

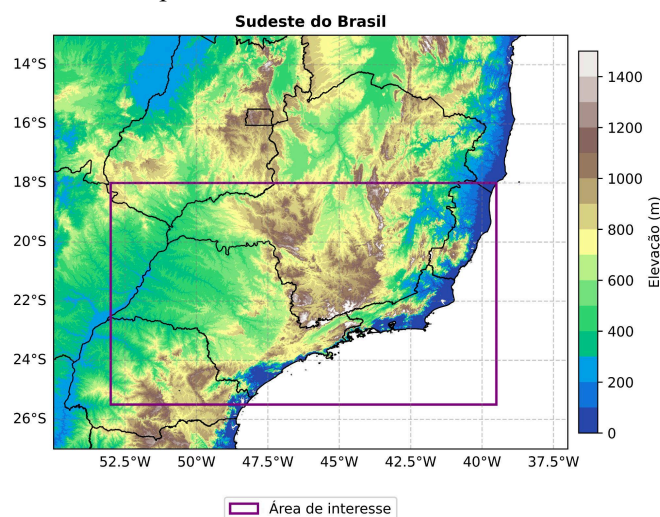
**ESTUDO DAS ONDAS DE CALOR NO SUDESTE DO BRASIL ENTRE 1980 A 2025**Isabelly Bianca dos Santos Gomes<sup>1</sup> (IC), Michelle Simoes Reboita (PQ)<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá**Palavras-chave:** Climatologia. Extremo. Ondas de Calor. Percentil. Temperatura.**Introdução**

O aumento das emissões de gases de efeito estufa é responsável pelo aumento da temperatura média global, resultando em diversas alterações no sistema climático. Entre essas mudanças, destacam-se as modificações nas características espaço-temporais das ondas de calor (OC), como sua duração, frequência e intensidade (Reboita et al., 2022; Roffe; Walt, 2022). No contexto brasileiro, episódios de alta pressão anômalos sobre as regiões Sul e Sudeste têm contribuído para a ocorrência de OC (Geirinhas et al., 2018).

Não há um critério único para a identificação das OC, o que resulta em diferentes metodologias (OMM, McGregor et al., 2015). De forma geral, esses eventos são descritos como períodos em que as temperaturas ficam acima de determinado limiar por vários dias consecutivos. Em diversos estudos, esse limiar é associado a diferentes variáveis, como a temperatura máxima (Tmax) (Tong et al., 2010b; Bitencourt et al., 2016; Xu et al., 2013), a temperatura mínima (Tmin) (Geirinhas et al., 2018), a temperatura média (Tmed) (Anderson e Bell, 2009; Tong et al., 2014a) ou mesmo diferentes combinações dessas variáveis (Geirinhas et al., 2018; Perkins, 2015; Feron et al., 2019; Bitencourt et al., 2020). Normalmente, os limiares são definidos a partir do cálculo de percentis dessas variáveis (Rusticucci et al., 2016).

As OC podem ser responsáveis pelo aumento de hospitalizações e estão associadas a diversos impactos na saúde, incluindo complicações cardiovasculares e respiratórios (Moraes et al., 2022; Silveira et al., 2023). Esses eventos extremos já resultaram óbitos em diferentes partes do mundo (Barriopedro et al., 2011; Zhao et al., 2019; Hartinger et al., 2023; Wang et al., 2023).

Considerando que as OC geram impactos sociais e econômicos e que ainda são escassos os estudos sobre esses eventos no Sudeste do Brasil, o objetivo deste estudo é identificar as OC ocorridas entre 1980 e 2025 na região citada (Figura 1) e elaborar uma climatologia para a duração e da frequência desse fenômeno por estação do ano.



**Figura 1** - Área que compreende a localização da região Sudeste (Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo). A área de estudo está indicada em roxo, mas destaca-se que o oceano não é incluído nas análises. Mostrado com a topografia em metros, obtida de Becker (2009) com resolução espacial de 1 km.

**Metodologia**

Neste estudo, foram utilizados dados de temperatura mínima e máxima do Climate Prediction Center - CPC (Chen et al., 2008) disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) PSL (<https://psl.noaa.gov/>). Esses dados possuem resolução espacial de 0,5° x 0,5° de latitude e longitude, com frequência diária. Os dados são disponibilizados em arquivos globais em formato netcdf, que foram processados para seleção da região Sudeste do Brasil. Existem diferentes metodologias para a identificação das OC e, nesse estudo, é empregada a de Geirinhas et al. (2018), no qual as OC são determinadas a partir do cálculo do percentil 90 (p90) com as séries temporais de temperaturas mínimas (Tmin) e máximas (Tmax). Assim, um evento é caracterizado como OC quando ambas Tmin e Tmax permanecem acima do p90 por, no mínimo, 3 dias consecutivos. Ressalta-se que os percentis foram calculados separadamente para cada estação do ano, de modo que os limiares de definição

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

das OC variam sazonalmente. Assim, os limiares que definem as OC variam de estação para estação. O uso do p90 da Tmin e Tmax foi escolhido a partir da literatura por ser mais focado no impacto das OC na saúde.

A duração da OC corresponde ao total de dias consecutivos em que o evento atende ao critério estabelecido, enquanto a frequência é definida pelo número de episódios de OC identificados. A Figura 2 mostra uma ilustração da identificação da OC e sua duração.

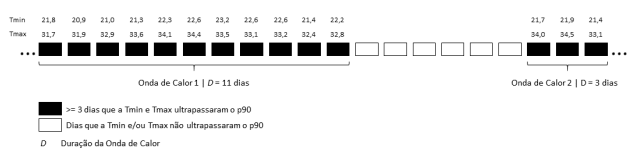


Figura 2 - Esquema ilustrativo para identificação de uma OC e sua duração (D).

Inicialmente, foram construídas as séries temporais diárias de Tmin e Tmax para a região de estudo, correspondente ao retângulo delimitado na Figura 1, calculadas a partir da média espacial da área (mas sem incluir o oceano), no período de 01/01/1980 a 28/02/2025. Cabe destacar que, nos casos em que um episódio se inicia em uma estação do ano e se prolonga para a seguinte, ele é contabilizado como pertencente à estação em que teve início.

### Resultados e discussão

Foram obtidas as séries temporais da média espacial de Tmin e Tmax para a região Sudeste. Essas séries são apresentadas na Figura 3 juntamente com a linha de tendência. Além disso, aplicou-se o teste de hipótese de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Esse teste é utilizado para verificar se existe ou não um aumento significativo das tendências. As tendências são significativas quando o P-value for < 0,05. Tanto para Tmin quanto para Tmax o resultado do teste de hipótese foi de 0,0000; ou seja, há aumento significativo em ambas as temperaturas considerando os anos entre 1980 a 2025.

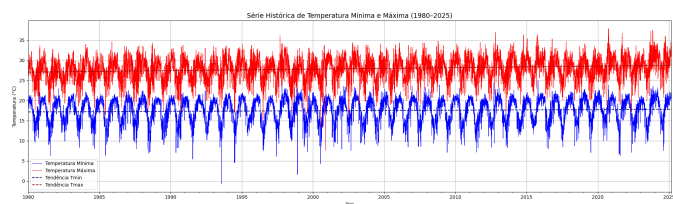


Figura 3 - Séries temporais da média espacial de Tmin (linha azul) e Tmax (linha vermelha) (oC) para o período de 01/01/1980 a

31/03/2025, com a linha de tendência para Tmin (pontilhado em azul) e Tmax (pontilhado em vermelho).

Os dados apresentados na Figura 3 foram separados por estação do ano e, a partir deles, calculou-se o p90. A Tabela 1 indica que a primavera e verão são as estações que apresentaram valores do p90 mais elevados, a primavera na região Sudeste do Brasil é caracterizada por elevados valores de Tmax, visto que ainda predominam condições de baixa nebulosidade contribuindo para o intenso aquecimento radiativo diurno. Além disso, há uma transição gradual das condições atmosféricas ao longo do ciclo sazonal entre as diferentes estações do ano (Marengo et al., 2025).

Tabela 1 - Valores do percentil 90 (p90) para cada estação do ano (DJF, MAM, JJA, SON) das variáveis temperatura mínima (Tmin) e temperatura máxima (Tmax) considerando a série histórica de 1980 a 2025.

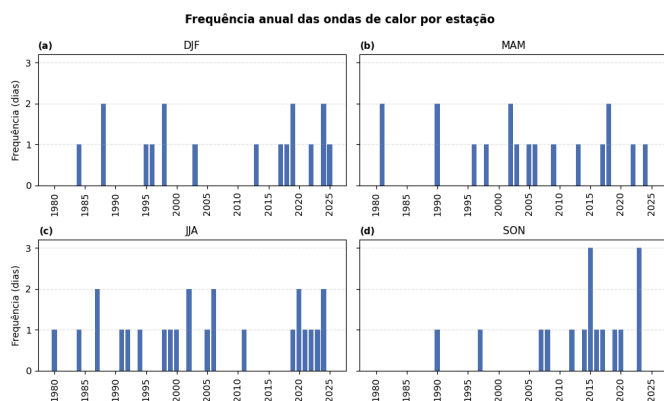
Valores do percentil 90 (p90) por estação		
Estação	p90 Tmin (°C)	p90 Tmax (°C)
DJF	21,3	31,9
MAM	20,5	30,9
JJA	16,3	28,8
SON	20,4	32,0

A Figura 4 apresenta a frequência anual das OC por ano, dentro de cada estação do ano, e a Figura 5 mostra o número médio de OC. O inverno (Figura 4c e Figura 5) foi a estação que registrou o maior número de eventos de OC, embora a sua duração seja menor quando comparada às outras estações (Figura 6). Corroborando com os resultados, Geirinhas et al. (2018) menciona que em relação à variabilidade sazonal, não há grande contraste no número de registros de OC entre o verão e o inverno. Porém, os meses de outono e inverno foram os que apresentaram, em média, maior número de eventos. Outro estudo que menciona que a frequência das OC foi maior no inverno é o de Reis (2017), onde sugere que esse resultado pode estar relacionado ao fato dos bloqueios atmosféricos serem mais frequentes nesse período. O que leva ao rompimento de padrão de circulação e impede o avanço de sistemas sinóticos. O verão foi caracterizado predominantemente por anos com apenas um evento de OC (Figura 4a). O mesmo padrão do verão foi identificado no outono (Figura 4b). Já no inverno (Figura 4c), embora a maioria dos anos

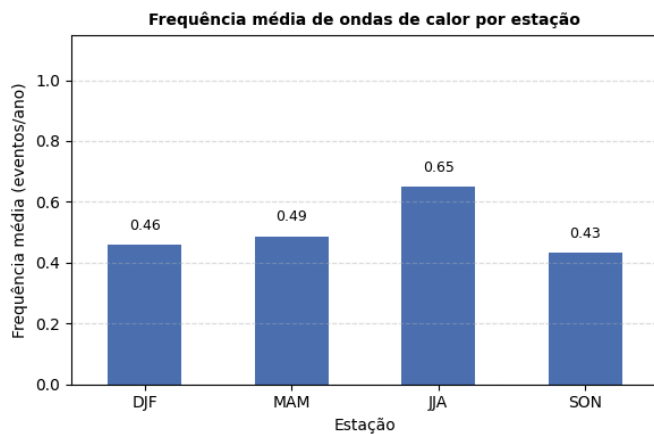
**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

tenham apresentado ocorrência de um evento, o número total de anos com ocorrência de OC foi maior com relação às outras estações.

Na primavera (Figura 4d), predominou o registro de um evento por ano; entretanto, destaca-se que os anos de 2015 e 2023 apresentaram três eventos, sendo os anos com maior número de OC em todo o período analisado.



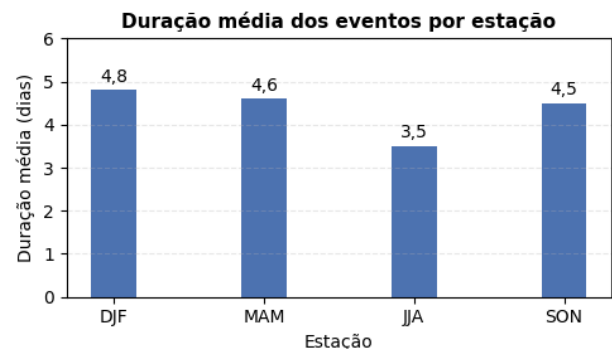
**Figura 4** - Frequência anual das OC por estação nos painéis: (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON entre o período de 1980 a 2025.



**Figura 5** - Frequência média das OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025.

Embora o inverno seja a estação com maior frequência de OC, essa estação tem as OC menos duradouras (3,5 dias). As demais estações do ano mostram OC com duração variando de 4,5 a 4,8, maior número de dias consecutivos onde as Tmin e Tmax ultrapassaram os limiares apresentados na Tabela 1 (Figura 6). É possível que, em algumas metodologias de outros autores, episódios mais longos apareçam fragmentados e sejam contabilizados como múltiplos eventos. Entretanto, não se acredita que isso possa ser a causa das diferenças nos resultados, já que o método da Tmin e Tmax é mais

restritivo e nesse que poderiam aparecer OC mais fragmentadas. Na primavera e verão, alguns estudos apontam que as temperaturas mais elevadas são associadas à presença de sistemas de alta pressão semi-estacionários (bloqueio atmosférico) que se posicionam sobre a região do Sudeste Brasileiro, combinados com intenso aquecimento radiativo, o que contribui para o aumento das temperaturas (Reis, 2017). Nessas condições, os sistemas frontais não avançam além da região Sul do Brasil, favorecendo a condição de chuva no Sul e inibição das mesmas no Sudeste.



**Figura 6** - Duração média dos eventos de OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025.

## Conclusões

Este estudo foi realizado em etapas com o intuito de identificar as OC ocorridas entre os anos de 1980 a 2025 no Sudeste do Brasil, e elaborar uma climatologia para a duração e frequência dos eventos. A primeira parte foi separado a série histórica de temperatura pelas estações do ano, a segunda foi o cálculo do p90 da Tmin e Tmax em cada estação, após isso foi realizado a aplicação dos limiares obtidos nos dados de Tmin e Tmax. E por fim, foi realizada a identificação da duração e frequência dos eventos, juntamente com a elaboração de gráficos representando os resultados obtidos.

Durante o período analisado, foram identificados 74 eventos de OC, distribuídos por estação da seguinte forma: 17 no verão (DJF), 18 no outono (MAM), 24 no inverno (JJA) e 16 na primavera (SON), o que nos permitiu validar os resultados.

Quando falamos em OC, pensamos que o verão fosse a estação com maior número de eventos, pois é nela que temos maiores temperaturas. Porém, através do estudo, foi possível identificar que a estação do inverno que têm OC mais frequentes, porém menos duradouras quando comparadas às outras estações. Nas demais estações, a

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

duração e a frequência são similares entre si.

**Agradecimentos**

Gostaríamos de agradecer à Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade, e o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

**Referências**

- ANDERSON, B. G.; BELL, M. L. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. **Epidemiology**, v. 20, n. 2, p. 205–213, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/ede.0b013e318190ee08>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- BARRIOPEDRO, D. *et al.* The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. **Science**, v. 332, n. 6026, p. 220–224, 2011.
- BECKER, J. J. *et al.* Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS. **Marine Geodesy**, v. 32, n. 4, p. 355–371, 2009. doi: 10.1080/01490410903297766.
- BITENCOURT *et al.* Frequência, duração, abrangência espacial e intensidade das ondas de calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016. doi: 10.1590/0102-778631231420150077.
- BITENCOURT, D. P. *et al.* The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 4, p. 2464–2478, 2020. doi: 10.1002/joc.6345.
- CHEN, M. *et al.* Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D4, 2008. doi: 10.1029/2007JD009132.
- FERON, S. *et al.* Observations and projections of heatwaves in South America. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019. doi: 10.1038/s41598-019-44614-4.
- GEIRINHAS, João L. *et al.* Caracterização climática e sinótica de ondas de calor no Brasil. **Revista Internacional de Climatologia**, v. 38, n. 4, p. 1760–1776, 2018.
- HARTINGER, S. M. *et al.* The 2022 South America report of the Lancet Countdown on health and climate change: trust the science. Now that we know, we must act. **The Lancet Regional Health – Americas**, v. 20, p. 100470, 2023. doi: 10.1016/j.lana.2023.100470.
- KENDALL, M. G. (1975). Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n.3, p. 245, 1945.
- MARENGO, J. A. *et al.* Climatological patterns of heatwaves during winter and spring 2023 and trends for the period 1979–2023 in central South America. **Frontiers in Climate**, v. 7, 2025.
- MORAES, S. L. DE; ALMENDRA, R.; BARROZO, L. V. Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 239, p. 113861, 2022. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113861.
- OMM (WMO). Heatwaves and health: Guidance on warning-system development. **World Meteorological Organization**, 2015 (Operational-Monograph 1142).
- PERKINS, S. E.; ARGÜESO, D.; WHITE, C. J. Relationships between climate variability, soil moisture, and Australian heatwaves. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 16, p. 8144–8164, 2015.
- REBOITA, M. S. *et al.* Future projections of extreme precipitation climate indices over South America based on CORDEX-CORE multimodel ensemble. **Atmosphere**, v. 13, n. 9, p. 1463, 2022. doi: 10.3390/atmos13091463.
- REIS, Nicolle Cordero Simões dos. Variabilidade das ondas de calor na região subtropical do Brasil. 2017.
- ROFFE, S. J.; VAN DER WALT, A. J. Representation and evaluation of southern Africa's seasonal mean and extreme temperatures in the ERA5-based reanalysis products. **Atmospheric Research**, v. 284, p. 106591, 2023. doi: 10.1016/j.atmosres.2022.106591.
- RUSTICUCCI, M. *et al.* Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 124, n. 3–4, p. 679–689, 2016.
- SILVEIRA, I. H. *et al.* Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. **PLoS ONE**, v. 18, n. 3, p. e0283899, 2023. doi: 10.1371/journal.pone.0283899.
- TONG, S. *et al.* Development of health risk-based metrics for defining a heatwave: a time series study in Brisbane, Australia. **BMC Public Health**, v. 14, n. 1, p. 435, 2014a.
- TONG, S.; WANG, X. Y.; BARNETT, A. G. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. **PLoS ONE**, v. 5, n. 8, p. e12155, 2010b.
- WANG, Y. *et al.* Future population exposure to heatwaves in 83 global megacities. **Science of The Total Environment**, v. 888, p. 164142, 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164142.
- XU, Y. *et al.* Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 67, n. 6, p. 519–525, 2013.
- ZHAO, Q. *et al.* The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: A nationwide time series study between 2000 and 2015. **PLoS Medicine**, v. 16, n. 2, p. e1002753, 2019. doi: 10.1371/journal.pmed.1002753.