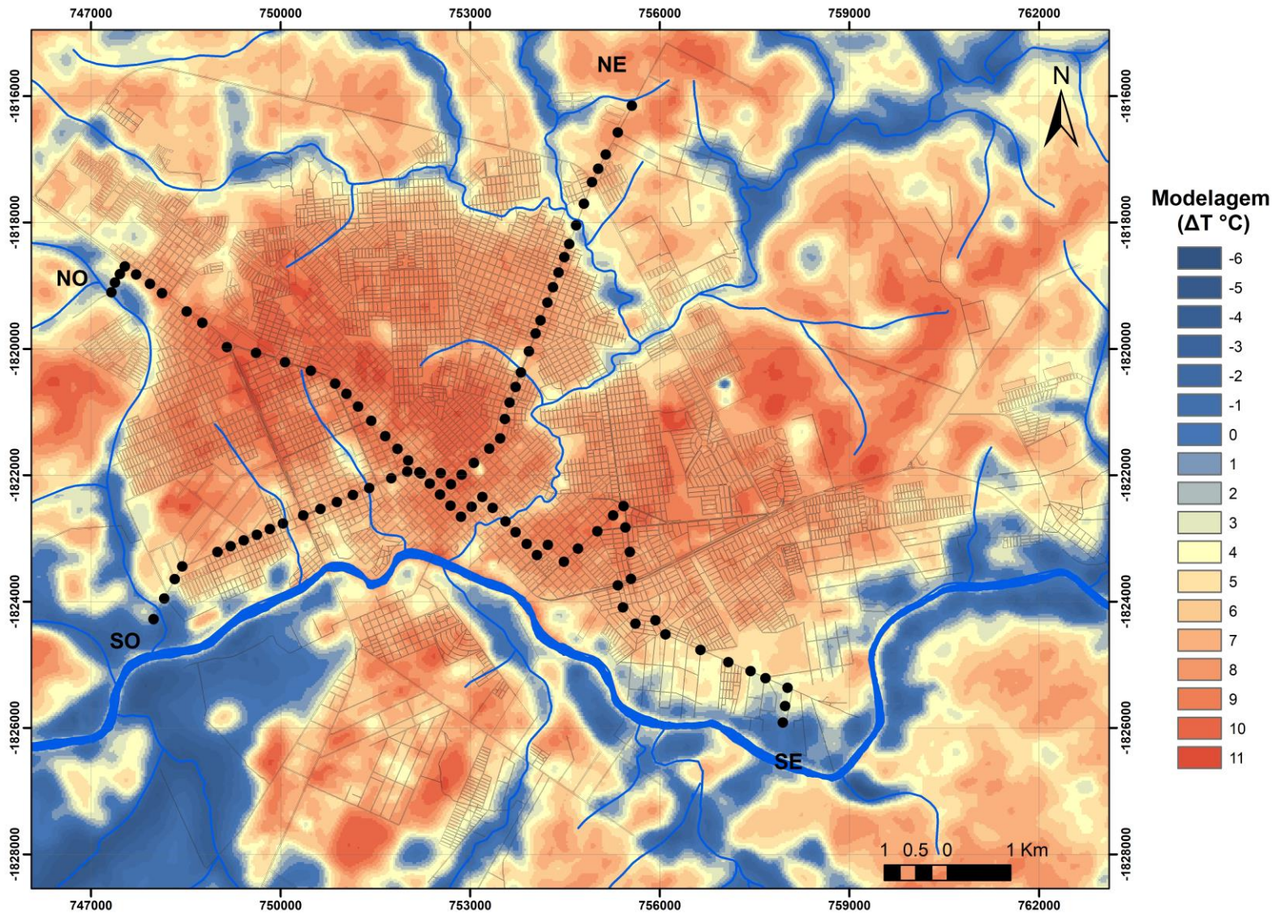
Malha urbana

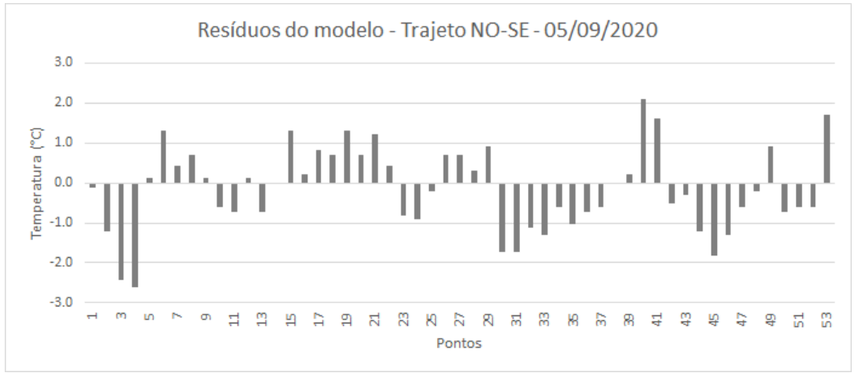
Pontos de registros das temperaturas do ar

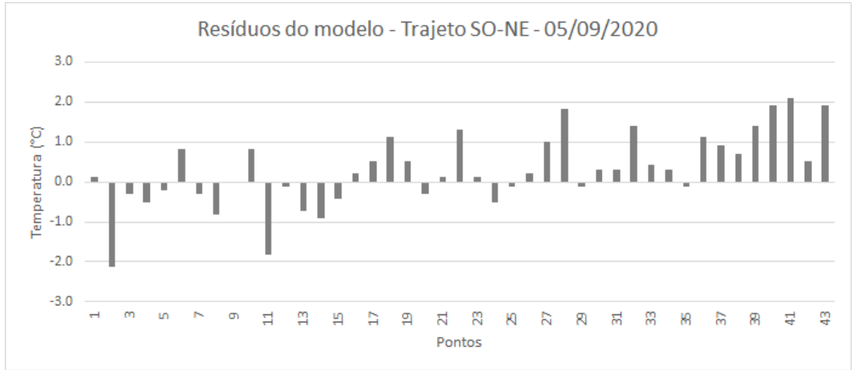
Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul

Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

Prancha 28 - Modelagem espacial da intensidade da ilha de calor (ΔT ºC) a partir de transectos móveis no dia 05/09/2020 na cidade de Rondonópolis-MT.








```
Multiple Regression Results:

  Regression Equation :

        Temperatura transecto_intensidade = -0.7726 - 0.3077*cl1 33 x 33 - 0.4407*cl3 33 x 33
                    - 0.8668*DISTANCIA DO CENTRO_KM + 0.0325*Relevo_resample + 0.9614*TERMAL NOTURNA_INTENSIDADE
                    - 2.5636*NDVI

  Regression Statistics :

          Apparent R = 0.899052     Apparent R square = 0.808295
          Adjusted R = 0.893109     Adjusted R square = 0.797644
          F ( 6,          89) = 62.542294
```

RESULTADO DO MODELO	QT. DE PONTOS	PORCENTAGEM DOS PONTOS	CONCLUSÕES DO MODELO
De 3 a 2°C abaixo do real	2	2,10%	Subestimou
De 2 a 1°C abaixo do real	14	14,58%	
Entre -1 e +1°C diferente do real	68	70,83%	Aproximou
De 1 a 2°C acima do real	9	9,37%	Superestimou
De 2 a 3°C acima do real	3	3,12%	

Hidrografia

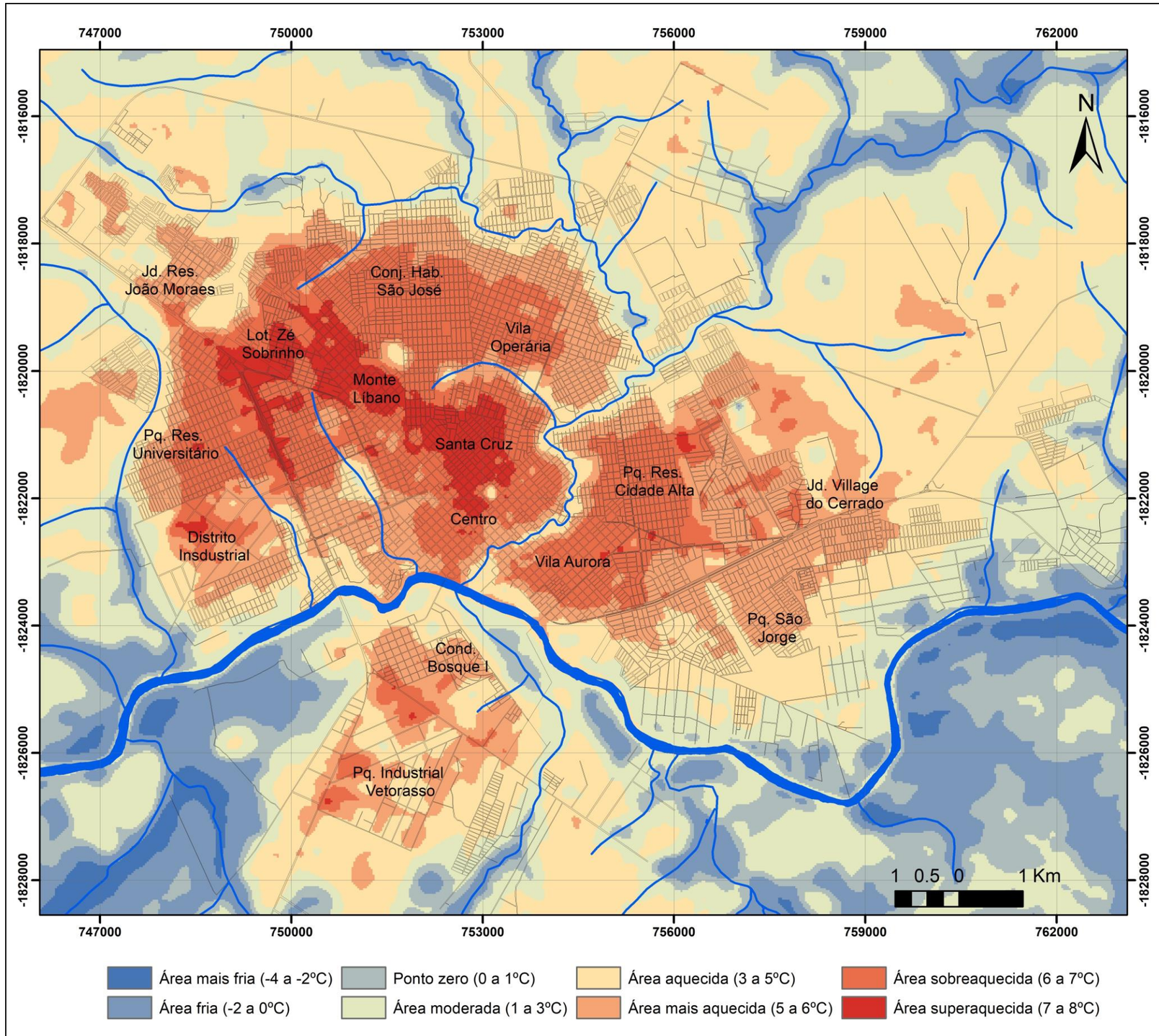
Malha urbana

Pontos de registros das temperaturas do ar

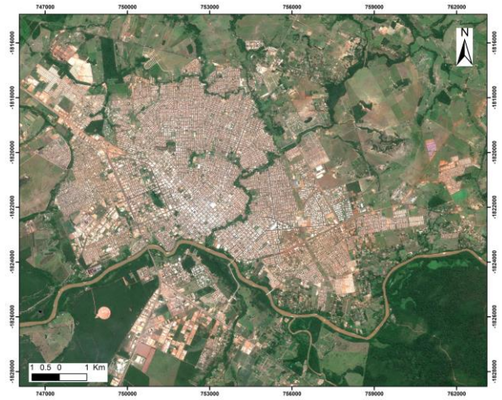
Sistema de coordenadas geográficas
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84 - 21 Sul

Organização: Washington Paulo Gomes
Orientadora: Margarete C. C. T. Amorim

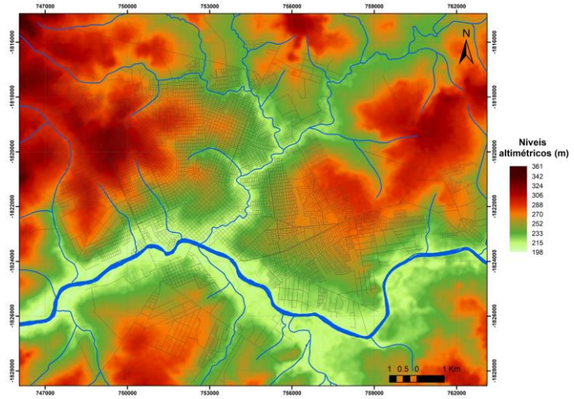
Prancha 29 - Mapa térmico da cidade de Rondonópolis-MT: a partir da modelagem das ilhas de calor urbanas



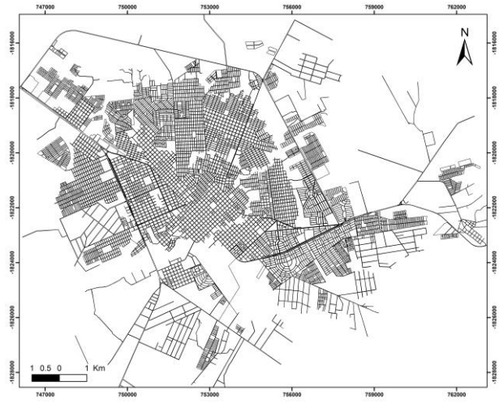
Composição colorida (13/04/2019)



Mapa hipsométrico de Rondonópolis-MT



Malha urbana de Rondonópolis-MT



5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do clima da cidade de Rondonópolis-MT, a partir dos pressupostos teórico-metodológicos do Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976), contribuiu para confirmar a hipótese de que uma cidade de porte médio localizada no ambiente tropical continental, responde de forma diferenciada aos sistemas atmosféricos atuantes e possui especificidades no sítio e na produção do espaço urbano que comprovam a formação de um clima urbano específico.

As situações de desconforto térmico fazem parte do cotidiano da população que vive nas cidades tropicais brasileiras. A localização geográfica da cidade de Rondonópolis-MT, na porção central do país, associada as modificações do ambiente natural pelo ambiente construído, atendendo às lógicas da produção desigual do espaço, favorecem as condições de estresse térmico para a população economicamente menos favorecida.

A incorporação da dimensão social na interpretação do clima foi fundamental para compreender as ações dos diferentes agentes produtores do espaço urbano que possuem um claro projeto de segregação socioespacial na cidade de Rondonópolis-MT. A criação de conjuntos habitacionais nas áreas mais distantes, na porção norte, ocorreram sem a incorporação dos equipamentos urbanos necessários e foram construídos com materiais de baixo padrão, em lotes pequenos, sem espaço para ventilação e sem o plantio de vegetação arbórea nas calçadas e canteiros centrais. Enquanto isso, o desenvolvimento urbano na porção sudeste, vem aproveitando uma lógica de valorização da terra com a criação de condomínios verticais e horizontais fechados e recebe maior atenção do poder público com recursos paisagísticos e com o plantio de vegetação arbórea.

Ao assumir que as características do clima urbano são reflexos das desigualdades sociais, econômicas e ambientais, entende-se que o objetivo central da tese de analisar o clima urbano da cidade de Rondonópolis-MT, com ênfase no subsistema termodinâmico, apresentando as intensidades das ilhas de calor de acordo com as características da superfície, foram concretizados, uma vez que, o espaço urbano é produzido e transformado pela sociedade de maneira desigual e que os padrões construtivos estão diretamente atrelados ao poder aquisitivo da população (SANT' ANNA NETO, 2001). As residências edificadas com materiais construtivos adequados, em loteamentos maiores, propiciaram condições mais favoráveis de conforto térmico. Os bairros habitados pela população de baixa renda foram os mais afetados e apresentaram elevadas intensidades das ilhas de calor urbanas.

A análise dos resultados das ilhas de calor superficiais mostraram que durante a estação seca as maiores intensidades ocorreram sob atuação da massa Tropical Continental, o que propiciou o aumento da radiação solar direta sobre as superfícies dos alvos. As intensidades das ilhas de calor foram relacionadas aos tipos de materiais construtivos no intraurbano no período chuvoso e a grande quantidade de solo exposto no período seco.

Os dados referentes ao NDVI foram importantes para verificar a variabilidade espacial da temperatura da superfície em relação aos episódios secos e chuvosos, sendo que durante a estação seca ocorreu a diminuição da massa vegetal a partir da perda das folhas e maior exposição do solo, devido à redução da cobertura vegetal rasteira. Nas áreas onde ocorreram queimadas as intensidades foram elevadas devido ao aumento da capacidade de absorção da radiação pela vegetação carbonizada e redução da evapotranspiração.

As características de uso e ocupação da terra foram fundamentais para diferenciar as intensidades das ilhas de calor superficiais. As áreas dos distritos industriais e dos conjuntos habitacionais densamente construídos, com materiais de baixo padrão construtivo, telhas de fibrocimento, loteamentos pequenos e sem cobertura vegetal, apresentaram ilhas de calor de muito forte magnitude (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996). Os bairros habitados pela população de maior poder aquisitivo, com alto padrão construtivo, com a ampla área de lazer, lago artificial, terrenos amplos, construções espaçadas e grande presença de vegetação arbórea, apresentaram menores magnitudes das ilhas de calor.

Os resultados a partir das medidas itinerantes mostrou que houve um padrão na distribuição das menores intensidades das ilhas de calor atmosféricas, localizadas no início e término dos trajetos (rural próximo) e nos fundos de vales, definidos como áreas redutoras de temperaturas (ART), em virtude da vegetação e da redução natural da temperatura de acordo com o relevo. As ARTs ocorreram nos fundos de vales dos Córregos Arareau, Piscina, Canivete e Lajeadinho. As maiores intensidades das ilhas de calor ocorreram nas áreas centrais da cidade, ao longo da Avenida Fernando Corrêa da Costa, Avenida Daniel Clemente, Vila Operária e nas proximidades do Shopping, em áreas densamente construídas, com galpões industriais, com pouca vegetação arbórea e com grande fluxo de pessoas e veículos.

Toda a malha urbana apresentou grandes intensidades e ilhas de calor de forte e muito forte magnitudes, gerando desconforto térmico, perda da qualidade de vida, além de agravamento de doenças respiratórias no período de seca. Destaca-se a importância da preservação das nascentes dos córregos para a manutenção das áreas de vegetação, que se mostraram extremamente importantes para a diminuição das temperaturas do ar em diversas áreas da cidade.

A análise das ilhas de calor atmosféricas por meio de pontos fixos, no primeiro momento, buscou compreender as intensidades a partir da evolução horária das ilhas de calor. Os meses de julho, agosto e setembro apresentaram baixos totais pluviométricos e contribuíram para evidenciar as áreas mais aquecidas de acordo com os tipos de materiais construtivos no ambiente urbano. Verificou-se que as ilhas de calor de muito forte magnitude foram registradas no período noturno, entre 18h e 22h, devido a maior capacidade térmica dos materiais urbanos em reter a energia recebida durante o dia, quando comparado com o ambiente rural. No período chuvoso (outubro, novembro e dezembro), observou redução significativa das intensidades e predominou ilhas de calor de moderada magnitude, sobretudo durante o dia, enquanto que durante a noite aumentou a frequência das ilhas de calor de fraca magnitude.

No segundo momento, a análise das intensidades das ilhas de calor ocorreu com base nas 24 horas do dia, levando em consideração cada mês de registro dos dados de temperatura. Novamente as ilhas de calor de muito forte magnitude ocorreram no período noturno dos meses da estação seca. Quando houve instabilidade atmosférica, sob atuação dos sistemas atmosféricos instáveis, como Rep, FPA e IT, com presença de precipitação e aumento da velocidade dos ventos, as intensidades foram menores. Na estação chuvosa a atuação de sistemas atmosféricos instáveis (ZCAS, ZCOU, IT e CV), contribuíram para o aumento da nebulosidade e para o aumento da precipitação, proporcionando a redução das intensidades das ilhas de calor.

No terceiro momento, ocorreu a análise das intensidades das ilhas de calor atmosféricas a partir dos doze pontos fixos distribuídos pela malha urbana. Foi possível estabelecer uma relação entre os sistemas atmosférico atuantes, a intensidade e a magnitude das ilhas de calor. Nos dias com a presença dos sistemas atmosféricos estáveis, céu claro, baixa velocidade do vento e sem precipitação, as ilhas de calor foram mais intensas. Ao levar em consideração a espacialização das ilhas de calor atmosféricas, foi possível identificar uma correlação entre as maiores intensidades das ilhas de calor com as áreas densamente construídas de menor padrão construtivo e com baixa presença de vegetação.

Pode-se perceber um padrão de distribuição da temperatura do ar diretamente relacionado a sazonalidade, se apresentando bem distinta entre a estação seca e a estação chuvosa. As maiores intensidades ocorreram durante o período seco, sobretudo no período noturno entre às 18h e 6h. Durante a estação chuvosa as maiores intensidades ocorreram durante o dia entre 9h e 15h.

Os dados de frequência, direção e velocidade dos ventos também estão diretamente atreladas aos sistemas atmosféricos atuantes na estação seca e chuvosa. No período seco houve

predominância da direção proveniente do quadrante oeste devido a atuação da massa Tropical Continental, a frequência das velocidades dos ventos foram baixas com predomínio entre 1 e 2 m/s. No período chuvoso, as direções foram mais variáveis devido a atuação dos sistemas atmosféricos instáveis e apresentou fluxos advectivos mais intensos, atingindo mais de 5 m/s, favorecendo a dissipação das ilhas de calor.

Além das características naturais, os atributos geourbanos, especialmente as formas de uso e ocupação da terra, associados as condições socioeconômicas da população, principalmente em relação ao padrão construtivo das residências, foi um fator extremamente importante na análise geográfica do clima na cidade de Rondonópolis-MT. As maiores intensidades ocorreram nos bairros Parque Residencial Universitário, Jardim Residencial João Moraes, Conjunto habitacional São José e Vila Iracy.

Os resultados das intensidades das ilhas de calor a partir da modelagem climática apresentaram coeficientes de R^2 satisfatórios, sendo que as váriaveis independentes contendo as características da superficie (área construída, vegetação densa, distância do centro, relevo, NDVI e as intensidades das ilhas de calor superficiais noturnas), explicaram entre 74% e 81% das variações das intensidades das ilhas de calor atmosféricas, nos epsódios analisados.

Por fim, foi elaborada uma proposta de zoneamento térmico para a cidade de Rondonópolis-MT. Foi identificado o padrão de aquecimento centro-periferia conforme o perfil clássico da ilha de calor urbana apresentado por Oke (1978). Entretanto, este padrão não ocorreu em todas as áreas da cidade, podendo se observar um alongamento das áreas superaquecidas saindo do centro em sentido noroeste, passando pelos bairros Santa Cruz, Jardim Monte Líbano, Loteamento Zé Sobrinho e se estendendo pelas margens da rodovia BR-163 até o distrito industrial. Muitos fatores estão relacionados ao aumento das intensidades das ilhas de calor urbanas nessas áreas da cidade, entre eles o adensamento urbano, o volume dos fluxos de pessoas e veículos, os tipos de materiais construtivos e a expressiva ausência de vegetação.

Os procedimentos metodológicos da modelagem das intensidades das ilhas de calor urbanas são avanços no campo da climatologia urbana e pode contribuir para intervenções mais localizadas nas áreas que necessitam de maiores iniciativas do poder público a curto, médio e longo prazo, como o plantio de vegetação arbórea nas calçadas, canteiros laterais e centrais, bem como a criação de parques, praças e etc. Entende-se que a presença de vegetação de grande porte nas áreas urbanas é muito importante para a redução das intensidades das ilhas de calor. As áreas com a presença dos fundos de vales, parques e praças são fundamentais para minimizar os efeitos das ilhas de calor urbanas.

6 - REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO, M. J. **Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. Alguns apontamentos.** Finisterra, XXXIV, 67-68, 1999, p. 83-94.

ALVES, E. D. L. A**nálise das influências geourbanas no clima urbano da cidade de Iporá – Goiás**. (Tese de Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016, p. 166.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP. (**Tese de Doutorado) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciência Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. 378p.

AMORIM, M. C. C. T. **Intensidade e Forma da Ilha de Calor Urbana em Presidente Prudente/SP**. Geosul (UFSC), Florianópolis, v. 20, n.39, p. 65-82, 2005.

AMORIM, M. C. C. T., DUBREUIL, V., QUENOL, H., SANT'ANNA NETO, J. L. **Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França).** *Confins* (Paris), v.7, p.1-16, 2009.

AMORIM, M. C. C. T., SANT'ANNA NETO, J. L., DUBREUIL, V. **Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 EM cidade tropical.** *Revista de Geografia Norte Grande*, v.43, p.65-80, 2009.

AMORIM, M. C. C. T. **Climatologia e Gestão do Espaço Urbano**. Revista Mercator, p. 71-90, 2010.

AMORIM, M. C. C. T.; MONTEIRO, A. **As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal**. *Confins*, v.13, p.1-18, 2011.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. **Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) – Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 11, v. 16, p. 29-45, 2015.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. Ed. Curitiba: Appris, 2020. 161p.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. **Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates**. Climate, v. 5, p. 91-104, 2017.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; AMORIM, A. T. **Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment**. Urban Climate, v. 38, 2021.

ANDRADE, L. L.; SOUZA, L. H.; SAKURAGI, J.; CASTRO, R. M. **Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Santa Catarina, *Anais*...Florianópolis: INPE, 2007

ARNFIELD, A. J. **Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island**. International Journal Of Climatology. Nº 23: 1–26 (2003).

ARAÚJO, W. R.; NARDES, A, M. **A expansão da malha urbana em Rondonópolis-MT**. Congresso de Pesquisa em Educação – CONPEDUC, 2017.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial.** (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. p.319.

BARBIRATO, G. M. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídio para os estudos urbanos.** Maceió/AL: EDUFAL, 2007.

BARBOSA, R. V. R. **Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão**. (Tese de Doutorado) – Escola de Engenharia - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. p.188.

BARROS, H. R. **A relação entre a ilha de calor urbana, o uso e cobertura do solo e o balanço de energia no município de São Paulo: avaliação do campo térmico nos parques públicos de lazer.** (Tese de Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciência Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. p.167.

BEZERRA, P. T. C. **Caracterização de ilhas de calor e conforto térmico em áreas urbanas do semiárido brasileiro.** (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013, p. 119.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. **A análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. *Anais...*, Goiás: INPE, 2005.

BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. **A espacialização temporal da massa tropical continental no centro-sul do Brasil.** Geografia, Rio Claro, v. 39, n. 1, p. 91-107, jan./abr. 2014.

BRANDÃO, Ana Maria P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996. 362f.

BRANDÃO, A. M. P. M. A ilha de calor de outono na cidade do Rio de Janeiro: configuração em situações sinóticas contrastantes. In: SANT' ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Org.) **Variabilidade e Mudanças Climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas.** Maringá, Cap. 10, p. 193-210, 2000.

BRANDÃO, R. S. As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano. (Tese de Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. p.351.

CANEPPELE, L. B. **Variação microclimática influenciada pela topografia e urbanização**. (Tese de Doutorado) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2018, p. 90.

CARDOSO R, S. **Modelagem do microclima e estratégias de mitigação do calor urbano em zonas climáticas locais** (Tese De Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2021.

CARDOSO R, S. **Classificação de Potenciais Unidades Climáticas em Presidente Prudente-SP** (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2015.

CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil, 2013, p. 207.

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

CHEGURY, J.Q. B. M. **Análise da variação termo-higrométrica e das ilhas de calor em Cuiabá – MT.** (Tese de Doutorado) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2019, p. 138.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. **Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes**. Remote Sensing of Environment, n. 106, p. 133-146, 2006.

COLACINO, M. **Infrared Radiometric Measurements for the Study of Rome Urban Heat Island**. Archiv fur Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, n. 26, p. 207-217, 1978

COSTA, E. R. **O campo térmico e a qualidade ambiental urbana em Chapecó/SC**. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2015, p. 291.

CUNHA, O. E. **Expansão da soja em mato grosso e desenvolvimento econômico no período de 1995 a 2005.** (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2008, p. 169.

CRUZ, G. C. F. **Clima urbano de Ponta Grossa – PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira.** (Tese de doutorado). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil, 366 p, 2009.

DEMAMANN, M. T. M. **Rondonópolis – MT: campo, cidade e centralidades**. (Tese de Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil, 2011, p.266.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiaí-SP** (Tese De Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2019.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. C. T. A. **Variabilidade espacial da temperatura do ar com uso de transectos móveis em Jundiaí/SP.** Revista Brasileira de Climatologia. Ano 16. V. 27, 2020.

DUARTE, T. E. P. N. **Expansão urbana e qualidade ambiental: uma análise da cobertura vegetal em Rondonópolis - MT entre os anos de 2006 e 2015**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2016, p.116.

DUBREUIL, V.; MONTGOBERT, M. ; PLANCHON, O. **Une méthode d'interpolation des températures de l'air en Bretagne : combinaison des paramètres géographiques et des mesures infrarouge NOAA-AVHRR**. *Hommes et Terres du Nord ; 2002-1*; pp. 26-39, 2002.

DUBREUIL, V. **Clima e teledetecção: uma abordagem geográfica**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, nº 1, p. 76-99, 2005.

DUBREUIL, V.; DELAHAYE, C.; LE STRAT, A. **Dynamiques d'occupation et d'utilisation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil.** Confins [Online], 10-2010, http://confins.revues.org/6845.

DUMKE, L. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC).** (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ELY, D. F. A **Compartimentação e Estruturação da Paisagem do Município de Rondonópolis - MT**. In: 8º Encuentro de Geografos de America Latina, 2001, Santiago de Chile. Anais do 8º Encuentro de Gografos de America Latina. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2001. p. 441-452.

EMBRAPA – **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2009.

ESCOURROU, G. Le climat et la ville. Éditions Nathan, 1991.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación.** Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996. 285p.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Um caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. (Tese de Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo. 2009. 259 f.

FOISSARD, X.; QUENOL, H.; DUBREUIL, V. **Analyse et spatialisation de l'ilot de chaleur urbain dans l'agglomeration rennaise.** *Actes du XXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie.* Cotonou: Bénin, 2013.

FOISSARD, X. **L'îtlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise**. (Tese de Doutorado). Université Rennes 2 Haute-Bretagne, Rennes, França. 2015.

FRANÇA, M. S. **Avaliação do microclima urbano para a cidade de Sorriso/MT: estudo de caso**. (Tese de Doutorado) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017, p. 91.

FRANCO, F. A. **Indicadores do potencial poluidor das indústrias no estado de Mato Grosso: série histórica 2000-2010**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2015, p. 124.

FRANCO, F. M. **Análise do comportamento termohigrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá – MT**. (Tese de Doutorado) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2013. p. 142.

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

GOMES, W. P., AMORIM, M. C. C. T. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo do clima urbano em cidade litorânea: o caso de Ubatuba-SP**. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Goiânia, 2016, p. 1.674 - 1686.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2017. 209f.

GUIRRA, A. P. M. **Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental à processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2017, p.169.

HOWARD, L. **The climate of London**. International Association For Urban Climate. 1833.

HUANG, F.; ZHAN, W.; VOOGT, J.; HU, L.; WANG, Z.; QUAN, J.; JU, W.; GUO, Z. **Temporal upscaling of surface urban heat island by incorporating an annual temperature cycle model: a tale of two cities.** Remote Sensing of Environment, v. 186, p. 1-12, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acessado em 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Estimativas da população residente no brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2020**. Disponível em: < https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/estimativa_dou_2020.pdf> Acessado em 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **IBGE Cidades**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/rondonopolis/historico>. Acessado em 26 de abril de 2020.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas.** (Tese de Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas, 2007. p. 334.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

KATSOULIS, B. D.; THEOHARATOS, G. A. **Indications of the urban heat island in Athens, Greece**. Journal of Applied Meteorology, American Meteorological Society, Boston, vol.24, p. 1296-1302, 1985.

KRATZER, A. **The climate of cities** (Das Stadtklima). American Meteorological Society, 45, Beacon Street Boston 8, Massachusetts, 1956.

LANDSBERG, H. E. The Climate of Towns in THOMAS, W. L. (org.) Man's Role in Changing the Face of the Earth. Vol. 2, pp. 584 - 606. 1956.

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

LIMA, V. **A Sociedade e a Natureza na paisagem urbana: análise de indicadores para avaliar a qualidade ambiental.** (Tese de Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013. p. 359.

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

LOTUFO, J. B S.; MACHADO, N. G; TAQUES, L. M.; MUITZENBERG, D. M. S.; LOTUFO NETO, N.; BIUDES, M. S. **Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 02. 2002, p. 6048-663.

LOWRY, W. P. **Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis**. Journal of applied meteorology. v. 16, p. 129-135, fev. 1977.

MATZARAKIS, A. **Country Report Urban Climate Research in Germany.** International Association for Urban Climate, Newsletter 11, 4-6, 2005

MARTÍN VIDE, J. LÓPEZ. Los climas urbanos en Cataluña. In: GÓMEZ, A. (Cood.); FERNÁNDEZ GARCÍA.; F., ARROYO, F.; MARTÍN VIDE, J.; CUADRAT, J. M. **El clima de las ciudades españolas**. Madrid: Cátedra, 1993.

MENDONÇA, F. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR.** Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológicos e estudo de caso In: SANT' ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Org.) **Variabilidade e Mudanças Climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas.** Maringá, Cap. 09, p. 165-192, 2000.

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. **L'étude du climat urbain au Brésil: Etat actuel et contribution de la télédétection**; in Environnement et télédétection au Brésil, Presses Universitaires de Rennes, p.135-146, 2002.

MENDONCA, F.; DUBREUIL, V**. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba - PR)**. Revista RA'E GA - O Espaço Geográfico em análise, n. 9, pp. 25-35, 2005.

MENDONÇA, F. O Estudo do clima urbano no Brasil. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. Cap. 06, p. 175-192, 2003.

MENDONÇA, M. A **dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC**. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UNB, Brasília, 2012.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP**. (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP. 2014. 266 p.

MONTEIRO, A. **O clima urbano de Porto: contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território**. Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1997, 485 p.

MONTEIRO, A.; MADUREIRA, H.; FONSECA, L.; GONÇALVES, P. **O(s) clima(s) de Gaia**. Câmara Municipal de Gaia. 2018. 62 p.

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

MONTEIRO, C. A. de F. **Notas para o Estudo do Clima do Centro-Oeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Geografia, Ano XIII, Nº 1, 1951.

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

MOREIRA, E. B. M. **Balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto.** (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife-PE, 2014.

MOREIRA, J. L. **A ILHA DE CALOR COMO INDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM PENÁPOLIS (SP)** (Tese De Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2021.

MOREIRA, M. R. R. **A UFMT e a dinâmica espacial de seu entorno**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2017, p. 165.

MORENO GARCÍA, M. C. **La Intensidad de la "Isla de Calor" de Barcelona. Comparación con otras Ciudades Españolas.** ALÍSIOS Revista de Geografia, Barcelona, v.1, p. 47- 53, 1991.

MOTA, A. B. S. **Mapeamento termohigrométrico do município de Coari-AM utilizando transecto móvel.** (Tese de Doutorado) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017, p. 69.

NEGRI, S. M. **O processo de segregação sócio-espacial no contexto do desenvolvimento econômico da cidade de Rondonópolis – MT**. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2008, p. 195.

NGIE, A.; ABUTALEBAB, K; AHMEDA, F; DARWISHB, A; AHMEDB, M.; **Assessment of urban heat island using satellite remotely sensed imagery: a review**. South African Geographical Journal, · July 2014.

OKE T. R. **Boundary Layer Climates**.London: Metheuen & Co, 1978.

OKE T. R. **The energetic Basis of the urban heat Island.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, 1982.

OKE, T.R. **Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites**. International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Banff, 25-29 October, 2004.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World meteorological organization instruments and observing methods report nº. 81, 2006.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Revision of World Urbanization Prospects (2018)**. Disponivel em: < https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> Acessado em 2020.

OSAKI, C. M. N. **Adaptação de um modelo simplificado para verificação da influência da geometria urbana na formação de ilha de calor noturna.** (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. p.132.

PAIVA, J. P. M. **Clima e ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais de Fortaleza/CE.** (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. p.277.

PÉREZ GONZÁLES, M. E., GARCÍA RODRÍGUES, M. P. **Cartografia térmica del área metroplitana de Madrid a partir del sensor ETM del LANSAT 7.** In: Anales de Geografía de la Universidad Complutense, vol. extraordinario, 2002, Madrid. Anais…Madrid: UC, 2002, p. 377-386.

PINEHIRO, J. M. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018. p.245.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas.** (Tese DE Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997. 272p.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP**. (Tese de Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, SP, 2009, p. 154.

PORANGABA, G. F. O. **O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã.** (Tese de Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015. 354p.

PORTELA, A. A. **A produção do espaço urbano em Rondonópolis- MT: um ensaio de ritmanálise**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2016, p. 134.

PORTELA, A. A.; TARIFA, J. R. **Os ritmos sociais e a vida cotidiana em Rondonópolis, MT.** Biodiversidade - V.16, N3, 2017.

QUERINO, J. K. A. S. **Caracterização termo higrométrica e de conforto térmico em Porto Velho no período de transição seco-chuvoso**. (Tese de Doutorado) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017, p. 74.

RAMOS, R. R. D. *et al*. **Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, p. 01-06, 2010.

RAMPAZZO, C. R. **Clima e produção do espaço urbano: contribuição ao estudo da geografia do clima no contexto das cidades de São Carlos e Marília.** (Dissertação de Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2015. 324p.

RAMPAZZO, C. R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente).** (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2019. 280p.

RODRIGUES, J. E. C. **Análise das características socioambientais na cidade de Belém/PA: um estudo da vegetação e clima urbano**. (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2017. p.307.

ROTH, M.; CHOW, W. T. L. **A historical review and assessment of urban heat island research in Singapore**. November, 2012, Singapore, Journal of Tropical Geography 33.

SANT'ANNA, E. M; et al. **Contribuição ao estudo da geomorfologia da área de Rondonópolis com fins ao uso agrícola da terra**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989, p.69.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima.** Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da climatologia no Brasil**. Cadernos Geográficos (UFSC), Florianópolis, v. 7, p. 1-124, 2004.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico**. Revista da ANPEGE. V. 4, 2008.

SANTOS, C. A. M.; VICENTE, T. G.; FUSHIMI, M. **Mapa de fragilidade ambiental do município de Rondonópolis: contribuição geomorfológica para escolha de áreas para implantação de aterro sanitário**. Biodiversidade - V.15, N3, 2016

SANTOS, J. S. **Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida.** (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011. p. 112.

SANTOS, J. W. M. C. **Ritmo climático e sustentabilidade sócio-ambiental da agricultura comercial da soja no sudeste de Mato Grosso**. Revista do Departamento de Geografia, nº17, 2005, p. 61-82.

SETTE, D. M. **O Clima Urbano de Rondonópolis - MT**. (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SETTE, D. M.; TARIFA, J. R. **O El niño 97/98, ritmo e repercussão na gênese dos climas no Mato Grosso (Brasil).** GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, N° 11, pp.51-67, 2002.

SETTE, D. M. **Os climas do cerrado do Centro-Oeste.** Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 1, Nº 1. 2005.

SETTE, D. M.; TARIFA, J. R. **A gênese dos climas no Mato Grosso e suas alterações pelo El niño.** Intergeo – Interações no Espaço Geográfico – Ano V – nº 5, 2007.

SILVA, L. F. **Estudo do campo térmico da cidade de São Carlos (SP) em um episódio climático de inverno.** (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. p.120.

SUNDBORG, A. **Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area**. 1950.

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

SOUSA, D. O.; BAPTISTA, G. M. M. **Análise da influência da resolução espacial na determinação das ilhas urbanas de calor em São Paulo, por meio dos sensores ASTER e MODIS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. *Anais...*, Goiás: INPE, 2005.

SOUZA, D. O. **Influência da ilha de calor urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local**. (Tese de Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. p. 219.

SOUZA, M. B. **Influência de lagos artificiais no clima local e no clima urbano: estudo de caso em Presidente Epitácio (SP)**. (Tese de Doutorado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo. 2010. 204f.

STEINECKE, K. **Urban climatological studies in the Reykjavik subarctic environment, Iceland**. Atmospheric Environment, v. 33, n. 24, p. 4157-4162, 1999.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Newly developed "thermal climate zones" for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer**. Preprints, T. R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment, January 11–15, Phoenix, AZ, 2009.

STEWART, I., OKE, T. **Classifying climate field sites by "local climate zones": the case of Nagano, Japan.** THE SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 2009, Yokohama, Japan.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island.** Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia. Vancouver, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Local Climate Zones for Urban Temperature Studies**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 93, n.12, p.1879-1900, 2012.

STEWART I. D. **Developing a field guide to identify 'local climate zones' in cities.** 10th International Conference on Urban Climate & 14th Symposium on the Urban Environment, New York City, USA. 2018.

SUZUKI, J. C. **Na busca de momentos, a descoberta da transição: o estudo da urbanização de Rondonópolis-MT**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1997.

TAHA, C. U**rban growth, heat islands, humidity, climate change: the costs multiply in tropical cities**. The conversation Academic rigor, journalistic flair. September 9, 2019.

TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A.; HUANG, J. **Residential cooling loads and the urban heat island - the effects of albedo**. Building and Environment, v. 23, Issue 4, p. 271–283, 1988.

TEIXEIRA, D. C.F. **O clima urbano de Rancharia (SP)** (Dissertação de Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2015. 217p.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de cidades de pequeno porte do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil.** (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2019. 238p.

TEOBALDO NETO, A. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá-MT**. – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2019. 327p.

TORRES, R. P. **Análise da segregação socioespacial urbana em Rondonópolis (MT), a partir dos espaços públicos de lazer instalados**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2017, p. 147.

TRINDADE, P. M. R. **Análise espaço temporal da temperatura em santa maria – RS a partir de imagens termais Landsat 8 e experimento de campo.** (Tese de doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018, p. 150.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2011. 383p.

United Nations, **Population Facts**. Department of economic and Social Affairs/Population Division. N.2018/1, December, 2018.

VELASCO, G. D. N. *et, al.* **Aplicação do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 2, n. 3, 2007.

VELHO, L. F. **Análise da temperatura de superfície e da ocupação urbana no município de Porto Alegre**. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. p.117.

VIANA, E. O. **O campo térmico urbano. Ilhas de calor em Brasília – DF**. (Tese de Doutorado) – Universidade de Brasília, 2018, p. 296.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Complete urban surface temperatures,** Journal of Applied Meteorology, 36, No. 9, 1117-1132, 1997.

VOOGT, J. A.; OKE, T.R. **Thermal remote sensing of urban climates**, Remote Sensing of Environment, 86, 370-384, 2003.

WENG, Q.; LARSON, R.C. **Satellite remote sensing of urban heat islands: Current practice and prospects.** In Geo-Spatial Technologies in Urban Environments; Jensen, R.R., Gatrell, J.D., McLean, D. D., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; pp. 91–111, 2005.

WENG, Q. **Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends.** ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. nº64, 335–344. 2009.

ZAVATINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática**. São Paulo, Cultura Acadêmica, 2009. p.214.

ZENG, Y; QIU, X. F; GU, L. H; WANG, K. F. **The Urban Heat Island in Nanjing**. Quaternary International n. 208, v.1, p. 38-43, October 2009.

ZHOU, D.; ZHAO, S.; LIU, S.; ZHANG, L.; ZHU, C. **Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers.** Remote Sensing of Environment, v. 152, p. 51-61, 2014.

ZHOU, D.; XIAO, J.; BONAFONI, S.; BERGER, C.; DEILAMI, K.; ZHOU, Y.; FROLKING, S.; YAO, R.; QIAO, Z.; SOBRINO, J.; **Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives.** Remote Sens., 11, 48, 2019.