Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

ISSN 2237-8642

CARACTERIZAÇÃO DE ONDAS DE CALOR DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB POR TRÊS DIFERENTES DEFINIÇÕES

Characterization of Heatwaves in João Pessoa/PB using three different definitions

Caracterización de las Olas de calor em la ciudad de João Pessoa/PB mediante tres diferentes definiciones

Vladimir Sobral de Souza
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
vla.arquiteto@gmail.com

Eleonora Sad de Assis
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
eleonorasad@yahoo.com.br

Taciana Toledo de Almeida Albuquerque
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
tacianatoledo26@gmail.com

Resumo: As Ondas de Calor são fenômenos meteorológicos que causam elevação da temperatura do ar em uma grande área durante dias ou semanas e podem levar riscos à saúde de populações urbanas e ecossistemas. Estes eventos receberam diversas definições ao longo dos anos, o que impacta, significativamente, o resultado das pesquisas, a comparação entre elas e as avaliações do impacto das alterações climáticas sobre este evento. Dado o exposto, o objetivo desta pesquisa é caracterizar os episódios de Ondas de Calor que ocorreram na cidade de João Pessoa durante o período de 2010 a 2022, a partir de definições fundamentadas em três tipos de limiares (absoluto, relativo e combinado) e de dados diários de temperatura máxima (Tmax) e mínima do ar (Tmin). Os resultados demonstraram que houve um número significativo de episódios de Ondas de Calor no período, independentemente da definição utilizada. Constatou-se que as definições que utilizaram dos limiares absoluto e relativo apresentaram resultados próximos quanto às métricas número, duração e frequência dos eventos. Apesar da definição com limiar combinado indicar o menor número de Ondas de Calor comparadas às demais definições, os eventos registrados são caracterizados tanto por altos valores diurnos quanto noturnos de temperatura do ar, que pode promover elevado estresse térmico na população local. Esta

pesquisa oferece subsídios à análise de eventos extremos de calor e ao fortalecimento das ações de mitig ação e adaptação climática em cidades costeiras do Nordeste brasileiro.
Palavras-chave: Ondas de Calor. Mudanças climáticas. João Pessoa.

Abstract: Heatwaves are meteorological phenomena that cause an increase in air temperature over a large area for several days or weeks, posing potential risks to human health and urban ecosystems. Over the years, these events have received various definitions, which significantly affect research outcomes, comparability among studies, and assessments of climate change impacts on such occurrences. Given this context, the aim of this study is to characterize heatwave episodes that occurred in João Pessoa, Brazil, during the period 2010–2022, based on three types of temperature thresholds—absolute, relative, and combined— using daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) air temperature data. The results revealed a considerable number of heatwave episodes during the study period, regardless of the definition applied. The absolute and relative thresholds produced similar results in terms of the number, duration, and frequency of events. Although the combined threshold indicated the lowest number of heatwave occurrences, the identified episodes were characterized by high daytime and nighttime air temperature values, which may lead to increased thermal stress among the local population. This research provides insights for the analysis of extreme heat events and supports the development of mitigation and adaptation strategies in coastal cities of Northeast Region of Brazil.
Keywords: Heatwaves. Climate Change. João Pessoa.

Resumen: Las olas de calor son fenómenos meteorológicos que provocan un aumento de la temperatura del aire en una amplia región durante varios días o semanas, y pueden generar riesgos para la salud de las poblaciones urbanas y los ecosistemas. Estos eventos han recibido diversas definiciones a lo largo del tiempo, lo que influye significativamente en los resultados de las investigaciones, en la comparación entre estudios y em la evaluación de los impactos del cambio climático sobre este fenómeno. En este contexto, el objetivo de esta investigación es caracterizar los episodios de olas de calor ocurridos en la ciudad de João Pessoa (Brasil) durante el período de 2010–2022, a partir de tres tipos de umbrales térmicos —absoluto, relativo y combinado— y de datos de temperatura máxima y mínima del aire. Los resultados demostraron un número significativo de episodios de olas de calor durante el período analizado, independientemente de la definición utilizada. Se constató que las definiciones basadas en los umbrales absoluto y relativo presentaron resultados similares en cuanto al número, duración y frecuencia de los eventos. Aunque la definición con umbral combinado indicó el menor número de ocurrencias, los episodios identificados se caracterizaron por altos valores diurnos y nocturnos de temperatura del aire, lo que puede generar elevado estrés térmico en la población local. Esta investigación aporta elementos para el análisis de eventos extremos de calor y contribuye al fortalecimiento de las estrategias de mitigación y adaptación climática en ciudades costeras de la Región Nordeste de Brasil.
Palabras clave: Olas de Calor. Cambio Climático. João Pessoa.

Submetido em: 12/11/2024
Aceito para publicação em: 10/11/2025
Publicado em: 14/12/2025

1. INTRODUÇÃO

A elevação da temperatura de superfície terrestre tem contribuído para a formação de um número crescente de eventos extremos climáticos nas últimas décadas, entre eles as Ondas de Calor atmosféricas – OC (Marx et al., 2021; LI et al., 2024). As OC são fenômenos meteorológicos esporádicos, caracterizadas pela elevação da temperatura do ar em uma grande área e que podem durar dias ou semanas (WMO-N° 1310, 2023). Com o aumento da frequência e intensidade desses eventos registrados em diversas cidades do mundo, as populações urbanas enfrentam grandes riscos decorrentes de seus impactos diretos e indiretos (Feron et al., 2020; Marengo et al., 2021; Domeisen et al., 2022; Donatti et al., 2024).

Para a sua identificação e caracterização, as definições de Ondas de Calor são fundamentadas, em geral, em dois critérios principais: a duração mínima do evento (a partir de 2 dias consecutivos ou mais) e o uso de limiares de temperatura do ar (Perkins, 2015). Diferentemente da duração do evento, os limiares variam significativamente em função das características climáticas do lugar e dos objetivos da pesquisa.

Para fins de análise, os diferentes limiares utilizados nas definições de OC podem ser categorizados em três tipos principais, segundo Yang et al. (2020): o absoluto, o relativo e o combinado. O limiar absoluto emprega um valor de temperatura do ar fixo que representa o limite inferior para uma condição de OC. O limiar relativo é baseado no emprego da medida estatística percentil, a partir de dados da climatologia local da temperatura do ar. Por último, o limiar combinado baseia-se em uma combinação de variáveis, que podem ser diferentes limiares, por exemplo.

A adoção de diferentes critérios de definição de OC tem resultado em múltiplas interpretações na literatura, o que explica a falta de consenso entre pesquisadores (Campbell et al., 2018; Yadav et al., 2023). Como consequência, os estudos apresentam resultados distintos nas características observadas (número, duração, frequência e intensidade dos eventos), dificultando comparações diretas entre pesquisas de distintas regiões e contextos climáticos (Awasthi et al., 2022).

Diante da diversidade de critérios para analisar a ocorrência de OC, esta pesquisa tem por objetivo caracterizar os episódios ocorridos na cidade de João Pessoa durante o período de 2010 a 2022, com base em três definições distintas de limiar térmico (absoluto, relativo e

combinado). Além disso, busca comparar os resultados obtidos entre essas abordagens, a fim de avaliar as diferentes interpretações dos eventos.

Os resultados deste estudo podem contribuir para uma melhor caracterização de Ondas de Calor em cidades do Nordeste brasileiro com características climáticas semelhantes à de João Pessoa, assim como auxiliar na tomada de decisão de gestores urbanos locais para a formulação de ações de mitigação e adaptação a eventos extremos de calor, entre elas a elaboração de diretrizes de planejamento urbano sensível ao clima, a formulação de sistemas de alerta de ondas de calor e a implementação de ações para promoção da saúde pública e para a adaptação ao elevado estresse térmico.

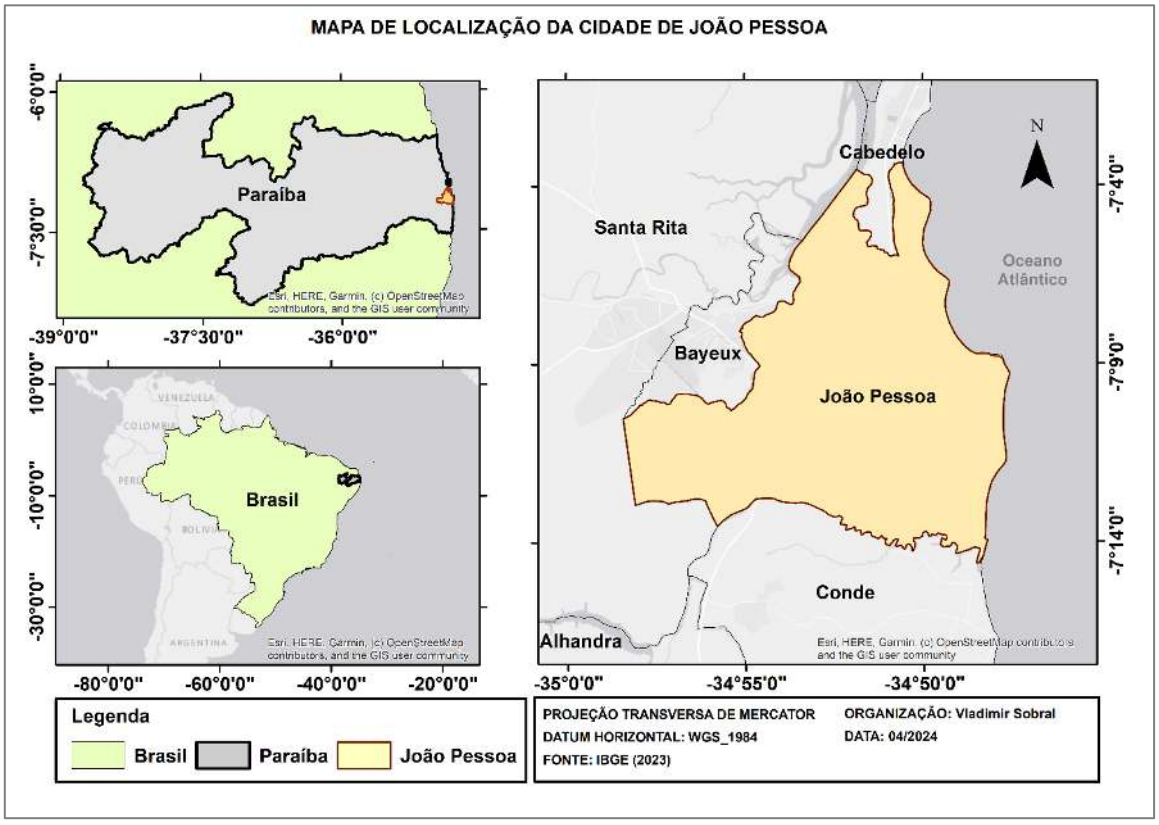
2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

Fundada em 05 de Agosto de 1585, a cidade de João Pessoa está localizada na zona costeira do estado da Paraíba, Brasil, entre as coordenadas geográficas 7°00’00” e 07º07’30” de latitude sul e 34°52’30” e 34° 45’00” de longitude oeste (Figura 1). Conta com uma área aproximada de 210,45km², uma população estimada de 833.932 habitantes e uma densidade demográfica de 3.970,27 hab/km² (IBGE, 2023). Limita-se com os municípios de Cabedelo, Santa Rita, Bayeux e Conde e seu litoral é banhado pelo Oceano Atlântico.

Segundo a classificação bioclimática de Köppen-Geiger (1961), João Pessoa encontra-se na faixa climática As’ (Dubreuil et al., 2018). Esta faixa climática, descrita como Clima Quente e Úmido (Tropical chuvosa – classe A), é caracterizada por apresentar chuvas de outono, com média térmica anual em torno de 25°C, umidade relativa do ar média anual de 80%, amplitude térmica anual em torno de 5°C, estação seca curta e variações pluviométricas entre 1500 e 1700mm.

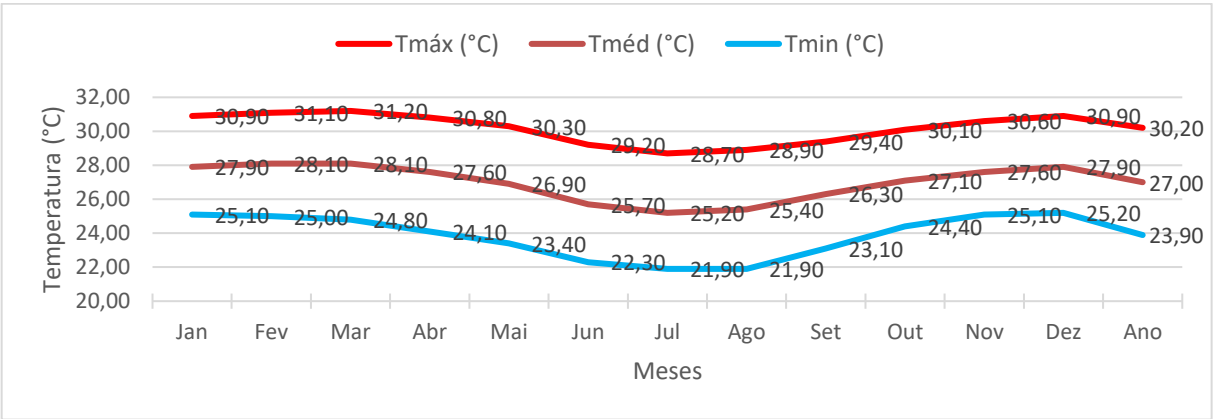
Figura 1 – Mapa de localização da cidade de João Pessoa / PB.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

De acordo com os dados das normais climatológicas (1991-2020) publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022), os valores de temperatura do ar máxima, média e mínima da cidade de João Pessoa apresentam um padrão elevado para todo o ano, característico de regiões de baixa latitude (Figura 2).

Figura 2 - Temperatura do ar máxima, média e mínima mensal e anual (ºC) da cidade de João Pessoa



Fonte: INMET (2022).

O valor da temperatura do ar compensada média anual da série histórica é de 27,00° C, com os registros mais altos nos meses de Fevereiro e Março (28,10°C) e mais baixo no mês de Julho (25,20°C). A temperatura máxima do ar (Tmax, °C) tem o valor máximo mensal médio registrado no mês de Março (31,20°C) e a temperatura mínima do ar (Tmin, °C) tem o valor mínimo mensal médio registrado nos meses de Julho e Agosto (21,90°C).

2.2. Procedimentos Metodológicos

Esta pesquisa está estruturada em quatro etapas, a saber: i) Coleta e tratamento dos dados diários de Tmax e Tmin da série histórica (2010 – 2022); ii) análise estatística descritiva e aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall; iii) caracterização das ondas de calor com o algoritmo heatwaveR; e iv) análise dos resultados.

2.2.1. Coleta e tratamento dos dados de Tmax (°C) e Tmin (°C)

Na Região Metropolitana de João Pessoa (RMJP), encontram-se em funcionamento três estações meteorológicas de superfície operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) (Tabela 1). Destas estações foram coletados os registros observados diários da temperatura máxima do ar (Tmax, °C) e da temperatura mínima do ar (Tmin, °C), de um recorte temporal de 01/01/2010 a 31/12/2022. Este recorte justifica-se pelo início da operação da estação automática A320, que foi iniciada em julho de 2007.

Tabela 1- Dados das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa.

Código estação	Instituição	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Operante desde
82798	INMET	-7.10	-34.85	9,67	31/12/1911
A320	INMET	-7.17	-34.82	33,50	20/07/2007
82800	DECEA	-7.12	-34.95	65,00	01/01/1980

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os dados meteorológicos não registrados pelas estações foram tratados a partir da técnica de imputação de dados conhecida como Média Aritmética Simples, para garantir

maior qualidade na obtenção dos resultados. Segundo Meirelles et al. (2016, p. 170), esta técnica consiste na soma do valor anterior e posterior à falha e, em seguida, divide-se o resultado por dois. Com isso, procedeu-se às análises estatísticas e a caracterização das Ondas de Calor da cidade de João Pessoa.

2.2.2. Análise estatística e aplicação do teste de Mann-Kendall

Com os dados meteorológicos tratados, elaborou-se uma estatística descritiva para ajudar na compreensão geral dos dados. Na sequência, avaliou-se possíveis tendências observadas nos dados pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1957). O teste de Mann-Kendall (MK) é considerado um dos métodos mais apropriados para analisar a significância de possíveis mudanças climáticas em séries temporais climatológicas (BRASIL, 2016, p. 260). Este teste foi utilizado por MANDÚ et al., (2020) na caracterização de OC na cidade de Manaus. Considerando o intervalo de confiança de 5%, o valor de S indica a tendência de uma variável, em que um valor negativo aponta uma tendência decrescente e um valor positivo indica uma tendência crescente. Um valor de S próximo a zero indica a ausência de tendência.

O Teste de MK foi aplicado no ambiente R por meio de um pacote de sua biblioteca (rank.tests). Conforme Venables et al. (2023), o modelo R é um ambiente (sistema) integrado de técnicas estatísticas, organizadas em pacotes, empregado na manipulação de dados, cálculos e gráficos/figuras.

2.2.3. Definições e caracterização das Ondas de Calor

A análise da ocorrência de Ondas de Calor na cidade de João Pessoa foi baseada em definições fundamentadas nos três tipos de limiares descritos por Yang et al. (2020). O limiar absoluto emprega um valor de temperatura do ar fixo que representa o limite inferior para uma condição de OC (YOU et al., 2016). Por exemplo, o Bureau of Meteorology da Austrália (BoM) define OC a ocorrência de 5 dias acima de 35ºC ou 3 dias acima de 40ºC, para a cidade de Adelaide (NAIRN, FAWCETT, 2013). Embora seja uma definição simples, Reis et al. (2019) advertem que este limiar tem sua aplicação limitada em algumas regiões com baixa amplitude

térmica, próximas a linha do Equador, o que pode limitar a identificação de OC em épocas mais quentes do ano.

O limiar relativo é baseado no emprego da medida estatística percentil, a partir de dados da climatologia local da temperatura do ar (YOU et al., 2016). Esta abordagem é largamente utilizada por pesquisadores do clima e pode receber diferentes percentis, a depender do foco da pesquisa. Em uma análise global, Perkins-Kirkpatrick e Lewis (2020) identificaram eventos extremos de calor por meio do índice CTX90 (WMO, 2023), que define uma OC quando pelo menos 3 dias ou mais consecutivos estão acima do limite extremo de temperatura máxima do ar, baseado no 90º percentil durante uma estação quente de 5 meses. No Brasil, este índice foi utilizado por Geirinhas et al (2017), Reis et al. (2019), Diniz et al. (2020) e Mandú et al. (2020) para identificar a ocorrência de OC em diversas cidades brasileiras.

Por último, o limiar combinado baseia-se em uma combinação de variáveis, que podem ser diferentes limiares, por exemplo (PERKINS, ALEXANDER, 2013; YANG et al., 2020). As pesquisas que utilizam o limiar combinado são mais seletivas na identificação de OC, resultando em um menor número de ocorrências registradas. Exemplos de sua aplicação incluem o estudo de Yang et al. (2020) na China, que utilizou o 95º percentil da Tmax (°C) diária combinado com limiar fixo de 30°C, e a pesquisa de Bitencourt et al. (2016) no Brasil, que definiram uma OC pela combinação da média da temperatura máxima acrescida de 1 (um) desvio padrão e o limite superior ao terceiro quartil de Tmax (°C). Nos dois exemplos, a duração mínima do evento foi de três dias consecutivos.

Para fins didáticos, as OC identificadas com os valores de Tmax (°C) serão nomeadas OC diurnas e com os valores de Tmin (°C) OC noturnas. Assim, as definições adotadas na pesquisa foram:

1. 3 dias consecutivos ou mais em que os valores diários de Tmax ou de Tmin estiveram acima do valor fixo do 90º percentil de todo o período de referência. Esta definição fundamenta-se no limiar absoluto;
2. 3 dias consecutivos ou mais em que os valores diários de Tmax ou de Tmin estiveram acima do 90º percentil da climatologia do período. Esta definição fundamenta-se no limiar relativo;

3. 3 dias consecutivos ou mais em que os valores de Tmax estão acima do 90° percentil (limiar relativo) e os valores de Tmin estão acima da média da série temporal (limiar absoluto). Neste caso, não houve distinção entre OC diurna e noturna, apenas OC.

Para a caracterização dos eventos foram utilizadas métricas amplamente aplicadas em estudos deste tipo, a saber: número de episódios, duração de uma OC (dias), frequência de episódios, intensidade média (°C), intensidade máxima (°C), taxa de ascensão (graus/dia) e taxa de declínio (graus/dia) (PERKINS, 2015; HOBDAY et al., 2016).

Todas estas métricas foram calculadas no ambiente R com o uso do pacote heatwaveR, versão 0.4.4. O pacote heatwaveR foi desenvolvido, inicialmente, para ajudar na identificação de ondas de calor e de frio marítimas e depois adaptado às OC atmosféricas. O script foi escrito por Eric C. J. Oliver em uma linguagem Python (SCHLEGEL; SMIT, 2018). Este pacote foi empregado por Diniz et al. (2020) para identificar OC ocorridas na cidade de São Paulo e seus impactos em população idosa.

As equações e as métricas dos episódios identificados encontram-se no material suplementar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Imputação de dados ausentes das estações meteorológicas

Após a coleta e tratamento dos dados meteorológicos disponibilizados pelas estações meteorológicas locais, observou-se que houve um significativo número de dados não registrados, principalmente pela estação automática A320 (Tabela 2). Períodos com dois dias ou mais consecutivos com dados ausentes foram descartados. Por apresentar o menor número de falhas na série histórica entre as estações disponíveis para o município, optou-se pela estação convencional 82798 para os estudos realizados nesta pesquisa.

Tabela 2- Dados imputados e ausentes das estações meteorológicas.

Estação Meteorológica	N° dias da série histórica	Imputados Tmax (°C)	Imputados Tmin (°C)	Ausentes Tmax (°C)	Ausentes Tmin (°C)
82798	4747	37	27	03	186
A320	4747	07	17	1076	1059
82800	4747	240	323	405	826

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O número reduzido de imputações e dados ausentes (inferiores a 0,8% e 3,92%, respectivamente, do total de registros) da estação 82798 indica baixa ocorrência de lacunas e, portanto, elevada consistência da série temporal. Essa característica minimiza a influência de valores estimados sobre as estatísticas descritivas e as tendências lineares identificadas, garantindo robustez aos resultados apresentados.

3.2. Análise temporal dos dados de Tmax (°C) e Tmin (°C)

Os resultados da estatística descritiva indicaram que a Tmax (°C) obteve média de 30,84ºC, um aumento de 0,64ºC comparado à média da normal climatológica. A Tmin (°C) apresentou um valor médio de 23,64ºC, redução de 0,26°C comparado à média da normal. Ao longo da série histórica, o valor máximo de Tmax (°C) foi de 34,30°C e de Tmin (°C) foi de 29,10°C.

A análise de possíveis tendências das variáveis Tmax (°C) e Tmin (°C), com base no teste de Mann-Kendall, indicou que a Tmax (°C) apresentou tendência de crescimento, enquanto Tmin (°C) apresentou tendência de decrescimento. Houve significância estatística para ambas as variáveis, com $p < 0,05$ para Tmin e valores ainda mais expressivos para Tmax ($p < 0,01$) (Quadro 01). Esses resultados indicam que as tendências observadas dificilmente ocorreriam por acaso, reforçando a consistência dos padrões detectados e conferindo maior confiança às inferências climáticas discutidas na sequência (Quadro 1).

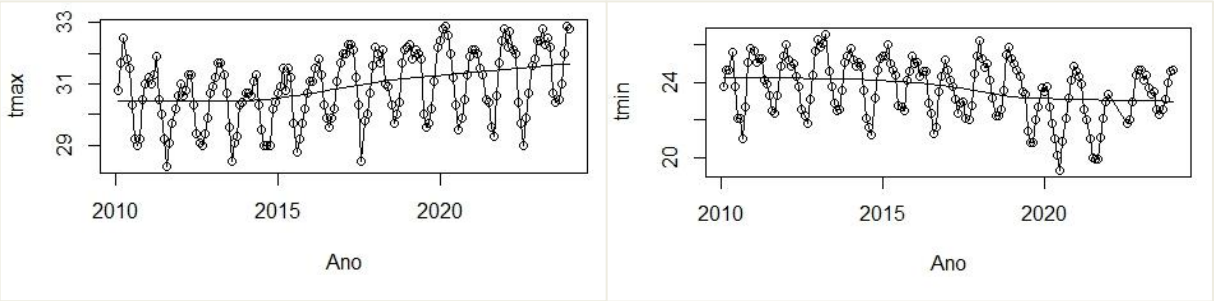
Quadro 1- Critérios do teste de Mann-Kendall para as variáveis avaliadas.

Variável	Z	p-value	S	varS	Tau	Hipótese
Tmax (°C)	50249,00	0,00050	3662,00	530814,00	0,26	Crescimento
Tmin (°C)	-42064,00	0,02594	-2904,00	476286,00	-0,22	Decréscimo

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para melhor visualização dos resultados do teste, foram elaborados gráficos de linha para os dados meteorológicos (Figura 3). Observa-se a tendência de crescimento acentuado de Tmax (°C) a partir do ano 2015. Entre os anos 2010 e 2015, o valor médio de Tmax (°C) foi de 30,35°C, elevando-se para 31,25°C entre os anos de 2016 e 2022. Diferentemente da Tmax (°C), a Tmin (°C) registrou um leve declínio iniciado em 2010, que se acentuou a partir do ano de 2016. Assim, a Tmin (°C) obteve no período de 2010 a 2015 um valor médio de 24,20°C e no período de 2016 a 2023 um valor médio de 23,19°C.

Figura 3 – Gráficos do teste Man-Kendall para Tmax (°C) e Tmin (°C).



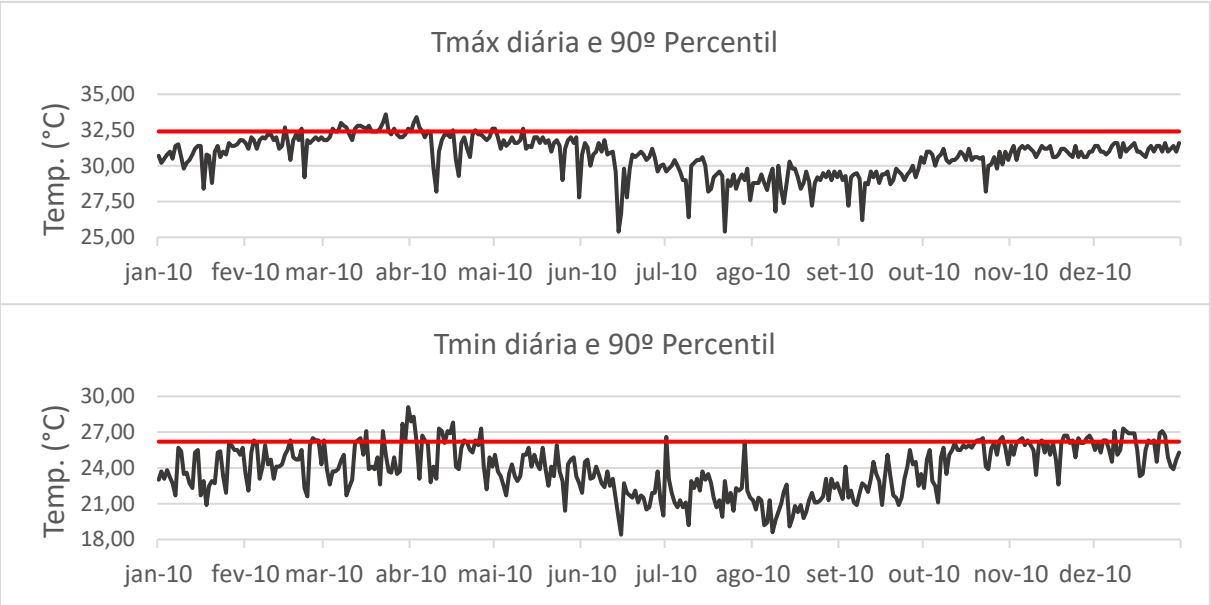
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.3. Características das Ondas de Calor da cidade de João Pessoa

3.3.1. Uso do limiar absoluto

Nesta definição, utilizou-se um valor fixo de temperatura do ar para identificar um dia de OC, ao longo da série histórica, neste caso o valor do 90º percentil de cada variável. Obteve-se os limiares absolutos de 32,4ºC para Tmax (°C) e de 26,2ºC para Tmin (°C). Para elucidar o entendimento da identificação de OC, na Figura 4 são apresentados gráficos de linhas das duas variáveis (linha preta) com a indicação do limiar absoluto (linha vermelha) do ano de 2010.

Figura 4 – Flutuações diárias da Tmax (°C) e Tmin (°C) e o limiar absoluto do ano de 2010.

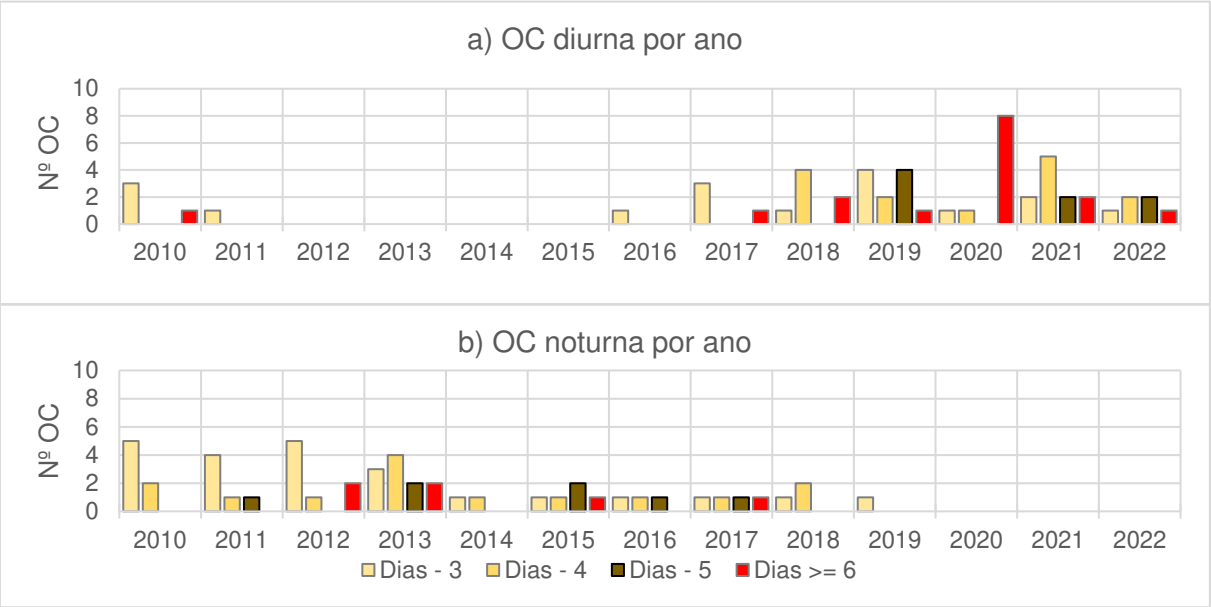


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com este limiar foram identificados 55 episódios de Ondas de Calor diurnas (Figura 4a). A duração dos eventos variou de 03 a 12 dias, com uma média de 5,05 ± 2,41 dias. Os meses com as maiores frequências foram Janeiro, Março e Dezembro. O período entre Junho e Outubro não apresentou OC definidas por este limiar. Os anos com os maiores números de eventos foram 2019 e 2021, registrando 11 episódios cada, e os anos sem registros estão compreendidos entre 2012 e 2015. Observa-se um aumento na frequência de Ondas de Calor nos últimos anos da série histórica, especialmente a partir de 2017.

Quanto aos episódios de Ondas de Calor noturnas registraram-se 50 eventos (Figura 5b). A duração dos episódios variou de 03 a 12 dias, com uma média de 4,14 dias e desvio padrão de ±1,48 dias. Os meses com as maiores frequências foram Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro. O período sem OC está entre Julho e Setembro. O ano com maior número de eventos foi 2013, registrando 11 eventos, e os anos sem registros foram 2020, 2021 e 2022. É perceptível o decréscimo na frequência de Ondas de Calor noturna nos últimos anos, especialmente a partir de 2019.

Figura 5 – Número e frequência anual de Ondas de Calor diurnas e noturnas com o limiar absoluto



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Tabela 3 são demonstrados alguns episódios específicos de OC com suas respectivas métricas, identificados com o limiar absoluto. As OC diurnas apresentaram uma intensidade média de 0,52 ± 0,20°C e máxima de 0,81 ± 0,40°C (Tabela 3a). O valor médio da taxa de ascensão foi de 0,35°C/dia e da taxa de declínio foi de 0,66°C/dia. Estes números demonstram que, de uma forma geral, as OC diurnas tiveram baixo impacto na elevação diária da variável Tmax (°C).

As Ondas de Calor noturnas apresentaram uma intensidade média de 0,62 ± 0,31°C e máxima de 0,87 ± 0,45°C (Tabela 3b). Para as taxas de ascensão e de declínio, os valores obtidos foram de 0,92°C/dia e 0,85°C/dia. Apesar de apresentarem intensidades de temperatura similares, as OC noturnas mostraram uma elevação/redução diária mais acentuada da Tmin(°C) ao longo dos dias de calor extremo do que as OC diurnas.

Alguns episódios, entretanto, apresentaram variações significativamente superiores às médias. Entre as OC diurnas, destaca-se o episódio 32, com duração de 10 dias e taxa de declínio abrupta de 4,90°C entre o último dia de OC e o primeiro dia subsequente sem ocorrência. Entre as OC noturnas, o episódio 39 apresentou a maior taxa de ascensão registrada em toda a série, atingindo 3,9°C por dia.

Tabela 3 - Métricas de Ondas de Calor diurnas e noturnas identificadas pelo limiar absoluto

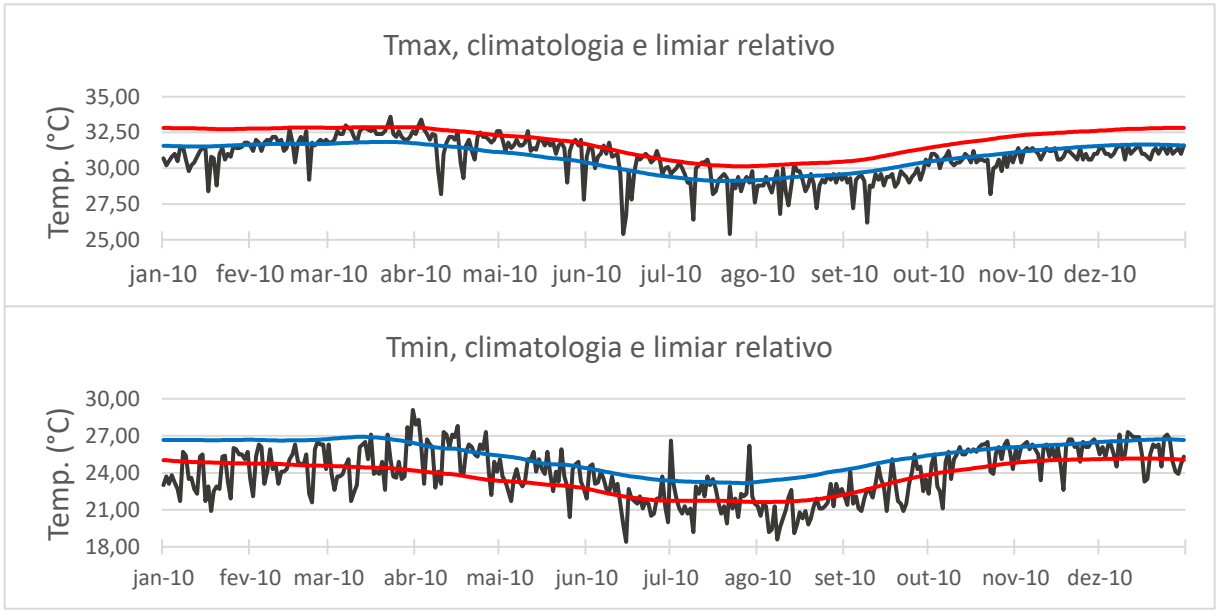
a) OC diurna						
N° OC	**Duração Dias**	**Data Inicial**	**Intensidade Média (°C)**	**Intensidade Máxima (°C)**	**Tx. Ascenção (°C/dia)**	**Tx. Declínio (°C/dia)**
23	5	19/03/2019	0,96	1,40	0,74	0,70
31	4	25/01/2020	0,94	1,50	0,34	1,90
32	10	03/02/2020	0,92	1,70	0,14	4,90
Médias	**5,05**		**0,52**	**0,81**	**0,35**	**0,66**
b) OC noturna						
N° OC	**Duração Dias**	**Data Inicial**	**Intensidade Média (°C)**	**Intensidade Máxima (°C)**	**Tx. Ascenção (°C/dia)**	**Tx. Declínio (°C/dia)**
2	5	29/03/2010	1,66	2,90	1,36	0,74
28	7	12/03/2013	1,04	1,30	0,73	0,16
39	3	25/05/2015	1,20	1,40	3,90	0,98
Médias	**4,14**		**0,62**	**0,87**	**0,92**	**0,85**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.3.2. Uso do limiar relativo

A definição com o limiar relativo baseou-se na climatologia dos valores diários das variáveis de temperatura do ar para o período de estudo. Na Figura 6 pode ser visto os valores de Tmax (°C) e de Tmin (°C), linha preta, da climatologia das temperaturas, linha azul, e do limiar relativo, linha vermelha, em meses do ano de 2010.

Figura 6 – Flutuações diárias de Tmax (°C), Tmin (°C) , climatologias e limiares do ano de 2010

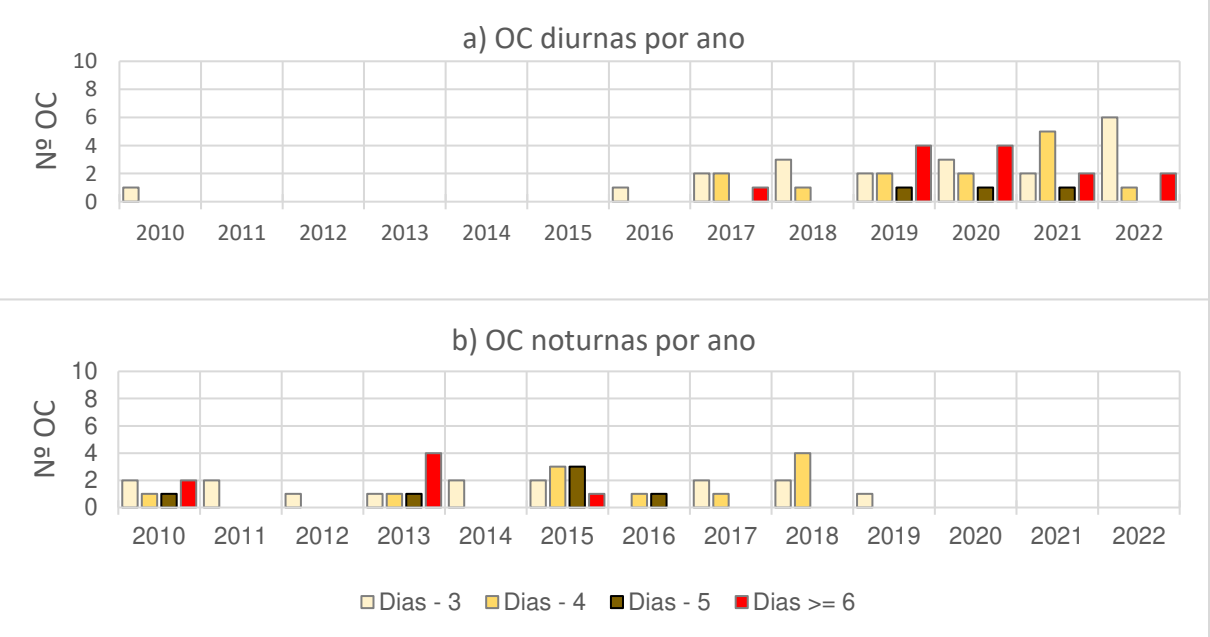


Com essa definição, houve uma pequena redução no número de eventos extremos de calor, tanto diurnos quanto noturnos, comparados à definição que se utilizou do limiar absoluto. Além disso, este tipo de limiar adequou-se as flutuações diárias e sazonais das variáveis, o que permitiu identificar OC em todas as estações dos anos.

As OC diurnas totalizaram 49 eventos, com duração média de 5,14 ± 3,04 dias, e variação entre 03 e 14 dias (Figura 6a). Os anos com maior número de eventos foram 2020 e 2021, em que se registraram 10 episódios cada, e os anos sem registro de eventos estiveram compreendidos entre os anos 2011 e 2015. Observou-se um aumento na frequência de Ondas de Calor nos últimos anos da série, especialmente após 2016. Os meses de Novembro e Fevereiro apresentaram a maior frequência de eventos, enquanto Setembro a menor.

As OC noturnas totalizaram 39 eventos, com duração média de 4,51 ± 2,03 dias, e variação de 03 a 12 dias (Figura 7b). Houve uma variabilidade no número de eventos entre os anos 2010 e 2018, mas o ano com maior número de eventos foi 2015, com 09 eventos registrados. Os anos sem registros foram 2020, 2021 e 2022, tal qual as OC definidas pelo limiar absoluto. Os meses com a maior (menor) frequência foram Fevereiro e Março (Agosto e Setembro).

Figura 7 – Número e frequência anual de Ondas de Calor diurnas e noturnas com o limiar relativo



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Tabela 4 são demonstrados alguns episódios específicos de OC com suas respectivas métricas, identificados com o limiar relativo. As OC diurnas apresentaram uma intensidade média de 1,41 ± 0,19°C e máxima de 1,69 ± 0,34°C (Tabela 4a). O valor médio da taxa de ascensão foi de 0,31°C/dia e da taxa de declínio foi de 0,55°C/dia. De uma forma geral, e assim como as OC definidas pelo limiar absoluto, os eventos aqui identificados tiveram pouco impacto na elevação diária da Tmax (°C), apesar de uma maior intensidade média e geral.

As Ondas de Calor noturnas apresentaram uma intensidade média de 2,46 ± 0,67°C e máxima de 2,86 ± 0,87°C (Tabela 4b). Para as taxas de ascensão e de declínio, os valores obtidos foram de 0,79°C/dia e 1,06°C/dia. Comparadas às OC noturnas identificadas pelo limiar absoluto, as OC noturnas definidas pelo limiar relativo mostraram uma intensidade superior, mas crescimento e decrescimento diário menos acentuado.

Tabela 4 - Métricas de Ondas de calor diurnas e noturnas identificadas pelo limiar relativo

a) OC Diurna						
N° OC	**Duração Dias**	**Data Inicial**	**Intensidade Média (°C)**	**Intensidade Máxima (°C)**	**Tx. Ascenção (°C/dia)**	**Tx. Declínio (°C/dia)**
5	4	16/05/2017	1,78	2,22	0,49	0,45
17	12	15/05/2019	1,51	2,05	0,19	0,16
38	8	30/11/2021	1,57	1,89	0,09	0,50
Médias	**5,14**		**1,41**	**1,69**	**0,31**	**0,55**
b) OC Noturna						
N° OC	**Duração Dias**	**Data Inicial**	**Intensidade Média (°C)**	**Intensidade Máxima (°C)**	**Tx. Ascenção (°C/dia)**	**Tx. Declínio (°C/dia)**
2	6	11/04/2010	3,16	3,97	0,49	3,66
23	3	25/05/2015	4,48	4,68	1,32	1,60
35	4	14/08/2018	3,37	3,80	2,98	0,56
Médias	**4,51**		**2,46**	**2,86**	**0,79**	**1,06**

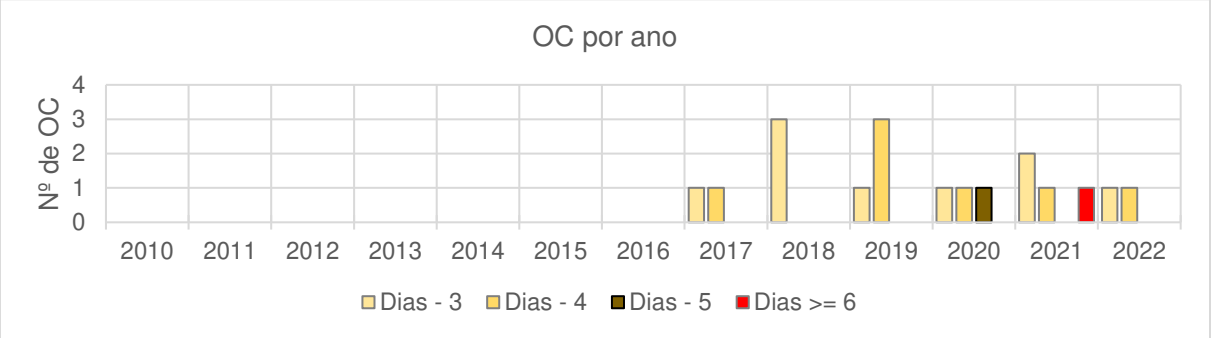
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.3.3. Uso do limiar combinado

O limiar combinado foi elaborado com dados de Tmax (°C) e Tmin (°C) para definir uma OC, assim não há diferenciação entre evento diurno e noturno. Como esperado, o uso dessa definição resultou em significativa redução no número de episódios. Foram identificados 18 eventos, com uma duração média de 3,72 ± 1,01 dias e variação entre 03 e 07 dias.

Os anos com o maior número de OC foram 2019 e 2021, com 04 episódios cada. Nos anos anteriores a 2016 não foram registradas OC (Figura 8). O mês com maior frequência foi Outubro, 04 eventos, e os meses sem eventos foram Junho, Julho e Agosto. A ausência de OC nestes três meses deve-se, principalmente, ao limiar estipulado para Tmin (°C).

Figura 8 – Número e frequência anual de Ondas de Calor com o limiar combinado



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Tabela 5 são apresentadas algumas OC identificadas com o limiar combinado e suas métricas. As OC apresentaram uma intensidade média de 1,45 ± 0,20°C e intensidade máxima média de 1,65 ± 0,34°C. Assim como as OC definidas pelos limiares anteriores, os eventos identificados tiveram pouco impacto na elevação/redução diária da temperatura máxima ou mínima do ar, demonstrados pelos baixos valores médios da taxa de ascensão e da taxa de declínio, que foi de 0,27°C/dia e de 0,51°C/dia, respectivamente.

Tabela 5 - Métricas de Ondas de calor identificadas pelo limiar combinado

N° OC	Duração Dias	Data Inicial	Intensidade Média (°C)	Intensidade Máxima (°C)	Tx. Ascenção (°C/dia)	Tx. Declínio (°C/dia)
1	4	16/05/2017	1,79	2,23	0,49	0,46
6	4	17/01/2019	1,37	1,47	0,60	-0,01
15	4	23/11/2021	1,46	1,69	0,16	1,21
18	3	27/10/2022	1,37	1,39	0,38	0,18
Médias	**3,72**		**1,45**	**1,65**	**0,27**	**0,51**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.4. Discussões sobre os resultados obtidos

3.4.1. Tendências observadas na Tmax (°C) e Tmin (°C)

Como visto, as variáveis Tmax (°C) e Tmin (°C) apresentaram tendências divergentes ao longo da série histórica. Esse comportamento pode refletir não apenas o aquecimento global, mas também o aumento progressivo do aquecimento urbano, decorrente de modificações no uso e cobertura do solo e da acentuada expansão urbana das últimas décadas. A localização costeira da cidade, embora favoreça a ventilação natural, também está sujeita à acumulação térmica em áreas densamente urbanizadas, o que contribui para o aumento da temperatura e potencial surgimento de fenômenos urbanos locais, como a Ilha de Calor Urbano (SOUZA & KATZSCHNER, 2018).

Por outro lado, a discreta redução de Tmin (°C) pode estar relacionada a fatores locais de circulação atmosférica, como a atuação das brisas marítimas e dos ventos alísios, que favorecem o resfriamento noturno. De acordo com o INMET (2021), a direção predominante do vento diurno é sudeste, enquanto a do noturno é sul. O processo de verticalização e adensamento da região leste da cidade, impulsionados pela especulação imobiliária, pode interferir no escoamento dos ventos locais e melhorar/prejudicar a eficiência da ventilação natural na dissipação de calor nos ambientes urbanos (SOUZA & KATZSCHNER, 2018).

Outro aspecto importante é que a divergência entre as tendências de Tmax (°C) e Tmin (°C) sugere um leve aumento da amplitude térmica diária, condição que tem implicações relevantes para o conforto térmico urbano e para a exposição da população a condições de estresse térmico, especialmente durante períodos prolongados de calor. Isso reforça a necessidade de caracterizar OC, sob diferentes definições, nas cidades brasileiras.

Por fim, a tendência de crescimento da Tmax (°C) e de decrescimento de Tmin (°C) influenciou os resultados da caracterização das OC em João Pessoa. Observa-se que houve um aumento na frequência das OC diurnas e redução na frequência de OC noturnas, tanto na definição baseada no limiar absoluto quanto na que utilizou o limiar relativo. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Geirinhas et al. (2018) para a cidade de Recife, que apontou que o aumento de dias de OC identificado com o índice CTX90pct (Tmax) não está presente no índice CTN90pct (Tmin). Os autores alertam para as evoluções distintas de Tmax (°C) e Tmin (°C) em diferentes regiões nas últimas décadas.

3.4.2. Sazonalidade e número de episódios de OC

A distribuição do número de Ondas de calor segundo os diferentes limiares e a sazonalidade do período (definida segundo a metodologia proposta para as normais climatológicas), pode ser vista na Tabela 6. Os quantitativos do limiar absoluto indicam que a estação verão (inverno) apresentou o maior (menor) número de eventos, tanto para a OC diurna quanto a noturna. Nota-se que não houve registro de OC na estação inverno devido a redução habitual dos valores diários de temperatura do ar durante os meses de junho a outubro na cidade, o que dificultou a identificação de OC segundo a definição proposta.

Quanto aos limiares relativo e combinado, que utilizam a informação da climatologia da temperatura do ar, houve identificação de episódios de OC em todas as estações do ano. Os resultados do limiar relativo referente às OC diurnas apontam que a primavera (inverno) foi a estação com o maior (menor) número de eventos. Para as OC noturnas, a estação verão (inverno) obteve o maior (menor) número de OC. Por fim, os resultados do limiar combinado mostram que a primavera (inverno) foi a estação com o maior (menor) número de episódios.

Tabela 6 - Número de OC por limiar e período sazonal ao longo da série de estudo.

Limiar (Tipo de OC)	**verão (jan-fev-mar)**	**outono (abr-mai-jun)**	**inverno (jul-ago-set)**	**primavera (out-nov-dez)**
Limiar absoluto OC diurna	31 (09-08-14)	07 (05-02-00)	0	17 (00-06-11)
Limiar absoluto OC noturna	28 (10-09-09)	04 (02-01-01)	0	18 (01-03-14)
Limiar relativo OC diurna	13 (03-06-04)	13 (05-04-04)	07 (04-02-01)	16 (05-06-05)
Limiar relativo OC noturna	13 (02-05-06)	09 (04-03-02)	08 (03-01-04)	09 (04-01-04)
Limiar combinado OC	06 (03-02-01)	03 (02-01-00)	01 (00-00-01)	08 (04-02-02)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com estes resultados, pode-se indicar que as estações verão e primavera apresentaram o maior número de eventos, com alguma alternância segundo o tipo de OC avaliada. Este resultado é similar a outros estudos realizados na região Nordeste. Geirinhas et al. (2018) observou que na cidade de Recife, o índice CTX90pct apresentou o maior número

de eventos no verão e baixos valores no inverno e o índice CTN90pct registrou mais eventos de OC durante a primavera e menores ocorrências de episódios durante o Inverno. Bittencourt et al. (2016) identificou a maior ocorrência de OC na região do nordeste brasileiro entre setembro e março, com pico máximo de ocorrência (aproximadamente 30%) no mês de janeiro.

3.4.3. Duração dos eventos extremos de calor

Em todos as três definições adotadas, as Ondas de Calor com a duração de 3 dias foram as que ocorreram com maior frequência, seguidas pelas de 4 dias (Tabela 7). Um percentual significativo de eventos (acima de 25%) com duração igual ou superior a 6 dias foi identificado com o limiar absoluto e relativo para as OC diurnas. Para o limiar combinado, a duração de 3 e 4 dias representou 88,89% dos episódios identificados, o que mostra que dias e noites consecutivas com temperatura acima dos limiares estipulados por esta definição, com pouca frequência ultrapassaram 5 dias.

Tabela 7 – Percentual de OC de acordo com o número de dias do evento

Tipo de Limiar	Tipo de OC	Percentual (%)			
		3 dias	4 dias	5 dias	>= 6 dias
Absoluto	OC diurna	30,91	25,45	14,55	29,09
	OC noturna	46,00	28,00	14,00	12,00
Relativo	OC diurna	40,82	26,53	6,12	26,53
	OC noturna	38,46	28,21	15,38	17,95
Combinado	OC	50,00	38,89	5,56	5,56

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O número de dias de OC é um indicador importante na análise do impacto desses eventos na saúde de população, logo que um elevado número consecutivo de dias de calor extremo pode implicar no aumento de doenças relacionadas ao calor (MARTO, 2005). Como exemplo, Wang et al. (2019) avaliaram o impacto de OC na população de Hong Kong e constataram que o maior risco de mortalidade diária foi registrado durante eventos extremos de calor com mais de cinco dias ou noites consecutivas. Houve um aumento da mortalidade diária em 3,99% em eventos diurnos e 6,66% em eventos noturnos.

Ressalta-se que o INMET estabelece níveis de alerta à população para a ocorrência de OC de acordo com a duração dos episódios e a intensidade da anomalia térmica. Considera-se “perigo potencial” quando a temperatura do ar se eleva 5,0°C acima da média mensal por um período de dois a três dias consecutivos. Quando essa condição persiste por três a cinco dias, o evento é classificado como de “perigo”, e, quando ultrapassa cinco dias de duração, caracteriza-se como situação de “grande perigo”.

3.4.4. Intensidade (°C) das Ondas de Calor

Os valores de intensidade média de dias de OC e de intensidade máxima do dia com maior valor de Tmax/Tmin de um episódio, obtidos com os limiares absoluto e relativo, revelam que as OC noturnas apresentam os maiores valores quando comparadas às OC diurnas, especialmente com o uso do limar relativo (Tabela 8). Além disso, as OC noturnas apresentam uma variação superior às OC diurnas quanto à intensidade máxima dos dias de OC (1,54°C a 5,29°C), alcançando valores superiores a 5,00°C.

Tabela 8 - Intensidade média e máxima de Ondas de Calor (OC) em João Pessoa segundo três definições de limiares (2010–2022).

Tipo de Limiar	Tipo de OC	Intensidade Média (°C)	Desvio Padrão (°C)	Intensidade Máx. (°C)	Desvio Padrão (°C)	Variação Int. (°C)
Absoluto	OC diurna	0,52	0,20	0,81	0,40	0,20 - 1,70
	OC noturna	0,62	0,32	0,88	0,45	0,30 - 2,90
Relativo	OC diurna	1,41	0,19	1,69	0,34	1,06 - 2,39
	OC noturna	2,46	0,67	2,87	0,88	1,54 -5,29
Combinado	OC	1,45	0,20	1,65	0,34	1,15 - 2,28

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Esses resultados podem estar associados a uma menor capacidade de dissipação térmica da área urbana após o pôr do sol, principalmente em dias extremamente quentes, reflexo de mudanças na circulação atmosférica, da baixa penetração dos ventos alísios no tecido urbano e da baixa proporção de superfícies permeáveis e vegetadas. Durante o período noturno, a inércia térmica dos materiais de construção, aliada à reduzida ventilação e à liberação gradual do calor armazenado durante o dia, pode favorecer a manutenção de

temperaturas elevadas e o atraso no resfriamento do ar próximo à superfície durante os eventos extremos de calor. Esse comportamento é típico de ambientes urbanos com forte efeito de ilha de calor urbana, os quais, quando associados à ocorrência de Ondas de Calor noturnas, podem dificultar a perda de calor do corpo humano durante o período da noite.

Estudos que analisam o impacto das Ondas de Calor (OC) sobre a fisiologia humana indicam que a redução da capacidade de resfriamento corporal durante o período noturno constitui um fator de alto risco à saúde da população. Ho et al. (2017) avaliaram os efeitos prolongados do calor sobre a mortalidade na cidade de Hong Kong e constataram que um maior número de noites quentes consecutivas está estatisticamente associado a um risco de mortalidade mais elevado do que o observado em dias quentes sucessivos.

As OC identificadas com o limiar combinado apresentaram valores de intensidades médias e máximas de dias de OC próximas as OC diurnas definidas pelo limar relativo, e uma variação de intensidade entre 1,15°C e 2,28°C. Estes valores estão próximos aos obtidos por Moura (2015) para a cidade de Fortaleza, que quantificou um maior número de anomalias térmicas positivas com intensidade de Tmax entre 0,50°C e 2,40°C. Estes baixos valores de intensidade de OC para as cidades nordestinas, comparadas a cidades de outras zonas climáticas, decorre da baixa amplitude térmica, característica de cidades próximas a linha do equador (PERKINS-KIRKPATRICK, LEWIS, 2020). Apesar disso, é importante que os resultados não sejam generalizados, uma vez que foram identificados episódios que se enquadram na mais grave na escala do INMET (grande perigo).

Os valores máximos médios de temperatura máxima/mínima do ar registrados em dias de OC não apresentaram elevadas diferenças absolutas entre as três definições. As Ondas de Calor diurnas obtiveram valor máximo de Tmax (°C) de 33,21 ± 0,40°C pelo limar absoluto e de 32,70 ± 0,98°C pelo limiar relativo. Para as Ondas de Calor noturnas, registraram-se valores máximos de Tmin (°C) de 27,08 ± 0,45°C pelo limiar absoluto e de 26,72 ± 0,94°C pelo limiar relativo. Quanto ao limiar combinado, o valor médio da Tmax (°C) em dias de OC foi de 32,97 ± 0,57°C.

Essas pequenas diferenças absolutas entre os valores máximos médios obtidos nas três definições refletem o caráter termicamente estável do clima de João Pessoa, típico de cidades tropicais costeiras. A influência moderadora do oceano, associada à alta umidade relativa e à atuação das brisas marítimas, limita o aquecimento extremo durante o dia, mas favorece a

manutenção de temperaturas elevadas à noite. Assim, as OC em João Pessoa tendem a se manifestar mais pela persistência de valores elevados do que pela magnitude absoluta das temperaturas, o que reforça sua relevância para o desconforto térmico e para a gestão do risco climático urbano por gestores urbanos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa caracterizou as Ondas de Calor atmosféricas ocorridas na cidade de João Pessoa (PB) entre os anos de 2010 e 2022, aplicando três definições distintas baseadas em limiares absoluto, relativo e combinado de temperatura máxima e mínima do ar. Os resultados indicaram ocorrência significativa de episódios ao longo do período analisado, com diferenças relevantes entre as métricas obtidas em cada abordagem, evidenciando o impacto da escolha do critério de definição sobre as métricas de Ondas de Calor.

Cada definição de OC trouxe um olhar distinto sobre os eventos, porém, de uma forma geral, constata-se que as definições que utilizaram dos limiares absoluto e relativo apresentaram resultados próximos quanto ao número, duração e frequência dos eventos. Contudo, a definição com limiar absoluto não foi capaz de registrar eventos no período do inverno, e indicou os menores valores de intensidade média e máxima dos eventos. As definições com limiares relativo e combinado indicaram a ocorrência de eventos extremos de calor em todas as estações e apresentaram valores de intensidade média e máxima de OC similares. Embora a definição com limiar combinado indique o menor número de OC, ao longo da série histórica, os eventos registrados são caracterizados tanto por altos valores diurnos quanto noturnos de temperatura do ar, característica típica de eventos de OC, os quais provocam maior estresse térmico no corpo humano.

As análises revelaram ainda que, apesar da baixa amplitude térmica característica de cidades próximas ao Equador, como João Pessoa, ocorrem episódios críticos classificados com alerta de “grande perigo” pelo INMET, associados à persistência de altas temperaturas e ao reduzido resfriamento noturno. Esse comportamento reforça a importância de estudos em cidades com características climáticas similares às de João Pessoa, para uma melhor compreensão das OC.

Em termos aplicados, os resultados oferecem subsídios para o aprimoramento dos sistemas de alerta meteorológico, o planejamento urbano sensível ao clima e o desenvolvimento de estratégias de saúde pública, especialmente a populações vulneráveis. Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão das dinâmicas térmicas locais e para o fortalecimento das ações de mitigação e adaptação climática em cidades costeiras do Nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS

AWASTHI, A.; VISHWAKARMA, K.; PATTNAYAK, K. C. Retrospection of heatwave and heat index. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 147, n. 1–2, p. 589–604, jan. 2022.

BITENCOURT, D. P. et al. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, dez. 2016.

CAMPBELL, S. et al. Heatwave and health impact research: A global review. **Health & Place**, v. 53, p. 210–218, set. 2018.

DINIZ, F. R.; GONÇALVES, F. L. T.; SHERIDAN, S. Heat wave and elderly mortality: Historical analysis and future projection for metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 9, p. 933, 2020.

DONATTI, C. I. et al. Global hotspots of climate-related disasters. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 108, p. 104488, jun. 2024.

DOMEISEN, D. I. V. et al. Prediction and projection of heatwaves. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 1, p. 36–50, 13 dez. 2022.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 3, p. 1446-1456, 2019.

FERON, S. et al. Observations and Projections of Heat Waves in South America. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 8173, 3 jun. 2019.

FISCHER, E. M.; SIPPEL, S.; KNUTTI, R. Increasing probability of record-shattering climate extremes. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 8, p. 689–695, ago. 2021.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; COELHO, C. A.; PALMEIRA, A. C. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 4, p. 1760-1776, 2018.

HOBDAY, A. J. et al. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. **Progress in Oceanography**, v. 141, p. 227–238, fev. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 15 fev. 2023.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Glossário**. Brasília. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario>. Acesso em: 7 nov. 2023.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. Biometrika, Estados Unidos, v. 44, n. 1/2, 1957.

LI, FEI et al. Understanding urban heat vulnerability: Scientometric analysis of five decades of research. **Urban Climate**, v. 56, p. 102035, 2024.

MANDÚ, TIAGO BENTES et al. Avaliação de tendência nas ondas de calor registradas em Manaus/AM, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 405-425, 2020.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, vol. 13, 3, Econometric Society, 1945, p. 245-259.

MARENGO, J. A. et al. The heat wave of October 2020 in central South America. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 4, p. 2281–2298, 30 mar. 2022.

MARX, W.; HAUNSCHILD, R.; BORNMANN, L. Heat waves: a hot topic in climate change research. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 146, n. 1–2, p. 781–800, out. 2021.

NAIRN, J. R.; FAWCETT, R. **Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia**. Melbourne: Centre for Australian Weather and Climate Research, 2013.

PERKINS, S. E. A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. **Atmospheric Research**, v. 164–165, p. 242–267, out. 2015.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the Measurement of Heat Waves. **Journal of Climate**, v. 26, n. 13, p. 4500–4517, 1 jul. 2013.

PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. Increasing trends in regional heatwaves. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 3357, 3 jul. 2020.

REIS, N. C. S; BOIASKI, N. T.; FERRAZ, S. E. T. Characterization and Spatial Coverage of Heat Waves in Subtropical Brazil. **Atmosphere**, v. 10, n. 5, p. 284, 21 maio 2019.

SCHLEGEL, R. W.; SMIT, A. J. heatwaveR: A central algorithm for the detection of heatwaves and cold-spells. **Journal of Open Source Software**, v. 3, n. 27, p. 821, 2018.

SHADMANI, M.; MAROFI, S.; ROKNIAN, M. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. **Water Resources Management**, Estados Unidos, v.26, n.1, p.211-224, 2012.

SOUZA, V. S.; KATZSCHNER, L. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa/PB. **In: 8º Congresso luso-brasileiro para o planeamento urbano, regional, integrado e sustentável**

(PLURIS 2018), 8.,2018, Coimbra. Anais do 8º Congresso Luso-brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. v. 01. p. 1622-1634.

VENABLES, W. N.; SMITH, D. M. **Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.

VENTURA, T. M.; SANTANA, L. L. R.; MARTINS, C. A.; DE FIGUEIREDO, J. M. Análise da aplicabilidade de métodos estatísticos para preenchimento de falhas em dados meteorológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

WMO. WMO **Guidelines on the Definition and Characterization of Extreme Weather and Climate Events**. WMO-No: 1310, Geneva 2, Switzerland, 2023.

YADAV, N. et al. Systematic exploration of heat wave impact on mortality and urban heat island: A review from 2000 to 2022. **Urban Climate**, v. 51, p. 101622, set. 2023.

YANG, Y.; JIN, C.; ALI, S. Projection of heat wave in China under global warming targets of 1.5 °C and 2 °C by the ISIMIP models. **Atmospheric Research**, v. 244, p. 105057, nov. 2020.

YOU, Q. et al. A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions. **Climate Dynamics**, v. 48, n. 11–12, p. 3975–3989, jun. 2017.