

ONDAS DE CALOR EM PORTO ALEGRE (1991–2020): COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS PERCENTUAIS, LIMIARES FIXOS E ANÁLISE DE OCORRÊNCIA

HEATWAVES IN PORTO ALEGRE (1991–2020): COMPARISON BETWEEN PERCENTILE CRITERIA, FIXED THRESHOLDS, AND OCCURRENCE ANALYSIS

OLAS DE CALOR EN PORTO ALEGRE (1991–2020): COMPARACIÓN ENTRE CRITERIOS PORCENTUALES, UMBRALES FIJOS Y ANÁLISIS DE OCURRENCIA

Ana Paula de Andrade Janz Elias¹
Amanda Ferraz Kereski²
Francisco Eliseu Aquino³

Resumo

Ondas de calor (OC) referem-se a uma sequência de dias com temperaturas elevadas, que produzem diferentes riscos e impactos na região de ocorrência, em especial para a sociedade. Este estudo analisou dados de temperaturas mínimas e máximas para Porto Alegre – Rio Grande do Sul no período de 1991 até 2020, com a finalidade de determinar a ocorrência de OC. Os dados utilizados pertencem aos registros meteorológicos diários da estação automática de Porto Alegre (WMO 86988), vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados foram organizados e analisados considerando o caráter de uma pesquisa quantitativa, pois foram empregadas técnicas para a análise dos dados como cálculos estatísticos e o uso da linguagem Python para modelagem dos resultados encontrados. Os métodos estatísticos adotados para a detecção de OC incluíram os percentis 90 (p90) e 95 (p95) da climatologia diária, além de critérios fixos baseados em temperaturas mínimas e máximas absolutas. Ao todo, foram identificadas 12 OC entre 1991 e 2020 sob o critério do p95, tendo um aumento de 300% na última década. O número médio de dias de duração foi de 4 dias, que apresentaram temperatura máxima de pico média de 38 °C, o que já configura um cenário de severidade elevada.

Palavra-chave: climatologia; mudanças climáticas; eventos meteorológicos extremos

Abstract

Heatwaves (HW) refer to a sequence of days with high temperatures that pose various risks and impacts on the affected region, especially for society. This study analyzed minimum and maximum temperature data for Porto Alegre – Rio Grande do Sul from 1991 to 2020, aiming to determine the occurrence of HW. The data used come from the daily meteorological records of the automatic station in Porto Alegre (WMO 86988), linked to the National Institute of Meteorology (INMET). These data were organized and analyzed within the scope of a quantitative research approach, employing techniques such as statistical calculations and Python programming for modeling the results. The statistical methods adopted for HW detection included the 90th (p90) and 95th (p95) percentiles of daily climatology, as well as fixed criteria based on absolute minimum and maximum temperatures. In total, 12 HWs were identified between 1991 and 2020 under the p95 criterion, with a 300% increase in the last decade. The average duration was 4 days, with a mean peak maximum temperature of 38 °C, which already indicates a scenario of high severity.

Keywords: climatology; climate change; extreme weather events

¹ Professora no Centro Universitário Internacional - UNINTER.

² Bacharelado em Matemática no Centro Universitário Internacional - UNINTER.

³ Professor Associado I do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Bacharel em Geografia - UFRGS, mestrado em sedimentação glaciomarinha e clima (geologia marinha) pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências (UFRGS), e doutorado com ênfase em mudanças climáticas entre a Antártica e o Sul do Brasil pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências (UFRGS) e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Possui 17 expedições científicas ao continente antártico. Chefe do Departamento de Geografia (maio/2023 a maio/2025).

Resumen

Las olas de calor (OC) se refieren a una secuencia de días con temperaturas elevadas que generan diversos riesgos e impactos en la región afectada, especialmente para la sociedad. Este estudio analizó datos de temperaturas mínimas y máximas para Porto Alegre – Rio Grande do Sul en el período de 1991 a 2020, con el objetivo de determinar la ocurrencia de OC. Los datos utilizados provienen de los registros meteorológicos diarios de la estación automática de Porto Alegre (WMO 86988), vinculada al Instituto Nacional de Meteorología (INMET). Estos datos fueron organizados y analizados en el marco de una investigación de carácter cuantitativo, utilizando técnicas como cálculos estadísticos y el lenguaje de programación Python para modelar los resultados obtenidos. Los métodos estadísticos adoptados para la detección de OC incluyeron los percentiles 90 (p90) y 95 (p95) de la climatología diaria, además de criterios fijos basados en temperaturas mínimas y máximas absolutas. En total, se identificaron 12 OC entre 1991 y 2020 bajo el criterio del p95, con un aumento del 300% en la última década. La duración media fue de 4 días, con una temperatura máxima media de pico de 38 °C, lo que ya configura un escenario de alta severidad.

Palabras clave: climatología; cambio climático; eventos meteorológicos extremos

1 Introdução

Nas últimas décadas, a intensificação dos eventos meteorológicos extremos tem se tornado uma das manifestações mais evidentes das mudanças climáticas globais. Entre esses eventos, as ondas de calor (OC) se destacam como fenômenos com impactos severos na saúde pública, na agricultura, nos recursos hídricos e na infraestrutura urbana. A literatura internacional aponta para um aumento significativo na frequência, intensidade e duração dessas ocorrências, especialmente em regiões de clima subtropical, como é o caso da capital do Rio Grande do Sul - Brasil, conforme Cardia (2010), Rosa, Aquino e Reis (2018), e World Weather Attribution (WWA, 2022).

É possível caracterizar o constructo ondas de calor (OC) como eventos que ocorrem em períodos prolongados, de temperaturas excessivamente elevadas e definidas com limites relativos ao clima da área de estudo. Esses eventos ocorrem em dias consecutivos com temperaturas acima da média e são analisados considerando aspectos como duração, intensidade e extensão espacial.

Ao longo da última década, destacaram-se episódios de OC de grande magnitude e impacto na região de Porto Alegre. Nos últimos anos, a cidade tem sido afetada por episódios de OC com intensidade e duração crescentes (Rosa; Aquino; Reis, 2018; Cardia, 2010). Em janeiro de 2014, foram registrados valores superiores a 40 °C na estação meteorológica convencional de Porto Alegre (INMET, 2014), em um cenário caracterizado pela presença de bloqueios atmosféricos persistentes e ausência prolongada de precipitação.

No verão de 2022/2023, observou-se um prolongado período de calor intenso, associado à atuação do fenômeno *La Niña* e à subsidênci a atmosférica regional, resultando em anomalias positivas de temperatura e impacto direto sobre o abastecimento hídrico e o conforto térmico urbano (WWA 2022, 2023).

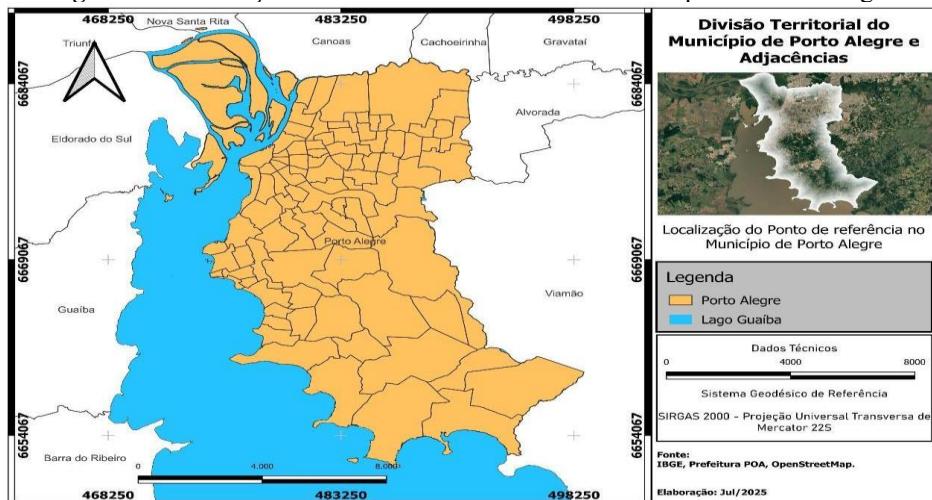
Mais recentemente, em setembro de 2023, um evento atípico de calor precoce foi observado no início da primavera climática, com temperaturas máximas diárias superiores a 41 °C, estabelecendo novos recordes históricos para o mês na capital gaúcha (INMET, 2014).

Esses eventos, cada vez mais frequentes e intensos, evidenciam a importância de estudos sistemáticos sobre OC em Porto Alegre, com base em critérios climatológicos robustos e metodologias comparáveis à literatura internacional (Fischer; Schär, 2010; Aquino, 2012). Esses episódios extremos, além de refletirem o aumento na frequência e intensidade de ondas de calor na região, têm gerado impactos sobre a saúde pública, agricultura e abastecimento hídrico. Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender a dinâmica das OC na capital gaúcha, sob uma perspectiva estatística e climatológica. Por isso, coloca-se os seguintes objetivos para o desenvolvimento desta pesquisa: a) analisar os dados históricos entre 1991 e 2020 para as temperaturas médias, mínimas e máximas para Porto Alegre; b) elaborar estudo climatológico de OC para período 1991 a 2020; c) quantificar duração e intensidade dos eventos classificados como OC. Visando atingir tais objetivos, esta pesquisa se deu a partir de uma abordagem quantitativa e os dados coletados estão apresentados na sequência deste texto.

2 A cidade de Porto Alegre (BR)

Salienta-se que município de Porto Alegre (figura 1), capital do estado do Rio Grande do Sul, está inserido em uma região de clima subtropical úmido, classificado como Cfa (segundo a classificação climática de Köppen-Geiger), caracterizado por verões quentes, invernos que variam de amenos a frios, e uma distribuição relativamente regular de precipitações ao longo do ano.

Figura 1: Localização e Sistema de coordenadas do município de Porto Alegre



Fonte: Os autores com base em IBGE, Prefeitura de Porto Alegre e SIRGAS (2000).

A cidade está localizada em uma zona de transição atmosférica entre os domínios tropicais e extratropicais, o que a torna particularmente suscetível à atuação alternada de massas de ar de diferentes origens (tropicais, polares e marítimas), e contribui para uma marcada variabilidade térmica e pluvial, típica de regiões interclimáticas (Livia, 2002; Aquino, 2012). Essa configuração dinâmica, é resultado da influência simultânea de diversos sistemas atmosféricos complexos e meteorológicos.

Como reforçam os estudos de Livia (2002) e Aquino (2012), Porto Alegre apresenta uma condição geográfica estratégica, por apresentar elevada frequência e variabilidade de extremos térmicos, marcada por uma elevada sazonalidade climática e uma frequência significativa de eventos extremos, características diretamente associadas à sua posição como área de convergência entre diferentes sistemas atmosféricos de escala regional e hemisférica, refletindo assim sua condição geográfica como área de convergência entre diferentes sistemas meteorológicos. Esses fatores exercem papel fundamental na dinâmica climática local, especialmente no que diz respeito à ocorrência e intensidade de extremos térmicos, tornando a região sensível a esses extremos, como as ondas de calor e de frio.

A localização de Porto Alegre, em uma zona de transição climática entre os regimes tropicais e temperados da América do Sul, contribui para uma elevada variabilidade atmosférica e, consequentemente, para a ocorrência de extremos térmicos expressivos.

3 Conceituação de Ondas de Calor

Conforme citado anteriormente, é possível apresentar inicialmente a definição das OC como eventos meteorológicos extremos, caracterizados por temperaturas anormalmente elevadas, máximas diária e noturna, significativamente acima da média climatológica da região, por dias consecutivos, considerando variáveis como tempo de duração, intensidade e extensão espacial.

Apesar de não haver uma definição universalmente padronizada (WHO, 2025), que pode variar de acordo com o critério adotado, diferentes órgãos e centros meteorológicos, bem como centros de estudos científicos propõem a definição de OC a partir de critérios que combinam o período do ano, localização geográfica, intensidade, duração e persistência das temperaturas elevadas. Sendo essencial especificar a metodologia aplicada em cada estudo.

Ou seja, a definição de OC pode ser abordada sob diferentes perspectivas. Do ponto de vista conceitual, Machado (1950, p. 17) descreve as OC como um “fenômeno meteorológico que consiste na elevação das temperaturas extremas além de certos limites estabelecidos e por vários dias consecutivos”. Já Araújo (1930), ao observar o comportamento climático do Rio

Grande do Sul, propôs critérios específicos para a identificação desses eventos, estabelecendo como parâmetros: 1. temperatura mínima superior a 22,0°C; 2. temperatura máxima superior a 33,0°C; 3. duração mínima de três dias. Assim, enquanto Machado (1950) contribui com uma definição geral do fenômeno, Araújo (1930) oferece condições objetivas de classificação, aplicáveis ao contexto regional sul-brasileiro.

Alguns artigos acadêmicos, como o publicado por Simões et al. (2020), também utilizam critérios percentuais como percentil 90 ou 95 da temperatura máxima diária, em conjunto com limiares absolutos (ex: > 35 °C) por pelo menos três dias consecutivos, como critério técnico-padrão para caracterizar adequadamente esses eventos e detectar ondas de calor no contexto sul-brasileiro.

Alguns órgãos oficiais, como o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), frequentemente adotam critérios mistos em boletins operacionais. Por exemplo: valores absolutos fixos (como máximas $\geq 35^{\circ}\text{C}$ por 3 dias consecutivos), especialmente no verão; ou critérios estatísticos como percentil 90, quando se deseja uma abordagem mais comparativa entre regiões e períodos.

Segundo a OMM (Organização Meteorológica Mundial), uma onda de calor é definida como um período de pelo menos três dias consecutivos em que a temperatura máxima diária excede o percentil 90 da climatologia local para o mesmo dia do ano, calculada a partir de uma série histórica de pelo menos 30 anos.

Além disso, há um crescente interesse no uso de critérios compostos para definição de OC, que envolvem não apenas a temperatura máxima, mas também a elevação da temperatura mínima noturna e a umidade relativa do ar. Isso acontece, pois noites quentes impedem a recuperação térmica do organismo humano, elevando o risco de mortalidade e morbidade associadas ao calor extremo (Gasparrini, *et al.*, 2015; Kjellstrom, *et al.*, 2009).

Portanto, a definição adequada dos critérios de OC é fundamental não apenas para fins estatísticos e de modelagem, mas para a emissão de alertas precoces, avaliação de impactos e formulação de políticas públicas.

4 Metodologia

A abordagem da pesquisa aqui realizada é a quantitativa, pois conforme Elias (2023, p. 41) “na pesquisa quantitativa, os dados são mais quantificáveis e, comumente, possíveis de análise estatística”. Para esse processo, o uso de tecnologias computacionais tem ampliado significativamente a capacidade de análise e previsão de eventos extremos, algo que é essencial para a compreensão aprofundada sobre as OC.

Contudo, antes do processo de coleta e análise dos dados, verificou-se a necessidade de selecionar uma definição de OC para o desenvolvimento desta pesquisa. Diante disso, este estudo considerou três perspectivas que envolvem a definição do conceito aqui investigado, a fim de comparar metodologias e aprimorar a precisão na identificação desses eventos. São elas: (i) critérios fixos baseados em limites absolutos de temperatura mínima e máxima; (ii) aplicação do percentil 90 (p90); e (iii) uso do percentil 95 (p95), que representa os episódios mais extremos.

Ou seja, o principal critério adotado neste estudo, e especialmente na análise dos dados para apresentação dos resultados, é a baseada no percentil 95 (p95), por ser estatisticamente mais rigorosa e recomendada por estudos como os de Perkins e Alexander (2013) e Simões et al. (2020). Essa escolha está alinhada às diretrizes da Organização Meteorológica Mundial, que reforça a importância de critérios adaptáveis à climatologia local, especialmente em contextos de variabilidade regional, como o de Porto Alegre.

A adoção dessa perspectiva também se apoia nas contribuições de Rosa, Aquino e Reis (2018), que sugerem ultrapassar definições baseadas apenas em limiares fixos, defendendo a combinação de parâmetros variáveis (como percentis), com limites absolutos e número mínimo de dias consecutivos, além da consideração do contexto geográfico e climático específico da área de estudo. Os autores supracitados também recomendam o uso de análises espaciais das anomalias de temperatura e a adoção de indicadores compostos, como o Índice de Calor (Heat Index) proposto por Steadman (1979, 1984), que incorpora a umidade relativa na percepção térmica. Tais perspectivas possibilitam, por exemplo, consolidar eventos próximos no tempo em um único episódio, o que permite representar com mais fidelidade a duração e a intensidade do fenômeno. Essa atualização metodológica se alinha às tendências recentes na literatura, que visam aumentar a precisão das estatísticas climáticas e, assim, aprimorar os mecanismos de prevenção de impactos sobre a saúde humana e os sistemas socioeconômicos.

Essa visão é complementada por Machado (1950), que fornece uma definição geral do conceito de OC, e por Araújo (1930), que propõe critérios objetivos aplicáveis ao contexto sul-brasileiro. Ambos os autores, somados à orientação metodológica de Rosa, Aquino e Reis (2018), servem de base para os critérios adotados neste estudo. Ou seja, a definição de OC aqui utilizada considera: horizonte de tempo: no mínimo 3 dias consecutivos; temperatura mínima diária: superior a 22 °c; temperatura máxima diária: superior a 33 °c; critério estatístico: exceder o percentil 95 da climatologia diária da temperatura máxima, calculado a partir de uma série histórica de pelo menos 30 anos.

Essa abordagem busca garantir maior precisão na detecção de eventos extremos, pois entende-se que não basta estar quente, é necessário estar fora da normalidade histórica; a

definição deve ser dinâmica à variabilidade interanual e adaptável o contexto sazonal e climático local; ajustados à climatologia local, os percentis contribuem para maior precisão na caracterização de extremos, tornando a metodologia mais robusta e comparável entre regiões e períodos distintos. Dessa forma, o estudo aqui desenvolvido busca refletir uma estratégia que concilia rigor estatístico, realismo climático e aplicabilidade prática aos dados de Porto Alegre (RS), utilizando os registros do INMET como base para a análise.

Salienta-se, ainda, que ao entender que a combinação de métodos estatísticos e visualização interativa de dados, permite identificar padrões históricos, detectar tendências e simular cenários futuros, possibilitando o desenvolvimento de modelos preditivos capazes de antecipar futuros episódios críticos com maior precisão e agilidade. Este trabalho adota abordagem quantitativa, conforme citado anteriormente e utiliza-se de softwares específicos, visando complementar as análises estatísticas tradicionais. Para isso, foram utilizadas bibliotecas reconhecidas em ciência de dados, como Pandas para manipulação de séries temporais, Numpy para operações numéricas vetorizadas e Matplotlib/Seaborn para visualização gráfica dos dados.

Reforça-se que os dados de temperatura utilizados, foram coletados diretamente do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET, da estação automática de Porto Alegre (WMO 86988), em operação desde o ano 2000, localizada junto à estação WMO 83967. Os dados foram processados e analisados em um Notebook Jupyter com o uso da Linguagem de Programação Python TM 3.12 e Métodos Estatísticos, permitindo verificar dentro do período de 30 anos (1991 - 2020), a partir dos parâmetros que definem uma OC, quais os períodos poderiam ser classificados assim.

Vale destacar que apesar da análise abranger um longo período de observações, a ausência de dados foi mínima e distribuída de forma esparsa ao longo da série. Portanto, não impactou significativamente os resultados e não foi necessário realizar tratamentos de interpolação ou exclusão de séries. Essa característica reforça a robustez dos dados utilizados.

O uso do percentil 95 (p95) é recomendado por Perkins e Alexander (2013) e Simões et al. (2020), quando se quer garantir rigor estatístico e coerência climática local na detecção de ondas de calor, eficaz para identificar eventos extremos de temperatura com base em limites ajustados ao histórico climatológico de cada região. Ele permite identificar eventos excepcionais, raros e potencialmente perigosos, respeitando a variabilidade histórica e a sazonalidade regional. Rosa, Aquino e Reis (2012) reforçam o uso de critérios mistos para o Sul do Brasil, ou seja, a conjugação entre percentis e limiares absolutos pode melhorar a acurácia no processo de detecção de extremos.

O percentil 95 representa o valor abaixo do qual 95% dos dados históricos caem. Ou

seja, ao considerar 30 anos de dados de temperatura máxima para o dia 25 de janeiro, o p95 daquele dia indica um limiar extremo: somente os 5% mais quentes dos registros ultrapassaram esse valor. É, portanto, um indicador estatístico de raridade térmica.

Com base nos trabalhos de Perkins e Alexander (2013) e nas normas da OMM, o uso de percentis é considerado uma estratégia robusta e adaptativa na detecção de OC por diferentes motivos. São eles: 1. adaptação ao clima local: usar percentis respeita a climatologia da região. Porto Alegre, por exemplo, tem um clima diferente de Recife ou de São Paulo, então valores fixos (como "temperatura > 35 °C") não capturam bem as anomalias locais; 2. sensibilidade à sazonalidade: a aplicação do percentil por dia do ano (dia juliano) leva em conta a variação natural ao longo do tempo (ex: não é razoável exigir 35 °C em junho, mas pode ser um extremo em janeiro); 3. identificação de extremos reais, não apenas dias quentes: ondas de calor devem representar anomalias estatísticas, dias fora do padrão esperado historicamente, não apenas dias quentes dentro do comum; 4. recomendação científica consolidada: segundo o estudo de Perkins e Alexander (2013), a aplicação de limiares percentuais é uma das formas mais confiáveis de detectar extremos, pois são estatisticamente comparáveis entre regiões e períodos.

Tabela 1: comparação entre os percentis 90 e 95 para a detecção de ondas de calor

Característica	p90	p95
Percentagem da série histórica	Temperatura superior em 10% dos registros, ou seja, 90% dos dados estão abaixo.	Temperatura superior em 5% dos registros, ou seja, 95% dos dados estão abaixo.
Rigor do limiar	Moderado (identifica anomalias frequentes).	Elevado (detecta apenas extremos significativos).
Frequência dos eventos detectados	Alta — inclui eventos intensos recorrentes	Baixa — concentra-se em eventos raros e mais severos/extremos.
Aplicabilidade	Avaliação de calor acima do normal climatológico	Análise de eventos extremos com maior impacto climático. Detecção de extremos graves.
Probabilidade de falso positivo	Maior — pode incluir episódios menos críticos	Menor — mais seletivo e estatisticamente robusto

Fonte: elaborada pelos autores com base em Perkins e Alexander (2013).

A partir da tabela 1 é possível observar que, considerando que o percentil 90 (p90) corresponde ao valor superado apenas pelos 10% maiores registros de uma distribuição, seu uso permite captar tanto eventos intensos, quanto aqueles menos extremos, mas ainda estatisticamente relevantes; p95 foca nos episódios realmente críticos e é geralmente o mais adotado em análises de vulnerabilidade e risco climático. Segundo Perkins e Alexander (2013) e Simões et al. (2020), essa metodologia proporciona maior consistência espacial e temporal na identificação de ondas de calor, especialmente quando os limiares são ajustados à climatologia local.

5 Resultados

Inicialmente, foi conduzida uma análise descritiva e exploratória das séries históricas de temperaturas máximas e mínimas diárias em Porto Alegre. Para chegarmos na análise histórica, as seguintes métricas foram exploradas e analisadas.

5.1 Detecção de ondas de calor dentro do período de 1991 a 2020

Com a finalidade de explorarmos o conceito de OC adotado neste trabalho com os conceitos definidos por outros estudos, anteriormente citados, a análise abaixo (abordada com cenários) compara ambas, na detecção de OC. Com o uso de p90, p95 e temperaturas mínimas e máximas. Ao referir-se com mesmas condições, estão sendo adotadas as seguintes condicionais na análise, conforme citado anteriormente:

Tabela 2: condições para definir uma OC

Horizonte de tempo - duração mínima de ≥ 3 dias consecutivos, com temperaturas:

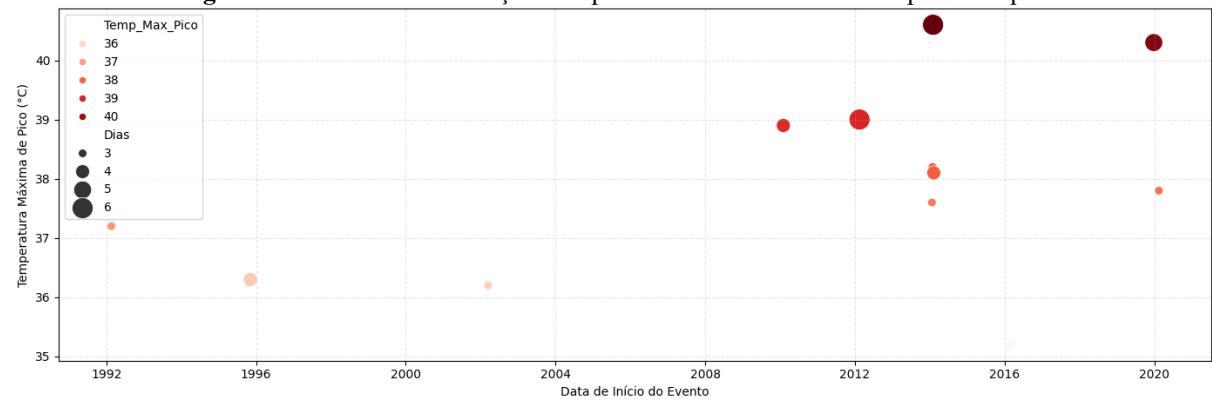
Temperatura Mínima $> 22^{\circ}\text{C}$

Temperatura Máxima $> 33^{\circ}\text{C}$

Fonte: elaborada pelos autores com base em Araújo (1930).

As OC com a adoção do cenário p95 (Figura 2) possibilita identificar que o número de eventos, duração em dias e temperatura máxima aumentam significativamente após 2010 com 9 ocorrências de OC para o cenário 1 observado.

Figura 2: cenário 1: Distribuição Temporal das OC com critério de percentis p95

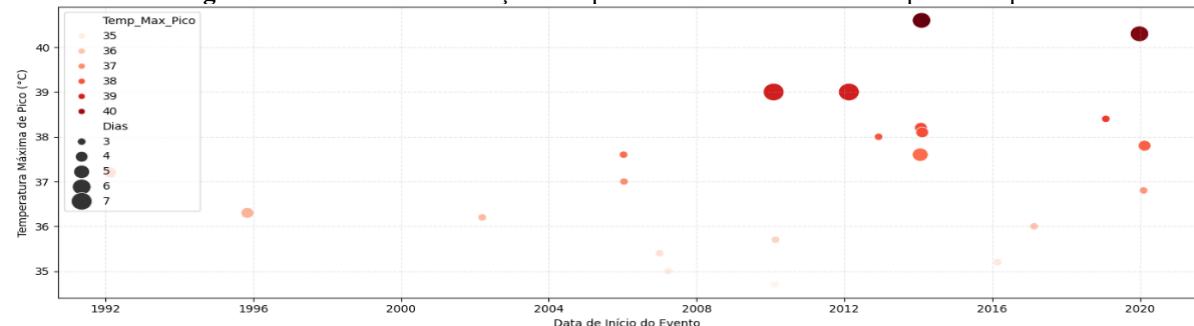


Fonte: os autores, 2025.

É possível observar a semelhança do cenário 1 ao cenário 2 com critério de p90 (Figura 3), porém o número de eventos é maior, para o período de 30 anos, neste cenário a ocorrência de

OC foi de 21 eventos no total.

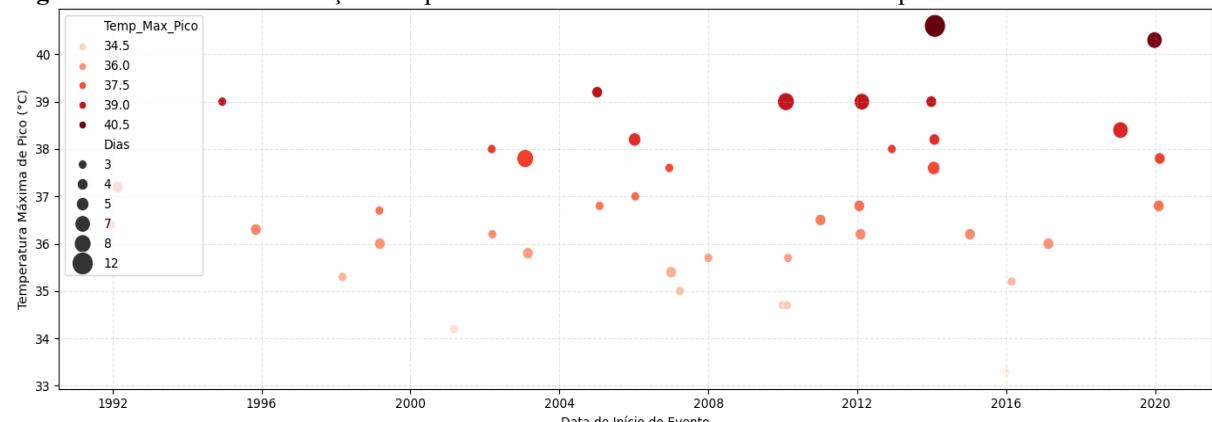
Figura 3: cenário 2: Distribuição Temporal das OC com critério de percentis p90



Fonte: os autores, 2025.

Já com a adoção da análise sem utilização de percentis, apenas temperaturas mínimas e máximas e duração mínima de três dias o número de eventos de OC totalizados é de 41, é o maior ao longo de todo período (1991-2020), a partir de 2002 ocorreram 33 eventos de OC (Figura 4).

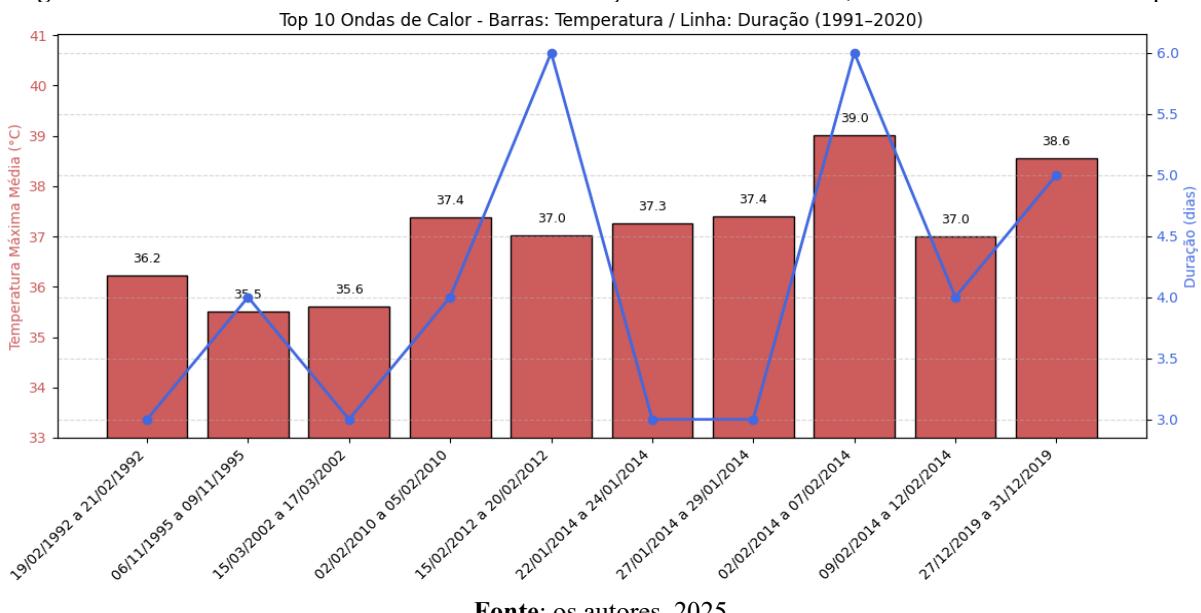
Figura 4: cenário 3: Distribuição Temporal de Ondas de Calor com critério de temperaturas mínimas e máximas



Fonte: os autores, 2025.

A análise estatística, baseada na definição abordada neste estudo de p95 para OC, permitiu identificar os 10 eventos mais extremos em Porto Alegre entre 1991 e 2020 (Figura 5). O episódio mais severo, com relação a duração do evento e a temperatura, ocorreu entre 02 e 07 de fevereiro de 2014, com duração de 6 dias consecutivos e pico de temperatura de 40,6 °C.

Figura 5: 10 eventos de OC detectados com maior duração entre 1991 e 2025, sob o critério estatístico do p95

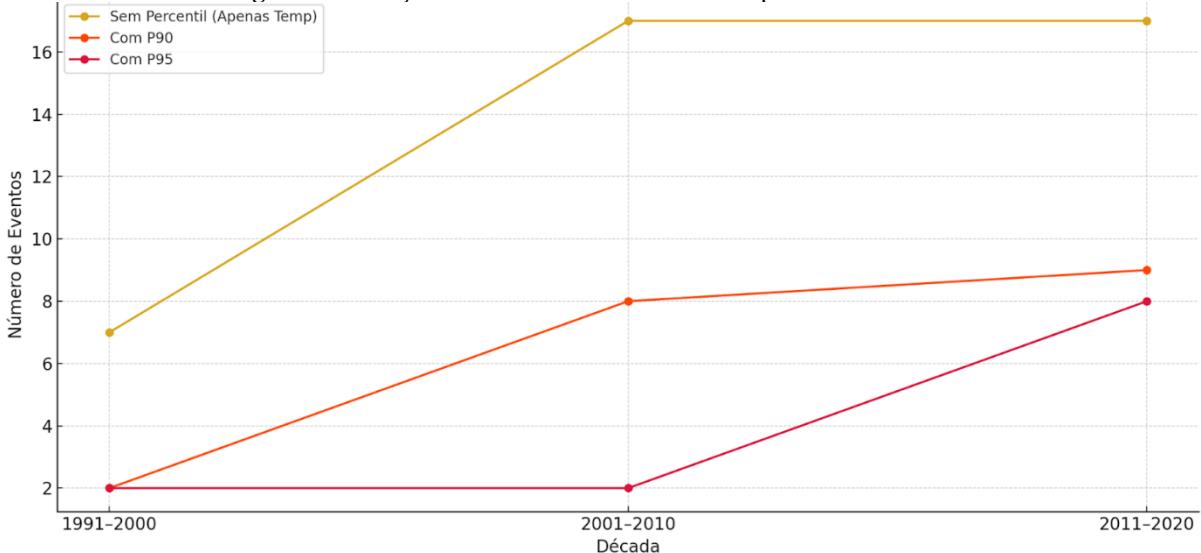


Fonte: os autores, 2025.

Destaca-se ainda a confirmação de ondas de calor no verão de 2012, até então pouco evidenciadas em estudos regionais, demonstrando a relevância da análise climatológica estatística na reavaliação dos extremos térmicos.

A partir da análise de duração dos eventos (Figura 5), que apresenta os episódios com maior persistência térmica, foi realizada uma avaliação complementar considerando a frequência (Figura 6) o que permitiu observar não apenas o número de eventos, mas também sua intensidade temporal, uma variável-chave para caracterização de ondas de calor severas.

Figura 6: evolução do número de eventos de OC por década e critério



Fonte: os autores, 2025.

Ou seja, percebe-se que as OC tiveram um aumento entre 1991 até 2020, o gráfico de

linha (Figura 6) apresenta a evolução do número de eventos de ondas de calor por década, para cada critério adotado. Esse aumento consistente no número de eventos de OC ao longo das décadas, especialmente com o critério mais flexível (sem percentil) destaca-se pelos critérios adotados para obter o número de eventos de OC (Tabela 3):

- **Sem Percentil (Apenas Temperatura):** crescimento de $7 \rightarrow 17 \rightarrow 17$ eventos (alta sensibilidade).
- **Com p90:** crescimento de $1 \rightarrow 8 \rightarrow 12$ eventos (moderada sensibilidade).
- Com p95:** crescimento de $2 \rightarrow 2 \rightarrow 8$ eventos (mais conservador e rigoroso).

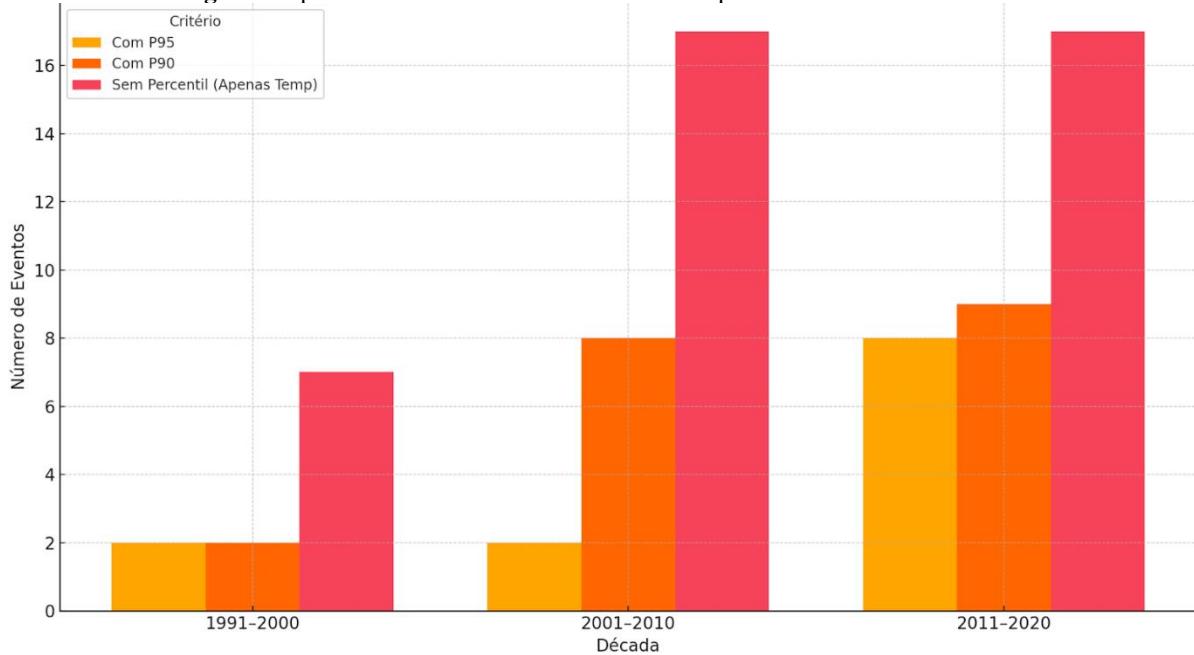
Tabela 3: Quantidade de ondas de calor em cada período e tipo de aplicação

Período – Década	Sem Percentil apenas Temperaturas Mín. e Máxi.	Aplicando p90	Aplicando p95
1991 – 2000	7	1	2
2001 – 2010	17	8	2
2011 – 2020	17	12	8
Total eventos por critério	41	21	12

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos resultados obtidos na análise computacional.

A partir de todo esse processo de análise, foi possível elaborar um gráfico (Figura 7) que buscou sintetizar os dados identificados.

Figura 7: quantidade de eventos de onda de calor por década e critério adotado



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

A partir da figura 7 buscou-se complementar de maneira visual a análise dos dados coletados nesta pesquisa, visando evidenciar o aumento de eventos ao longo das décadas, especialmente sob critérios menos rigorosos (ou seja, não adota p95 ou p90).

6 Considerações Finais

Como a WMO não possui um método único de classificação de OC, cabe a cada pesquisador definir critérios mínimos (limiares fixos e variáveis de temperatura, número de dias consecutivos, análise espacial das anomalias e uso de índices termo-higrométricos, como o *Heat Index*) permitindo fundir eventos muito próximos e focar nos dias realmente extremos, o que eleva a precisão das estatísticas de OC e sua utilidade para saúde pública e economia. Foram identificadas 41 OC no período 1991-2020, adotando-se somente limites de temperaturas mínimas e máximas com duração mínima de três dias consecutivos para cada evento.

Identificou-se que as OC ocorrem entre os meses de dezembro a março, concentradas principalmente nos meses de janeiro, 3 eventos, e fevereiro, 8 eventos entre 1991 e 2020. São esperadas, no mínimo, 0,8 OC por ano com 4,1 dias de duração (2011-2020), representando aumento de 300% quando comparadas ao período 1991-2010 (primeira década deste estudo), que ocorreram 0,2 eventos sob o critério p95.

Adotando-se o critério p95 (12 OC), o aumento é de 300%, e para o critério P90 (19 OC), de 350%. Mesmo sob os critérios mais robustos, evidencia-se um crescimento expressivo nas ocorrências de OC em Porto Alegre entre 1991 e 2020. O uso de percentis reduz drasticamente os resultados para detecção de OC, porém trazem maior assertividade nos resultados, principalmente o p95, que exclui qualquer caso considerado falso-positivo.

Este trabalho revisou e testou uma metodologia (p95 e p90) que possibilita uma atualização, pois segue um padrão verificado em trabalhos recentes, o que permite maior precisão na identificação e avaliação da intensidade dos eventos de OC em Porto Alegre. A partir disso, é possível planejar ações para diminuir os impactos na saúde pública e na economia do município.

Contudo, os resultados aqui apresentados devem ser interpretados como uma análise preliminar, visto que esta é uma pesquisa inicial. As etapas de validação devem ser detalhadas em pesquisas futuras. Salienta-se que esses resultados trazem indicativos relevantes sobre OC, que fornecem uma base sólida para o aprofundamento em estudos futuros.

Pesquisas subsequentes poderão ser desenvolvidas, conforme supracitado, visando identificar resultados de forma mais abrangente, com séries temporais mais longas, diferentes abordagens metodológicas e testes de sensibilidade adicionais. Dessa forma, este artigo busca

cumprir o papel de apresentar dados preliminares sobre a temática OC, além de levantar hipóteses que poderão ser consideradas em novas pesquisas.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, L. C. Memória sobre o clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1930.

AQUINO, F. E. Conexão climática entre o Modo Anular do Hemisfério Sul com a Península Antártica e o Sul do Brasil. 128f. 2012. **Tese** (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/62016/000868313.pdf?sequence=1>. Acesso em: 3 out. 2025.

CARDIA, V. C. Climatologia das ondas de calor em Porto Alegre – RS: 1961 a 2010. 72f. 2010. **Monografia** (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28502/000769965.pdf?sequence=1>. Acesso em: 3 out. 2025.

ELIAS, A. P. A. J. Pesquisa em ensino de física. Curitiba: Intersaber, 2023.
FISCHER, E. M.; SCHÄR, C. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 3, n. 6, p. 398–403, 2010. DOI:
<https://doi.org/10.1038/ngeo866>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ngeo866>. Acesso em: 3 out. 2025.

GASPARRINI, A. et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. **The Lancet**, [s. l.], v. 386, n. 9991, p. 369–375, 2015. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(14\)62114-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(14)62114-0/fulltext). Acesso em: 3 out. 2025.

INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2014.

KJELLSTROM, T. et al. The direct impact of climate change on regional labor productivity. **Archives of Environmental & Occupational Health**, [s. l.], v. 64, n. 4, 217–227, 2009. Disponível em: <https://www.esri.ie/system/files?file=media/file-uploads/2015-07/WP260.pdf>. Acesso em: 3 out. 2025.

LIVIA, F. P. O clima em Porto Alegre no século XX: uma análise de séries temporais. 2002. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MACHADO, F. P. Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do IBGE, 1950.

WHO. Guidelines on heatwaves and health: warning systems. Geneva: World Meteorological Organization, 2015.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*, [s. l.], v. 26, n. 13, p. 4500–4517, 2013. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013JCLI...26.4500P/abstract>. Acesso em: 03 out. 2025.

ROSA, T. P.; AQUINO, F. E.; REIS, P. A. Análise das ondas de calor em Porto Alegre/RS de 2001 a 2017. In: **Congresso Brasileiro de Climatologia**, 2018.

SIMÕES, N. C.; BOIASKI, N. T.; FERRAZ, S. E. T.; PELISSARO, E. D. Mecanismos físicos relacionados às ondas de calor na região subtropical do Brasil. In: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 10., 2017, Santa Maria. **Anais** [...]. Santa Maria: UFSM, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338103631>. Acesso em: maio. 2025.

STEADMAN, R. G. The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 861–873, 1979. Disponível em: http://meteoengins.fr/documents/davis/The_assessment_of_Sultriness_PART_I_RGSteadman_1979.pdf. Acesso em: 3 out. 2025.

STEADMAN, R. G. A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 1674–1687, 1984. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023%3C1674:AUSOAT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023%3C1674:AUSOAT%3E2.0.CO;2). Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals\\$002fapme\\$002f23\\$002f12\\$002f1520-0450_1984_023_1674_ausoat_2_0_co_2.xml?t:ac=journals%24002fapme%24002f23%24002f12%24002f1520-0450_1984_023_1674_ausoat_2_0_co_2.xml](https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals$002fapme$002f23$002f12$002f1520-0450_1984_023_1674_ausoat_2_0_co_2.xml?t:ac=journals%24002fapme%24002f23%24002f12%24002f1520-0450_1984_023_1674_ausoat_2_0_co_2.xml). Acesso em: 6 out. 2025.

WWA. **Climate change made record-breaking early-season heat in Argentina and Paraguay about 60 times more likely**. World Weather Attribution, 21 dez. 2022. Disponível em: https://www.worldweatherattrtribution.org/climate-change-made-record-breaking-early-season-heat-in-argentina-and-paraguay-about-60-times-more-likely/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: jul. 2025.

WWA. **Vulnerability and high temperatures exacerbate impacts of ongoing drought in Central South America**. World Weather Attribution, 16 fev. 2023. Disponível em: <https://www.worldweatherattrtribution.org/vulnerability-and-high-temperatures-exacerbate-impacts-of-ongoing-drought-in-central-south-america/>. Acesso em: jul. 2025.

Data de submissão: 31/07/2025

Data de aceite: 26/08/2025