

# ANÁLISE DA ILHA DE CALOR ATMOSFÉRICA EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP) EM DIAS DE OCORRÊNCIA DE ONDA DE FRIO (JUNHO-JULHO DE 2021)

Gustavo Henrique Pereira da Silva <sup>1</sup>  
Danielle Cardozo Frasca Teixeira <sup>2</sup>

## RESUMO

O presente estudo analisou a ilha de calor urbana da camada inferior da atmosfera durante um evento de onda de frio em Presidente Prudente. O índice CSDI foi utilizado para delimitação de um limiar de temperatura mínima e para a identificação da ocorrência e duração do evento climático. Durante os meses de junho e julho de 2021, foi observada uma onda de frio em Presidente Prudente, atuante do dia 28/06/2021 até 04/07/2021, com o dia 30 de junho registrando a temperatura mínima mais baixa. Nesse período, também foi observada uma intensa ilha de calor urbano, com magnitude muito forte de 10,3°C de diferença entre os pontos fixos urbano e rural. A menor magnitude nesse período foi de -2,7 °C, na qual a ilha de frescor potencializou o efeito de frio. A ocorrência da onda de frio foi associada à atuação de uma frente polar atlântica com a posterior entrada da massa polar atlântica. Os resultados do estudo confirmam o perfil clássico das ilhas de calor urbano, com temperaturas homogeneizadas durante o dia e diferenciação durante a noite. O estudo ressalta a importância de compreender e monitorar eventos extremos de temperatura devido aos seus possíveis impactos na sociedade e no ambiente urbano.

**Palavras-chave:** Ilha de calor urbana, Onda de frio, Clima urbano, Presidente Prudente.

## RESUMEN

El presente estudio analizó la isla de calor urbana de la capa inferior de la atmósfera durante un evento de ola de frío en Presidente Prudente. El índice CSDI fue utilizado para delimitar un límite mínimo de temperatura e identificar la presencia y duración del fenómeno climático. Durante los meses de junio y julio de 2021, fue observada una ola de frío en Presidente Prudente, actuante del día 28/06/2021 hasta 04/07/2021, con el día 30 de junio registrando la temperatura mínima más baja. En ese período, también fue observada una intensa isla de calor urbano, con magnitud muy fuerte de 10,3°C de diferencia entre los puntos fijos urbano y rural. La menor magnitud en ese período fue de -2,7 °C, en la cual la isla de frescura potencializó el efecto de frío. La aparición de la ola de frío se asoció con la actuación de un frente polar atlántico con la posterior entrada de la masa polar atlántica. Los resultados del estudio confirman el perfil clásico de las islas de calor urbano, con temperaturas homogeneizadas durante el día y diferenciación durante la noche. El estudio destaca la importancia de comprender y monitorear eventos extremos de temperatura debido a sus posibles impactos en la sociedad y el ambiente urbano.

**Palabras clave:** Isla de calor urbano, Ola de frío, Clima urbano, Presidente Prudente.

<sup>1</sup> Doutorando em Geografia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente, [gustavo.silva@unesp.br](mailto:gustavo.silva@unesp.br);

<sup>2</sup> Docente do Departamento de Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente, [danielle.frasca@unesp.br](mailto:danielle.frasca@unesp.br).

As ondas de frio (Odf) e de calor (Odc), além de extremos de precipitação são admitidos enquanto manifestação das mudanças climáticas hodiernas, destacando-se pela recorrência e que, portanto, caracterizam fenômenos climáticos que merecem atenção científica em função dos fatores ambientais de risco para a saúde humana (Masselot *et al.*, 2023). Em escala local, as ilhas de calor urbanas (ICU) também são vislumbradas como manifestações da interferência humana na superfície e atmosfera das cidades enquanto alterações e mudanças climáticas (IPCC, 2021), que impactam o conforto térmico humano (Monteiro, 2015).

Sumariamente, eventos extremos são entendidos como condições que se manifestam fora do padrão habitual, quando se identificam valores acima ou abaixo dos desvios através de tratamento estatístico (Mendes; Armond; Silva, 2022). Caracterizam-se por uma sequência variável entre dois, seis ou mais dias que registram a temperatura máxima do ar ou a temperatura mínima do ar com valores acima ou abaixo dos valores de referência (Alves *et al.*, 2020).

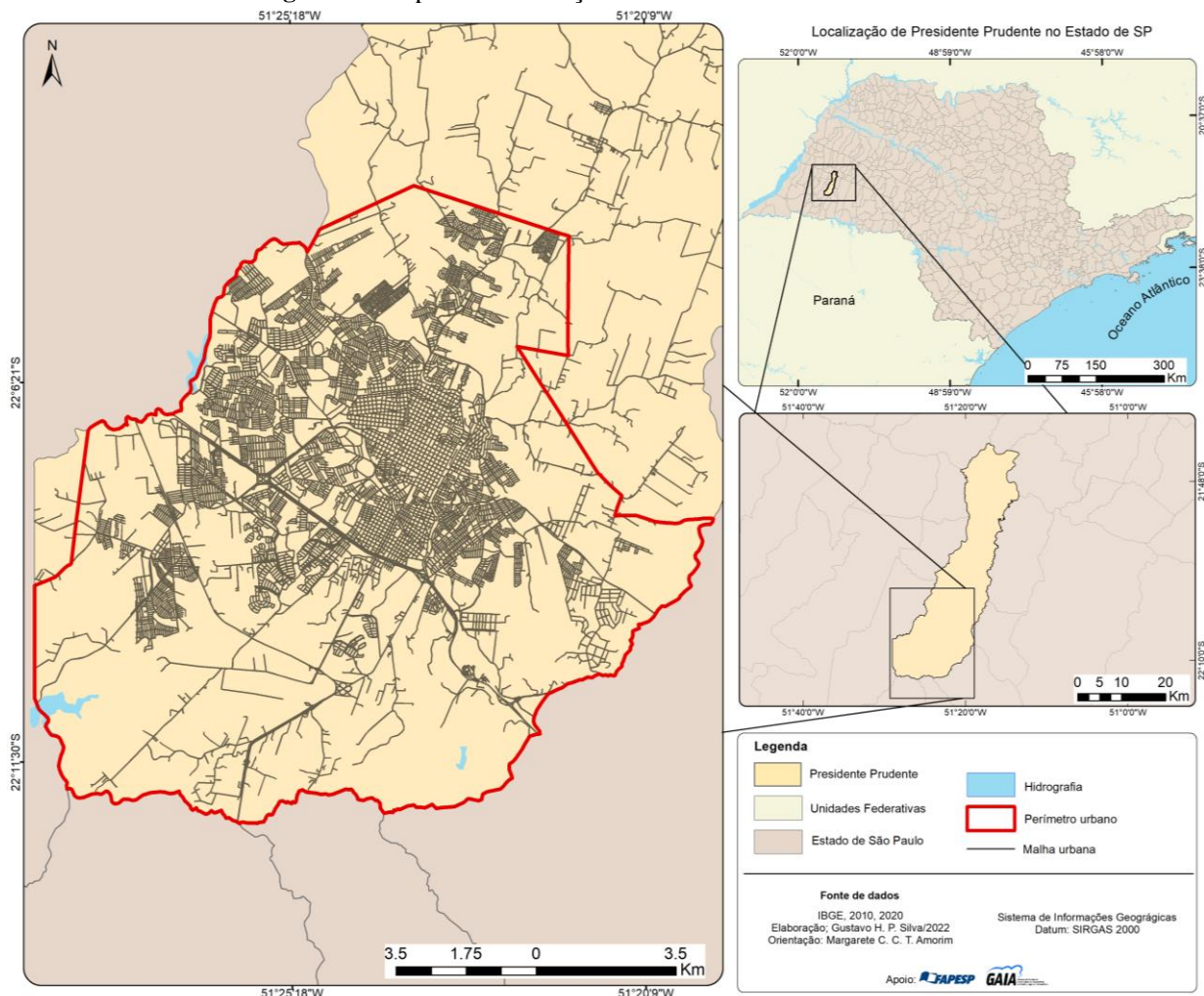
A previsão da ocorrência de fenômenos climatológicos como as ondas de frios mostra-se importante, mas insuficiente no enfrentamento dos impactos socioambientais decorrentes (Marandola Jr., 2013), notadamente no ambiente tropical onde as possibilidades de governança antecipatória e adaptação climática das cidades no panorama das mudanças climáticas não bem definidas (Di Giulio *et al.*, 2017; Travassos *et al.*, 2020).

Destacando-se a cidade de Presidente Prudente como recorte territorial (Figura 1), onde já se reconhece efeitos das ICU atmosféricas e superficiais que impactam a vida dos cidadãos conforme a vulnerabilidade social (Teixeira; Ortiz-Porangaba, 2021), o presente estudo se dedicou à análise da ICU da camada inferior da atmosfera (Oke *et al.*, 2017) durante o extremo climático caracterizado pela onda de frio documentada nos meses de junho e julho de 2021 (INMET, 2021), articulando as escalas regional e local do clima (Sant'anna Neto, 2012).

Com uma população de 225.668 habitantes (IBGE, 2023), Presidente Prudente é uma cidade de porte médio localizada no extremo Oeste do estado de São Paulo. Além disso, ocupa uma posição significativa na hierarquia e nos vínculos entre as cidades da região (IBGE, 2020).



Figura 1 - Mapa de localização de Presidente Prudente - SP



No quadro climático regional, Presidente Prudente se encontra submetida ao tipo climático anual (TCA) do tipo “A” (tropical), com predomínio do Aw, clima tropical com verão quente e chuvoso, conforme a proposta dos tipos de clima do Brasil elaborada por Dubreuil *et al.* (2019).

Observam-se duas estações bem definidas: o verão, com maiores totais pluviométricos decorrentes da atuação de sistemas atmosféricos frontais e o predomínio de temperaturas médias mais elevadas resultantes da atuação da Ta; e o inverno, caracterizado por temperaturas mais amenas, devido à penetração de sistemas atmosféricos de origem polar (Sant’anna Neto; Tommaselli, 2009).



## REFERENCIAL TEÓRICO

Os eventos de ondas de calor e de frio estão entre os extremos climáticos mais frequentes de tempo atmosférico (Mendes; Armond; Silva, 2022), sendo então necessária a sua abordagem.

Para Presidente Prudente, Fante (2019) explorou um conjunto de índices para a verificação da ocorrência de Odf e Odc, no período de 1961 a 2016, incluindo o índice de CSDI para OdF. A autora demonstrou que determinadas técnicas se sobressaem pelo elevado número de ondas identificadas, o que demonstra a diversidade de metodologias que podem ser aplicadas a depender do objetivo de pesquisa.

Por mais que haja diversidade de técnicas para cálculo das OdF e OdC, é fundamental considerar limiares que captam as condições climáticas regionais e locais, em vez de valores arbitrários, como, por exemplo, limites de temperatura pré-estabelecidos. Os índices baseados em percentis são uma possibilidade, pois permitem verificar a ocorrência de eventos que excedem um limite relativo à área de interesse (Perkins; Alexander, 2013).

Em cidades de porte médio localizadas em ambiente tropical, como é o caso de Presidente Prudente, fenômenos como as ilhas de calor urbanas configuram-se como um importante fator de interferência no conforto térmico, especialmente relacionado ao aumento da temperatura. Tais fenômenos podem ser mais significativos durante a ocorrência de Odf e Odc, seja por anular, reforçar ou amenizar seus efeitos.

Dentre os efeitos do clima urbano, as ilhas de calor destacam-se e resultam da interação de fatores humanos e ambientais. Segundo Oke (2017), o ar no dossel urbano tende a ser mais quente do que sua área circunvizinha urbana e não urbana. Sua formação está relacionada à capacidade de absorção e retenção da radiação solar pelos materiais predominantes nas cidades (Gartland, 2011). Isso resulta em temperaturas mais elevadas na cidade no período noturno, exigindo mais tempo para resfriamento em comparação com áreas rurais e locais cobertos por vegetação, que apresentam temperaturas mais amenas (Amorim, 2020).

## METODOLOGIA

Inicialmente o estudo exigiu a caracterização do extremo climático OdF. Para essa pesquisa foi adotada a técnica do CSDI, que é um índice proposto pelo Grupo de Especialistas em Detecção de Mudanças Climáticas e Índices (ETCCDI) e define um episódio de OdF como a ocorrência de pelo menos 6 dias consecutivos em que a TN esteja abaixo do 10º percentil (TN





< 10° percentil). Esse índice se encontra largamente utilizado na literatura, juntamente com o índice WSDI (para OdC) (Alexander *et al.*, 2006; Donat *et al.*, 2013; Sillmann *et al.*, 2013; Fante, 2019; Dunn *et al.*, 2020) e possui a vantagem de usar limiares baseados em percentis em vez de um valor absoluto, permitindo verificar a ocorrência de eventos que excedem um limite relativo à área de interesse (Perkins; Alexander, 2013).

Segundo Fante (2019) o valor do 10° percentil do índice de CSDI é de 13,2 °C para Presidente Prudente. Em seu trabalho a autora comparou várias técnicas de análise de ondas de calor e de frio para uma série histórica de 55 anos de dados meteorológicos (1961 – 2016), no qual definiu limiares para cada um dos procedimentos avaliados.

De modo a identificar a ocorrência de OdF no período de estudo proposto (junho e julho de 2021) foram coletados os dados de temperatura mínima diários da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET A707) localizada em Presidente Prudente, para os quais, posteriormente, se aplicou o limiar de CSDI.

Por meio da coleta dos demais dados meteorológicos disponíveis no banco de dados da estação automática, das cartas sinópticas da Marinha do Brasil e das imagens do satélite GOES-16 disponibilizadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), foi possível realizar por meio da técnica da análise rítmica (Monteiro, 1971) a identificação e análise dos tipos de tempo atuantes na janela de observação em nível de detalhamento diário, com ênfase na identificação dos sistemas atmosféricos atuantes e os controles exercidos sobre o comportamento da ICU.

Para integrar a escala regional com a a escala local no período de observação climática, as ilhas de calor atmosféricas foram monitoradas no nível da camada inferior na atmosfera, tratando-se, portanto, do ar comprometido pela interferência urbana (Amorim, 2020; Monteiro, 1990). A partir de um ponto de localização em área densamente construída e outro de referência rural, os dados foram registrados utilizando-se de sensores do tipo *data logger* (U23-002), marca HOBO, protegidos por abrigo RS3 também da marca HOBO. Os sensores foram programados para registro da temperatura do ar a cada 10 minutos, para que no final de uma hora fosse possível ter o registro da temperatura média, máxima e mínima do horário. Tomando-se as temperaturas médias de cada hora, as intensidades da ICU foram calculadas conforme a proposta de Fernández García (1996). Como forma de tratamento e exibição do resultados, optou-se pelo painel espaço-temporal que a partir de uma superfície estatística (Z) demonstra as diferenças assumidas nas 24 horas por dia observado.

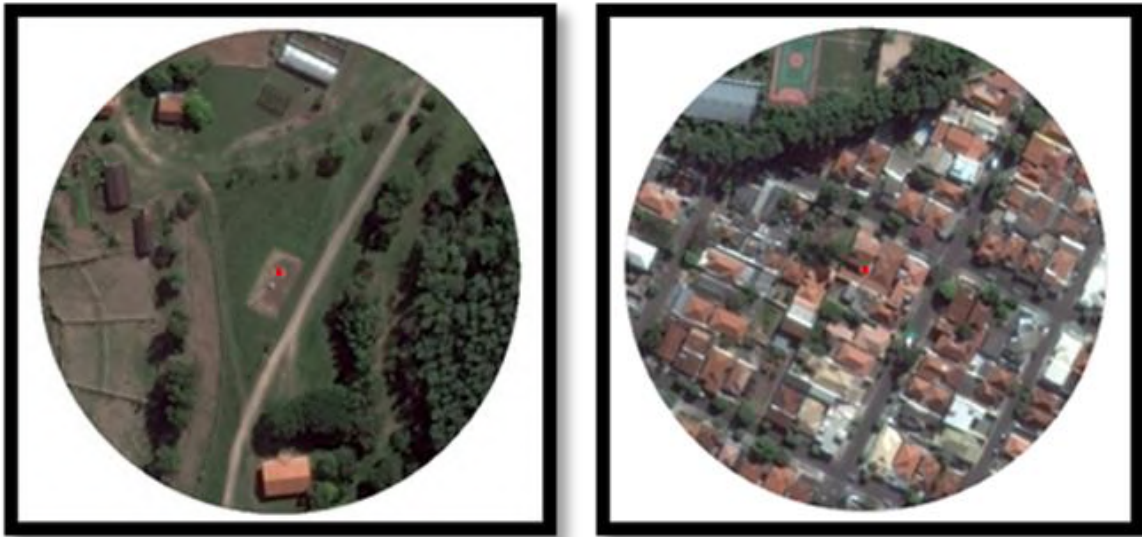
- Cálculo da intensidade da ICU tomando-se por base um ponto urbano e um ponto rural, ar comprometido (ICUucl).

$$\Delta = \text{Temperatura urbana } ^\circ\text{C} - \text{Temperatura rural } ^\circ\text{C}$$

**Figura 2:** Detalhamento dos pontos rural e urbano com 100 metros de raio.

Figura A – Ponto rural

Figura B – Ponto urbano



Fonte: Adaptado de Amorim (2020).

De modo a avaliar o conforto térmico na área de estudo, foi empregado o índice proposto por Thom (1959), adaptado para o ambiente tropical, como encontrado nos trabalhos de Funari (2006) e Milani (2022). Este índice fornece um indicador das condições e faixas de conforto ao considerar os elementos temperatura e umidade relativa do ar, como apresentado na equação 1.

$$THI = Ts - (0,55 - 0,0055 \times UR) \times (Ts - 14,5) \quad (1)$$

Onde:

THI: Índice de temperatura e umidade.

Ts: Temperatura do ar de bulbo seco.

UR: Umidade relativa do ar.

O índice THI foi aplicado aos dados registrados no ponto urbano, de forma a ser representativo da realidade urbana local.

## **RESULTADO E DISCUSSÃO**

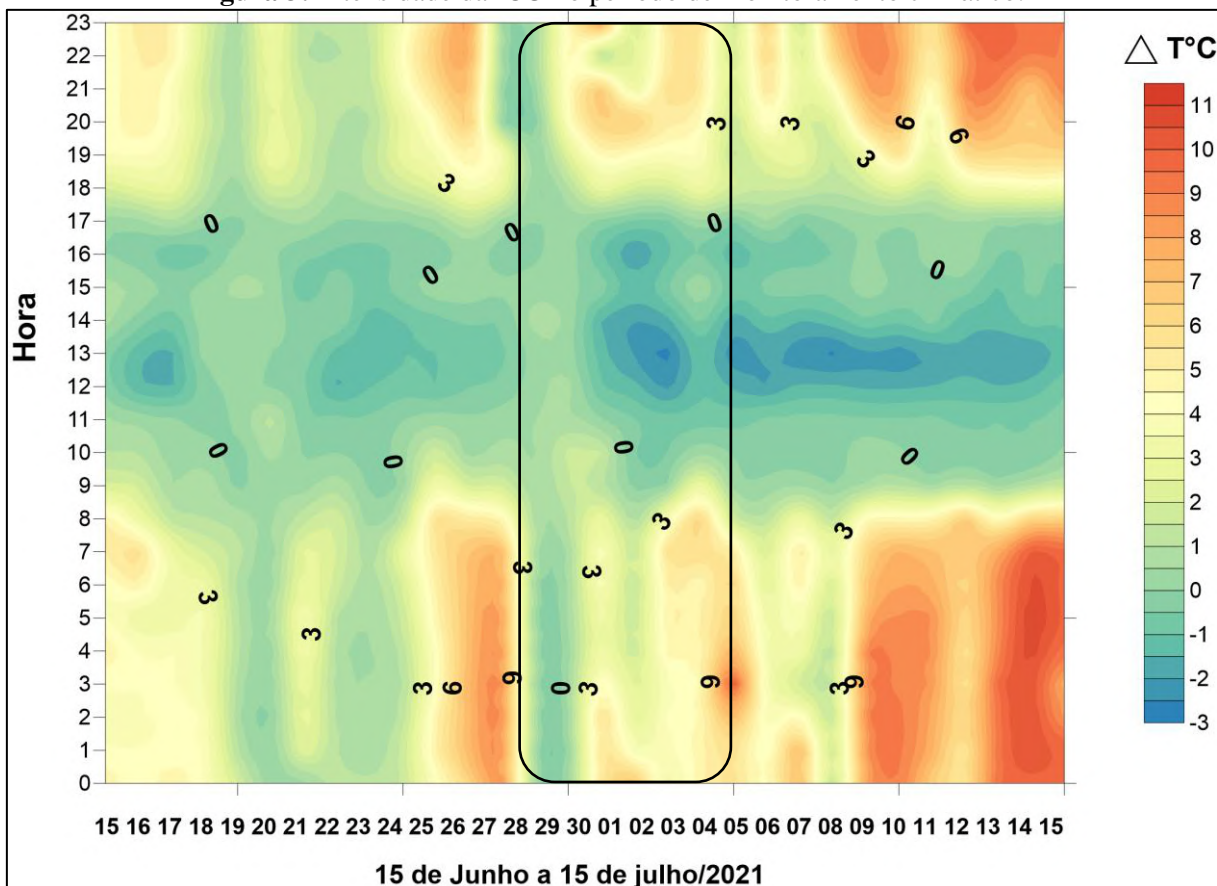
Fante (2019) revela que o período de ocorrência de ondas de frio na cidade é muito marcado durante o ano, com percentual acima de 84% durante o inverno, tendo em vista o índice de CSDI. A autora identificou uma maior ocorrência de ondas de frio nas décadas de 1970 e 1980 e uma diminuição nas últimas décadas. Em contrapartida, Fante (2019) observou uma maior ocorrência de ondas de calor a partir dos anos 2000, notadamente entre os meses de fevereiro e abril.

Considerando o limiar de  $13,2^{\circ}\text{C}$ , foi identificada a presença de uma onda de frio entre os meses de junho e julho de 2021. A Odf se iniciou no dia 28/06/21 e se estendeu por 7 dias (até 04/07/21), sendo sua maior intensidade observada no dia 30/06/21, com  $2,3^{\circ}\text{C}$ , que foi registrado às 5h, horário local. Este também foi o dia mais frio do ano e uma das menores temperaturas mínimas registradas no século XXI para a área de estudo. Durante o extremo climático, a ICU atingiu uma magnitude muito forte com o registro de  $10,3^{\circ}\text{C}$  de diferença entre os pontos fixos. A menor magnitude encontrada no período da Odf foi de  $-2,7^{\circ}\text{C}$ , uma ilha de frescor que potencializou o efeito do frio.

As maiores intensidades da ICU foram registradas no período noturno, entre as 18h e 6h, o que corrobora com os resultados obtidos por Amorim (2020), apresentando magnitudes classificadas como forte (entre  $4^{\circ}\text{C}$  e  $6^{\circ}\text{C}$ ) e muito forte (acima de  $6^{\circ}\text{C}$ ), o que possivelmente interferiu na ocorrência de noites mais aquecidas (Figura 3).



**Figura 3:** Intensidade da ICU no período de monitoramento climático.



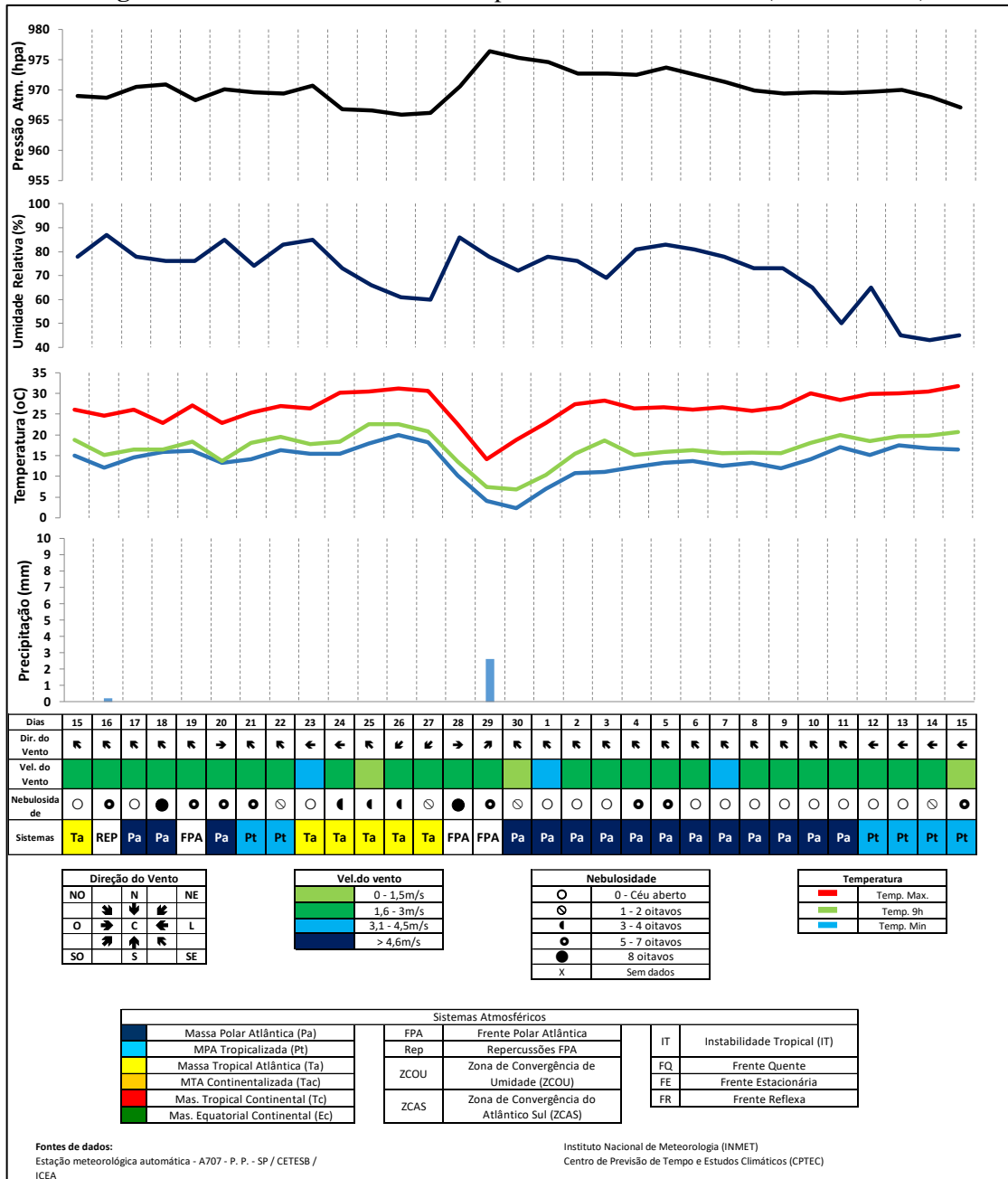
Fonte: Elaboração própria

A ocorrência da Onda de Frio esteve associada à atuação de uma Frente Polar Atlântica no dia 28/06, com posterior entrada da Massa Polar Atlântica que esteve fortemente atuante entre os dias 29/06 e 04/07, ao conservar suas características polares e promover o declínio das temperaturas e aumento da pressão atmosférica. Os resultados convergem com os trabalhos de Amorim (2020), que diagnosticou as maiores magnitudes da ICU sob ação da Massa Polar Atlântica (Figura 3).





**Figura 3:** Gráfico de Análise rítmica para Presidente Prudente (15/06 a 15/07)

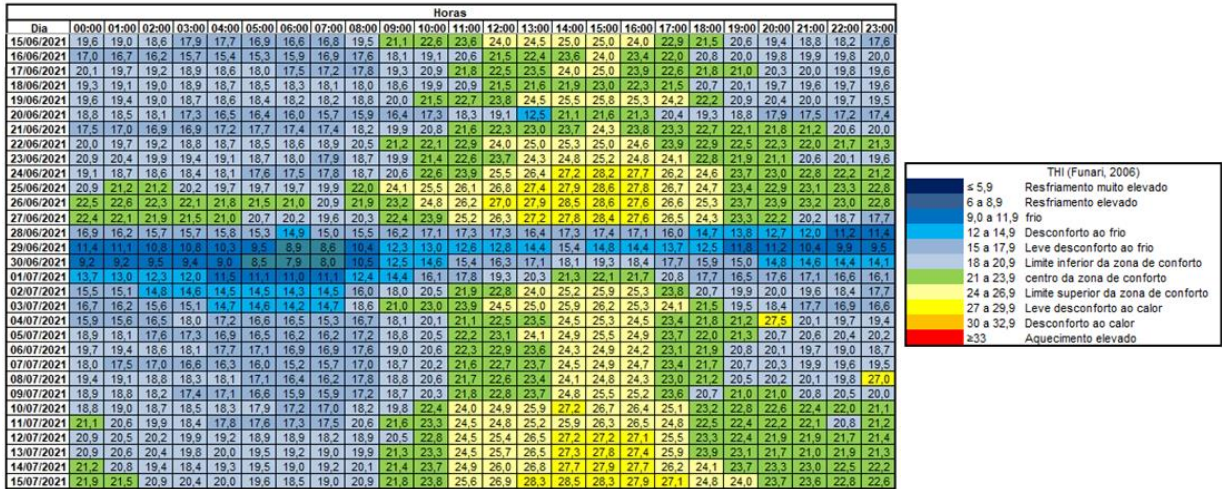


Fonte: Elaboração própria (2023)

Ao verificar as faixas de conforto térmico apresentados na Figura 4, verificou-se que os dias de monitoramento foram marcados pelo comprometimento do conforto térmico, especialmente nos períodos da manhã e noite. Notadamente nos dias de ocorrência de OdF (28/06/21 a 04/07/21), caracterizaram-se as classes “resfriamento elevado, frio e desconforto pelo frio”. Nessas condições o efeito de  $ICU_{ucl}$  foi anulado. O período da tarde apresentou-se mais próximo do centro da zona de conforto. Nesse sentido, constatou-se o efeito benéfico da ICU no período noturno conforme Gartland (2011).



**Figura 4:** Faixas de conforto térmico (THI) conforme Funari (2006).



Fonte: Elaboração própria

Decorrido o período OdF, a partir do dia 02/17/21, no período vespertino, quando ocorre o pico da insolação, os valores de temperatura passaram a atingir o limite superior da zona de conforto, mas as noites ainda permaneceram desconfortáveis para o frio, com temperaturas que se situaram fora da zona de conforto.

Esses resultados comprovaram que, mesmo por curtos períodos, o desconforto térmico causado por frio é vivenciado no ambiente tropical, podendo afetar a saúde e a vida humana. Isso demanda medidas adaptativas, especialmente para a população mais vulnerável aos efeitos do clima.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de extremos de temperatura apresentam grande relevância para o campo da Climatologia Urbana ao permitir a identificação de diferentes aspectos das componentes termodinâmicas. O presente trabalho, ao propor a análise da ICU sob ocorrência de uma onda de frio, permitiu associar um fenômeno de recorrência na área de estudo, notadamente diagnosticado em trabalhos como Amorim (2020) e Cardoso (2022) a um evento climático extremo que são as ondas de frio, que podem ocasionar diferentes impactos do ponto de vista socioespacial (Mendes; Armond; Silva, 2022) e em diferentes setores da sociedade (Teixeira; Ortiz-Porangaba, 2021).

No Brasil, onde cerca de 85 % da população habita em área urbanas, chegando a 93% na região sudeste do país (IBGE, 2016), as cidades devem ser o foco de engajamento ao considerar a ocorrência de extremos climáticos. São esses espaços que concentram as áreas



mais suscetíveis aos impactos mais severos dos efeitos do clima (DI GIULIO *et al.* 2019). Esses impactos tendem a exacerbar os riscos que já estão presentes nas cidades brasileiras e expõem deficiências na capacidade dos governos locais na abordagem de problemas de infraestrutura e fornecimento de serviços públicos.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - processo: 2020/14778-7; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. V. *et al.* Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 111, n. D5, 2006. DOI: 10.1029/2005JD006290. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2005JD006290>. Acesso em: 1 abr. 2023.

ALVES, M. P. A. *et al.* . Reconstrução de dados e detecção de ondas de calor e de frio no Porto e concelhos vizinhos – Portugal. **Territorium**, n. 27(II), p. 49–66, 2020. DOI: 10.14195/1647-7723\_27-2\_5.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020.

DI GIULIO, G. M. *et al.* Mudanças climáticas, riscos e adaptação na megacidade de São Paulo, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**. V. 8, n.2, p. 75-87, 2017.

DI GIULIO, G. M., *et al.* Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no estado de são paulo. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019.

DONAT, M. G. *et al.* Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 5, p. 2098–2118, 2013. DOI: 10.1002/jgrd.50150.

DUBREUIL, V. *et al.* Climate change evidence in Brazil from Koppen's climate annual types frequency. **International Journal of Climatology**, 39, p. 1446–1456, 2019.

DUNN, Robert J. H. *et al.* Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, n. 16, p. e2019JD032263, 2020. DOI: 10.1029/2019JD032263.





FANTE, K. P. **Eventos extremos de temperatura e seus impactos no conforto térmico humano**: estudo de caso em Presidente Prudente, Brasil, na perspectiva da geografia do clima. 327f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP, Presidente Prudente, 2019.

FUNARI, F. L. **O índice de sensação térmica humana em função dos tipos de tempo na região metropolitana de São Paulo**. Tese (doutorado em geografia) FFLCH – USP. São Paulo, 2006.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões de Influência das Cidades**: 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). [Notas Técnicas]. [2023]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas#> Acesso em 10 abr. 2023

IPCC AR6, Summary for policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. MassonDelmotte, V. P. et al. Cambridge University press. In press, 2021.

MARANDOLA Jr., E. As escalas da vulnerabilidade e as cidades: interações trans e multiescalares entre variabilidade e mudança climática. In: OJIMA, R; MARANDOLA Jr, E. (Org.). **Mudanças climáticas e as cidades**: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social. São Paulo: Blucher, 2013, p.93-113.

MASSELOT, P. *et al.* Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. **Lancet**: planet healthy, 2023.

MENDES, J. V.; ARMOND, N. B.; SILVA, L. C. B. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro – RJ (2015 - 2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 133–155, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.14908.

MILANI, T. S. **Ilhas de calor e conforto térmico em conjuntos habitacionais construídos pela companhia de desenvolvimento habitacional e urbano (CDHU) em Martinópolis-SP (Brasil)**. 154f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP, Presidente Prudente, 2022.

MONTEIRO, C. A. F. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, São Paulo, n. 1, p. 1–21, 1971.

OKE, T. R. *et al.* Urban climates. Cambridge University Press, 2017.





PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the Measurement of Heat Waves. **Journal of Climate**, v. 26, n. 13, p. 4500–4517, 2013. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00383.1.

SANT'ANNA NETO, J.L. **Escalas geográficas do clima**: Mudança, variabilidade e Ritmo. *In*: AMORIM, M.C.C.T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A (orgs). *Climatologia urbana e regional: Questões teóricas e estudos de caso*. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 75-91.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. O tempo e o clima de Presidente Prudente. *Presidente Prudente: FCT/UNESP*, 2009.

SILLMANN, J. *et al.*. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 6, p. 2473–2493, 2013. DOI: 10.1002/jgrd.50188.

TEIXEIRA, D.C.F; ORTIZ PORANGABA, G. F. Risco e vulnerabilidade socioambiental à temperatura da superfície em áreas urbanas do ambiente tropical continental: o caso de Presidente Prudente (SP) e Três Lagoas (MS). *In*: XIV Enanpege, 2021, Campina Grande. *A Geografia que fala ao Brasil: Ciência Geográfica na Pandemia Ultraliberal*. Campina Grande: Realize, 2021. p. 1-17.