Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

VARIABILIDADE CLIMÁTICA E CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ANÔMALA DURANTE OS EXTREMOS CHUVOSOS EM CURITIBA - PR

Climate variability and anomalous atmospheric circulation during wet extreme in Curitiba - PR

Variabilidad climática y circulación atmosférica anómala durante los extremos lluviosos en Curitiba - PR

Camila Bertoletti Carpenedo
NUVEM – Núcleo de Estudos sobre Variabilidade e Mudanças Climáticas, Universidade Federal do Paraná (UFPR)
camila.carpenedo@ufpr.br

André Luiz de Souza Bonfim
Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná (UFPR)
aluiz17@ufpr.br

Leila Limberger
Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
leila.limberger@unioeste.br

Resumo: Estudos mostram uma tendência de aumento nos extremos chuvosos na Região Sul, a qual se destaca na ocorrência de desastres naturais hidrometeorológicos no Brasil. Assim, este estudo tem como objetivo investigar a variabilidade climática e os padrões de circulação atmosférica associados aos extremos chuvosos em Curitiba - PR no verão (1980-2021), visto que este é o município mais populoso da Região Sul. Foram utilizados dados observados/estimados e índices de diferentes fontes (SPEI Global Drought Monitor, ERA5, NOAA, CEDEC). Através da técnica de composições, os resultados mostram que nos extremos chuvosos em dezembro predomina resfriamento no Pacífico equatorial, favorecendo a fase positiva do Dipolo Subtropical do Atlântico Sul (SASDI) e negativa do Dipolo do Oceano Índico. Também há predomínio de fase negativa da Oscilação do Ártico (AO) e da Oscilação do Atlântico Norte. Em janeiro há um padrão de enfraquecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) oceânica, associado ao padrão de intensificação do jato de baixos níveis da América do Sul (JBNAS), e predomínio de fase negativa da AO. Em fevereiro predomina ZCAS enfraquecidas, associadas ao padrão de intensificação do JBNAS e do ramo sudoeste da Alta Subtropical do Atlântico Sul, a qual bloqueia e estaciona os sistemas sinóticos na costa Sul, contribuindo para o aporte umidade. Há predomínio de La Niña-Pacífico Central, favorecendo a fase positiva do SASDI. O monitoramento dos índices climáticos e dos padrões de circulação

atmosférica pode auxiliar na previsão de extremos chuvosos em Curitiba e na prevenção dos impactos associados aos desastres naturais hidrológicos.

Palavras-chave: SPEI. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Dipolo Subtropical do Atlântico Sul.

Abstract: Studies show an increasing trend in wet extremes in the South Region, which stands out in the occurrence of hydrometeorological natural disasters in Brazil. Thus, this study aims to investigate the climate variability and atmospheric circulation patterns associated with wet extremes in Curitiba - PR during the summer (1980-2021), since this is the most populous municipality in the South Region. We use observed/estimated data and indices from different sources (SPEI Global Drought Monitor, ERA5, NOAA, CEDEC). Through the technique of compositions, the results show that in the wet extremes in December there is a predominance of cooling in the equatorial Pacific, favoring the positive phase of the South Atlantic Subtropical Dipole (SASDI) and negative phase of the Indian Ocean Dipole. There is also a predominance of the negative phase of the Arctic Oscillation (AO) and the North Atlantic Oscillation. In January there is a pattern of weakening of the oceanic South Atlantic Convergence Zone (SACZ), associated with the pattern of intensification of the South American low-level jet (SALLJ), and predominance of negative phase of the AO. In February, weakened SACZ predominate, associated with the pattern of intensification of the SALLJ and the southwestern branch of the South Atlantic Subtropical High, which blocks and stationary the synoptic systems on the South coast, contributing to the moisture supply. There is a predominance of Central Pacific La Niña, favoring the positive phase of the SASDI. The monitoring of climate indices and atmospheric circulation patterns can assist in predicting wet extremes in Curitiba and in preventing the impacts associated with natural hydrological disasters.

Keywords: SPEI. South Atlantic Convergence Zone. South Atlantic Subtropical Dipole.

Resumen: Estudios muestran una tendencia al aumento de los extremos lluviosos en la Región Sur, que se destaca en la ocurrencia de desastres naturales hidrometeorológico en Brasil. Así, este estudio tiene como objetivo investigar la variabilidad climática y los patrones de circulación atmosférica asociados a los extremos lluviosos en Curitiba - PR en verano (1980-2021), ya que este es el municipio más poblado de la Región Sur. Se utilizaron datos observados/estimados e índices de diferentes fuentes (*SPEI Global Drought Monitor*, ERA5, NOAA, CEDEC). Mediante la técnica de composiciones, los resultados muestran que en los extremos lluviosos de diciembre hay un predominio del enfriamiento en el Pacífico ecuatorial, favoreciendo la fase positiva del Dipolo Subtropical del Atlántico Sur (SASDI) y la fase negativa del Dipolo del Océano Índico. También predomina la fase negativa de la Oscilación Ártica (OA) y la Oscilación del Atlántico Norte. En enero, hay un patrón de debilitamiento de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) oceánica, asociado al patrón de intensificación del chorro de bajo nivel de América del Sur (JBNAS), y predominio de la fase negativa de la AO. En febrero predominan las ZCAS debilitadas, asociadas al patrón de intensificación del JBNAS y al brazo sudoeste de la Alta Subtropical del Atlántico Sur, que bloquea y estaciona los sistemas sinópticos de la costa sur, contribuyendo al aporte de humedad. Hay un predominio de La Niña-Pacífico Central, favoreciendo la fase positiva del SASDI. El monitoreo de los índices climáticos y de los patrones de circulación atmosférica puede ayudar en la predicción de lluvias extremas en Curitiba y en la prevención de impactos asociados a desastres hidrológicos naturales.

Palabras clave: SPEI. Zona de Convergencia del Atlántico Sur. Dipolo Subtropical del Atlántico Sur.

Submetido em: 10/06/2023
Aceito para publicação em: 23/01/2024
Publicado em: 25/01/2024

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos de tempo e clima são eventos naturais excepcionais em um local e época do ano específicos, os quais geralmente causam prejuízos às atividades econômicas, ambientais ou humanas. Estatisticamente, estes eventos são definidos como a ocorrência de um valor de uma variável meteorológica acima (abaixo) de um valor limite próximo às extremidades superiores (inferiores) do intervalo de valores observados da variável (IPCC, 2022a). Geograficamente, os eventos extremos são definidos como eventos que causam desarranjos ao espaço geográfico (MONTEIRO, 1991) ou causam uma sucessão significativa de danos à sociedade (SANT'ANNA NETO, 2008). Apesar da diversidade de conceitos, os eventos extremos estão associados a adversidades climáticas e, no Brasil, estes eventos são especialmente associados à precipitação pluvial, tanto no excesso quanto na falta (NASCIMENTO JR, 2016).

Apesar de fazerem parte da dinâmica natural do clima, a ocorrência de eventos extremos está aumentando nas últimas décadas, sendo este um efeito das mudanças climáticas causadas pelo aumento nas emissões e concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa de origem antropogênica (SENEVIRATNE *et al.*, 2021). Esse padrão foi identificado em muitos locais do planeta, notadamente nas regiões tropicais e, especificamente, no Brasil (AMBRIZZI, 2014).

Os desastres naturais, que são resultado de eventos naturais extremos e/ou adversos, causam impactos especialmente sobre grupos sociais fragilizados do ponto de vista socioeconômico, sob alta vulnerabilidade, devido à falta de planejamento urbano e de implementação de políticas públicas para a prevenção de desastres (SAITO *et al.*, 2015; EM-DAT, 2024). Entre 1970 e 2019, as inundações foram o tipo de desastre (hidrológico) que mais incorreu em número de mortes (72%) e perdas econômicas (52%) na América do Sul (WMO, 2021). A ocorrência de desastres naturais hidrológicos (*e.g.*, enchentes, inundações, alagamentos, enxurradas, movimentos de massa úmido; EM-DAT, 2024) está diretamente relacionada a extremos de precipitação pluvial, associada a condições de relevo e uso da terra.

Neste cenário destaca-se a Região Sul do Brasil, que apresenta a maior frequência de enxurradas e a segunda maior frequência de alagamentos e movimentos de massa do país

(BRASIL, 2013). Além disso, estudos mostram uma tendência de aumento na precipitação pluvial e nos extremos chuvosos na Região Sul (RE; BARROS, 2009; REGOTO *et al*., 2021), o que está associado, entre outros fatores, a um aumento no transporte de umidade da Amazônia em direção aos subtrópicos via jato de baixos níveis da América do Sul (JBNAS; MONTINI *et al*., 2019; VARUOLO-CLARKE *et al*., 2022). A variabilidade climática, em diferentes escalas temporais, também pode contribuir para a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial na Região Sul, como por exemplo, os eventos de El Niño-Pacífico Central e Leste (CAVALCANTI *et al*., 2015), a Oscilação de Madden-Julian (GRIMM, 2019), o trem de ondas que emana do Oceano Índico (CAVALCANTI *et al*., 2015), a variabilidade da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Sul (DIAZ *et al*., 1998; BARROS *et al*., 2000), dentre outros.

Situada no Sul do Brasil, Curitiba é a capital mais populosa da Região, com uma população estimada de 1.963.726 habitantes em 2021 (IBGE, 2023). Embora seja um município reconhecido por seu planejamento urbano e ecológico (MENDONÇA, 2004), há ocorrências de problemas relacionados às precipitações extremas, como inundações, enxurradas e alagamentos, principalmente nas áreas próximas aos rios e que não possuem Área de Preservação Permanente respeitada devido à ocupação irregular do solo (GOUDARD; MENDONÇA, 2017). Assim, este estudo tem como objetivo investigar a variabilidade climática e os padrões de circulação atmosférica associados aos extremos chuvosos no município de Curitiba - PR durante o verão (dezembro a fevereiro), entre 1980 e 2021. Espera-se com esta pesquisa ampliar o conhecimento sobre o tema para que haja maior previsibilidade de fenômenos extremos de chuva e, com isso, seja melhorada a resiliência e adaptabilidade destes fenômenos face a um cenário de mudanças climáticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

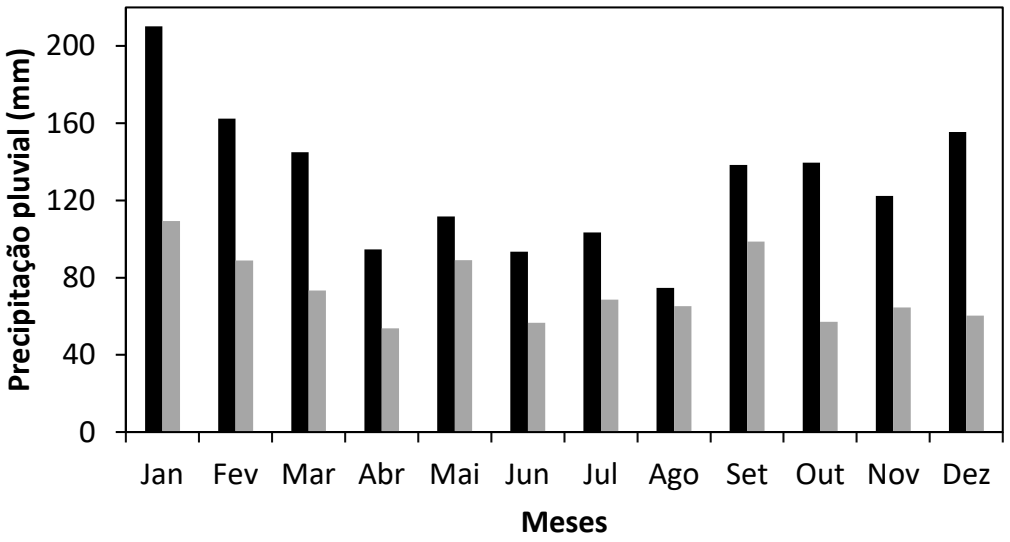
2.1. Dados

Todos os dados utilizados neste estudo foram obtidos para o período de 1980 a 2021. As análises correspondem ao verão (dezembro, janeiro e fevereiro), por ser o trimestre mais chuvoso no município de Curitiba, com acumulado de 528,1 mm, o que corresponde à 34%

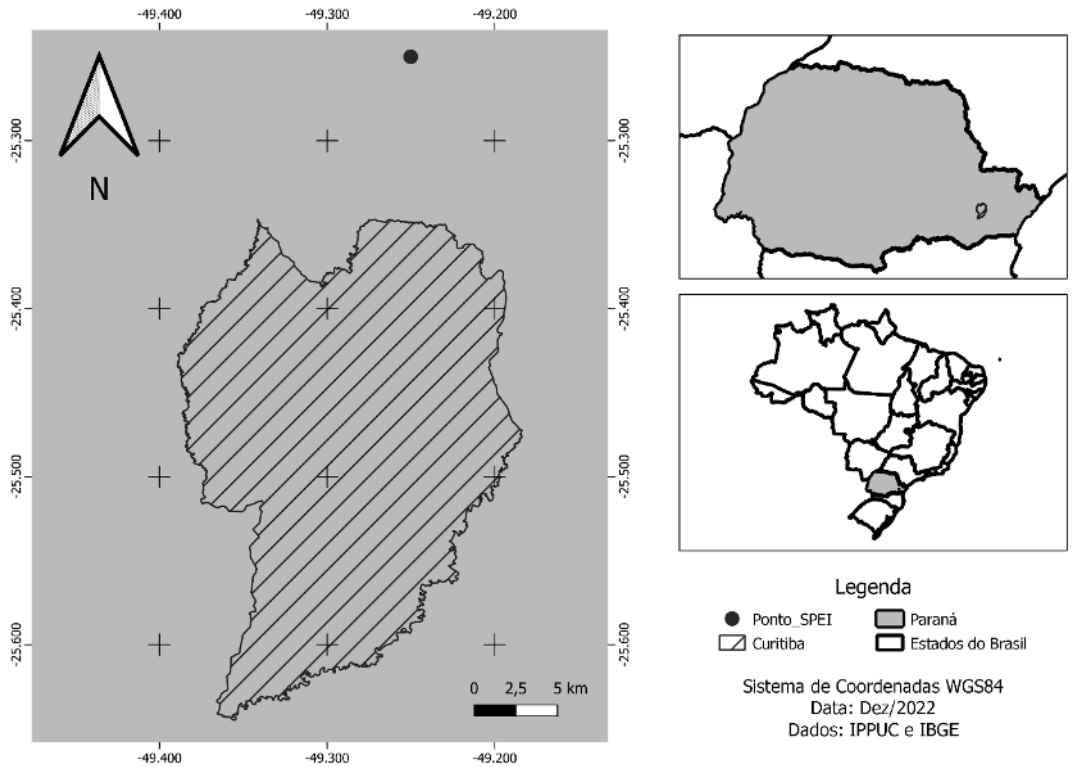
da precipitação total anual (Figura 1a). Janeiro é o mês que apresenta a maior variabilidade da precipitação pluvial no ano, com desvio padrão de 109,3 mm.

Figura 1 – (a) Climatologia mensal da precipitação pluvial (em preto) e desvio padrão (em cinza) para o período de 1981 a 2010 no município de Curitiba e (b) respectiva localização no Estado do Paraná, juntamente com o ponto de grade em que o índice SPEI foi obtido.

(a)



(b)



Fonte: (a) Estação meteorológica de observação de superfície convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); elaborado pelos autores (2023); (b) elaborados pelos autores (2023)

Para detectar os extremos chuvosos em Curitiba, foi utilizado o Índice de Evapotranspiração-Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* - SPEI), obtido do *SPEI Global Drought Monitor* (https://spei.csic.es/map/maps.html), em uma grade regular de 1° de latitude x 1° de longitude. Este índice foi obtido para o ponto de grade mais próximo do município, nas coordenadas 49,25°W e 25,25°S (Figura 1b). Por incluir não somente o efeito do déficit de precipitação pluvial, mas também o efeito do aumento da temperatura do ar, este índice permite considerar a influência das mudanças climáticas e da variabilidade de alta frequência, como as ondas de calor, nos extremos hidrológicos (DUBREUIL *et al*., 2019). O *SPEI Global Drought Monitor* utiliza dados de precipitação pluvial do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) e de temperatura do ar do *Global Historical Climatology Network version 2* e do *Climate Anomaly Monitoring System* (GHCN + CAMS), ambos da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Foi utilizado o SPEI-1, que corresponde a eventos com persistência de 1 mês. Detalhes sobre o cálculo do índice SPEI podem ser obtidos em Vicente-Serrano *et al*. (2010).

Os campos atmosféricos foram obtidos do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) *reanálises v5* (ERA5), em uma grade regular de 0,25° de latitude x 0,25° de longitude (HERSBACH *et al*., 2020). As variáveis meteorológicas utilizadas foram: vetor vento e magnitude em 850 hPa (m/s), altura geopotencial em 500 hPa (m) e divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg/m²s).

A TSM (°C) foi obtida do *International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset* (ICOADS), *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) *version 5*, com espaçamento horizontal de 2° de latitude x 2° longitude (HUANG *et al*., 2017). A radiação de onda longa emergente (ROLE; W/m²) no topo da atmosfera foi obtida da *NOAA Climate Data Record* (CDR), versão 2.7, com espaçamento horizontal de 2,5° de latitude x 2,5° de longitude (LIEBMANN; SMITH, 1996).

Para avaliar os desastres naturais associados aos meses com extremos chuvosos em Curitiba, utilizamos o banco de dados de ocorrências de desastres naturais da Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Paraná (CEDEC), disponível em http://www.sisdc.pr.gov.br/sdc/publico/relatorios/ocorrencias_geral.jsp.

A relação entre os extremos chuvosos em Curitiba e a variabilidade climática foi avaliada através dos seguintes índices climáticos: Índice de Niño Oceânico (*Oceanic Niño*

Index - ONI), TSM nas regiões do Niño 1+2, 3 e 4, Índice SAM (*Southern Annular Mode*), Índice do Dipolo Subtropical do Atlântico Sul (*South Atlantic Subtropical Dipole Index* - SASDI), Atlântico Sul Tropical (*Tropical Southern Atlantic* - TSA), Atlântico Norte Tropical (*Tropical Northern Atlantic* - TNA), Modo Meridional do Atlântico (*Atlantic Meridional Mode* – AMM), Oscilação Multidecadal do Atlântico (*Atlantic Multidecadal Oscillation* - AMO), Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO), Dipolo do Oceano Índico (*Dipole Mode Index* - DMI), Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation* - NAO) e Oscilação Ártica (*Arctic Oscillation* - OA). Todos os índices foram obtidos do *Climate Prediction Center* (CPC/NOAA), com exceção do SASDI, obtido em Souza e Reboita (2021). O índice SASDI possui sinal invertido para coincidir com o sinal do Índice do Dipolo do Oceano Atlântico Sul. Desta forma, no presente estudo, multiplicamos todos os valores de SASDI por "-1" para obter o sinal original do índice.

2.2. Procedimentos Metodológicos

Foram considerados como extremos chuvosos em Curitiba os meses de verão com índice SPEI-1 com limiar igual ou superior a +1,5, classificado dentro das categorias de severamente (+1,50 ≥ SPEI ≤ +1,99) e extremamente (SPEI ≥ +2,00) úmidos, definidas por Svoboda *et al*. (2012).

Posteriormente, foram analisados os padrões de circulação atmosférica durante os extremos chuvosos em Curitiba através da técnica de composições. Este método consiste em formar um conjunto de ψ índices (variáveis meteorológicas) e calcular o valor de V (composição) condicional em $z \in \psi$ (VAN STORCH; ZWIERS, 2003):

$$V_{\psi} = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} v_{t_j} \qquad (1)$$

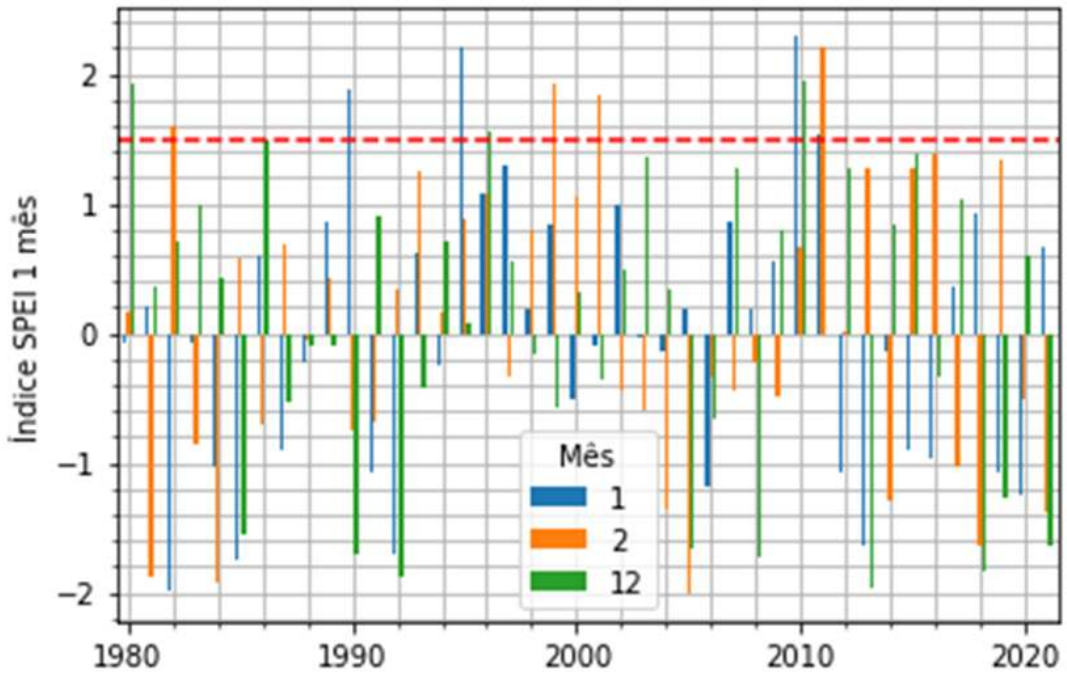
onde v é a variável meteorológica, t_1, t_2, ..., t_k são os tempos das observações e k é o número de observações. No cálculo das composições das anomalias dos campos atmosféricos para os meses com extremos chuvosos em Curitiba, a Equação 1 foi aplicada, em que V_{ψ} são as anomalias nos meses com extremos chuvosos em relação à normal climatológica de 1981 a 2010. A significância estatística de V_{ψ} foi obtida com o teste *t-Student*, ao nível de significância de 10% (WILKS, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Extremos Chuvosos e Desastres Naturais

A Figura 2 apresenta a série temporal do índice SPEI-1 em Curitiba para o verão, entre 1980 e 2021. Pode-se observar que, dos 28 meses de verão com extremos chuvosos (de moderada a extremamente úmidos) em Curitiba, 39,3% dos eventos ocorreram entre 2010-2019, seguido pela década de 1990, com 28,6% dos eventos. Não houve a ocorrência de extremos severamente (+1,50 ≥ SPEI ≤ +1,99) e extremamente (SPEI ≥ +2,00) úmidos em Curitiba nos últimos 10 anos (2012-2021) com persistência de 1 mês, apesar de existir sete meses com eventos moderadamente úmidos (+1,00 ≥ SPEI ≤ +1,49). Nos últimos 42 anos houve 11 meses com índice SPEI-1 classificado como severamente e extremamente úmido em Curitiba, o que corresponde à 8,7% dos meses de verão. Os eventos moderadamente úmidos corresponderam à 13,5% dos meses de verão. Janeiro é o mês com maiores acumulados de precipitação pluvial (Figura 1a) e com maior frequência de eventos extremamente úmidos (2 eventos) em relação aos demais meses de verão (dezembro: nenhum evento; fevereiro: 1 evento). Apenas o verão de 2010-2011 apresentou extremos chuvosos em todos os meses no município.

Figura 2 – Índice SPEI-1 em Curitiba – PR para o período de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), entre 1980 e 2021. A linha vermelha tracejada representa o limiar de +1,5 do índice SPEI-1 (SPE ≥ +1,5 inclui eventos severamente e extremamente úmidos).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Através do histórico de ocorrências de desastres naturais da Defesa Civil do Estado do Paraná (Tabela 1), nota-se que 36,4% dos meses com extremos chuvosos em Curitiba foram associados a desastres naturais, sendo todos eles desastres hidrológicos (inundações, enxurradas ou alagamentos). Todos os meses com extremos chuvosos associados a desastres naturais apresentaram limiar do índice SPEI-1 superior à +1,9. Em relação ao número de pessoas afetadas, não houve registros nas ocorrências de inundações, enquanto nos alagamentos de dezembro de 2010 foram 15 pessoas afetadas e nas enxurradas de fevereiro de 1999 foram 15.000 pessoas. Desta forma, a ocorrência de extremos chuvosos mensais não necessariamente implica em desastres hidrológicos. A intensidade da precipitação pluvial (milímetros de chuva por hora) é fator importante para a ocorrência desse tipo de desastre e o índice SPEI-1 indica a ocorrência de extremo chuvoso ao longo de um mês, podendo este mês ter apresentado precipitação pluvial concentrada em poucos dias ou distribuída ao longo do mês.

Tabela 1 – Meses de verão com extremos chuvosos em Curitiba – PR (índice SPEI-1 ≥ +1,5) e respectivos índices SPEI-1, desastres naturais associados e número de pessoas afetadas entre 1980 e 2021.

Data	SPEI-1	Ocorrência	Afetados
Dez/1980	1,93	Inundações	0
Fev/1982	1,60	-	-
Jan/1990	1,89	-	-
Jan/1995	2,20	Inundações	0
Dez/1996	1,55	-	-
Fev/1999	1,93	Enxurradas	15.000
Fev/2001	1,84	-	-
Jan/2010	2,29	-	-
Dez/2010	1,95	Alagamentos	15
Jan/2011	1,54	-	-
Fev/2011	2,22	-	-

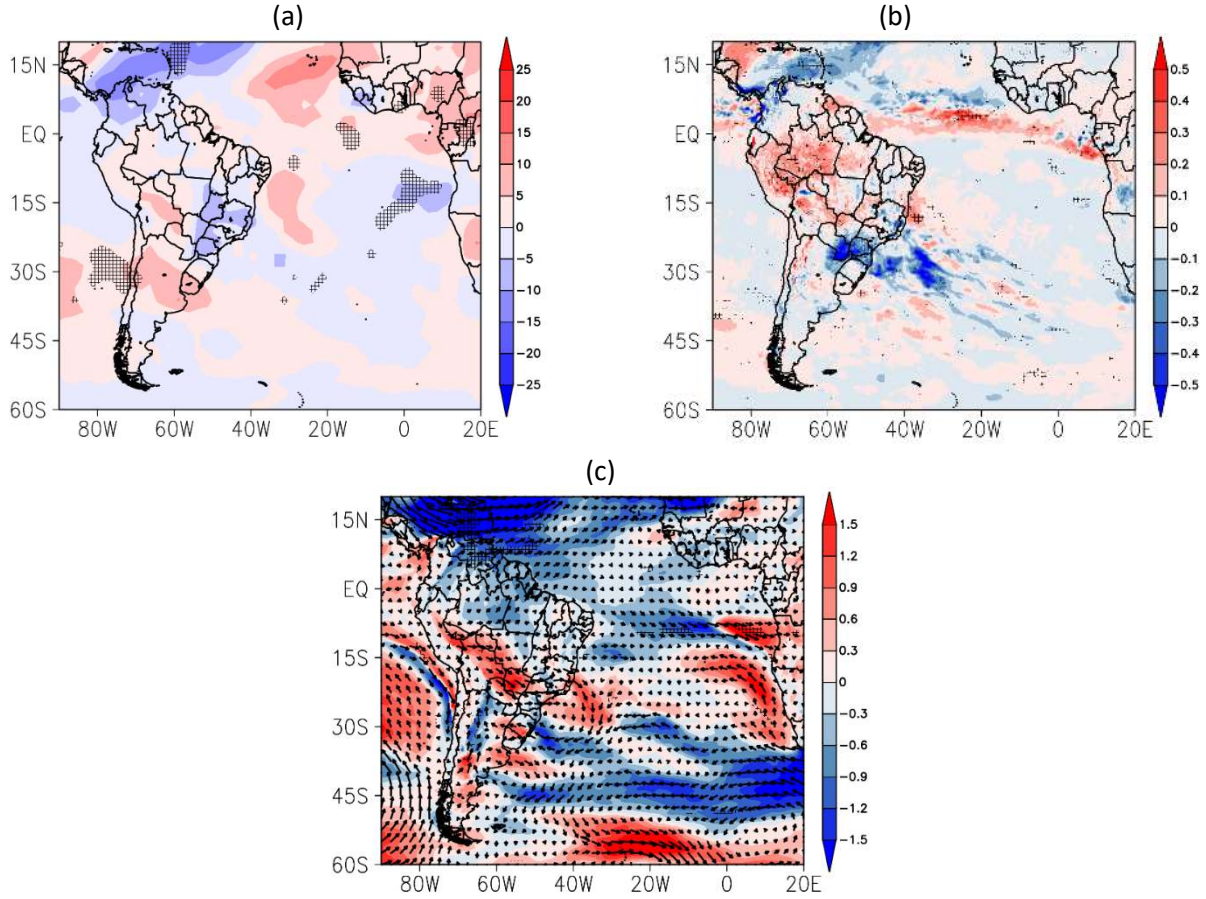
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Nesse sentido, Pedron *et al*. (2017) mostraram que em Curitiba, entre 1889 e 2016, houve uma tendência de aumento no número de dias com precipitação intensa (≥ 10 mm) e muito intensa (≥ 20 mm), na quantidade de precipitação pluvial máxima diária (*Simple daily intensity index*), no percentil de 95% e 99% diário e no número de dias secos consecutivos. Por outro lado, os autores observaram que houve uma tendência de redução no número de dias úmidos (≥ 1 mm) e de dias com precipitação pluvial < 10 mm, o que indica que as precipitações têm se tornado mais concentradas e potencialmente deflagradoras de impactos no município.

3.2. Circulação atmosférica anômala em dezembro

Durante os extremos chuvosos em Curitiba no mês de dezembro não há atividade convectiva anômala (Figura 3a). Apesar disso, é possível observar um aumento no fluxo de umidade integrado na vertical (convergência; Figura 3b), associado ao fortalecimento dos ventos em 850 hPa entre o sul do Amazonas em direção aos estados do Paraná e São Paulo (Figura 3c), o que pode indicar um fortalecimento do JBNAS, apesar de sem significância estatística. Entre a Região Sul, Sudeste e Atlântico Sudoeste há uma circulação ciclônica em baixos níveis, o que favorece os movimentos verticais ascendentes, formação de nuvens e precipitação pluvial.

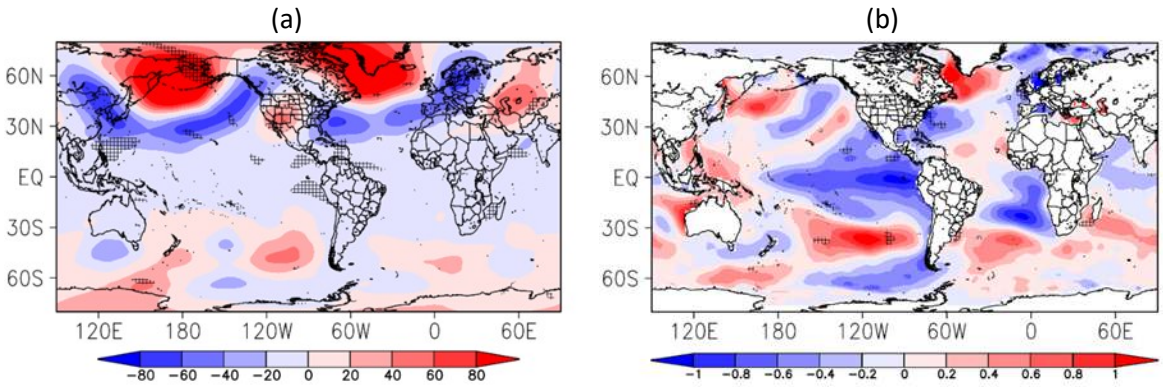
Figura 3 - Composição das anomalias de (a) radiação de onda longa emergente (W/m²), (b) divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg m^{-2} s^{-1}) e (c) vento em 850 hPa (m/s) durante os extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de dezembro de 1980, 1996 e 2010. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em relação aos padrões atmosféricos de grande escala, apesar de não haver significância estatística nas composições de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 4a), podemos observar um padrão de onda zonal número 4 nas latitudes médias do Hemisfério Sul, bem como um padrão espacial de fase negativa da Oscilação do Ártico (anomalias negativas nas latitudes médias e anomalias positivas nas altas latitudes boreais). Tal fato é corroborado pelo índice AO durante os extremos chuvosos (Tabela 2), em que a fase é negativa em dois dos três eventos.

Figura 4 - Composição das anomalias de (a) altura geopotencial em 500 hPa (m) e (b) temperatura da superfície do mar (°C) durante os extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de dezembro de 1980, 1996 e 2010. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Tabela 2 – Índices climáticos em eventos extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de dezembro de 1980, 1996 e 2010. Valores em vermelho (azul) indicam índices iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a +1 (-1) desvio padrão.

Data	ONI	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	SAM	SASDI	TSA	TNA	AMM	DMI	PDO	AMO	NAO	AO
1980	0,00	-0,4	0,01	-0,03	-0,36	2,14	-0,59	-0,02	0,75	-0,41	-0,10	-0,26	0,63	-0,06
1996	-0,50	-1,13	-1,01	-0,19	-0,02	0,99	-0,06	0,14	2,32	-0,34	-0,03	-0,17	-1,40	-1,72
2010	-1,60	-0,9	-1,5	-1,45	0,21	0,65	0,41	0,96	7,80	-0,14	-1,21	0,19	-1,80	-2,63

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Da mesma forma, no geral as anomalias de TSM globais não apresentam significância estatística (Figura 4b). Contudo, podemos observar um padrão espacial de eventos de La Niña entre a região do Niño 1+2 até a região do Niño 4 (Tabela 2). Ainda no Pacífico, há um padrão de fase negativa da PDO (Figura 4b), em que todos os anos de extremos chuvosos apresentam índice PDO negativo, embora somente em 2010 é igual ou menor a -1 desvio padrão (Tabela 2).

No Atlântico Sul há um padrão de dipolo da TSM entre o nordeste e sudoeste do Atlântico Sul, o que indica a fase positiva do Dipolo Subtropical do Atlântico Sul (anomalias negativas de TSM no nordeste do Atlântico Sul e anomalias positivas no sudoeste; Figura 4b), corroborado pelo predomínio de fase positiva do índice SASDI (Tabela 2). A fase positiva do Dipolo Subtropical do Atlântico Sul favorece o aumento das chuvas entre o Amazonas em direção à Região Sudeste, abrangendo o Estado do Paraná (BOMBARDI *et al.*, 2014). Isso ocorre devido ao aumento da ciclogênese e de ciclones extratropicais na costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, o que aumenta o aporte de umidade para a Zona de Convergência

do Atlântico Sul (ZCAS; BOMBARDI *et al*., 2014), que é o principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas na região tropical do país durante o verão. Os eventos de La Niña no Pacífico Central desencadeiam a fase positiva do SASDI, através da teleconexão Pacífico-América do Sul (*Pacific-South American* - PSA) (RODRIGUES *et al*., 2015).

No Atlântico Norte é observado um padrão de tripolo de anomalias de TSM, semelhante ao padrão espacial de fase negativa da Oscilação do Atlântico Norte, corroborado pelo predomínio de fase negativa do índice NAO durante os extremos chuvosos em Curitiba (Tabela 2). Pedron *et al*. (2017) não encontraram correlação com significância estatística entre os extremos de precipitação pluvial em Curitiba, obtidos pelo percentil de 95%, e o índice NAO, no período de 1950 e 2013.

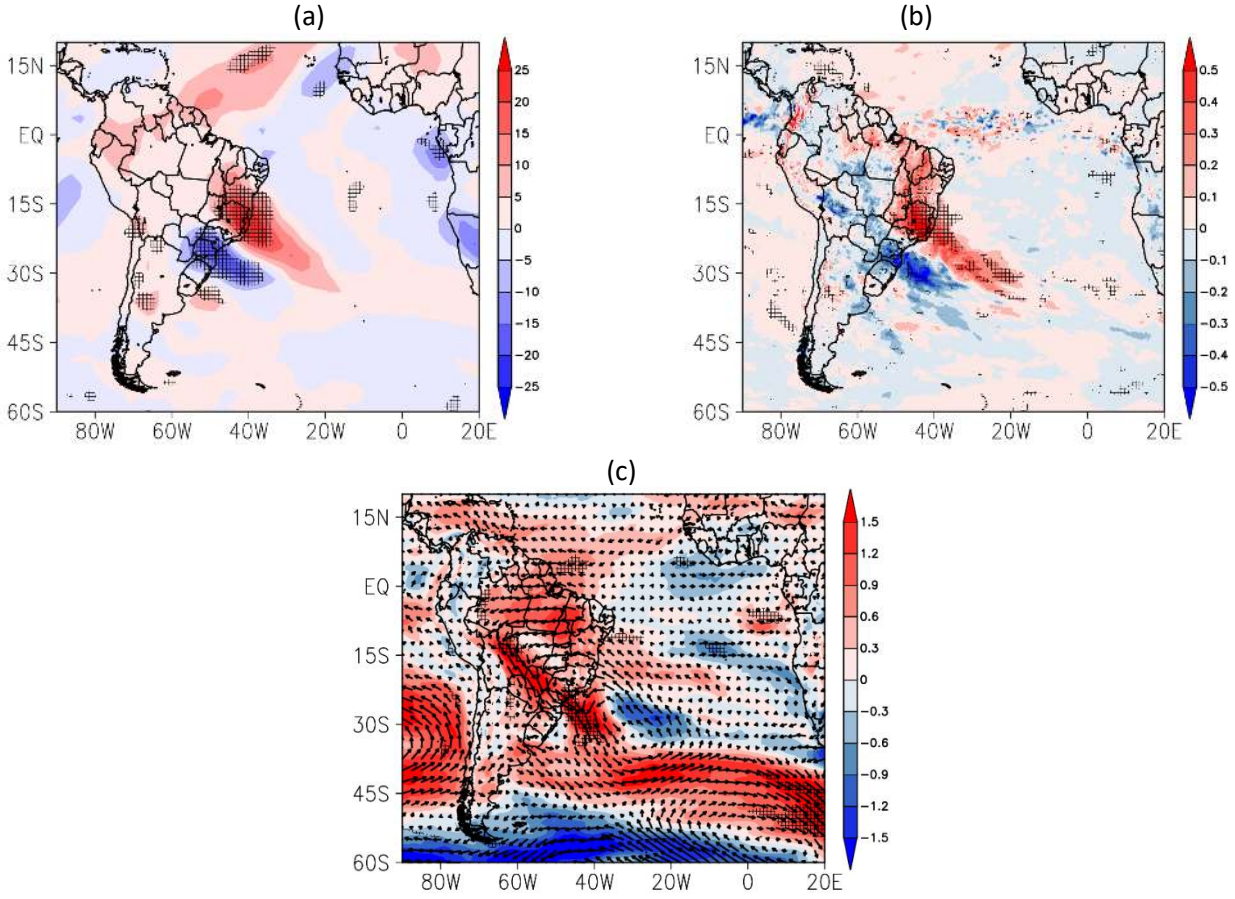
No Oceano Índico há um padrão espacial de fase negativa do Dipolo do Oceano Índico (anomalias negativas de TSM no oeste e anomalias positivas no leste; Figura 4b), como pode ser observado através do índice DMI negativo em todos os meses com extremos chuvosos, sendo dois com limiar igual ou inferior à -1 desvio padrão (Tabela 2). Os eventos de La Niña favorecem a fase negativa do Dipolo do Oceano Índico, de forma que somente 32% dos eventos de IOD ocorrem independentemente do El Niño-Oscilação Sul (STUECKER *et al*., 2017).

3.3. Circulação atmosférica anômala em janeiro

Os extremos chuvosos em Curitiba no mês de janeiro apresentam um padrão de dipolo entre a Região Sul/sul da Região Sudeste (anomalia negativa de ROLE – convecção anômala) e o centro-norte da Região Sudeste/Bahia (anomalia positiva ROLE – supressão de convecção anômala) (Figura 5a). Esse padrão espacial é semelhante ao padrão de gangorra associado aos eventos de ZCAS (NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997), podendo indicar um enfraquecimento da atividade convectiva deste sistema atmosférico. Além disso, a convecção anômala se estende em direção ao Atlântico Sul adjacente, semelhante ao padrão de ZCAS oceânica (CARVALHO *et al*., 2004). A região de anomalias negativas (positivas) de ROLE na Região Sul/sul da Região Sudeste (centro-norte da Região Sudeste/Bahia) está associada à aumento (redução) no fluxo de umidade integrado na vertical, ou seja, convergência (divergência) de umidade (Figura 5b). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Pedron *et al*. (2017), os quais observaram uma correlação negativa entre

os extremos de precipitação pluvial em Curitiba e os índices de ZCAS e LISAM (*Large-Scale Index for South America Monsoon*), este último usado como um índice para as monções (SILVA; CARVALHO, 2007).

Figura 5 - Composição das anomalias de (a) radiação de onda longa emergente (W/m²), (b) divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg m^{-2} s^{-1}) e (c) vento em 850 hPa (m/s) durante os extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de janeiro de 1990, 1995, 2010 e 2011. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



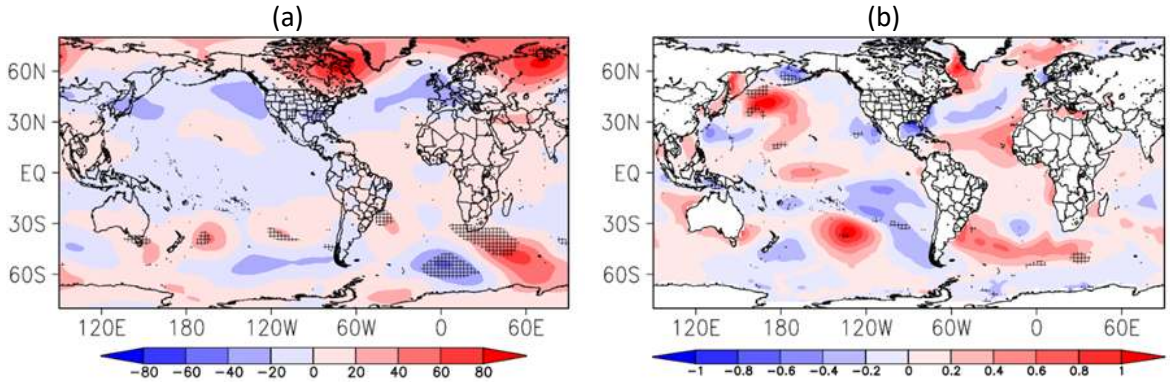
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Através do vento em 850 hPa (Figura 5c), podemos observar um fortalecimento entre o Amazonas e a Região Sul do país, o que pode indicar uma intensificação do JBNAS, o qual transporta umidade do Atlântico Tropical e da Amazônia em direção ao sul do Brasil. Quando o JBNAS está mais intenso, os eventos de ZCAS tendem a ser fracos, com consequente desenvolvimento de atividade convectiva entre o sul do Brasil e o norte da Argentina (MARENGO *et al.*, 2004), conforme observado nas Figuras 5a e 5b. O padrão espacial

anômalo de ventos em 850 hPa associado ao JBNAS é semelhante ao observado por Silva *et al*. (2009) em eventos de El Niño.

A circulação atmosférica de grande escala (Figura 6a) mostra um trem de ondas entre o leste do Pacífico Sul em direção à América do Sul e Atlântico Sul adjacente, semelhante ao padrão PSA. Metade dos eventos extremos ocorreram durante eventos de El Niño (ONI positivo) e com anomalias positivas de TSM na região do Niño 4, indicando uma relação com eventos de El Niño-Pacífico Central, enquanto um evento extremo ocorreu em ano de La Niña (ONI negativo), consecutivamente associada à resfriamento da TSM nas regiões do Niño 3 e 4, e um evento em ano neutro (Tabela 3).

Figura 6 - Composição das anomalias de (a) altura geopotencial em 500 hPa (m) e (b) temperatura da superfície do mar (°C) durante os extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de janeiro de 1990, 1995, 2010 e 2011. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Tabela 3 – Índices climáticos em eventos extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de janeiro de 1980 a 2021. Valores em vermelho (azul) indicam índices iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a +1 (-1) desvio padrão.

Data	ONI	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	SAM	SASDI	TSA	TNA	AMM	DMI	PDO	AMO	NAO	AO
1990	0,10	-0,48	-0,29	0,16	-0,35	1,06	-0,34	-0,08	-0,18	-0,03	-0,30	-0,31	0,70	1,00
1995	1,00	0,73	0,77	0,72	1,45	-1,06	0,40	-0,05	-1,37	0,21	-0,49	-0,08	0,57	-0,15
2010	1,50	0,28	1,07	1,12	-0,76	-1,40	0,79	0,80	1,98	0,36	0,83	0,02	-1,80	-2,59
2011	-1,40	-0,48	-1,26	-1,40	0,05	0,72	0,45	0,97	7,01	0,26	-0,92	0,12	-1,53	-1,68

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Associado ao padrão PSA, há uma crista anômala em níveis médios na costa leste das Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Figura 6a), a qual resulta em movimentos verticais descendentes, aquecendo a superfície oceânica por compressão adiabática e por favorecer uma maior incidência de radiação solar. A alta pressão anômala em níveis médios pode atuar

de forma a bloquear a passagem normal de sistemas transientes, como frentes frias e ciclones extratropicais, fazendo com que estes se tornem estacionários sobre a costa leste da Região Sul/sul da Região Sudeste, contribuindo com o aporte de umidade (Figura 5b) e aumento da precipitação pluvial. Outro fator que pode contribuir com a estacionariedade dos sistemas sinóticos é o aquecimento anômalo da TSM na costa leste da Região Sul do país (Figura 6b). As águas oceânicas aquecidas podem atuar como fonte de calor para estes sistemas atmosféricos (ITO, 1999).

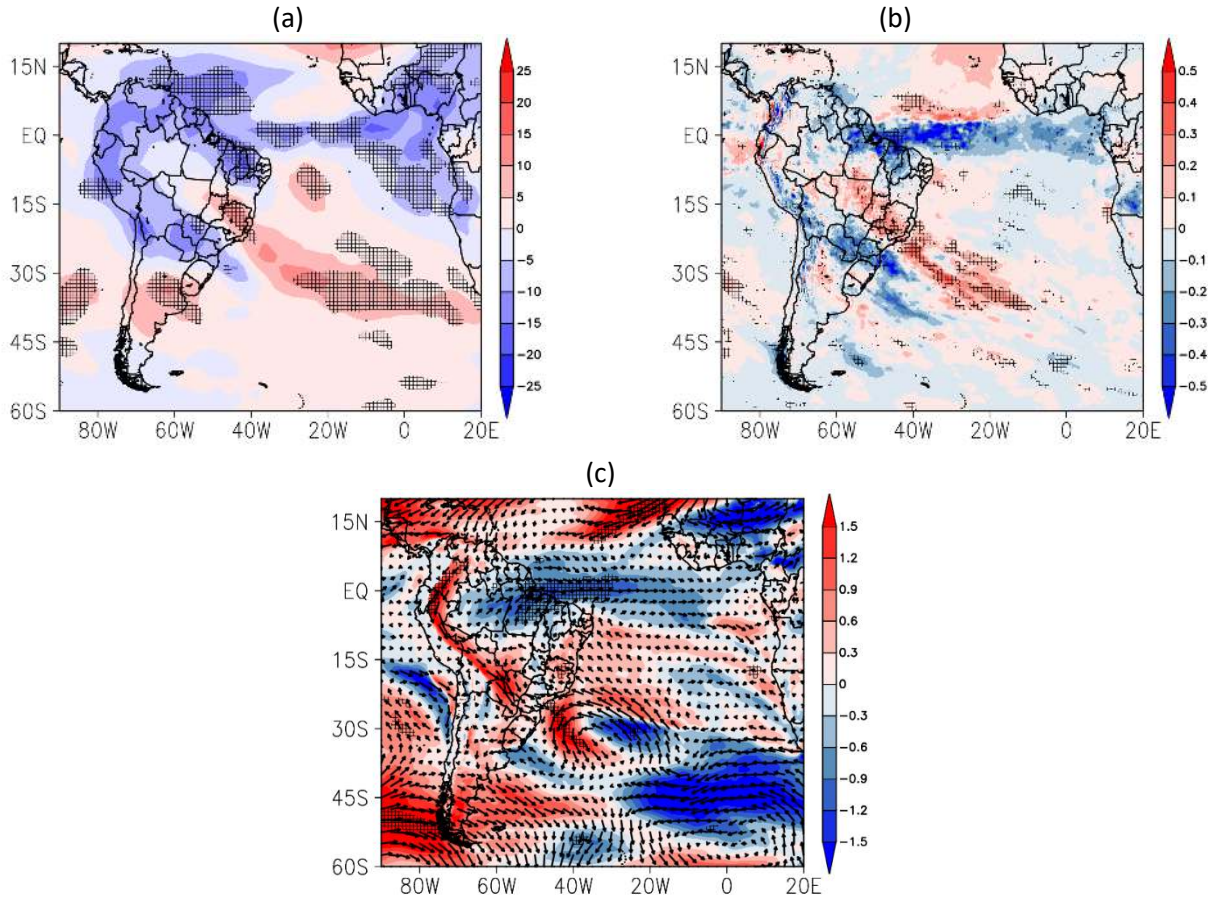
No Atlântico Sul há dois eventos extremos associados à fase negativa do SASDI (1995 e 2010) e os outros dois associados à fase positiva (1990 e 2011). No Atlântico Norte tropical as anomalias de TSM são positivas, apesar de com uma pequena área com significância estatística. O índice Atlântico Tropical Norte (TNA) está na fase positiva em metade dos extremos chuvosos (Tabela 3), enquanto nos outros dois eventos o TNA está na fase neutra. A fase da Oscilação do Atlântico Norte (NAO) é negativa em metade dos eventos extremos chuvosos em Curitiba no mês de janeiro, enquanto nos outros dois eventos são neutros (Tabela 3). O padrão espacial de tripolo das anomalias de TSM no Atlântico Norte, típica de fase negativa na NAO, é observada durante os extremos chuvosos, mas sem significância estatística (Figura 6b), assim como observado por Pedron *et al*. (2017). Entre as latitudes médias e altas do Hemisfério Norte, há um padrão de dipolo semelhante à fase negativa da Oscilação do Ártico, conforme observado através do predomínio de índice AO negativo, sendo dois eventos com limiares iguais ou inferiores à -1 desvio padrão (Tabela 3).

3.4. Circulação atmosférica anômala em fevereiro

No mês de fevereiro, os extremos chuvosos em Curitiba estão associados com um padrão espacial de aumento da convecção e do fluxo de umidade integrado na vertical na Região Sul e no norte da América do Sul, e supressão de convecção e redução do fluxo de umidade integrado na vertical na Região Sudeste (Figuras 7a, 7b), o que indica um enfraquecimento dos eventos de ZCAS e um fortalecimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ligeiramente ao norte de sua posição climatológica. Tal fato é corroborado pelo fortalecimento dos ventos em 850 hPa entre o norte da América do Sul e a Região Sul do Brasil, o que pode indicar uma intensificação do JBNAS, bem como pelo enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste e fortalecimento dos ventos alísios de

sudeste (Figura 7c). Esse padrão espacial anômalo de ventos em 850 hPa associado ao JBNAS é semelhante ao observado por Silva *et al*. (2009) em eventos de La Niña. Também podemos observar um fortalecimento do ramo sudoeste da Alta Subtropical do Atlântico Sul através da anomalia anticiclônica no Atlântico Sudoeste (Figura 7c), a qual bloqueia a passagem normal dos sistemas transientes e, assim, reduz o aporte de umidade para a ZCAS (*e.g.*, BOMBARDI *et al*., 2014).

Figura 7 - Composição das anomalias de (a) radiação de onda longa emergente (W/m²), (b) divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg m^{-2} s^{-1}) e (c) vento em 850 hPa (m/s) durante os extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de fevereiro de 1982, 1999, 2001 e 2011. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



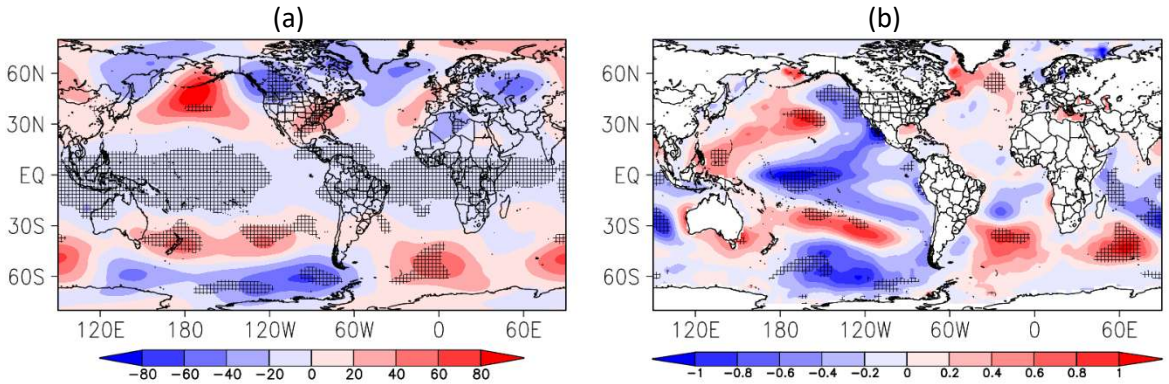
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na grande escala, podemos observar um padrão espacial de atuação dos modos PSA e Pacífico-América do Norte (*Pacific-North America*n - PNA; Figura 8a) associado aos eventos de La Niña, com anomalias mais intensas e com significância estatística no Pacífico Central (Figura 8b; Tabela 4). Isso indica que extremos chuvosos em Curitiba em fevereiro estão

associados com eventos de La Niña-Pacífico Central. Cavalcanti *et al*. (2015) observaram que eventos de La Niña-Pacífico Central estão relacionados com redução (aumento) dos eventos extremos de precipitação no centro-sul (centro-norte) da Região Sul, em relação aos anos neutros, enquanto eventos de La Niña-Pacífico Leste estão associados à redução dos extremos chuvosos em toda a Região Sul do país.

No Atlântico Sul há um dipolo de anomalias de TSM entre o nordeste (anomalias negativas) e sudoeste (anomalias positivas) do Atlântico Sul, como também observado através do predomínio de índice SASDI positivo, sendo dois anos com limiares iguais ou superiores à +1 desvio padrão. A fase positiva do SASDI é desencadeada pelos eventos de La Niña-Pacífico Central através do padrão PSA, que fortalece a Alta Subtropical do Atlântico Sul (RODRIGUES *et al*., 2015).

Figura 8 - Composição das anomalias de (a) altura geopotencial em 500 hPa (m) e (b) temperatura da superfície do mar (°C) durante os extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de fevereiro de 1982, 1999, 2001 e 2011. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Tabela 4 – Índices climáticos em eventos extremos chuvosos em Curitiba – PR no mês de fevereiro de 1980 a 2021. Valores em vermelho (azul) indicam índices iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a +1 (-1) desvio padrão.

Data	ONI	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	SAM	SASDI	TSA	TNA	AMM	DMI	PDO	AMO	NAO	AO
1982	0,10	-0,79	0	-0,18	0,28	1,12	-0,20	-0,07	-0,22	0,25	0,20	-0,09	0,86	0,97
1999	-1,30	-0,54	-0,88	-1,64	0,46	1,24	0,05	-0,20	-0,30	0,04	-0,66	0,04	-0,11	0,48
2001	-0,50	-0,48	-0,28	-0,82	-0,27	0,29	0,17	-0,15	-0,06	0,06	0,29	-0,05	0,07	-0,62
2011	-1,20	-0,16	-0,77	-1,05	1,07	0,57	0,59	0,53	3,30	0,32	-0,83	0,09	0,35	1,58

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a variabilidade climática e os padrões de circulação atmosférica durante os extremos chuvosos (SPEI-1) no município de Curitiba - PR, durante o período de verão (dezembro a fevereiro), entre 1980 e 2021.

Do total de extremos chuvosos observados em Curitiba, 36,4% dos eventos foram associados a desastres naturais, sendo todos desastres hidrológicos (inundações, enxurradas ou alagamentos), com limiar do índice SPEI-1 superior à +1,9. Os extremos chuvosos no verão apresentam pouca ou nenhuma relação com o SAM, TSA, TNA, AMM, PDO, AMO, bem como com as anomalias de TSM no Niño 1+2. No geral, a variabilidade climática e os padrões de circulação atmosférica nos extremos chuvosos em Curitiba podem ser sintetizados conforme segue:

- Dezembro: predomínio de resfriamento no Pacífico equatorial, o qual favorece a fase positiva do Dipolo Subtropical do Atlântico Sul (+SASDI) e a fase negativa do Dipolo do Oceano Índico (-DMI); predomínio de fase negativa da Oscilação do Ártico (-AO) e de fase negativa da Oscilação do Atlântico Norte (-NAO);
- Janeiro: padrão espacial de enfraquecimento da ZCAS oceânica, associado ao fortalecimento dos ventos em 850 hPa entre o Atlântico tropical/Amazonas e o sul do Brasil (indicando uma intensificação do JBNAS); predomínio de fase negativa da Oscilação do Ártico (-AO);
- Fevereiro: eventos de ZCAS enfraquecidos, associados ao fortalecimento dos ventos em 850 hPa (indicando uma intensificação do JBNAS) e da Alta Subtropical do Atlântico Sul, a qual bloqueia a passagem dos sistemas sinóticos, estacionando-os na costa do sul do Brasil, contribuindo assim para o aporte umidade para esta região; ZCIT fortalecida e ligeiramente deslocada para norte, associada a ventos alísios de nordeste (sudeste) enfraquecidos (fortalecidos); predomínio de eventos de La Niña-Pacífico Central, associada ao padrão PSA e PNA, o que favorece a fase positiva do Dipolo Subtropical do Atlântico Sul (+SASDI).

O monitoramento dos índices climáticos e dos padrões espaciais de circulação atmosférica pode auxiliar na previsão de extremos chuvosos em Curitiba, bem como na prevenção dos impactos associados aos desastres naturais hidrológicos. Projeções futuras mostram um aumento do risco de inundações e enchentes urbanas, causadas pelas

mudanças no ciclo hidrológico, justamente em áreas com vulnerabilidade prévia a este tipo de desastre (IPCC, 2021; IPCC, 2022b). Curitiba está localizada em uma região com projeções futuras de aumento de extremos chuvosos (IPCC, 2021), tornando-se fundamental estudos como este para o apoio na tomada de decisões futuras.

REFERÊNCIAS

AMBRIZZI, T. Variabilidade e mudança no clima: passado, presente e futuro. In: CORTESE, T. T. P.; NATALINI, G. (org.). **Mudanças climáticas**: do global ao local. Barueri: Manole, 2014. p. 1-38.

BARROS, V. *et al*. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in southeastern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 123-133, 2000. DOI: https://doi.org/10.1007/s007040070002.

BOMBARDI, R. J. *et al*. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 1553-1568, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s00382-013-1832-7.

BRASIL. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al*. Precipitation extremes over La Plata Basin - Review and new results from observations and climate simulations. **Journal of Hydrology (Amsterdam)**, v. 523, p. 211-230, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.028.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, p. 251-271, 1998. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<0251:RBPAIU>2.0.CO;2.

DUBREUIL, V. *et al*. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 3, p. 1446-1456, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.5893.

EM-DAT- Emergency Events Database. **Classification Glossary**. Belgium: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2024. Disponível em: https://doc.emdat.be/docs/data-structure-and-content/glossary. Acesso em: 15 jan. 2024.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Eventos pluviais extremos em Curitiba (Paraná): entre antigos problemas e novos desafios. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 1919-1930, 2017. DOI: https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2402.

GRIMM, A. M. Madden-Julian Oscillation impacts on South American summer monsoon season: precipitation anomalies, extreme events, teleconnections, and role in the MJO cycle. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 907-932, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s00382-019-04622-6.

HERSBACH, H. *et al*. The ERA5 Global Reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, p. 1999-2049, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/qj.3803.

HUANG, B. *et al*. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, v. 30, p. 8179-8205, 2017. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/uberlandia.html. Acesso em: 10 mai. 2023.

IPCC. Annex II: Glossary. Möller, V. *et al.* (eds.). *In*: PÖRTNER, H.-O. *et al.* (eds.). **Climate Change 2022**: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, p. 2897-2930, 2022a. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009325844.029.

IPCC. **Climate Change 2022**: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. PÖRTNER, H.-O. *et al.* (eds.). Cambridge and New York: Cambridge University Press, 3056 p., 2022b. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009325844.

IPCC. **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-DELMOTTE, V. *et al.* (eds.). Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2391 p., 2021. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009157896.

ITO, E. R. K. **Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua possível influência em sistemas frontais**. 1999. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 1275-1277, 1996.

MARENGO, J. A. *et al*. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 10, p.139-148, 2004. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/dma.v10i0.3102.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**. 1ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.

MONTINI, T. L.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. The South American low-level jet: A new climatology, variability, and changes. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, p. 1200-1218, 2019. DOI: https://doi.org/10.1029/2018JD029634.

NASCIMENTO JR., L. **Dinâmica pluviométrica e impacto das chuvas no estado do Paraná: a natureza dos eventos extremos**. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. de C. T.; SILVA, C. A. da (org.). Clima e Gestão do território. Jundiai: Paco Editorial, p. 113-135, 2016.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<0279:AWADCO>2.0.CO;2.

PEDRON, I. T. *et al*. Trends and variability in extremes of precipitation in Curitiba - Southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1250-1264, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4773.

RE, M.; BARROS, V.R. Extreme rainfalls in SE South America. **Climatic Change**, v. 96, p. 119-136, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-009-9619-x.

REGOTO, P. *et al*. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 11, p. 5125-5142, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7119.

RODRIGUES, R. R.; CAMPOS, E. J. D.; HAARSMA, R. The Impact of ENSO on the South Atlantic Subtropical Dipole Mode. **Journal of Climate**, v. 28, p. 2691-2705, 2015. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00483.1.

SAITO, S. M.; SORIANO, E.; LONDE, L.R. **Desastres Naturais**. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M.S.P. (org.). Sensoriamento Remoto para Desastres. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2015. p. 1-285.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicação do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, p. 61-88, 2008. DOI: https://doi.org/10.5418/RA2008.0404.0004.

SENEVIRATNE, S. I. *et al*. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. *In*: **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (eds.). Cambridge and New York: Cambridge University Press, p. 1513-1766, 2021.

SILVA, A. E.; CARVALHO, L. M. V. Large-scale index for South America Monsoon (LISAM). **Atmospheric Science Letters**, v. 8, p. 51-57, 2007. DOI: https://doi.org/10.1002/asl.150.

SILVA, G. A. M.; AMBRIZZI, T.; MARENGO, J. A. Observational evidences on the modulation of the South American Low Level Jet east of the Andes according the ENSO variability. **Annales Geophysicae**, v. 27, p. 645-657, 2009. DOI: https://doi.org/10.5194/angeo-27-645-2009.

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. **Terrae Didatica**, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e02109, 2021. DOI: 10.20396/TD.V17I00.8663474.

STUECKER, M. F. *et al*. Revisiting ENSO/Indian Ocean Dipole phase relationships. **Geophysical Research Letters**, v. 44, p. 2481-2492, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/2016GL072308.

SVOBODA, M.; HAYES, M.; WOOD, D. **Standardized precipitation index user guide**. Switzerland: World Meteorological Organization Geneva, 2012.

VAN STORCH, H.; ZWIERS, F. W. **Statistical Analysis in Climate Research**. Cambridge: Cambridge University Press,1999.

VARUOLO-CLARKE, A. M. *et al*. Influence of the South American low-level jet on the austral summer precipitation trend in southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v. 49, n. e2021GL096409, 2022. DOI: https://doi.org/10.1029/2021GL096409.

VINCENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. A Multiscalar Drought Index Sensitiveto Global Warming: The Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index. **Journal of Climate**, v. 23, p. 1696-1718, 2010. DOI: https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences** - An Introduction. 2nd ed. New York: Academic Press, 2006.

WMO. **The Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2019)**. n. 1267, 89 p. 2022. Disponível em: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/83722/1/1267_Atlas_of_Mortality_en-final_-_26.07.2021.pdf. Acesso em: 25 nov. 2022.