

Artigo de Pesquisa

ADENSAMENTO VEGETATIVO E SUA INTERFERÊNCIA NOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PERÍODOS DAS ESTAÇÕES CHUVOSA E SECA EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP)**Vegetation Density and Its Interference in Climatic Elements: Comparative Analysis between the Rainy and Dry Seasons in Presidente Prudente (SP)**William Miyakava¹, Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim²

¹ Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Presidente Prudente/SP, Brasil. E-mail: william.miyakava@unesp.br

 <https://orcid.org/0000-0003-0976-5133>

² Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Presidente Prudente/SP, Brasil. E-mail: margarete.amorim@unesp.br

 <https://orcid.org/0000-0002-3975-493X>

Recebido em 04/08/2023 e aceito em 07/10/2023

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da agricultura urbana agroflorestal nos elementos do clima em Presidente Prudente (SP). Partiu-se da hipótese de que a cobertura vegetal aliada à agricultura urbana influencia positivamente na dinâmica do clima urbano. Para isso, realizou-se o registro de dados de temperatura e umidade relativa do ar em meses representativos da estação chuvosa (fevereiro) e seca (julho) de 2021, a partir de sensores automáticos em três pontos com características distintas de cobertura da terra em Presidente Prudente, sendo: duas áreas urbanas (uma densamente construída e outra com vegetação/agrofloresta) e um ponto representativo do rural. A partir da coleta, organização, tabulação e tratamento dos dados, foi possível calcular a diferença de temperatura e umidade nos pontos supracitados e representá-los em painéis espaço-temporais, em conjunto com os gráficos de análise rítmica, que permitiram identificar a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor urbanas (ICU) no período diurno e noturno. A baixa precipitação, relacionada à alta variação da direção e elevada velocidade do vento durante o mês de fevereiro resultou em maiores intensidades e magnitudes da ICU tanto diurna, quanto noturna. Já o mês de julho apresentou baixa velocidade do vento e pouca variação de sua direção, com precipitação nula e a presença majoritária de sistemas atmosféricos estáveis, o que culminou em uma maior homogeneização da ICU diurna, ao contrário da noturna, que manteve-se heterogênea com alta intensidade e magnitude. Por fim, verificou-se a extrema importância da vegetação na influência do clima urbano.

Palavras-chave: Clima Urbano; Ilha de Calor Urbana; Ritmo Climático; Cobertura Vegetal.

ABSTRACT: The present study aimed to investigate the effects of urban agroforestry agriculture on climate elements in Presidente Prudente (SP). It was hypothesized that vegetation cover combined with urban agriculture has a positive influence on the dynamics of urban climate. To do this, we recorded data on temperature and relative humidity in representative months of the rainy (February) and dry (July) seasons of 2021, using automatic sensors at three points with different land cover characteristics in

Presidente Prudente: two urban areas (one densely built-up and one with vegetation/agroforestry) and a rural point. From the collection, organization, tabulation, and treatment of the data, it was possible to calculate the difference in temperature and humidity at the above-mentioned points and represent them in space-time panels, together with rhythmic analysis graphs, which allowed us to identify the occurrence of the urban heat island (UHI) phenomenon in the daytime and nighttime periods. The low precipitation, related to the high variation in direction and high wind speed during February, resulted in higher intensities and magnitudes of the UHI both during the day and at night. The month of July, on the other hand, presented low wind speed and little variation in direction, with no precipitation and the predominant presence of stable atmospheric systems, which resulted in a greater homogenization of the daytime UHI, unlike the nighttime UHI, which remained heterogeneous with high intensity and magnitude. Finally, it was verified the extreme importance of vegetation in influencing urban climate.

Keywords: Urban Climate; Urban Heat Island; Climate rhythm ; Vegetation cover.

RESUMEN: El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar los efectos de la agricultura urbana agroforestal en los elementos del clima en Presidente Prudente (SP). Se partió de la hipótesis de que la cobertura vegetal aliada a la agricultura urbana influye positivamente en la dinámica del clima urbano. Para ello, se realizó el registro de datos de temperatura y humedad relativa del aire en meses representativos de la estación lluviosa (febrero) y seca (julio) de 2021, a partir de sensores automáticos en tres puntos con características distintas de cobertura de la tierra en Presidente Prudente, siendo: dos áreas urbanas (una densamente construida y otra con vegetación/agroforestal) y un punto representativo del rural. A partir de la recolección, organización, tabulación y tratamiento de los datos, fue posible calcular la diferencia de temperatura y humedad en los puntos supracitados y representarlos en paneles espacio-temporales, en conjunto con los gráficos de análisis rítmico, que permitieron identificar la ocurrencia del fenómeno de las islas de calor urbanas (ICU) en el período diurno y nocturno. La baja precipitación, relacionada a la alta variación de la dirección y elevada velocidad del viento durante el mes de febrero, resultó en mayores intensidades y magnitudes de la ICU tanto diurna como nocturna. El mes de julio, por su parte, presentó baja velocidad del viento y poca variación de su dirección, con precipitación nula y la presencia mayoritaria de sistemas atmosféricos estables, lo que culminó en una mayor homogeneización de la ICU diurna, a diferencia de la nocturna, que se mantuvo heterogénea con alta intensidad y magnitud. Finalmente, se verificó la extrema importancia de la vegetación en la influencia del clima urbano.

Palavras-clave: Clima Urbano; Isla de Calor Urbana; Ritmo Climático; Cobertura vegetal.

INTRODUÇÃO

A relação entre o clima e a sociedade é manifestada e percebida em distintas escalas e ocorre de forma dinâmica através da troca de influências mútuas energéticas, e conseqüentemente, atmosféricas. Assim, o clima é capaz de influenciar as atividades humanas, e também ser influenciado pelas mesmas, em distintos níveis e intensidades.

Santos (2006) constata que os núcleos urbanos brasileiros refletem as contradições inerentes ao processo capitalista de produção do espaço, favorecendo a lógica do capital imobiliário, que resulta na segregação e exclusão socioespacial de grande parte da população nos centros urbanos. Para o autor, a transformação da natureza em meio à necessidade urbana é um processo indissociável.

Na mesma perspectiva, Mendonça (2011) remete grande parte dos problemas ambientais encontrados nas metrópoles ao fato de desconsiderar o clima na elaboração do planejamento urbano ocidental. Romero (2019) complementa ao

relacionar a climatologia urbana das cidades latino-americanas às questões socioeconômicas, pois o clima e a qualidade do ar tornaram-se mercadorias urbanas nos modelos atuais de desenvolvimento econômico.

Desta forma, as rápidas e radicais alterações da paisagem natural nos centros urbanos acarretam novos elementos ou rearranjos, que de fato impactam de forma concentrada o ser humano. A diminuição da vegetação, a impermeabilização do solo, o adensamento construtivo, a emissão de poluentes na atmosfera, entre outras características, são capazes de alterar o clima local, gerando um clima próprio para estas áreas, o clima urbano (AMORIM, 2020; MONTEIRO, 1976).

Entende-se o clima urbano como resultado da relação entre a sociedade (urbano) e a natureza (clima), sendo “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (MONTEIRO, 1976, p. 23). Seus estudos surgem a partir da complexidade de interações envolvendo distintas realidades urbanas, por meio da análise espacial, ambiental e regional, de forma integrada, a fim de fornecer subsídios ao ordenamento territorial urbano, que deva lançar-se na busca pelo conforto térmico dos ambientes intraurbanos (AMORIM, 2020).

Conforme resultados preliminares do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2022, 71% dos brasileiros residem em cidades de pequeno e médio porte – respectivamente, àquelas que possuem menos de 100 mil habitantes; entre 100 mil a 500 mil habitantes, enquanto 29% da população reside em cidades de grande porte – mais que 500 mil habitantes (IBGE, 2022). Sendo assim, as investigações não devem restringir-se às metrópoles, visto que as cidades de pequeno e médio porte podem interferir para além da escala local do clima, e que nelas habita um número significativo de pessoas em escala nacional e planetária (AMORIM, 2020).

Deste modo, a modificação do clima local pela materialização das relações sociais se expressa no ambiente urbano por meio de fenômenos como a Ilha de Calor Urbana (ICU), desconforto térmico, concentração de materiais particulados inaláveis, deslizamentos, inundações e alagamentos, dentre outros (MONTEIRO, 1976). Como consequência, a ICU resulta na presença de temperaturas elevadas no ambiente urbano, quando comparado com o ambiente rural circundante, resultando em maiores valores tanto nas temperaturas do ar, quanto na superfície, devido às propriedades térmicas dos materiais construtivos e da produção do calor antropogênico (GARTLAND, 2010; LOMBARDO, 1985).

Por outro lado, Oke *et al.* (2017) a categoriza em função da camada em que se encontra: a ICU subsuperficial refere-se aos padrões de temperatura entre o perfil subsuperficial da cidade e o tecido subterrâneo; a ICU superficial trabalha com a temperatura dos alvos superficiais, diagnosticada por meio do sensoriamento remoto; a ICU atmosférica concerne à temperatura do ar, dividida entre a camada inferior – compreendida entre o nível do solo e o nível médio dos telhados, e a superior – sobrepondo-se à anterior e se estendendo até a atmosfera livre.

Embora tenham sido identificadas pioneiramente em cidades de grande porte, como Londres (HOWARD, 1818) - na escala global, São José dos Campos (TARIFA, 1977)

e São Paulo (LOMBARDO, 1985) – na escala nacional, estudos indicam que as ICUs se fazem presentes também em cidades de pequeno e médio porte, visto que estas, assim como os grandes centros, carregam características inerentes à urbanização (GARTLAND, 2010).

Cruz (2009) constatou a formação da ICU no centro da cidade de Ponta Grossa (PR) atribuída ao desenho urbano, com alterações nas condições naturais devido à intensificação das áreas construídas e à impermeabilização do solo. Cardoso *et al.* (2017) constataram a presença da ICU atmosférica com magnitudes médias de 3,5°C em Paranavaí (PR), 2,7°C em Rancharia (SP) e 3,7°C em Presidente Prudente (SP), sendo influenciada pelo adensamento construtivo. Teixeira e Amorim (2022) observaram o maior aquecimento em favor das áreas densamente construídas e no centro das cidades de Presidente Venceslau (SP), Santo Anastácio (SP) e Álvares Machado (SP), enquanto registraram-se inversões térmicas aos fundos de vale, providos de cobertura vegetal.

Sendo assim, a ocorrência da ICU, em especial, a atmosférica, é intrinsecamente relacionada ao uso e ocupação da terra. Gartland (2010) demonstrou que as árvores cumprem papel fundamental na diminuição da temperatura do ar e da intensidade da ICU, devido ao sombreamento oferecido na superfície, tal qual, seu processo de evapotranspiração. Gomes e Amorim (2003, p.104) verificaram que “é principalmente sob altas temperaturas e baixa umidade que a arborização age eficientemente regulando as condições térmicas do ambiente”, apontando-se uma melhoria nos efeitos do clima urbano através da implantação e manutenção de áreas verdes.

Dentre as áreas verdes encontradas nas cidades, deve-se fomentar a presença de espaços destinados à agricultura urbana, pois oferecem diversos benefícios para a dinâmica da cidade e sua população, ao favorecer a disponibilidade de alimentos de qualidade, gestão sustentável de recursos naturais, além de diminuir erosões e o aquecimento urbano - propiciando a criação de cidades resilientes (FAO, 2009).

Silva (2018; 2020) evidencia benefícios para a qualidade do ambiente urbano e amenização de altas temperaturas superficiais e atmosféricas, por meio da inserção de áreas destinadas a agricultura urbana em meio a áreas densamente construídas. No estudo realizado em 2018, na cidade de Álvares Machado (SP), verificou-se que a temperatura do ar durante o período noturno foi menor em espaços de agricultura urbana quando comparada às áreas densamente construídas. Por outro lado, em Florianópolis (SC), o autor observou em 2020, que as áreas de agricultura urbana e periurbana apresentaram até 8°C a menos de aquecimento superficial em comparação às áreas densamente ocupadas.

Deste modo, considerando os impactos positivos oferecidos pela inserção e manutenção da vegetação no meio urbano, no que tange a mitigação das ilhas de calor, buscou-se neste trabalho comprovar a hipótese de que a cobertura vegetal aliada à agricultura urbana influencia positivamente na dinâmica do clima urbano.

Para tanto, baseou-se na proposta teórica-metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU), no Subsistema Termodinâmico (Canal do Conforto Térmico) elaborada por Monteiro (1976). Associado a este subsistema, adotou-se a análise das dinâmicas

atmosféricas por meio do ritmo climático proposto por Monteiro (1971), permitindo o intercâmbio dos elementos climáticos e fatores geográficos do clima dentro de uma realidade regional (ALEIXO, 2014).

Por conseguinte, englobou-se a classificação da intensidade e magnitude das ilhas de calor atmosféricas de Fernández García (1996), calculadas a partir das diferenças das temperaturas registradas simultaneamente no urbano e rural.

Portanto, este artigo teve como objetivo o registro e análise dos dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR), em meses representativos da estação chuvosa (fevereiro) e seca (julho) de 2021, a partir de três pontos com características distintas de cobertura da terra em Presidente Prudente. Os elementos climáticos, através do ritmo dinâmico, possibilitaram investigar a ocorrência do fenômeno da Ilha de calor atmosférica (ICU_{atm}), segmentada por meio de sua intensidade e magnitude.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Presidente Prudente localiza-se no Oeste do Estado de São Paulo, à 22° 07' de latitude sul e 51° 22' de longitude oeste (Figura 1), com população de 225.668 habitantes e 560,637km² de área da unidade territorial cujo 60,83km² referem-se à área urbanizada (IBGE, 2022).

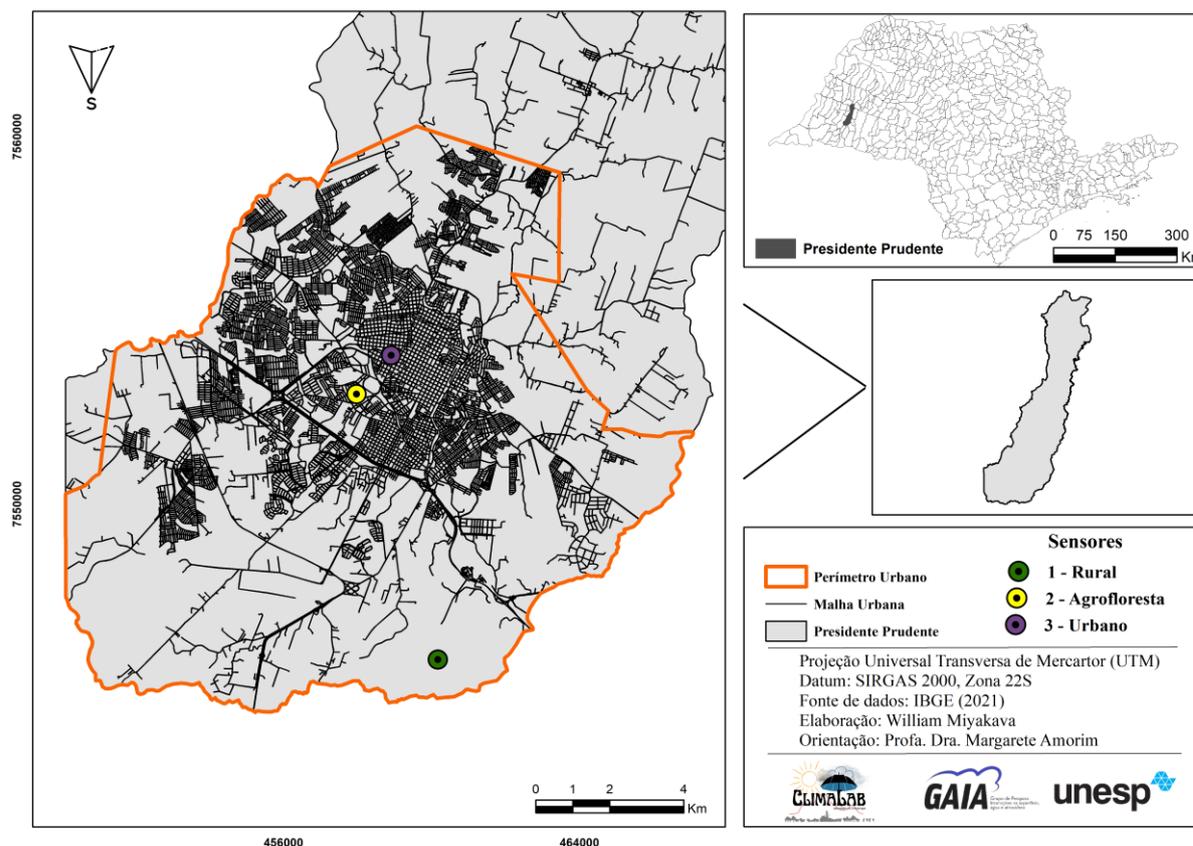


Figura 1: Localização do município de Presidente Prudente no Estado de São Paulo e posicionamento dos sensores automáticos no rural próximo e intraurbano. **Fonte:** IBGE (2021). Elaboração: Os autores (2023).

Em sua história, a ocupação e o uso da terra ocorreram de forma exploratória, resultando no êxodo rural, devido à precarização das condições de vida e trabalho no campo (AMORIM, 2020). Esse processo de migração para a cidade acelerou a urbanização de Presidente Prudente, ocasionando a modificação da paisagem e culminando na atual configuração urbana. O município possui alto grau de urbanização (98%) e densidade demográfica correspondente a 397,4 hab./km², de acordo com o Sistema Estadual de Análise dos Dados (SEADE, 2023), tornando-o uma área de estudo relevante no que tange o clima urbano.

Em relação aos aspectos ambientais, Presidente Prudente se encontra assentada sobre a Bacia Sedimentar do Paraná (morfoestrutura) e o Planalto Ocidental Paulista (morfoescultura), constituída essencialmente por rochas sedimentares. Predominam como formas de relevo as colinas baixas e médias - cujas altitudes variam entre 300m a 600m - apresentando uma altitude média de 472m (FUSHIMI; NUNES, 2011).

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

O município é influenciado pelos sistemas atmosféricos tropicais, atuando o ano todo sobre o Oeste Paulista, o que ocasiona estabilidade de tempo no inverno e instabilidade na parte inferior no verão, sendo que:

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

Diante das características acima sintetizadas, justifica-se a escolha de Presidente Prudente mediante ao fato da mesma ser uma cidade de porte médio, com importância econômica, social e de centralidade urbana no contexto regional, associada à presença de elementos que permitem a reflexão das atividades na área urbana e rural, em conjunto dos elementos climáticos na escala local.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O artigo teve por base a proposta teórica-metodológica de Monteiro (1976) do Sistema Clima Urbano, sob o aspecto do subsistema Termodinâmico (Canal do Conforto

Térmico). O SCU, derivado a partir da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) e de estudos da perspectiva dinâmica climática de Maximilian Sorre e Pierre Pédelaborde, nos permite investigar a cidade sob uma perspectiva integradora de análise, por meio da adoção de uma concepção dinâmica dirigida através do ritmo de sucessão habitual dos estados atmosféricos atuantes sobre as cidades, assim como a mensuração do ar comprometido dentro da realidade do ambiente urbano.

Nesta perspectiva, a cidade é analisada como um sistema aberto, dinâmico e integrador, capacitando responder as indagações e necessidades da sociedade (SANT'ANNA NETO, 2012), e diferenciando-se dos propósitos exclusivamente meteorológicos, predominantes nos clássicos da literatura internacional.

Amorim (2020) constata que uma das formas de se investigar a interferência urbana na temperatura refere-se à comparação entre dois pontos distintos: um urbano e outro rural, sendo fundamental que a escolha da área de instalação do sensor automático ocorra em locais representativos de cada ambiente. Desta forma, a partir dos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) produzidos e utilizados pela autora nos estudos de ilhas de calor atmosféricas e superficiais em Presidente Prudente, selecionaram-se pontos de coleta de dados de acordo com as características de superfície que viabilizassem o alcance dos objetivos propostos.

A partir da análise do perfil vegetativo, foram selecionados três pontos de coleta de dados, com características distintas no que tange a cobertura da terra (Figura 1). Dois pontos localizam-se na área urbana, uma sendo densamente construída e outra com vegetação agroflorestal, e o terceiro ponto refere-se ao representativo do rural.

Na área rural do município encontra-se o ponto 1 da pesquisa (Figura 2). Localiza-se na porção sudeste, fora da malha urbana, sob as coordenadas 22°11'34.09"S e 51°23'10.85"O, a aproximadamente 449 metros de altitude em relação ao nível do mar, no km 561 da Rodovia Raposo Tavares, e possui no entorno cobertura vegetal rasteira e arbórea.



Figura 2: Imagem de satélite do ponto 1 – Rural. **Fonte:** Google Earth. **Elaboração:** Os autores (2022).

No intraurbano encontram-se os pontos 2 e 3 da pesquisa. O ponto 2 – Agrofloresta (Figura 3) localiza-se dentro da malha urbana na porção centro-oeste, sob as coordenadas 22° 7'39.01"S e 51°24'27.00"O, a aproximadamente 447m de altitude, e apresenta princípios de estratificação, com predomínio de espécies arbóreas frutíferas de pequeno, médio e grande porte (Figura 4) – contribuindo para o sombreamento na superfície e os processos de evapotranspiração. Possui em seu entorno condomínios fechados e prédios de alto padrão.



Figura 3: Imagem de satélite do ponto 2 – Agrofloresta. **Fonte:** Google Earth. **Elaboração:** Os autores (2022).





Figura 4: Área de cultivo agroflorestal urbano em Presidente Prudente (SP). **Fonte:** Goes, M. J., 2021.

O ponto 3 (Figura 5) refere-se ao urbano densamente construído e localiza-se dentro da malha urbana próximo ao centro da cidade, sob as coordenadas 22° 7'4.71"S e 51°23'54.16"O, a aproximadamente 424m de altitude. Apresenta média cobertura vegetal arbórea nas calçadas e quintais, com alta pavimentação do solo e entorno caracterizado por edificações de alvenaria com telhados de cerâmica (AMORIM, 2020).

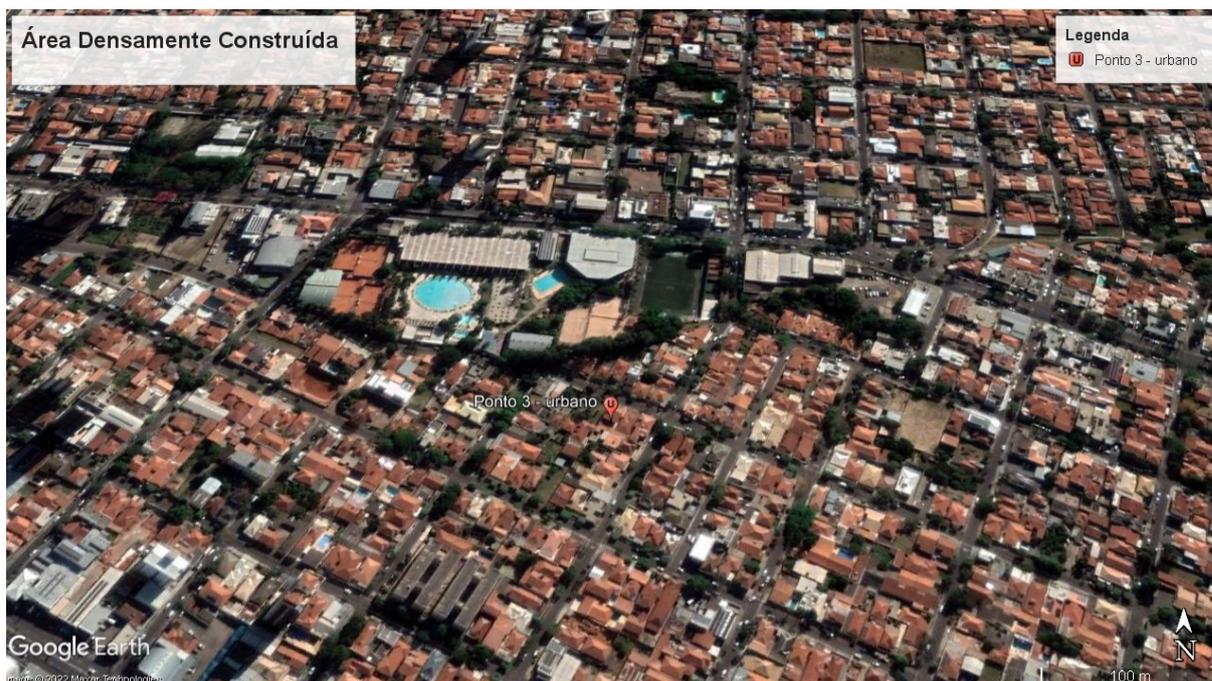


Figura 5: Imagem de satélite do ponto 3 – Urbano. **Fonte:** Google Earth. **Elaboração:** Os autores (2022).

A aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar, da estação chuvosa (fevereiro) e seca (julho) do ano de 2021, ocorreu por meio de sensores automáticos data loggers da marca HOBO (U23-002) apresentando acurácia de $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ (0° a 50°C) e resolução de $0,02^{\circ}\text{C}$ (HOBO DATA LOGGERS, 2017). Os mesmos foram calibrados anteriormente, protegidos da incidência de radiação solar direta por abrigo RS3 da mesma marca, e instalados a 1,50m do solo, de modo a não sofrer interferência da radiação terrestre.

Em conjunto com a etapa anterior, foram realizadas as identificações e análises dos sistemas atmosféricos atuantes no período analisado, por meio do gráfico de análise rítmica proposto por Monteiro (1971). Para tal, utilizou-se imagens do satélite GOES – 16 (canal 13) e as cartas sinóticas de superfície da Marinha do Brasil .

Por conseguinte, foram obtidos dados referentes à precipitação; temperatura do ar; umidade relativa; pressão atmosférica; direção do vento; velocidade do vento; e nebulosidade; oriundos da estação automática A707 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) , localizada no município de Presidente Prudente.

A fim de complementar e aumentar a acurácia dos dados obtidos, foram utilizados dados referentes à temperatura, precipitação e direção do vento, provenientes da estação automática da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) , localizada dentro da Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, Campus Presidente Prudente (FCT/UNESP).

A elaboração dos gráficos de análise rítmica, através do tratamento e tabulação dos dados em planilhas Eletrônicas, permitiu a identificação dos sistemas atmosféricos

atuantes junto aos elementos climáticos, para assim obter-se o ritmo climático e analisar a dinamicidade da atmosfera no recorte temporal.

Para a análise dos dados registrados em cada área estudada, foi calculada a intensidade de temperatura e umidade relativa do ar através da diferença dos dados de cada ponto em relação ao ponto 1 (representativo rural), determinado como o ponto de referência – por ser mais próximo às características naturais anteriores à ocupação antropogênica (AMORIM, 2020). Este procedimento permitiu padronizar a intensidade de temperatura dos três pontos distintos, em três horários específicos, referentes aos dois meses representativos da estação chuvosa e seca.

Por fim, foram elaborados painéis espaço-temporais de temperatura e umidade relativa do ar para cada mês, em três horários representativos do dia, às 9h, 15h e 21h, através do programa *Golden Software Surfer 11* (cedida sob a licença *WS-133852-p6ae*, aos Laboratórios da FCT-UNESP). A partir destes horários, foi possível analisar o período da manhã - aquecimento matutino, o período vespertino - maior incidência de raios solares durante o dia, e monitorar período noturno em relação a ocorrência das ICU noturnas.

Com as intensidades calculadas, foi possível observar a influência das características de cada área no microclima, baseado nas magnitudes da ICU a partir de Fernández García (1996), onde o mesmo definiu como fraca magnitude a ICU que apresenta intensidades de 0°C a 2°C; moderada magnitude de 2°C a 4°C; forte magnitude de 4°C a 6°C e muito forte magnitude quando superior a 6°C.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ano de 2021, em Presidente Prudente, foi extremamente seco, se comparado à série histórica de dados registrados a partir da estação meteorológica do INMET (A707), referente ao mesmo município. O total de precipitação acumulado deste referido ano foi de 823,4 milímetros(mm), sendo para os meses de análise: fevereiro – 42,6mm e julho – 2,8mm. Os valores históricos do ano de 1969 a 2015 para o município apresentam média anual de precipitação de 1318mm, sendo para a escala mensal: 180mm em fevereiro e 42mm em julho (TOMMASELLI, 2016).

Desta forma, foi aferida a ocorrência de precipitação no mês de fevereiro de 2021 (Figura 6) em apenas quatro dias, apesar de habitualmente ser considerado como representativo do período chuvoso em Presidente Prudente. Os sistemas atmosféricos predominantes foram, respectivamente, a Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt), a Massa Tropical Atlântica (Ta), a Massa Polar Atlântica (Pa), seguidas da Frente Polar Atlântica (FPA) e Repercussão da FPA. A maior ocorrência de sistemas polares gerou maior estabilidade atmosférica, justificando a baixa ocorrência de precipitação no mês.

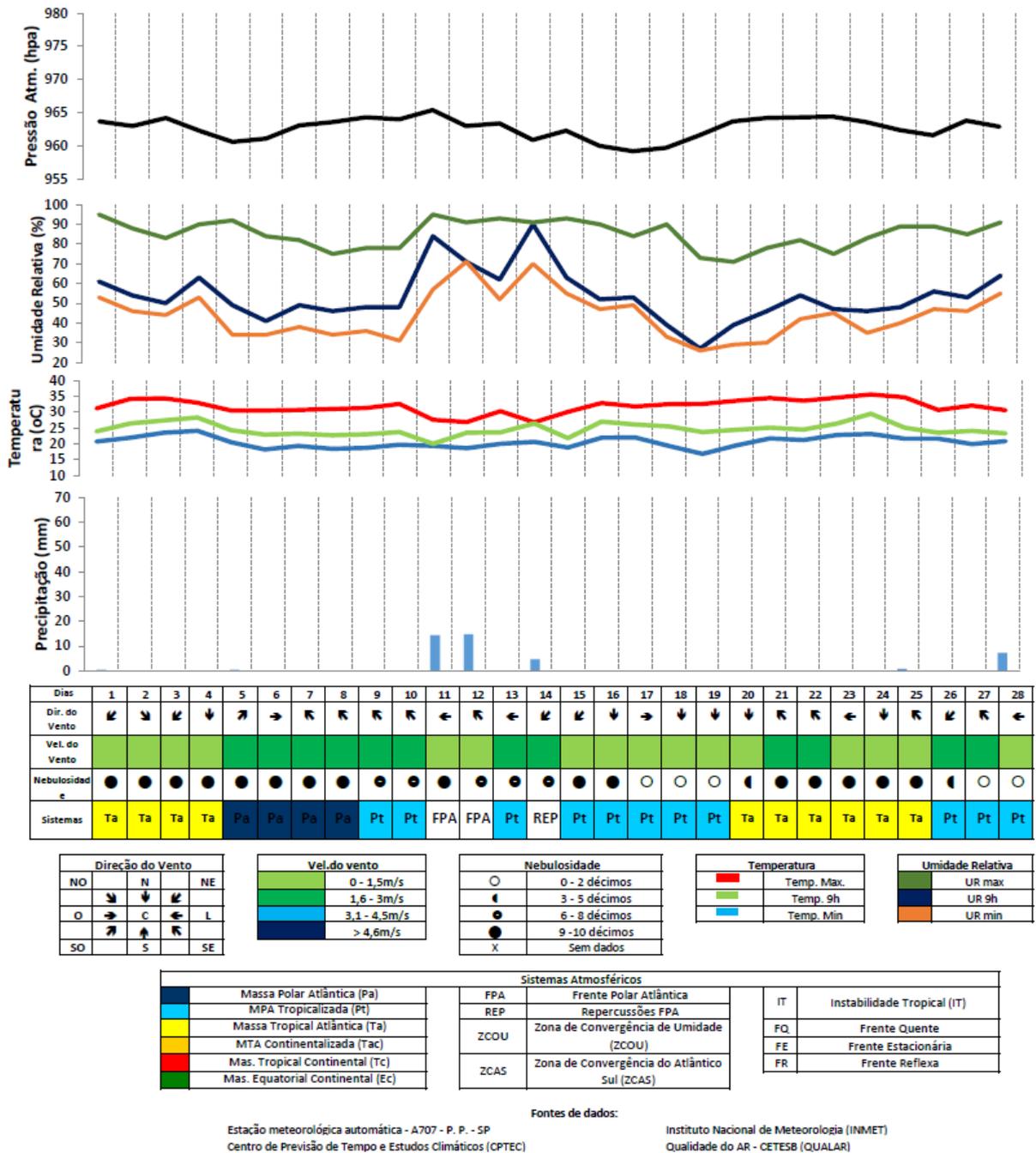


Figura 6: Gráfico de Análise Rítmica referente ao mês de Fevereiro de 2021 em Presidente Prudente (SP). **Fonte:** INMET; INPE; CETESB (2021). Elaborado pelos autores (2021).

A Pa tem seu deslocamento facilitado pela calha do relevo da bacia do Paraná, alcançando as mais baixas altitudes e atua sobre todo o centro, Sul e Leste do continente. Suas características térmicas e higrométricas são o frio e redução da umidade do ar e chuvas no centro do Brasil no período do inverno (NIMER, 1989). A Pt tem sua natureza secundária, com alteração permanente de suas características

originais (Pa), apresentando maior amplitude térmica nos dias de inverno e queda singela nos índices de UR.

O predomínio de estabilidade atmosférica nos traz uma observação bastante expressiva sob as dinâmicas microclimáticas de cada ponto estudado. Foram registradas diferenças consideráveis entre os pontos 1, 2 e 3, especialmente às 09h e 21h, sendo o ponto 2, mais ameno em relação a variação da temperatura do que o densamente construído, conforme observado nas Figuras 7 e 8.

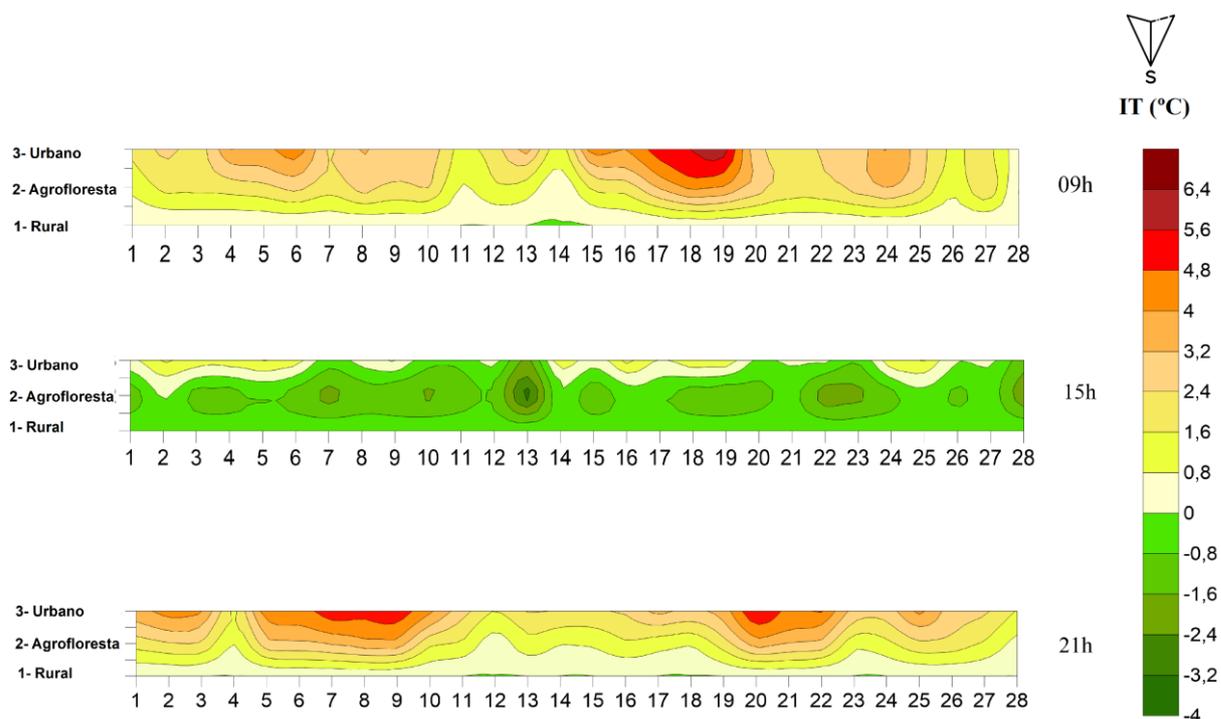


Figura 7: Variação espaço-temporal das diferenças da temperatura do ar em 3 pontos de Presidente Prudente em relação ao ambiente rural (ponto 1) no mês de Fevereiro de 2021.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

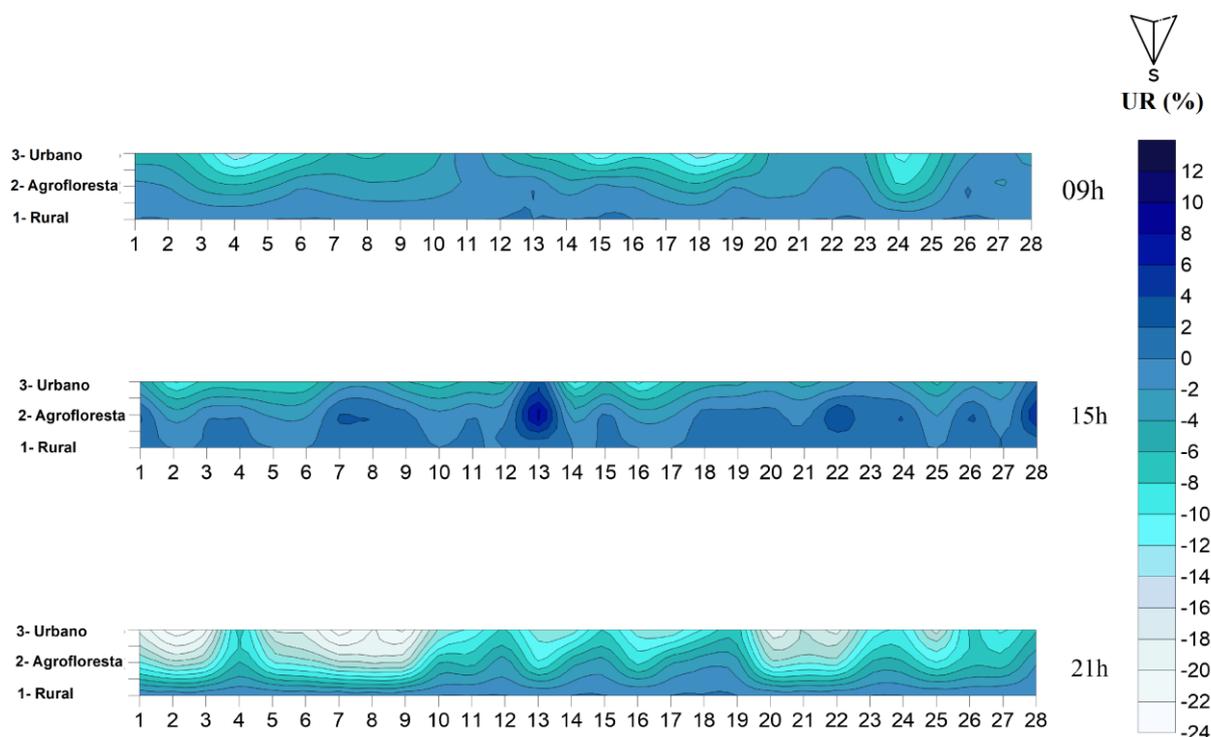


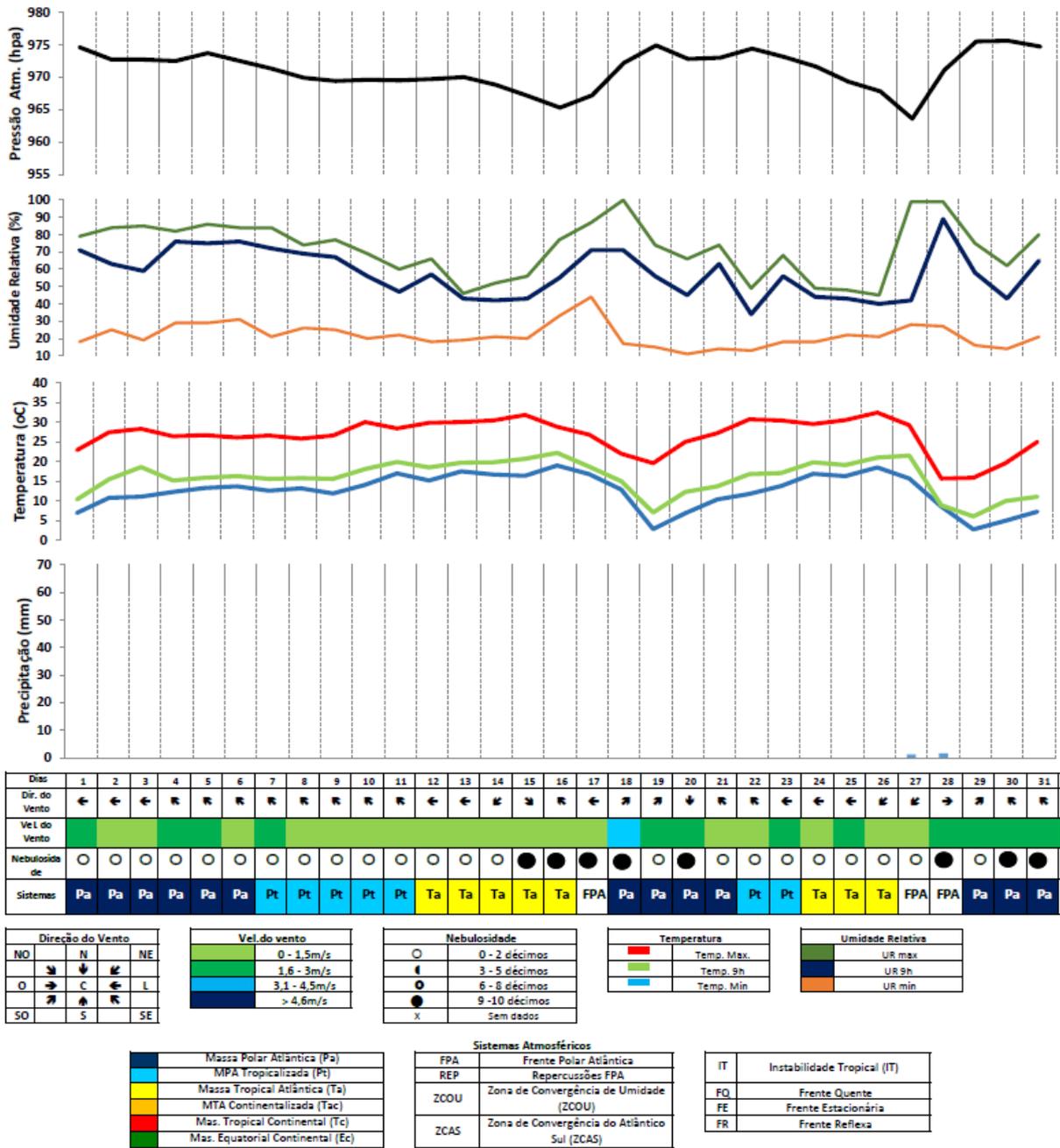
Figura 8: Variação espaço-temporal das diferenças da umidade relativa do ar em 3 pontos de Presidente Prudente em relação ao ambiente rural (ponto 1) no mês de Fevereiro de 2021. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2021).

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

Isso ocorreu devido à baixa precipitação, ocasionando uma proximidade da temperatura do ar entre o ponto rural e o agroflorestal. No período noturno foi evidente o papel da cobertura da terra, tanto para amenizar a temperatura do ar, quanto para aumentar os índices de umidade do ar.

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

No mês de julho de 2021 (Figura 9) predominou a Massa Polar Atlântica (Pa), seguida respectivamente da Massa Tropical Atlântica (Ta), Massa Polar Atlântica Tropicalizada (Pt) e Frente Polar Atlântica (FPA). Houve estabilidade atmosférica na maioria dos dias, devido a ocorrência dos sistemas estáveis (Pa, Ta, Pt).



Fontes de dados: Estação meteorológica automática - A707 - P. P. - SP Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) Qualidade do AR - CETESB (QUALAR)

Figura 9: Gráfico de Análise Rítmica referente ao mês de Julho de 2021 em Presidente Prudente (SP). **Fonte:** INMET; INPE; CETESB (2021). Elaborado pelos autores (2022).

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

Sob condições de estabilidade atmosférica, a manifestação da ICU_{atm} se tornou mais evidente (Figura 10). Porém, às 09h e 15h, foi registrada certa homogeneidade da temperatura entre o entorno rural e o urbano, com exceção do ponto 2, que apresentou maior intensidade ($^{\circ}C$) comparado aos outros dois pontos no período vespertino (dias 05/07; 06/07; 07/07; 08/07; 21/07). Isto ocorreu devido a presença de maiores intensidades da velocidade do vento, assim como a direção do quadrante do vento (Sudeste), que juntas, deslocaram os bolsões de ar quentes das parcelas norte e noroeste da cidade para o referido ponto, advindas de instabilidades pré-frontais, que antecedem a tomada da Pa.

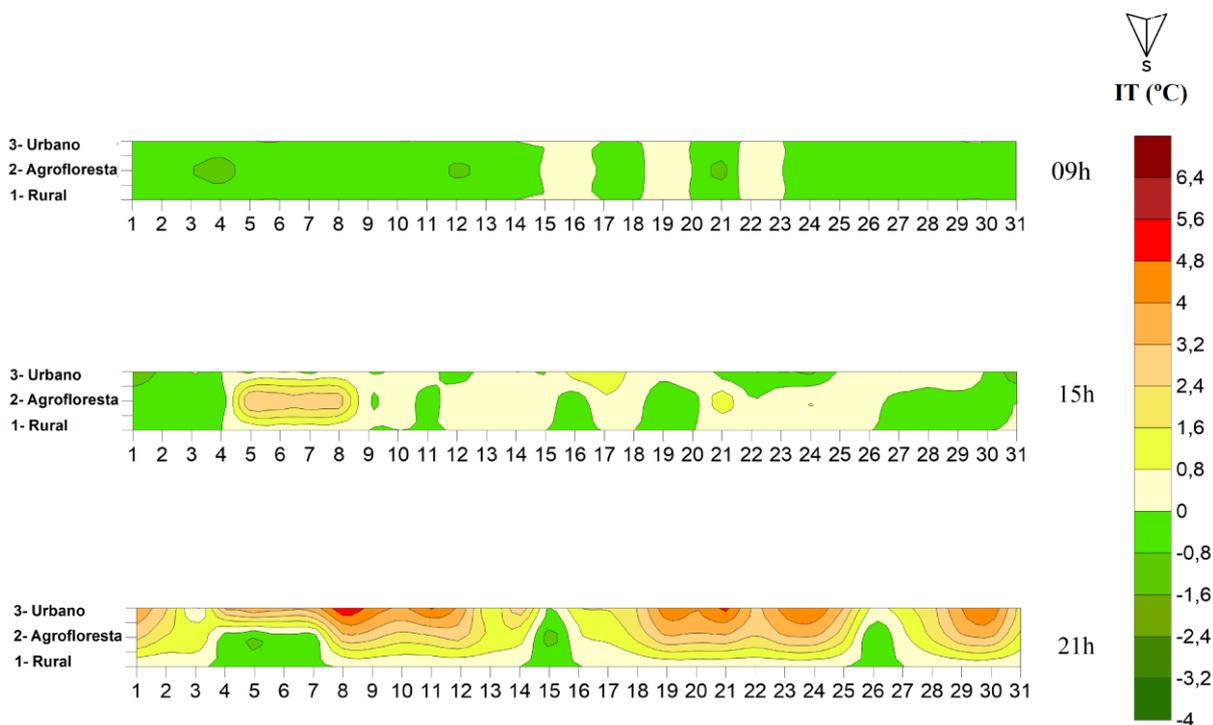


Figura 10: Variação espaço-temporal das diferenças da temperatura do ar em 3 pontos de Presidente Prudente em relação ao ambiente rural (ponto 1) no mês de Julho de 2021.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

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

Os índices de umidade relativa do ar confirmam a ocorrência da ICU noturna no mês de julho (Figura 11), tendo o ponto 1 apresentado maiores índices do que se comparado ao intraurbano. O efeito da vegetação na diminuição da temperatura e manutenção da umidade do ar é mais evidente durante o dia, mas também produz efeitos positivos decorrentes do menor armazenamento de calor durante o dia para ao período noturno. A diferença vegetativa não se restringe somente a temperatura do ar, mas também interfere na velocidade do vento, umidade do ar e na temperatura radiante (AMORIM, 2020).

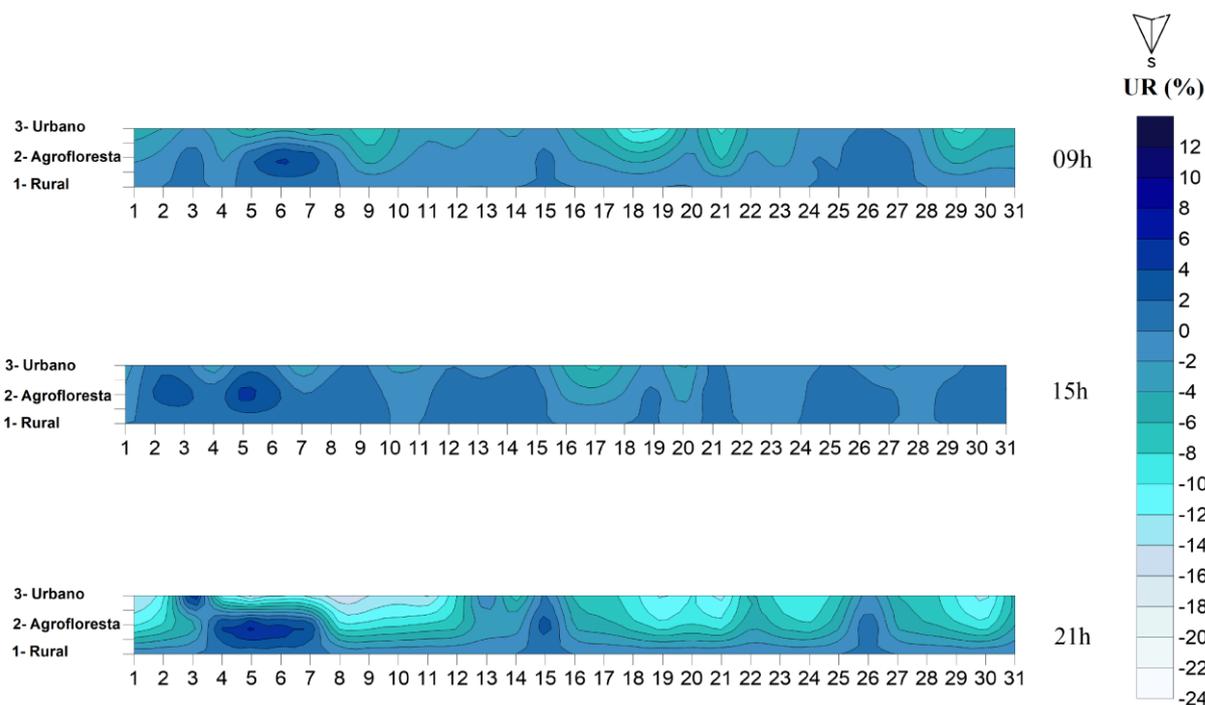


Figura 11: Variação espaço-temporal das diferenças da umidade relativa do ar em 3 pontos de Presidente Prudente em relação ao ambiente rural (ponto 1) no mês de Julho de 2021.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Observa-se as maiores intensidades da ICU atmosférica durante o período noturno (21h), particularmente nos dias sem precipitação, atrelado as maiores ocorrências e intensidades no inverno. Os sistemas atmosféricos instáveis que proporcionaram maior precipitação ou velocidade do vento nos meses de análise foram a FPA, Repercussão da FPA e Instabilidade Tropical, tendo as maiores intensidades das ICU atmosféricas, registradas sob a atuação de sistemas estáveis - Ta, Pa e Pt.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações humanas materializadas nos espaços urbanos e rurais proporcionam a alteração nos balanços energéticos e hídricos, que interferem nos elementos do clima urbano, como a temperatura. Tais transformações são capazes de produzir climas antrópicos, evidenciados através das anomalias em seus elementos, que por consequência, geram as ilhas de calor, afetando diretamente a dinâmica e qualidade de vida dentro das cidades.

A identificação dos sistemas atmosféricos atuantes, tal qual os dados mensurados pelos registradores automáticos, demonstraram através da análise rítmica e variações espaço-temporais a ocorrência de distribuição sazonal das temperaturas e umidade relativa do ar em Presidente Prudente.

A ausência de precipitação e nebulosidade combinada com os sistemas atmosféricos estáveis proporcionaram maiores diferenças entre o rural e o urbano, especialmente no período noturno, quando a ICU é mais evidente. Já no período com maior presença

de instabilidade atmosférica, associado a maior precipitação e nebulosidade, teve-se uma homogeneização das características da temperatura tanto no intraurbano quanto rural.

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

Portanto, pode-se afirmar que a vegetação é de extrema importância como regulador da umidade do solo e na amenização das altas temperaturas, contribuindo para o bem-estar da população. O processo de evapotranspiração ameniza as intensidades das ilhas de calor, ao retirar o calor sensível da atmosfera e transformá-lo em calor latente, ao mesmo tempo que o sombreamento proporcionado pela cobertura vegetal protege a superfície da incidência direta dos raios solares, mantendo o índice de umidade no solo e dificultando o armazenamento de calor pelos materiais urbanos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual Paulista (PROPe/UNESP) e Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica, do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) – processo número 3267/2021.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: William Miyakava, Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Metodologia: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim, William Miyakava.
Análise formal: William Miyakava, Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim.
Pesquisa: William Miyakava. **Recursos:** Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim, William Miyakava. **Preparação de dados:** William Miyakava. **Escrita do artigo:** William Miyakava. **Revisão:** Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim. **Supervisão:** Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim. **Aquisição de financiamento:** Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, N. C. R.; SANT'ANNA NETO, J. L. Condicionantes climáticos e interações por pneumonia: estudo de caso em Ribeirão Preto/SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 27, p. 1-20, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.503>. Acesso em: 7 jul. 2022.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. Curitiba: Appris, 2020. 161p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 179p.

CARDOSO, R. S.; DORIGON, L. P.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Assessment of Urban Heat Islands in Small- and Mid-Sized Cities in Brazil. **Climate**, v.5, n.14, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli5010014>. Acesso em: 20 jul. 2023.

CRUZ, G. C. F. **Clima urbano de Ponta Grossa-PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira**. 2009. 366f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de filosofia, Letras e Ciências humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Alimento para as cidades**. Roma: FAO, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/ak824pt/ak824pt00.htm>. Acesso em: 8 jul. 2022.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatologia aplicada: clima, médio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis, 1996.

FUSHIMI, M.; NUNES, J.R. GEOMORFOLOGIA DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP, BRASIL. **Revista Geográfica de América Central**, v.2, n.47, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2617>. Acesso em: 18 out. 2022.

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

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

HOBO DATA LOGGERS. **HOBO® Pro v2 (U23-00x) Manual**. Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/sites/default/files/resources-documents/10694-Q%20U23%20Manual.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

HOWARD, L. **The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis**. 1 ed. Londres: W. Phillips, George Yard, Lombard Street, 1818. Disponível em: <https://bit.ly/36xgABi>. Acesso em: 28 set. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938&t=resultados>. Acesso em: 07 jul. 2023.

- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. Editora Hucitec com apoio de Lalekla S.A. Comércio e Indústria, 1985. 244p.
- MENDONÇA, F. de A. RISCOS E VULNERABILIDADES SOCIOAMBIENTAIS URBANOS: a contingência climática. **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 153-163, 2011. ISSN 1984-2201. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/538>. Acesso em: 07 jun. 2023.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. Climatologia. São Paulo: USP/IGEOG, n. 1, 1971.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série teses e monografias, n. 25).
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. Urban heat island. *In*: OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. p. 197-237.
- ROMERO, H. Urban Climates and the Challenge of Sustainable Development of Chilean Cities. *In*: HENRÍ QUEZ, C., ROMERO, H. (eds). **Urban Climates in Latin America**. Suíça: Springer, 2019. p. 207-256.
- SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2009.
- SANT'ANNA NETO, J. L. Desafios da climatologia geográfica no Brasil: da competência técnica ao compromisso social. *In*: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org.). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**. 1ed. Dourados: Editora da UFGD, v. 1, p. 13-38, 2012.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. São Paulo: Hucitec, 2006. 260p.
- SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Seade Municípios**. São Paulo: SEADE, 2023. Disponível em: <https://municipios.seade.gov.br/>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- SILVA, G. H. P. **A agricultura urbana/periurbana e sua interferência nas características térmicas e higrométricas de Álvares Machado - SP**. Monografia (Bacharel em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2018.
- SILVA, G. H. P. **Os efeitos de áreas agrícolas urbanas na intensidade das ilhas de calor em Florianópolis - SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.
- TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP). **Geografia**, v.2, n.4, p. 59-80, 1977. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/14785>. Acesso em: 02 set. 2021.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano das cidades de pequeno porte do Oeste Paulista: análise das características térmicas de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, n. 18, p. 753–776, 2022.. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15396>. Acesso em: 20 jul. 2023.

TOMMASELLI, J. T. G. **Sinopse climática de Presidente Prudente - SP para o ano de 2015**. [S. l.: s. n.], 2016. Relatório técnico.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0