



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**CLIMATOLOGIA DAS ONDAS DE CALOR NO
SUDESTE DO BRASIL ENTRE 1980-2025**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Isabelly Bianca dos Santos Gomes

**Itajubá, MG, Brasil
2025**

Climatologia das Ondas de Calor no Sudeste do Brasil entre 1980-2025

por

Isabelly Bianca dos Santos Gomes

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa
de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade
Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para
obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Orientadora: Michelle Simões Reboita
Coorientadora: Vanessa Silveira Barreto Carvalho

**Itajubá, MG, Brasil
2025**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**CLIMATOLOGIA DAS ONDAS DE CALOR NO SUDESTE DO BRASIL
ENTRE 1980-2025**

elaborada por

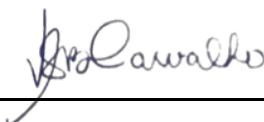
Isabelly Bianca dos Santos Gomes

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br MICHELLE SIMOES REBOITA
Data: 24/11/2025 09:12:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

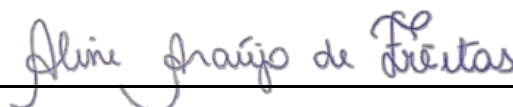
Michelle Simões Reboita, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Vanessa Silveira Barreto Carvalho, Dr^a. (UNIFEI)
(Coorientador)



Maria Leidinice da Silva, Dr^a. (ICTP)



Aline Araújo de Freitas, Msc. (UNIFEI)

Itajubá, 12 de novembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar, primeiramente, minha gratidão a Deus, por cuidar de cada detalhe e guiar cada passo dessa jornada. À minha família, em especial aos meus pais Renata e Jorge, e aos meus irmãos Fernanda, Vitória e João, pelo amor, cuidado e apoio incondicional em todas as decisões e momentos dessa trajetória.

Um agradecimento especial ao meu noivo Adilson, por estar sempre ao meu lado, me incentivando, auxiliando nas decisões e acreditando em mim e no meu potencial, especialmente nos momentos mais desafiadores.

Agradeço à UNIFEI e a todos os professores que contribuíram para a minha formação, compartilhando conhecimento e me preparando para ser uma profissional de excelência.

Em especial, à professora Michelle, por sua orientação, paciência e por todo aprendizado transmitido ao longo desse período, e à professora Vanessa, pelo suporte e incentivo constante ao meu desenvolvimento. Levarei os ensinamentos para sempre comigo.

Sou grata também aos meus amigos de turma da Unifei, especialmente Daniela, Jeniffer, Natan, Lucas, Matheus e Tiago, e a todos os que estiveram presentes e contribuíram nessa jornada.

Por fim, agradeço à CPFL, empresa onde realizei o meu estágio, pela oportunidade de colocar em prática meus conhecimentos e continuar aprendendo. Um agradecimento à equipe SPR, em especial à Venize e Bianca, colegas de trabalho que se tornaram verdadeiras amigas e contribuíram para o meu desenvolvimento profissional.

Dedico este trabalho à minha família, que sempre acreditou em mim, me apoiou em cada etapa e tornou tudo isso possível.

Estamos perdendo a corrida para as mudanças climáticas. Esse é o desafio de
nossa geração: ganhar a batalha contra o tempo.
Emmanuel Macron

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

CLIMATOLOGIA DAS ONDAS DE CALOR NO SUDESTE DO BRASIL ENTRE 1980-2025

AUTOR(A): ISABELLY BIANCA DOS SANTOS GOMES
ORIENTADOR(A): MICHELLE SIMÕES REBOITA
Local e Data da Defesa: Itajubá, 12 de novembro de 2025.

Resumo: Os gases do efeito estufa têm aumentado a temperatura média global e, consequentemente, todo o sistema climático tem sido perturbado. Um exemplo é através da ocorrência de eventos extremos mais intensos, frequentes e duradouros. Entre esses, destacam-se as ondas de calor (OC), que têm causado grande impacto socioeconômico no mundo. Diante disso, o objetivo deste estudo é identificar as OC ocorridas entre 1980 e 2025 na região Sudeste do Brasil e elaborar uma climatologia sazonal da duração, frequência e magnitude desse fenômeno. Em adição, composições de diferentes variáveis atmosféricas durante as OC são computadas e comparadas com a climatologia. Os dados utilizados no estudo são temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax) do *Climate Prediction Center* - CPC - disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e variáveis em níveis verticais da reanálise ERA5. Embora existam diferentes metodologias para a identificação das OC, neste trabalho foi realizado o cálculo do percentil 90 (p90) nas séries temporais de Tmin e Tmax. Uma OC ocorre quando ambas temperaturas permanecem acima do p90 por, no mínimo, 3 dias consecutivos. Os resultados indicam que o inverno apresenta maior frequência de eventos, porém com menor duração, enquanto a primavera tem as maiores intensidades de temperatura, associada a maior incidência de radiação solar. A análise de composições mostrou que as OC estão associadas com anomalia positiva de altura geopotencial na região Sudeste. Destaca-se que no verão e na primavera predominam as anomalias negativas de umidade específica. Esse estudo é importante, pois contribui para a compreensão dos padrões climatológicos e dinâmicos associados às OC, fornecendo subsídios para o monitoramento e a previsão desses eventos em um contexto de aquecimento global.

Palavras-chave: Climatologia. Extremo. Ondas de calor. Percentil

LISTA DE FIGURAS

- 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. 14
- FIGURA 2 - Esquema ilustrativo para identificação de uma OC, duração (D) e intensidade (o que é definido pelas variáveis T_{min} ($IntT_{min}$) e T_{max} ($IntT_{max}$)). 16
- FIGURA 3 - Séries temporais da média espacial de T_{min} (linha azul) e T_{max} (linha vermelha) (oC) para o período de 01/01/1980 a 31/03/2025, com a linha de tendência para T_{min} (pontilhado em azul) e T_{max} (pontilhado em vermelho). 17
- 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. 19
- FIGURA 5 - Frequência média das OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025. 19
- FIGURA 6 - Distribuição da duração dos eventos das OC por estação nos painéis: (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON para o período de 1980 a 2025. 20
- FIGURA 7 - Duração média dos eventos de OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025. 21
- FIGURA 8 - Intensidade média da temperatura máxima e mínima dos eventos de OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025. 22
- FIGURA 9 - Anomalia média da umidade específica (g/kg), calculada entre os níveis de 1000, 925, 850, 700, 600 e 500 hPa, em sombreado, e a anomalia de temperatura (°C) em 700 hPa em linhas contínuas para as quatro estações do ano (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON sobre a América do Sul. A área em destaque (retângulo roxo) corresponde à região de foco principal da análise. Os dados utilizados foram extraídos da reanálise do ERA5 (Hersbach et al., 2023), com resolução espacial de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ e no horário sinótico 18 UTC. 23
- FIGURA 10 - Anomalia da altura geopotencial (gpm) em 500 hPa em sombreado, e a anomalia de temperatura (°C) em 1000 hPa em linhas contínuas para

as quatro estações do ano (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON sobre a América do Sul. A área em destaque (retângulo roxo) corresponde à região de foco principal da análise. Os dados utilizados foram extraídos da reanálise do ERA5 (Hersbach et al., 2023), com resolução espacial de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ e no horário sinótico 18 UTC. 24

FIGURA 11 - Anomalia da velocidade vertical do vento (Pa/s) em 500 hPa em sombreado, e a anomalia do vento ($^\circ\text{C}$) em 850 hPa em vetores, o vetor de referência é de 5 m/s. Campos para as quatro estações do ano (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON sobre a América do Sul. A área em destaque (retângulo roxo) corresponde à região de foco principal da análise. Os dados utilizados foram extraídos da reanálise do ERA5 (Hersbach et al., 2023), com resolução espacial de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ e no horário sinótico 18 UTC. 26

FIGURA 12 - Mapa conceitual da estação do inverno, destacando as variáveis de altura geopotencial, com regiões de alta pressão em vermelho e baixa pressão em azul, a média da umidade específica entre os níveis de 1000 e 500 hPa representada pela seta preta, e as anomalias positivas de temperatura indicadas pela área em laranja com seus respectivos valores. 29

LISTA DE TABELAS

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	17
TABELA 2 - Quantidade do número de eventos ocorridos para cada ano durante a série histórica utilizada desde 1980 até 2025	24

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

C - Celsius

CPC - *Climate Prediction Center*

D - Duração

DJF - Dezembro, janeiro e fevereiro

ERA5 - ECMWF Reanalysis 5

g/kg - Gramas por quilograma

gpm - Geopotential Meters

hPa - Hectopascal

Int - Intensidade

JJA - Junho, julho e agosto

km - Quilômetro

m/s - Metros por segundo

MAM - Março, abril e maio

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OC - Ondas de calor

OF - Ondas de Frio

P-value - Valor-p

Pa/s - Pascal por segundo

p90 - Percentil 90

p92,5 - Percentil 92,5

p95 - Percentil 95

p97,5 - Percentil 97,5

S - Sul

SON - Setembro, outubro e novembro

Tmax - Temperatura máxima

Tmed - Temperatura média

Tmin - Temperatura mínima

u - Componente zonal do vento

UTC - Tempo Universal Coordenado

v - Componente meridional do vento

W - Oeste

WHO - *World Health Organization*

° - graus

>= - Maior ou igual

< - Menor

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	x
RESUMO	8
1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.2. Dados utilizados	17
2.3. Definição da onda de calor	17
2.4 Análises	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4. CONCLUSÃO	30
5. REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

O aumento das emissões de gases de efeito estufa é responsável pelo aumento da temperatura média global que, por sua vez, causa inúmeras perturbações no sistema climático. Um exemplo está nas características espaço-temporais das ondas de calor (OC), isto é, na duração, frequência e magnitude desses eventos (Reboita *et al.*, 2022; Roffe; Walt, 2022).

De modo geral, as OC estão associadas a eventos de circulação geral da atmosfera em grande escala, como os bloqueios atmosféricos. Durante esses episódios, o sistema de alta pressão causa estagnação da circulação atmosférica próxima à superfície, contribuindo para o aumento da temperatura do ar, tanto das mínimas quanto das máximas (Oliveira; Assis; Ferreira, 2018; Rusticucci *et al.*, 1995). Além disso, a persistência da alta de bloqueio (Black *et al.*, 2004; Dole *et al.*, 2011) leva à situação de céu limpo e ventos fracos em superfície (Meehl; Tebaldi, 2004). Os bloqueios atmosféricos não são os únicos a contribuir para as ondas de calor. No Brasil, episódios de alta pressão anômalos sobre as regiões sul e sudeste também têm contribuído para a ocorrência de OC (Geirinhas *et al.*, 2018).

Não há um critério único para a identificação das OC, o que leva a diferentes metodologias (OMM, 2015). Neste estudo, adotou-se apenas uma dessas metodologias entre as várias abordagens disponíveis. As OC são comumente conhecidas como um período em que as temperaturas ficam acima de determinado limiar por uma sequência de dias, considerando em alguns estudos variáveis como temperatura máxima (Tmax) (Tong *et al.*, 2010b; Bitencourt *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2013), temperatura mínima (Tmin) (Geirinhas *et al.*, 2018), temperatura média (Tmed) (Anderson e Bell, 2009; Tong *et al.*, 2014a) e diferentes combinações dessas variáveis (Geirinhas *et al.*, 2018; Perkins, 2015; Feron *et al.*, 2019; Bitencourt *et al.*, 2020). Os limiares, em geral, são definidos a partir do cálculo de percentis dessas variáveis (Rusticucci *et al.*, 2016). Assim, cada região apresentará limiares distintos, levando em consideração as suas especificidades climáticas (Pham-Thanh *et al.*, 2024).

A frequência das OC têm aumentado em diversas regiões do mundo (Pham-Thanh *et al.*, 2024; Silveira *et al.*, 2019; Alves *et al.*, 2020; Anderson e Bell, 2011; Kuglitsch, 2010; Thompson *et al.*, 2023). No Brasil, Bitencourt *et al.* (2016) identificaram que as OC que apresentam maior duração são também as que

atingem maiores áreas. Também, constataram que a presença de eventos de El Niño de maior intensidade contribuem para a elevação das temperaturas, favorecendo as OC. No mesmo estudo, é ressaltado que a frequência de ocorrência de OC têm apresentado um aumento significativo a partir de 2000, com duração média de 4,5 dias, o que pode ser decorrente do impacto das mudanças climáticas. Marengo e Valverde (2007) também apontam que as OC não estão associadas apenas com a variabilidade natural do clima, mas também com o aquecimento global e destacam que a região Sul do Brasil é a que apresenta os valores mais extremos de temperaturas.

Geirinhas *et al.* (2018) identificam as OC através do percentil 90 (p90) das Tmin e Tmax. O uso dessa metodologia mostra tendência de aumento na frequência e duração das OC a partir da década de 1980 para todo o território brasileiro, destacando as cidades de São Paulo, Recife e Manaus. Bitencourt *et al.* (2016, 2020) também identificaram um aumento crescente da frequência de OC, concordando com Marengo e Camargo (2008) e Geirinhas *et al.* (2018). De acordo com Bitencourt *et al.* (2020) no período de 1961 a 2016, ao relacionar as OC com as ondas de frio (OF), as OC apresentaram maior número de ocorrência e maior duração em pontos isolados por toda a região do Brasil. Ressaltaram que nas áreas de latitudes mais elevadas, há maior duração nos eventos de OC.

Para Verdan e Silva (2022), eventos de OC têm gerado grandes perdas econômicas e de vida em várias partes do planeta. As OC podem ser responsáveis pelo aumento de hospitalizações, causam problemas para a saúde como sintomas cardiovasculares e respiratórios (Moraes *et al.*, 2022; Silveira *et al.*, 2023) e já levaram milhares de pessoas a óbito (Barriopedro *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2019; Hartinger *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023). Além disso, podem induzir estresse fisiológico no corpo humano (Moraes *et al.*, 2022), com maior vulnerabilidade os grupos de idosos (Anderson e Bell, 2009; Chen *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2018; Vasconcelos *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016), de mulheres (Silveira *et al.*, 2023), crianças (Arsad *et al.*, 2022; Corrêa, 2024), pessoas com doenças crônicas, trabalhadores ao ar livre e populações em situação de vulnerabilidade (Brasil, 2025).

Segundo a *World Health Organization* (WHO), as OC estão entre os eventos extremos climáticos mais perigosos, mas que raramente recebem a devida atenção, pois tanto o número de mortes quanto a destruição causada por elas, nem sempre é vista imediatamente. A gravidade das OC é definida a partir de índices que

relacionam o bem-estar humano com variáveis como: temperatura, umidade, vento e radiação (Pham-Thanh *et al.*, 2024). Brasil (2025) realizou uma revisão bibliográfica em busca de publicações no período entre 2015 e 2025 para o Brasil que associa eventos como OC e os impactos na saúde pública, com o objetivo de oferecer subsídios relevantes para orientar análises futuras, fortalecer a vigilância e apoiar políticas públicas, dando suporte para os procedimentos e monitoramento antes, durante e depois dos eventos, fornecendo para a população meios de terem ciência e conscientização do que esses eventos podem acarretar na saúde.

Na região Sudeste do Brasil, tem-se verificado que as OC estão associadas a episódios de seca (Geirinhas *et al.*, 2021; 2022). Moraes *et al.* (2022) pontuaram que o impacto das OC se tornou um grande problema na saúde pública em todo o mundo; verificaram que o maior risco de morte está associado aos limiares de temperaturas mais elevadas e eventos mais longos. O objetivo do estudo era avaliar o risco de morte entre idosos (≥ 65 anos) devido à doença cardiovascular, doença cerebrovascular, acidente vascular cerebral isquêmico, acidente vascular cerebral hemorrágico, doença cardíaca isquêmica, doença respiratória e doença pulmonar obstrutiva crônica na cidade de São Paulo. Para isso, definiram as OC com limiares acima dos percentis 90 (p90), 92,5 (p92,5), 95 (p95) e 97,5 (p97,5) e duração de 2, 3 e 4 dias consecutivos e verificaram os episódios de morte. Foi observado que durante uma OC a temperatura apresentava risco alto de mortalidade, com duração de ≥ 3 e ≥ 4 dias. Além disso, no estudo mostraram que os eventos extremos de temperatura têm aumentado significativamente mortalidade cardiovascular e respiratória, corroborando com estudos anteriores (Anderson e Bell, 2009; Cheng *et al.*, 2019; Fouillet *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2019).

Como as OC causam impactos sociais e econômicos e ainda há poucos estudos sobre esses eventos no Sudeste do Brasil, o objetivo deste estudo é identificar as OC ocorridas entre 1980 a 2025 na região citada e elaborar uma climatologia para a duração, frequência e magnitude desse fenômeno por estação do ano. Além disso, para cada estação do ano, será analisado o comportamento médio da umidade específica, altura geopotencial em 500 hPa e temperatura em 1000 e 700 hPa associado aos episódios de OC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de estudo

A região Sudeste do Brasil (Figura 1) é o principal polo econômico do país e concentra a maior parte da população brasileira, cerca de 90 milhões de habitantes (IBGE, 2020). A economia da região é diversificada, contribuindo para os setores agrícola, industrial, comercial e de serviços. A região Sudeste encontra-se entre as latitudes 25,5°S e 14°S e longitudes 53,5°W e 39°W, localizada em uma área que abrange diversas características geográficas. O relevo possui topografia acidentada com as serras da Mantiqueira, da Canastra e do Mar (Embrapa, 2021), também há planaltos e planícies, predominantes nas regiões costeiras. O clima dominante na região é do tipo monção (Reboita *et al.*, 2022), com verões chuvosos e quentes e invernos secos e com temperaturas mais amenas. A vegetação varia de acordo com o clima, apesar de grande parte ter sido devastada por conta da urbanização e expansão agrícola. O Sudeste é majoritariamente coberto pela Mata Atlântica, exceto em Minas Gerais, que predomina o Cerrado e a Caatinga.

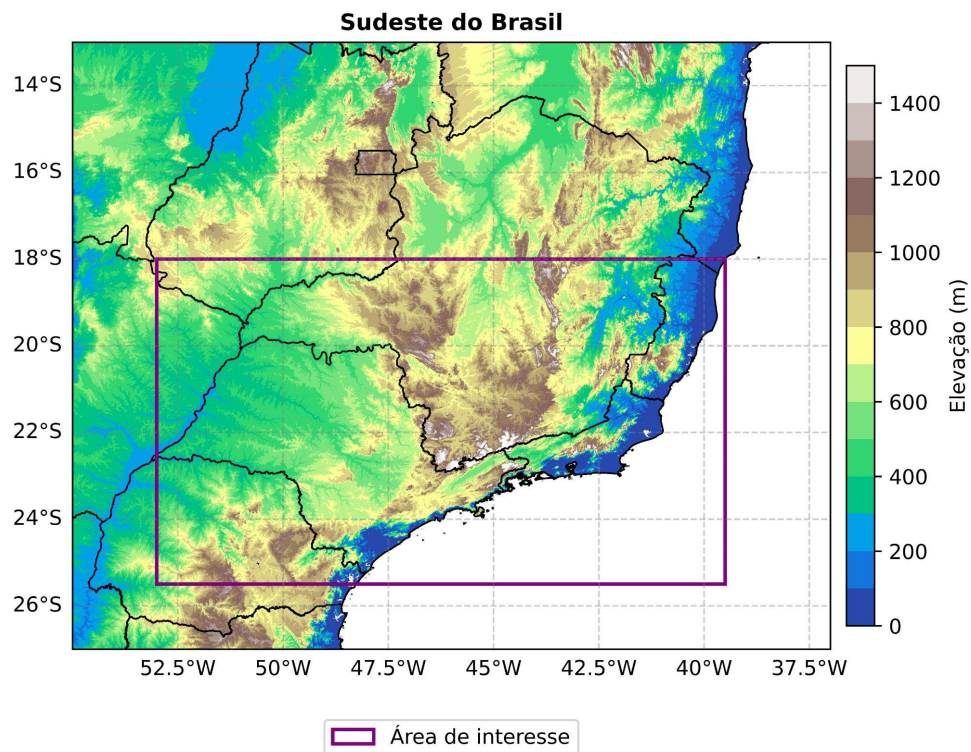


Figura 1 - Área que compreende a localização da região Sudeste (Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo). A área de estudo está indicada em roxo, mas destaca-se que o oceano não

é incluído nas análises. Mostrado com a topografia em metros, obtida de Becker (2009) com resolução espacial de 1 km.

2.2. Dados utilizados

Para esse estudo são utilizados dados de temperatura mínima e máxima do *Climate Prediction Center* - CPC (Chen *et al.*, 2008) fornecidos pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) PSL (<https://psl.noaa.gov/>), com resolução espacial de 0,5° x 0,5° de latitude e longitude e frequência diária. Os dados são disponibilizados em arquivos globais em formato netcdf, que são processados para seleção da região Sudeste do Brasil.

Também foram utilizados dados de reanálise do ERA5 (Hersbach *et al.*, 2023), baixados com resolução espacial de 1,5° x 1,5° sendo uma resolução mais grosseira, para o período de 1980 a 2025. As variáveis baixadas foram: temperatura em 1000 hPa e 700 hPa, umidade específica em 1000, 925, 850, 700, 600 e 500 hPa, altura geopotencial em 500 hPa e componentes u e v do vento em 850 hPa. Todas as variáveis foram coletadas no horário sinótico das 18 UTC.

2.3. Definição da onda de calor

Há diversas metodologias para identificar as OC e, nesse estudo, é empregada a de Geirinhas *et al.* (2018), em que as OC são identificadas usando o cálculo do percentil 90 (p90) com as séries temporais de Tmin e Tmax. Assim, uma OC ocorre quando ambas Tmin e Tmax apresentam valor maior do que o p90 por uma sequência de pelo menos 3 dias. É importante destacar que os percentis são definidos separadamente para cada estação do ano. Por isso, os limiares que caracterizam as OC também variam de uma estação para outra.

O uso do p90 da Tmin e Tmax foi escolhido a partir da literatura por ser mais focado no impacto das OC na saúde. Estudos mostram que o aumento da Tmin tem afetado a saúde humana (Lavaysse *et al.*, 2019). De acordo com Kim *et al.* (2023), parte do impacto do calor na saúde humana é causado pelas altas temperaturas durante a noite, o que é considerado um fator de risco para doenças induzidas pelas altas temperaturas. Basu (2009) enfatiza que a Tmin desempenha um papel importante na saúde humana, e explica que se a temperatura noturna não diminuir, a

população não consegue se refrescar e se recuperar do calor diurno, causando uma carga extra no corpo (Thompson *et al.*, 2023).

A duração da OC é definida pelo número de dias consecutivos que cumpre o critério definido para cada episódio de OC e a frequência é definida pelo número de episódios de OC. Neste estudo, a intensidade é definida a partir da média das variáveis usadas como critério (T_{min} e T_{max}) durante a OC. A Figura 2 mostra uma ilustração da identificação da OC, sua duração e intensidade.

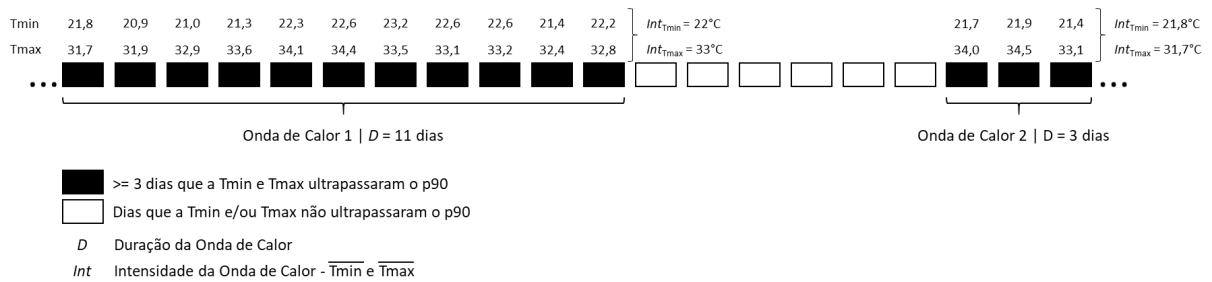


Figura 2 - Esquema ilustrativo para identificação de uma OC, duração (D) e intensidade (o que é definido pelas variáveis T_{min} ($Int_{T_{min}}$) e T_{max} ($Int_{T_{max}}$)).

2.4 Análises

Inicialmente, foram determinadas as séries temporais diárias de T_{min} e T_{max} da região de estudo que é a área no retângulo da Figura 1, sendo obtidas como a média simples na caixa (mas sem incluir o oceano), no período de 1980 a 2025.

Para a determinação das OC foram realizados os seguintes passos:

- separar as estações do ano, ou seja, verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON),
- cálculo do p90 da T_{min} e T_{max} em cada estação do ano,
- aplicação dos limiares obtidos nos dados de T_{min} e T_{max} ,
- identificação da duração, frequência e magnitude dos eventos e
- elaboração de gráficos e mapas representando os resultados obtidos.

Quando um episódio teve início numa estação do ano e se estendeu para a próxima, o episódio será contabilizado como da estação em que teve início. Por fim, é realizado o cálculo de anomalias, dada pela média dos eventos por estação subtraído da média climatológica da respectiva estação das variáveis atmosféricas: temperatura em 1000 hPa e 700 hPa, média da umidade específica nos níveis:

1000, 925, 850, 700, 600 e 500 hPa e altura geopotencial em 500 hPa em uma grande área do país.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia descrita no item 2.3, foram extraídas as séries temporais da média espacial de Tmin e Tmax na região Sudeste. Essas séries são apresentadas na Figura 3 juntamente com a linha de tendência. Também foi **calculado** 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 e 2025.

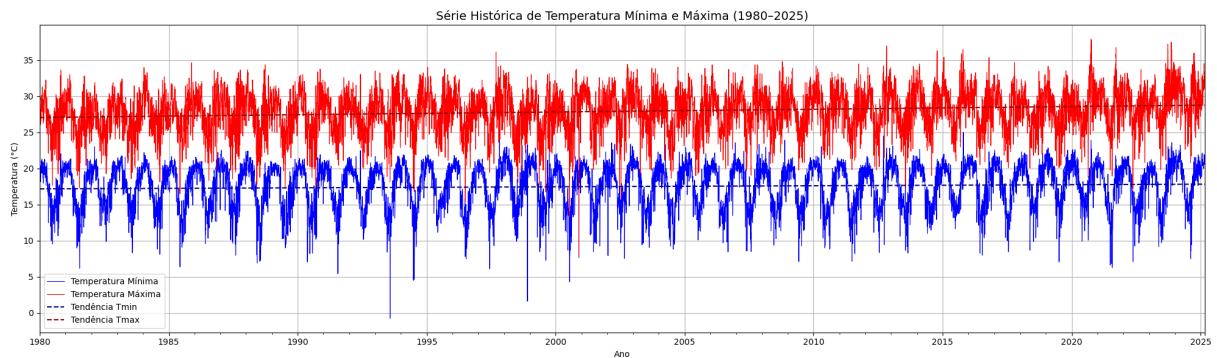


Figura 3 - Séries temporais da média espacial de Tmin (linha azul) e Tmax (linha vermelha) (oC) para o período de 01/01/1980 a 31/03/2025, com a linha de tendência para Tmin (pontilhado em azul) e Tmax (pontilhado em vermelho).

Os dados apresentados na Figura 3 foram separados por estação do ano e **calculado** o p90. A Tabela 1 indica que as estações de primavera e verão são as 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 mudança gradual das condições atmosféricas respeitando a sazonalidade entre as 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 Tmin e Tmax considerando a série histórica de 1980 a 2025.

Valores do percentil 90 (p90) por estação

Trimestre (Estação)	p90 Tmin (°C)	p90 Tmax (°C)
DJF (verão)	21,3	31,9
MAM (outono)	20,5	30,9
JJA (inverno)	16,3	28,8
SON (primavera)	20,4	32,0

A Figura 4 mostra a frequência de OC por ano, dentro de cada estação do ano, e a Figura 5, 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 mais curta quando comparada às outras estações (Figura 7). 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. Essa configuração na atmosfera causa elevação nas temperaturas e pode levar à formação das OC.

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 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), o predomínio foi de anos com ocorrência de um evento. Porém, o que chamou a atenção, é que os anos de 2015 e 2023 registraram três eventos, sendo os anos que apresentaram maior número de eventos entre todos os anos e estações analisadas. Segundo Marengo *et al.* 2025, identificaram que o ano de 2023 entre os meses de agosto e dezembro, foram meses que apresentaram temperaturas elevadas. Complementam, que a primavera de 2023 foi

um dos anos escolhidos para capturar a dinâmica das OC durante o ano de El Niño e seca recorde que afetou a bacia amazônica (Espinoza et al., 2024).

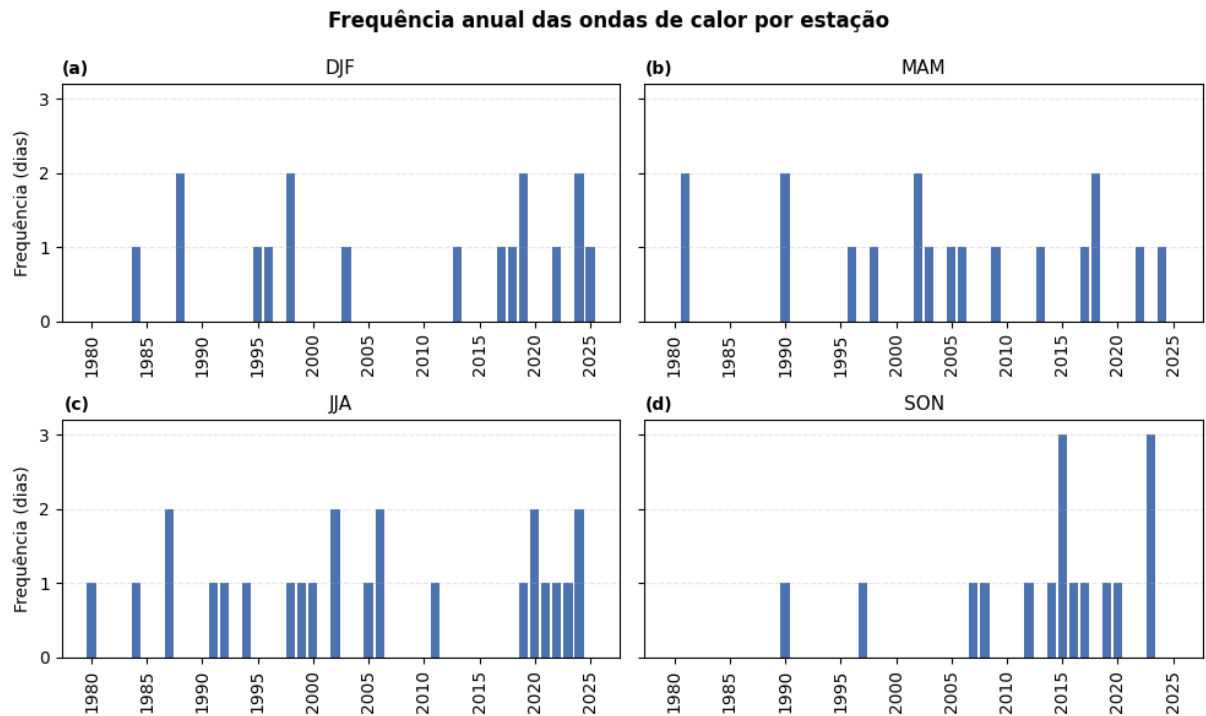


Figura 4 - Frequência anual das OC por estação nos painéis: (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON entre o período de 1980 a 2025.

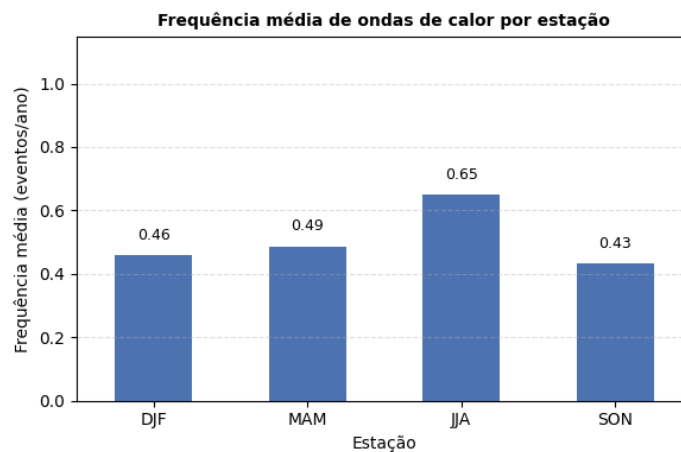


Figura 5 - Frequência média das OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025.

A análise da tabela de duração e intensidade dos eventos, apresentada no apêndice 1, revela que alguns anos registraram ondas de calor com longa duração.

São eles: 1988, com um evento de 10 dias no verão; 2020 e 2023, ambos com eventos de 9 dias durante a primavera; e 2024, que registrou dois eventos, um com 12 dias no verão e outro com 11 dias no outono. Corroborando com os resultados, a Figura 6 mostra que os demais eventos variaram de 3 a 7 dias, com predomínio dos que registraram duração de 3 dias; sendo 15 no inverno, 9 no outono e 7 na primavera e no verão. Para eventos de 4 dias, o verão (Figura 6a) e o inverno (Figura 6c) apresentaram um número maior de eventos, sendo 5 e 7 respectivamente. Os eventos que duraram de 5 a 7 dias, não ultrapassaram 2 eventos por estação.

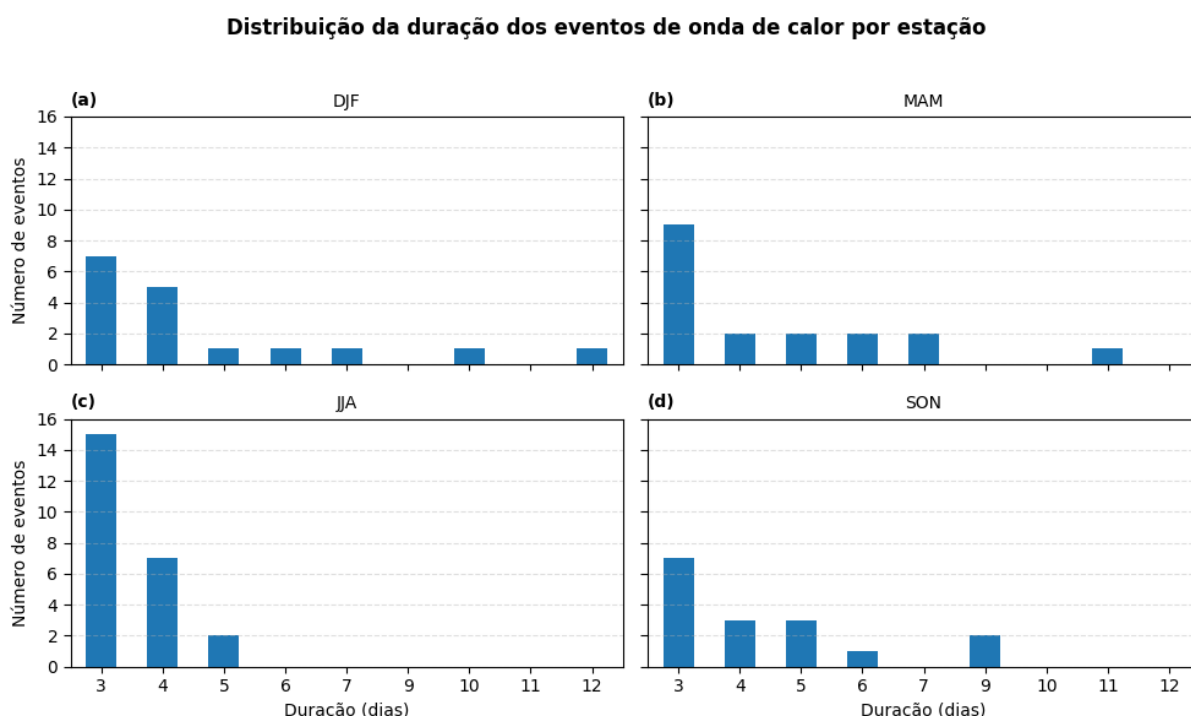


Figura 6 - Distribuição da duração dos eventos das OC por estação nos painéis: (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON para o período de 1980 a 2025.

A Tabela 2 apresenta o número de ondas de calor registradas em cada ano. Observa-se um aumento expressivo na frequência desses eventos ao longo da última década, com destaque para 2024, que apresentou o maior número de ocorrências de toda a série analisada. Esse comportamento está alinhado ao relatório divulgado pela Aliança Brasileira pela Cultura Oceânica (2025), o qual aponta que 2023 e 2024 registraram temperaturas excepcionalmente elevadas. Segundo o documento, a tendência de aquecimento intensificou-se a partir de julho

de 2023, mantendo, em 2024, a temperatura média global mais de 1,5 °C acima da climatologia. Como resultado, 2024 foi caracterizado como o ano mais quente da história, superando os recordes observados em 2023. O relatório também destaca que o El Niño de 2023 foi potencializado pelas mudanças climáticas, contribuindo para o aumento das temperaturas oceânicas e para episódios de calor extremo no Sudeste brasileiro. Esses achados são consistentes com os resultados apresentados na Figura 4d, que mostra a ocorrência de três eventos de onda de calor durante a primavera de 2023, reforçando o padrão de intensificação identificado neste estudo.

Tabela 2 - Quantidade do número de eventos ocorridos para cada ano durante a série histórica utilizada desde 1980 até 2025.

Ano	Nº de eventos	Ano	Nº de eventos	Ano	Nº de eventos
1980	1	1999	1	2015	3
1981	2	2000	1	2016	1
1984	2	2002	4	2017	3
1987	2	2003	2	2018	3
1988	2	2005	2	2019	4
1990	3	2006	3	2020	3
1991	1	2007	1	2021	1
1992	1	2008	1	2022	3
1994	1	2009	1	2023	4
1995	1	2011	1	2024	5
1996	2	2012	1	2025	1
1997	1	2013	2		
1998	4	2014	1		

Embora o inverno seja a estação com maior frequência de OC, essa estação tem as OC menos duradouras (3,5 dias, Figura 7). 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. Talvez,

na metodologia de alguns autores, esses episódios longos aparecem fragmentados sendo considerados mais de um episódio. Entretanto, não se acredita que isso possa ser a causa das diferenças nos resultados, pois 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 decorrentes de sistemas de alta pressão semi-estacionários (bloqueio atmosférico) que se posicionam sobre a região do Sudeste Brasileiro, juntamente com intenso aquecimento radiativo que favorecem o aumento das temperaturas (Reis, 2017). Quando há a presença dessa condição, os sistemas frontais não conseguem avançar além da região Sul do Brasil, favorecendo a condição de chuva no Sul e inibição das mesmas no Sudeste.

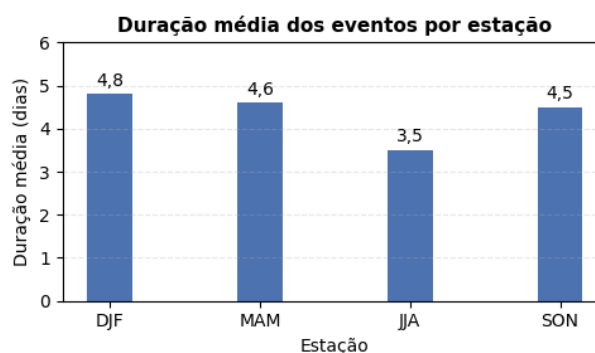


Figura 7 - Duração média dos eventos de OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025.

Durante as análises, foram observados registros de 74 eventos de OC para todo o período, sendo 17 para o verão (DJF), 18 para o outono (MAM), 24 para o inverno (JJA) e 16 para a primavera (SON). A figura 4 mostra a frequência anual das OC separadas por estação. A partir da mesma, é possível realizar a validação dos resultados descritos anteriormente.

Para complementar o estudo, a figura 8 apresenta a intensidade média da temperatura máxima e mínima para cada estação. Vale ressaltar que o método aplicado para calcular a intensidade foi a média das temperaturas, tanto máximas quanto mínimas, de cada evento. Observa-se um padrão climatológico bem definido: as temperaturas são mais elevadas durante a primavera e o verão, e mais amenas no outono e no inverno. Entre as estações, a primavera se destaca por registrar as maiores intensidades de temperatura, caracterizando-se como o período de transição do regime seco para o úmido. Nessa fase, há maior incidência de radiação

solar sobre a superfície, favorecendo o aquecimento, enquanto a disponibilidade de umidade ainda é relativamente baixa (Rodrigues, 2023). Em relação à amplitude térmica, o inverno apresenta a maior diferença entre temperaturas máxima e mínima (13,2 °C), seguido pela primavera (12,9 °C), verão (11,2 °C) e, por último, o outono (10,9 °C).

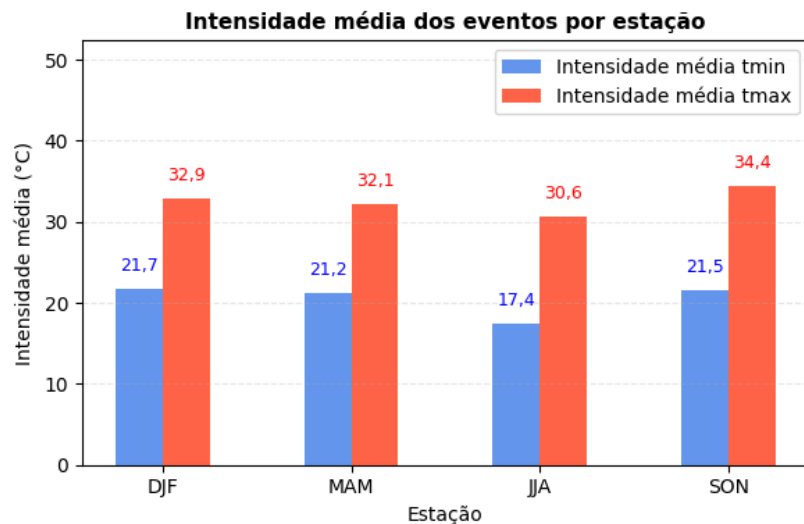


Figura 8 - Intensidade média da temperatura máxima e mínima dos eventos de OC por estação (DJF, MAM, JJA, SON) entre o período de 1980 a 2025.

A figura 9 mostra a anomalia média da umidade específica calculada entre os níveis de 1000 e 500 hPa e a anomalia de temperatura do ar em 700 hPa. No caso da umidade específica, essa reflete a diferença da quantidade de vapor d'água disponível na atmosfera nos eventos de OC em relação à climatologia para cada estação. Já a temperatura em 700 hPa indica as condições térmicas em níveis mais afastados da superfície, o que pode nos auxiliar na identificação da estabilidade atmosférica. O inverno (Figura 9c) não mostra anomalias na região de estudo (indicada pela caixa em roxo), pois independente ou não da ocorrência de OC essa estação é seca. Já a primavera (Figura 9d) e verão (Figura 9a) têm anomalias negativas: ambas apresentam condições mais secas em relação à média climatológica. Na primavera (Figura 9d) é possível identificar ao sul da região de interesse anomalias positivas, o que indica o retorno gradual da umidade relacionada à estação de transição. Na análise de temperatura em 700 hPa, a região de estudo é dominada por anomalias de 2,5°C na primavera (Figura 9d), a estação com maior valor, indicando uma camada mais quente. Corroborando com o resultado, a Figura 10 apresenta a anomalia de temperatura em 1000 hPa, que

também mostra a primavera com maiores anomalias de temperatura em baixos níveis, sendo 7,0°C.

Para a estação do outono, a Figura 9b apresenta anomalias positivas de umidade específica sobre a região de estudo e de temperaturas (Figura 9b e 10b), indicando uma massa de ar mais quente e úmida, típica de transição entre a estação chuvosa e seca.

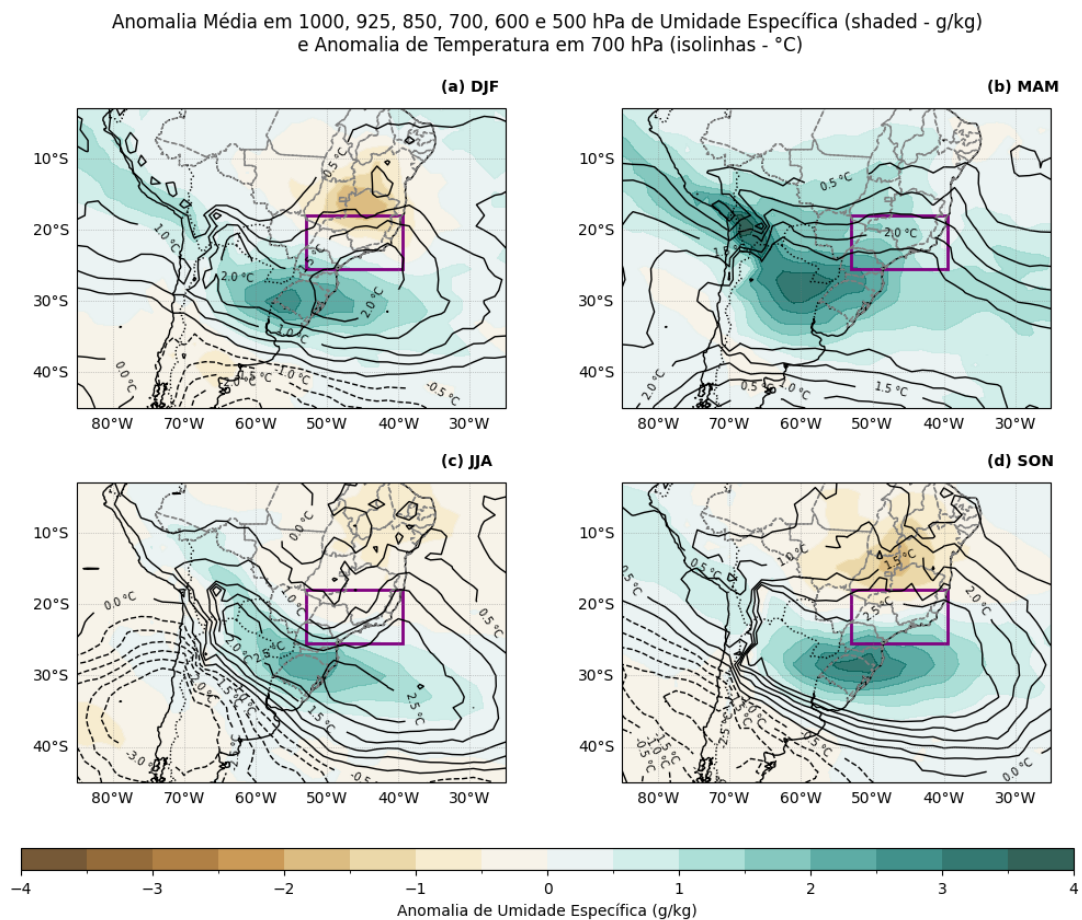


Figura 9 - Anomalia média da umidade específica (g/kg), calculada entre os níveis de 1000, 925, 850, 700, 600 e 500 hPa, em sombreado, e a anomalia de temperatura (°C) em 700 hPa em linhas contínuas para as quatro estações do ano (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON sobre a América do Sul. A área em destaque (retângulo roxo) corresponde à região de foco principal da análise. Os dados utilizados foram extraídos da reanálise do ERA5 (Hersbach *et al.*, 2023), com resolução espacial de 1,5° x 1,5° e no horário sinótico 18 UTC.

A figura 10 mostra o campo de anomalia da altura geopotencial em 500 hPa, que representa as condições dinâmicas da atmosfera em níveis médios: valores negativos (positivos) remetem a anomalias de baixa (alta) pressão. Em condições de OC, observa-se anomalia positiva sobre a região de interesse, principalmente no

verão (Figura 10a), inibindo a convecção e desenvolvimento de nuvens (Reboita *et al.*, 2010; Valverde e Rosa, 2023). Esta anomalia pode ser associada à circulação anticiclônica identificada na Figura 11 do campo de anomalia de vento em 850 hPa. Ambas corroboram com a visualização de sistema de alta pressão. Esse sistema causa maior estabilidade na região, pois não há forçante dinâmica para o levantamento do ar. No inverno (Figura 10c) há um núcleo de anomalia negativa de altura geopotencial no sul da América do Sul, associadas a cavados e avanço de massas de ar frio.

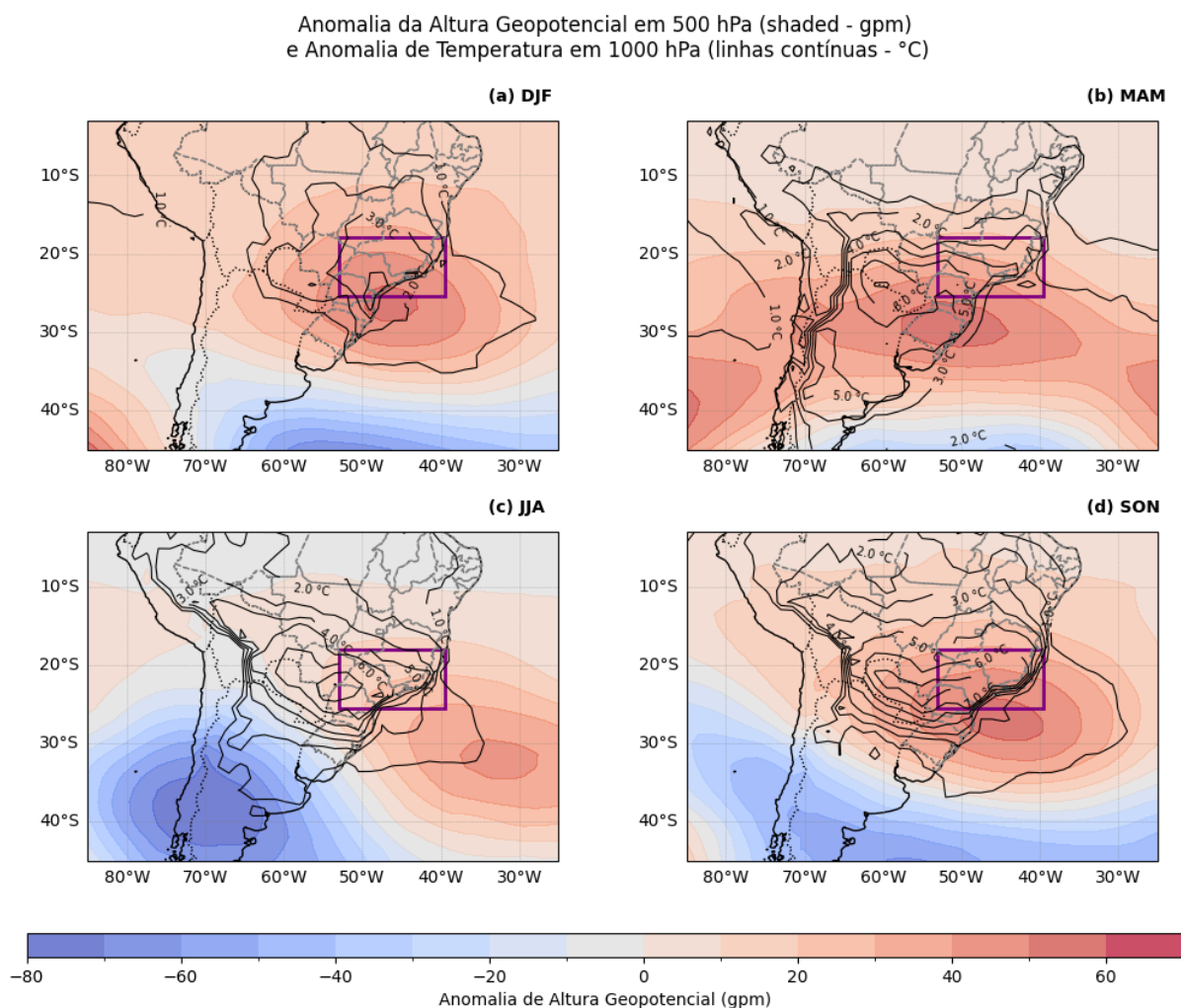


Figura 10 - Anomalia da altura geopotencial (gpm) em 500 hPa em sombreado, e a anomalia de temperatura (°C) em 1000 hPa em linhas contínuas para as quatro estações do ano (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON sobre a América do Sul. A área em destaque (retângulo roxo) corresponde à região de foco principal da análise. Os dados utilizados foram extraídos da reanálise do ERA5 (Hersbach *et al.*, 2023), com resolução espacial de 1,5° x 1,5° e no horário sinótico 18 UTC.

A Figura 11 mostra a velocidade vertical em 500 hPa, ou seja, o movimento vertical do ar. Valores positivos (negativos) indicam movimento descendente (ascendente) bem como os ventos em 850 hPa, que permitem inferir sobre o transporte de umidade. Todas as estações do ano apresentam anomalias de velocidade vertical positiva, isto é, predomínio de subsidência durante as OC. Porém, o destaque é no verão (Figura 11a), com valores mais altos, de forma que a formação de nuvens pode ser mais dificultada.

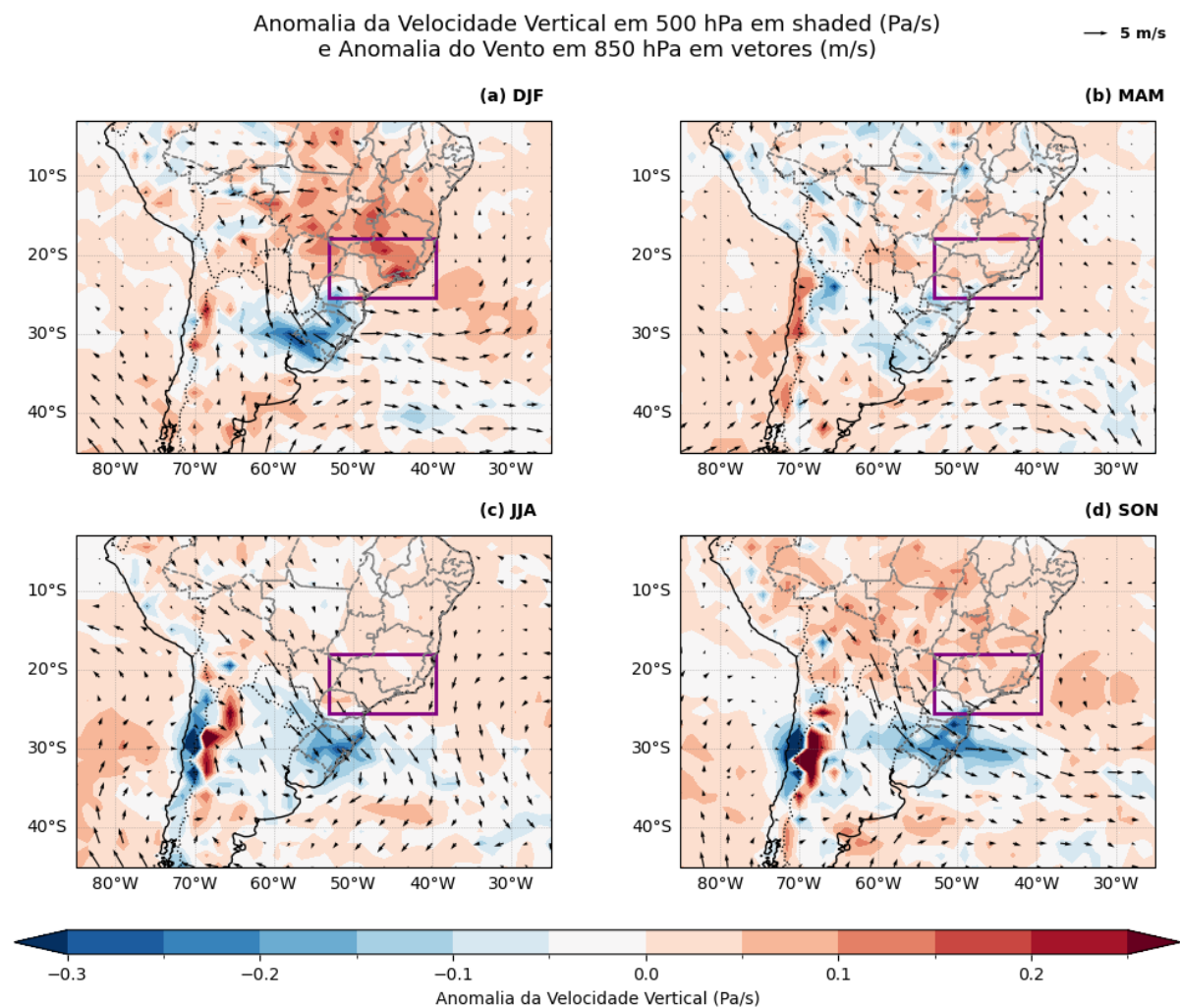


Figura 11 - Anomalia da velocidade vertical do vento (Pa/s) em 500 hPa em sombreado, e a anomalia do vento (°C) em 850 hPa em vetores, o vetor de referência é de 5 m/s. Campos para as quatro estações do ano (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON sobre a América do Sul. A área em destaque (retângulo roxo) corresponde à região de foco principal da análise. Os dados utilizados foram extraídos da reanálise do ERA5 (Hersbach *et al.*, 2023), com resolução espacial de 1,5° x 1,5° e no horário sinótico 18 UTC.

4. CONCLUSÃO

Este estudo identifica as OC ocorridas entre os anos de 1980 a 2025 no Sudeste do Brasil e elabora uma climatologia para a duração, frequência e intensidade dos eventos. Na primeira parte do estudo, foi selecionada a série histórica de temperatura por estação do ano, incluindo 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. Por fim, foi realizada a identificação da duração, frequência e intensidade dos eventos, juntamente com a elaboração de gráficos representando os resultados obtidos. Na segunda etapa do estudo foi realizada a análise espacial das anomalias das variáveis: umidade específica entre os níveis de 1000 e 500 hPa, temperatura em 700 e 1000 hPa e velocidade vertical do vento em 500 hPa durante as OC para todo o período de ocorrência em relação à climatologia sazonal. 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 se fala em OC, pensa-se que o verão é a estação com maior número de eventos, pois é nela que predominam as maiores temperaturas. Porém, através do estudo, foi possível identificar que a estação do inverno que tem as OC mais frequentes na região, porém menos duradouras quando comparadas às outras estações. Nas demais, a duração e a frequência são similares entre si. Os resultados evidenciam que a primavera apresenta as maiores intensidades de temperatura no Sudeste, associadas à maior incidência de radiação solar, enquanto o inverno se destaca pela maior amplitude térmica entre as estações.

As composições indicam que durante o verão e a primavera, as anomalias negativas de umidade específica predominam condições mais secas que a média climatológica, enquanto as temperaturas se mostram mais elevadas em 700 e 1000 hPa, refletindo em uma atmosfera mais quente e estável, especialmente na primavera. No outono, as anomalias positivas de umidade e temperatura revelam uma massa de ar mais quente e úmida, típica do período de transição entre a estação chuvosa e a seca. Já o inverno não apresenta anomalias significativas de umidade, refletindo a estação seca. As anomalias positivas de altura geopotencial em 500 hPa, especialmente no verão, e o padrão anticiclônico identificado no campo

de vento em 850 hPa, confirmam a predominância de sistemas de alta pressão, que favorecem movimentos descendentes do ar e dificultam a formação de nuvens. Essa condição é reforçada pelas anomalias positivas de velocidade vertical em 500 hPa observadas em todas as estações, indicando predomínio de subsidência durante os eventos de OC.

Concluindo, os resultados mostram que os eventos de OC estão associados à presença de sistemas de alta pressão e condições de estabilidade atmosférica, o que reduz a umidade disponível na atmosfera e dificulta a formação de nuvens e precipitação, principalmente durante o verão e a primavera.

Esse estudo é importante, pois contribui para a compreensão dos padrões climatológicos e dinâmicos associados às OC, ampliando o entendimento sobre seus mecanismos de formação, variabilidade sazonal e impactos regionais. Além disso, fornece subsídios para o aprimoramento do monitoramento, previsão e gestão de riscos climáticos. Considerando os impactos desses eventos sobre a população, especialmente em grupos mais vulneráveis, como idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas, que são mais suscetíveis aos efeitos do calor extremo em um contexto de aquecimento global.

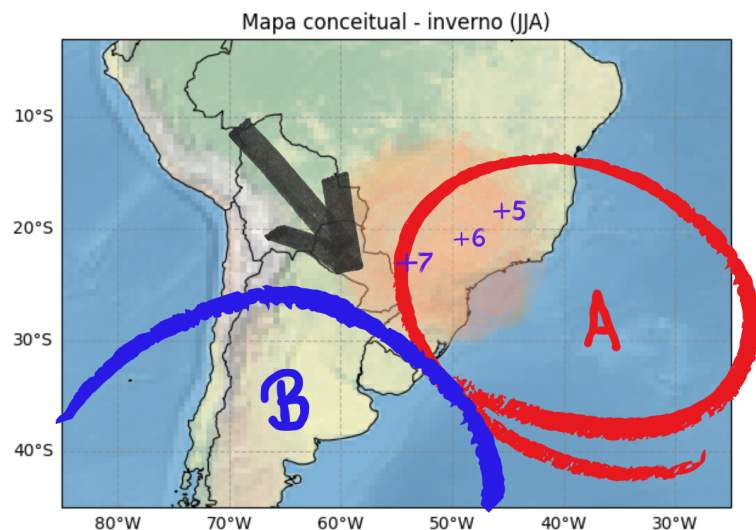


Figura 12 - Mapa conceitual da estação do inverno, destacando as variáveis de altura geopotencial, com regiões de alta pressão em vermelho e baixa pressão em azul, a média da umidade específica entre os níveis de 1000 e 500 hPa representada pela seta preta, e as anomalias positivas de temperatura indicadas pela área em laranja com seus respectivos valores.

5. REFERÊNCIAS

ALIANÇA BRASILEIRA PELA CULTURA OCEÂNICA. *Brasil em transformação: 2024 – o ano mais quente da história*. Disponível em: <https://maredeciencia.eco.br/wp-content/uploads/2024/12/Brasil-em-transformacao-1-2024-o-ano-mais-quente-da-historia.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2025.

ALVES, Maikon *et al.* Reconstrução de dados e detecção de ondas de calor e de frio no Porto e concelhos vizinhos. Portugal. **Territorium**, n. 27, p. 22, 2020.

ANDERSON, B. G.; BELL, M. L. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. **Epidemiology**, v. 20, p. 205–213, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/ede.0b013e318190ee08>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ANDERSON, G. Brooke; BELL, Michelle L. Ondas de calor nos Estados Unidos: risco de mortalidade durante ondas de calor e modificação do efeito pelas características das ondas de calor em 43 comunidades americanas. **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 2, p. 210–218, 2011.

ARSAD *et al.* The impact of heatwaves on mortality and morbidity and the associated vulnerability factors: a systematic review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, p. 16356, 2022.

BARRIOPEDRO *et al.* The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. **Science**, v. 332, n. 6026, p. 220–224, 2011.

BASU, R. Alta temperatura ambiente e mortalidade: uma revisão de estudos epidemiológicos de 2001 a 2008. **Environmental Health**, v. 8, p. 40, 2009. doi: 10.1186/1476-069X-8-40.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Clima em síntese: estudos sobre saúde e ondas de calor no Brasil (2015-2025)*. Brasília: MCTI, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/clima-em-sintese/clima-em-sintese_estudos-sobre-saude-e-ondas-de-calor-no-brasil-2015-2025.pdf. Acesso em: 07 dez. 2025.

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, p. 506–517, 2016. doi: 10.1590/0102-778631231420150077.

BITENCOURT *et al.* The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. **International Journal of Climatology**, v. 40, p. 2464–2478, 2020. doi: 10.1002/joc.6345.

BLACK *et al.* Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. **Weather**, v. 59, n. 8, p. 217–223, 2004. doi: 10.1256/wea.74.04.

CHEN *et al.* Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, D4, 2008. doi: 10.1029/2007JD009132.

CHENG *et al.* Cardiorespiratory effects of heatwaves: a systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. **Environmental Research**, v. 177, p. 1–10, 2019. doi: 10.1016/j.envres.2019.108610.

CORRÊA, Marcelo de Paula. Ondas de calor, biodiversidade e saúde em tempos de mudanças climáticas. **Jornal de Pediatria**, v. 101, supl. 1, p. s27–s33, 2025.

de MORAES, S. L.; 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.

DOLE *et al.* Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 6, L06702, 2011. doi: 10.1029/2010GL046582.

EMBRAPA. Clima. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2021. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 25 mai. 2025.

ESPINOZA *et al.* The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 8107, 2024. doi: 10.1038/s41598-024-58782-5

FERON *et al.* Observations and projections of heatwaves in South America. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1–15, 2019. doi: 10.1038/s41598-019-44614-4.

GEIRINHAS *et al.* The influence of soil dry-out on the record-breaking hot 2013/2014 summer in Southeast Brazil. **Scientific Reports**, v. 12, p. 5836, 2022. doi: 10.1038/s41598-022-09515-z.

GEIRINHAS *et al.* Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 3, p. 034036, 2021. doi: 10.1088/1748-9326/abe0eb.

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.; Yglesias-González, M.; Blanco-Villafuerte, L. The 2022 South America report of the Lancet Countdown on health and climate change: trust the science. Now that we know, we must act. **Lancet Regional Health – Americas**, v. 20, p. 100470, 2023. doi: 10.1016/j.lana.2023.100470.

HERSBACH, H. *et al.* ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. **Copernicus Climate Service (C3S)**. Climate Data Store. 2023. doi: 10.24381/cds.bd0915c6.

KENDALL, M. G. (1975). **Rank Correlation Measures**. Ed. Charles Griffin. London.

KIM *et al.* Mortality Risk of Hot Nights: A Nationwide Population-Based Retrospective Study in Japan. **Environmental Health Perspectives**, v. 131, n. 5, p. 57005, 2023. doi: 10.1289/EHP11444.

KUGLITSCH, Franz G. *et al.* Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 4, 2010.

LAVAYSSE, Christophe, *et al.* Predictability of the European heat and cold waves. **Climate Dynamics**, v. 52, n. 3, p. 2481-2495 2019.

MANN, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 7, p. 893–904, 2008.

MARENGO, Jose 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, p. 1529082, 2025.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, n. 8, p. 5–28, 2007.

MEEHL, G. A.; TEBALDI, C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. **Science**, v. 305, p. 994–998, 2004. doi: 10.1126/science.1098704.

OLIVEIRA, D. E. D.; ASSIS, D. C. D.; FERREIRA, C. D. C. M. Dinâmica climática regional em municípios da Zona da Mata, Campo das Vertentes e Sul e Sudoeste de Minas Gerais: As ondas de calor e frio. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018. doi: 10.5380/abclima.v1i0.61039.

OLIVEIRA *et al.* Hotter, longer and more frequent heatwaves: an observational study for the Brazilian City of Campinas, SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 305–316, 2021. doi: 10.1590/0102-77863620119.

OMM (WMO). Heatwaves and health: Guidance on warning-system development. **World Meteorological Organization**, 2015 (Operational-Monograph 1142).

PEREIRA LLOPART, Marta *et al.* Performance do Acoplamento RegCM4.3 e CLM3.5: Uma Análise Sobre o Sudeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, 2018.

PERKINS, S. E.; ARGÜESO, D.; WHITE, C. J. Relationships between climate variability, soil moisture, and Australian heatwaves. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, p. 8144–8164, 2015.

PHAM-THANH, Ha *et al.* Ondas de calor no Vietnã: características e relação com fatores climáticos de larga escala. **International Journal of Climatology**, v. 44, n. 13, p. 4725–4740, 2024.

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.

REBOITA, M. S. *et al.* Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. doi: 10.1590/S0102-77862010000200004

REIS, Nicolle Cordero Simões dos. Variabilidade das ondas de calor na região subtropical do Brasil. 2017.

RODRIGUES, Leonardo. A Zona de Transição Climática Tropical-Subtropical do Brasil. 2023. 142 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia - Bacharelado) – **Centro de Ciências Exatas**, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/1103>. Acesso em: 19/09/2025.

ROFFE, S. J.; VAN DER WAL, 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.; VARGAS, W. Situações sinóticas relacionadas a períodos de temperaturas extremas sobre a Argentina. **Meteorological Applications**, v. 2, p. 291–300, 1995. doi: 10.1002/met.5060020401.

RUSTICUCCI, M.; KYSELY, J.; ALMEIRA, G.; LHOTKA, O. 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.; CORTES, T. R.; BELL, M. L.; JUNGER, W. L. Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. **PLoS ONE**, v. 18, n. 3, e0283899, 2023. doi: 10.1371/journal.pone.0283899.

SILVEIRA, Rafael Brito *et al.* Ondas de calor nas capitais do Sul do Brasil e Montevidéu-Uruguai. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1259–1276, 2019.

SONG, X.; WANG, S.; LI, T.; TIAN, J.; DING, G.; WANG, J.; SHANG, K. Impact of heat waves and cold spells on respiratory emergency department visits in Beijing, China. **Science of The Total Environment**, 2018.

THOMPSON, Vikki *et al.* The most at-risk regions in the world for high-impact heatwaves. **Nature Communications**, v. 14, n. 1, p. 2152, 2023.

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, 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, p. e12155, 2010b.

- VALVERDE, M. C.; ROSA, M. B. Heat waves in Sao Paulo State, Brazil: Intensity, duration, spatial scope, and atmospheric characteristics. **International Journal of Climatology**, v. 43, n. 8, p. 3782–3798, 2023. doi: 10.1002/joc.8058.
- VASCONCELOS, J.; FREIRE, E.; ALMENDRA, R.; SILVA, G. L.; SANTANA, P. The impact of winter cold weather on acute myocardial infarctions in Portugal. **Environmental Pollution**, v. 183, p. 14–18, 2013. doi: 10.1016/j.envpol.2013.01.037.
- VERDAN, I.; SILVA, M. E. S. Variabilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul em relação a eventos ENOS de 2000 a 2021. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 42, p. e193110, 2022.
- WANG, L. *et al.* The impact of cold spells on mortality and effect modification by cold spell characteristics. **Scientific Reports**, v. 6, p. 38380, 2016. doi: 10.1038/srep38380.
- WANG, Y.; ZHAO, N. A.; WU, C.; QUAN, J.; CHEN, M. 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, 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, e1002753, 2019. doi: 10.1371/journal.pmed.1002753.

APÊNDICE 1

Duração e intensidade dos eventos ocorridos entre 1980 e 2025

Ano	Estação	Início	Fim	Duração	Int_tmin	Int_tmax
1980	JJA	1980-08-19	1980-08-22	4	18,36	29,83
1981	MAM	1981-03-01	1981-03-03	3	20,92	32,52
1981	MAM	1981-03-13	1981-03-15	3	20,62	31,37
1984	DJF	1984-01-17	1984-01-19	3	21,95	33,44
1984	JJA	1984-08-06	1984-08-08	3	17,27	30,33
1987	JJA	1987-08-12	1987-08-16	5	17,32	31,32
1987	JJA	1987-08-28	1987-08-30	3	17,22	31,25
1988	DJF	1988-01-18	1988-01-23	6	21,95	32,93
1988	DJF	1988-01-27	1988-01-30	4	21,94	32,90
1990	MAM	1990-03-11	1990-03-15	5	20,99	32,69
1990	MAM	1990-04-06	1990-04-08	3	21,09	31,90
1990	SON	1990-11-13	1990-11-15	3	21,50	32,90
1991	JJA	1991-08-28	1991-08-30	3	16,45	30,01
1992	JJA	1992-06-06	1992-06-08	3	19,55	30,87
1994	JJA	1994-08-29	1994-08-31	3	16,78	30,42
1995	DJF	1995-01-16	1995-01-18	3	21,70	33,72
1996	DJF	1996-01-25	1996-01-27	3	21,55	32,37
1996	MAM	1996-03-29	1996-03-31	3	20,85	31,87
1997	SON	1997-11-09	1997-11-11	3	21,47	33,78
1998	DJF	1997-12-23	1997-12-27	5	21,77	32,78
1998	DJF	1998-02-01	1998-02-10	10	22,05	32,49
1998	MAM	1998-03-08	1998-03-13	6	21,35	32,01
1998	JJA	1998-08-24	1998-08-26	3	17,71	29,13
1999	JJA	1999-08-28	1999-08-31	4	17,22	31,09
2000	JJA	2000-08-24	2000-08-26	3	17,83	31,98
2002	MAM	2002-03-08	2002-03-10	3	21,03	32,21
2002	MAM	2002-03-12	2002-03-14	3	21,22	32,38
2002	JJA	2002-08-06	2002-08-09	4	17,14	30,20
2002	JJA	2002-08-23	2002-08-25	3	16,54	29,48
2003	DJF	2003-02-28	2003-03-03	4	21,16	32,87
2003	MAM	2003-03-05	2003-03-07	3	20,57	32,17
2005	MAM	2005-03-08	2005-03-13	6	21,38	32,08
2005	JJA	2005-08-28	2005-08-31	4	18,56	31,75
2006	MAM	2006-03-02	2006-03-04	3	21,85	31,73
2006	JJA	2006-08-10	2006-08-12	3	16,51	30,15
2006	JJA	2006-08-15	2006-08-17	3	17,04	30,47
2007	SON	2007-10-27	2007-11-01	6	21,02	33,39
2008	SON	2008-10-25	2008-10-27	3	20,58	33,84
2009	MAM	2009-03-04	2009-03-08	5	21,26	32,73
2011	JJA	2011-08-27	2011-08-30	4	17,24	31,33
2012	SON	2012-10-28	2012-10-31	4	21,82	35,85
2013	DJF	2012-12-25	2012-12-27	3	21,60	33,17
2013	MAM	2013-03-06	2013-03-12	7	21,21	31,73
2014	SON	2014-10-15	2014-10-19	5	20,91	34,84
2015	SON	2015-10-15	2015-10-17	3	21,14	35,84
2015	SON	2015-10-20	2015-10-22	3	22,53	34,72
2015	SON	2015-11-11	2015-11-14	4	21,23	33,30
2016	SON	2016-10-16	2016-10-20	5	21,75	33,89
2017	DJF	2016-12-25	2016-12-28	4	21,63	32,82
2017	MAM	2017-03-09	2017-03-12	4	21,30	31,72
2017	SON	2017-10-11	2017-10-13	3	20,72	34,36
2018	DJF	2018-01-22	2018-01-24	3	21,73	32,08
2018	MAM	2018-03-12	2018-03-15	4	21,43	31,72
2018	MAM	2018-03-18	2018-03-20	3	21,68	31,58
2019	DJF	2018-12-16	2018-12-18	3	21,61	32,15
2019	DJF	2019-01-28	2019-02-03	7	21,89	33,31
2019	JJA	2019-08-10	2019-08-12	3	17,24	29,32
2019	SON	2019-10-12	2019-10-14	3	20,84	32,86
2020	JJA	2020-06-11	2020-06-13	3	17,34	29,50
2020	JJA	2020-08-12	2020-08-15	4	17,67	29,91
2020	SON	2020-09-30	2020-10-08	9	22,44	36,18
2021	JJA	2021-08-22	2021-08-26	5	17,37	31,77
2022	DJF	2022-02-26	2022-03-01	4	21,54	32,44
2022	MAM	2022-03-03	2022-03-09	7	20,85	31,98
2022	JJA	2022-08-26	2022-08-28	3	16,71	30,60
2023	JJA	2023-08-23	2023-08-25	3	18,72	33,21
2023	SON	2023-09-23	2023-09-27	5	21,97	36,01
2023	SON	2023-10-04	2023-10-07	4	21,56	33,24
2023	SON	2023-11-11	2023-11-19	9	22,42	35,85
2024	DJF	2024-01-16	2024-01-19	4	21,86	33,15
2024	DJF	2024-02-24	2024-03-06	12	21,56	32,65
2024	MAM	2024-03-11	2024-03-21	11	22,00	33,04
2024	JJA	2024-08-05	2024-08-08	4	16,65	29,52
2024	JJA	2024-08-21	2024-08-23	3	17,32	31,84
2025	DJF	2025-02-16	2025-02-18	3	21,71	33,88