Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
UFGD Editora

CARACTERÍSTICAS DOS EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA PAULISTA E LITORAL NORTE DE SÃO PAULO

Characterisitcs of extreme temperature and precipitation events in the Vale do Paraíba Paulista e Litoral Norte from São Paulo

Características de los eventos extremos de temperatura y precipitación en la región del Vale do Paraíba Paulista y Litoral Norte de São Paulo

Larissa de Oliveira Vieira
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental/ Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (UNESP)
larissa.vieira@unesp.br

Luana Albertani Pampuch
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental/Curso de Pós-Graduação em Desastres Naturais, Departamento de Engenharia Ambiental/ Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (UNESP)
luana.pampuch@unesp.br

Ricardo Brambila Bosco
Curso de Pós - Graduação em Desastres Naturais, Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (UNESP)
ricardo.brambila@unesp.br

Maria de Souza Custódio
Departamento de Física e Meteorologia/ Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP)
m.custodio@unesp.br

Rogério Galante Negri
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental/Curso de Pós-Graduação em Desastres Naturais, Departamento de Engenharia Ambiental/ Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (UNESP)
rogerio.negri@unesp.br

Cassiano Antonio Bortolozo
Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), Coordenação Geral de Pesquisa e Desenvolvimento
cassianoab@gmail.com

Resumo: O aumento da frequência, intensidade e duração de eventos extremos é uma preocupação global e pauta de diversos estudos devido aos possíveis impactos à sociedade. Em escala regional essas mudanças podem ser moduladas por aspectos regionais como uso e cobertura do solo, umidade, concentração de aerossóis e urbanização, assim, análises regionais são essenciais para entender as mudanças em diferentes climas e condições. Desse modo, o presente estudo buscou investigar o comportamento espacial e tendências dos eventos extremos de precipitação e temperatura na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (SP). Foram analisados 16 índices para extremos (6 de precipitação e 10 de temperatura) dos índices climáticos definidos por Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Os resultados mostraram aumento significativo nos extremos quentes e diminuição nos extremos frios, indicando um aquecimento em toda região. Os extremos de precipitação não obtiveram tendências estatisticamente significativas e a média dos índices destacaram a região central da área de estudo com maior intensidade de extremos quentes e secos.
Palavras-chave: Eventos Extremos. Índices ETCCDI. Climatologia. Tendências.

Abstract: The increase in frequency, intensity, and duration of extreme events is a global concern and the focus of several studies due to the possible impacts on society. At the regional scale, these changes can be modulated by regional aspects such as land use and land cover, humidity, aerosol concentration, and urbanization, thus regional analyses are essential to understand changes in different climates and conditions. Thus, the present study sought to investigate the spatial behavior and trends of extreme events of precipitation and temperature in the Metropolitan Region of the Paraíba Valley and North Coast. We analyzed 16 indices for extremes, 6 for precipitation and 10 for temperature from the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).. The results showed a significant increase in the warm extremes and decrease in the cold extremes, indicating a warming throughout the region. The precipitation extremes did not show statistically significant trends and the average of the indices highlighted the central region of the study area with higher intensity of hot and dry extremes.
Keywords: Extreme Events. ETCCDI indices. Climatology. Trends.

Resumen: El aumento de la frecuencia, la intensidad y la duración de los fenómenos extremos es una preocupación mundial y el centro de atención de varios estudios debido a los posibles impactos en la sociedad. A escala regional, estos cambios pueden estar modulados por aspectos regionales como el uso y la cobertura del suelo, la humedad, la concentración de aerosoles y la urbanización, por lo que los análisis regionales son esenciales para comprender los cambios en diferentes climas y condiciones. Así, el presente estudio tuvo como objetivo investigar el comportamiento espacial y las tendencias de los eventos extremos de precipitación y temperatura en la Región Metropolitana del Valle de Paraíba y Litoral Norte. Se analizaron 16 índices de extremos, 6 de precipitación y 10 de temperatura del Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Los resultados mostraron un aumento

significativo de los extremos cálidos y una disminución de los extremos fríos, lo que indica un calentamiento en toda la región. Los extremos de precipitación no mostraron tendencias estadísticamente significativas y el promedio de los índices destacó la región central del área de estudio con mayor intensidad de extremos cálidos y secos.
Palabras clave: Eventos Extremos. Índices ETCCDI. Climatología. Tendencias.

Submetido em: 01/12/2022
Aceito para publicação em: 20/10/2023
Publicado em: 19/11/2023

1. INTRODUÇÃO

Os eventos extremos têm sido um problema mundial devido aos seus impactos potencialmente severos na vida humana, economia e ecossistemas naturais (SUN et al., 2016). Eles fazem parte da história da humanidade e podem ser resultados de variações climáticas naturais. Entretanto, o sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (AR6) reforça que cada vez mais os impactos observados são atribuídos às mudanças climáticas induzidas pelo homem, principalmente pelo aumento da frequência e gravidade dos eventos extremos. A América do Sul como um dos locais com maiores impactos observados de redução da segurança hídrica e alimentar (SILVA DIAS, 2014; IPCC, 2022).

Um evento extremo é definido como um evento raro para um determinado local e época do ano. Assim, um evento é considerado extremo se uma variável meteorológica for superior ou inferior a um limiar, podendo esse ser um valor absoluto ou um limite relativo ao período estudado (IPCC,2021). Quando um padrão de eventos extremos persiste por um período prolongado, como uma estação, ele pode ser definido como um evento climático extremo (SENEVIRATNE et al., 2021). A diminuição na variabilidade das variáveis meteorológicas resulta em médias ou totais extremos, como alta temperatura, seca ou chuvas intensas ao longo de toda a estação (SILVA DIAS, 2014; SENEVIRATNE et al., 2021).

A ocorrência de um evento extremo em uma sociedade com condições sociais vulneráveis, alterando severamente o seu funcionamento normal, causando perdas generalizadas, humanas, materiais, econômicas e ambientais pode ser definida como um desastre (LEVELL et al., 2012; UNGA, 2016). Os impactos na saúde humana, nos meios de subsistência e nas principais infraestruturas (transporte, água, saneamento e sistemas de energia) intensificam-se nos centros urbanos com consequentes perdas econômicas (IPCC, 2022).

A ocorrência de extremos concomitantes pode levar a impactos mais fortes do que os mesmos extremos ocorridos de forma isolada, extremos que são multivariados, simultâneos e/ou sucessivos são chamados de eventos compostos (SENEVIRATNE et al., 2021). Exemplos desses eventos incluem inundações resultantes de maré de tempestade acompanhada de chuva intensa, ondas de calor e secas que ocorrem simultaneamente e incêndios devido à combinação de altas temperaturas, seca e ventos fortes. Eventos extremos compostos com

baixa probabilidade de ocorrer no passado poderão se tornar mais frequentes, com maiores intensidades, duração e extensão, caso o aquecimento global aumente (IPCC, 2021).

De acordo com o AR6, a frequência e a intensidade dos extremos quentes e eventos de precipitação intensa vem aumentando, enquanto os extremos frios diminuindo globalmente desde 1950 (IPCC, 2021; SENEVIRATNE et al., 2021). Mudanças significativas nos extremos de temperatura associados ao aquecimento global têm sido observadas ao longo do século XX em escala global, com a diminuição de noites frias e o aumento de noites quentes e nos volumes de precipitação (ALEXANDER et al, 2006; SUN et al, 2016). O AR6 mostrou que o mesmo vem sendo observado em escala regional, com mais de 80% das regiões exibindo mudanças semelhantes de aquecimento (SENEVIRATNE et al., 2021).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) ressalta que a emissão de gases do efeito estufa de origem antropogênica é o principal fator para as mudanças no padrão de ocorrência de extremos (IPCC,2021). Entretanto, em escala local, as mudanças nos extremos podem ser fortemente moduladas por aspectos regionais como mudanças no uso e cobertura do solo, concentração de aerossóis, urbanização e características de umidade do solo e do ar (SENEVIRATNE et al., 2021).

No Brasil, ao empregar os testes de Mann-Kendall e o coeficiente de Theil- Sen com dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima no período de 1961 a 2018, os índices extremos de temperatura indicaram que a frequência dos extremos quentes está aumentando, principalmente durante a primavera e verão, ao passo que diminui para extremos frios, demonstrando um aquecimento em todo o Brasil (REGOTO et al., 2021). Por outro lado, os extremos de precipitação mostraram-se heterogêneos no país, exibindo mudanças em direção a um clima mais seco no Nordeste, principalmente no verão e no outono, e mais úmido no Sul, principalmente na primavera, apresentando redução nos dias consecutivos secos (REGOTO et al., 2021). Para a região metropolitana de São Paulo os indicadores de extremos de precipitação mostraram um aumento significativo no volume de chuvas, com aumento de dias de chuva intensa e redução de dias com chuvas fracas (MARENGO et al., 2020).

Estudos analisando eventos extremos apenas para a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) são pouco contemplados pela literatura. O trabalho de AYRES (2010) mostrou que inundações e tempestades severas ocorrem com grande

frequência na região. ZILLI ET AL. (2017) encontraram para a RMVPLN um aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação na estação chuvosa. Enquanto, BOSCO ET AL. (2022) investigaram mudanças atuais e futuras de temperatura e precipitação na RMVP, que foi dividida em 4 sub-regiões. Foram observadas tendências significativas de diminuição da precipitação e aumento da temperatura na variabilidade interanual na região, com base em dados de estações meteorológicas, para o período de 1961-2014. Para as projeções futuras, observou-se consenso entre os modelos, que indicaram tendências significativas de aumento de temperatura. Para a precipitação, não houve tendências significativas e consenso entre os modelos.

As avaliações de caráter local são necessárias para entender as incertezas nas respostas sobre as mudanças nos eventos extremos e permitir ações de mitigação (SILVA DIAS, 2014; SUN et al., 2016). Os índices climáticos derivados de dados diários são uma alternativa para obter essas respostas (ZHANG et al., 2011). Desse modo, o principal objetivo deste trabalho é investigar o comportamento espacial dos eventos extremos de precipitação e temperatura para a região do Vale do Paraíba Paulista utilizando os índices climáticos definidos pela *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI), possibilitando melhorar a compreensão e a investigação de tendências de mudanças desses eventos (ZHANG et al., 2011).

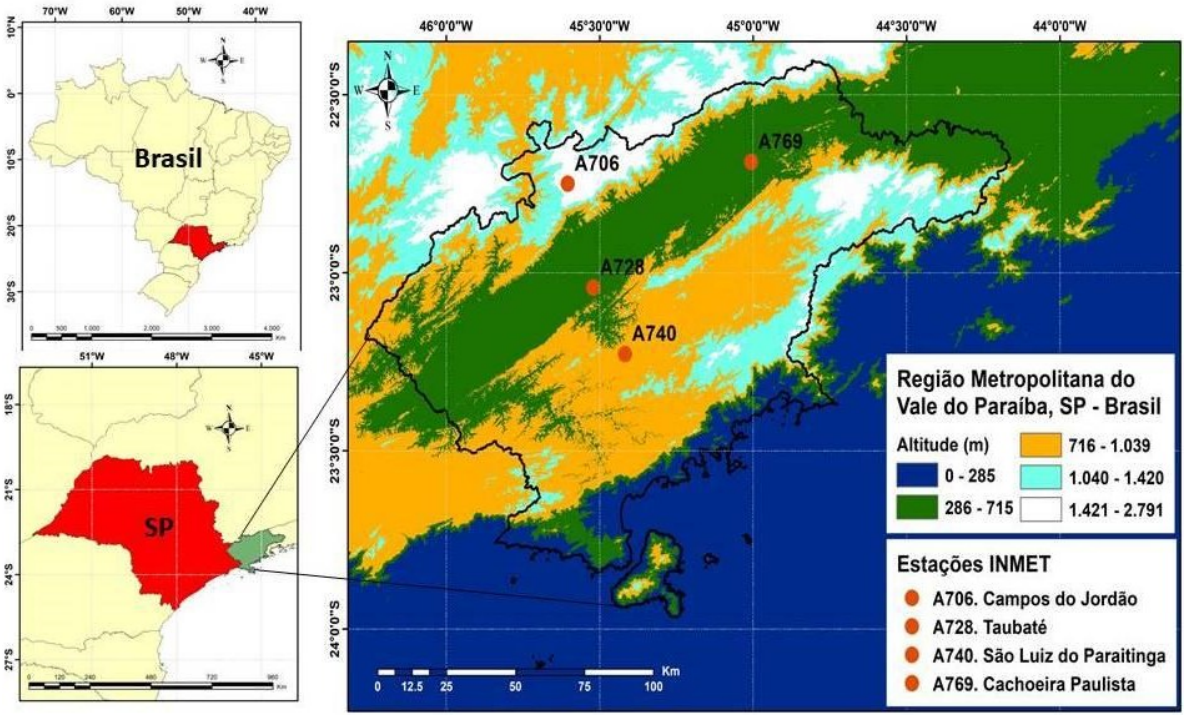
2. DADOS E METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) é composta por 39 municípios subdivididos em 5 regiões, destacando-se como sedes de cada sub-região, os municípios de São José dos Campos, Taubaté, Guaratinguetá, Cruzeiro e Caraguatatuba (FIPE, 2021). Sua população estimada é de 2.599.168 habitantes e o PIB da região corresponde a 5,6% do PIB estadual, alcançando 119,4 bilhões no ano de 2020 (IBGE, 2021; SAEDE, 2021). Ocupando a porção leste do Estado de São Paulo, a RMVPLN tem localização estratégica, situada entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 1), apresentando importante estrutura viária, diversidade produtiva (industrial, turístico, patrimônio ambiental e

agropecuária) e cursos d'água como Rio Paraíba do Sul, Rio Paraitinga e Rio Paraibuna (FIPE, 2021).

Figura 1- Mapa de localização da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte com as estações meteorológicas do INMET utilizadas na validação dos dados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O território da RMVPLN é extenso e diversificado, com altitudes que variam de quase 2.500 metros até o nível do mar, abrange desde a Serra da Mantiqueira até o Vale do Rio Paraíba do Sul, passando pela Serra da Bocaina, pelos Mares do Morro, até as encostas e planícies do litoral norte (FIPE, 2021). Ainda, esta região conta com 49 Unidades de Conservação (UCs) que preservam os remanescentes de sua vegetação nativa da Mata Atlântica e possui 34% de seu território coberto por vegetação natural (FIPE, 2021).

2.2. Dados

Para realizar uma análise espacial torna-se necessária a utilização de dados de reanálise, que possuem a vantagem de cobertura espacial e temporal sem falhas, o que não é possível com dados de estações meteorológicas.

Foram utilizados dados diários de temperatura e precipitação do ERA5-Land (MUÑOZ-SABATER, 2019 e MUÑOZ-SABATER et al., 2021) para o período de 1950 – 2021 na região que compreende o RMVPLN (46.5°W – 44°W/ 22.5°S - 24°S) (Figura 1). Estes dados são provenientes da reanálise global do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) com resolução espacial de 9Km disponíveis com resolução temporal de 1 hora.

Para determinar a eficácia do ERA5-Land em representar a temperatura e precipitação na região de estudo, foram utilizados dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação do banco de dados das estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizadas sobre a RMVPLN. Foram selecionadas quatro estações, localizadas nos municípios de Campos do Jordão, Taubaté, São Luiz do Paraitinga e Cachoeira Paulista (Figura 1). Ademais, foi considerado todo o período disponível para cada estação (entre 1950 e 2021 – período de disponibilidade do produto ERA5-Land) não afetado por falhas/ausência de dados (vide Tabela 1).

Tabela 1- Estações meteorológicas do INMET na RMVPLN utilizadas para validação dos dados do ERA5-Land: localização, altitude e quantidade de dados faltantes (%).

Estação	latitude	longitude	Altitude (m)	Período dos dados	Quantidade de Dados Faltantes	
					Precipitação (%)	Temperatura (%)
Campos do Jordão	-22.75	-45.60	1662.95	03/2002 - 12/2021	29.83	22.69
Taubaté	-23.04	-45.52	582.26	12/2006 - 12/2021	33.15	17.13
São Luiz do Paraitinga	-23.22	-45.41	862.3	10/2007 - 12/2021	20.47	8.77
Cachoeira Paulista	-22.68	-45.00	586	10/2017 - 12/2021	31.37	29.41

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para fins de comparação com os dados das estações meteorológicas, foram considerados os respectivos pontos de grade dos dados ERA5-Land de maior proximidade espacial (vide descrição na Tabela 1 e distribuição espacial Figura 1).

A comparação dos dados de precipitação e temperatura média do ERA5-Land com os dados das estações do INMET foi feita através de comparações das climatologias anual e sazonal – verão (dezembro, janeiro e fevereiro); outono (março, abril e maio); inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Para os dados das estações do INMET, a temperatura média foi determinada como a média das temperaturas máxima e mínima. Em relação aos dados ERA5-Land, foi feita a média diária, uma vez que tais dados possuem resolução horária.

Além disso, foi calculada a correlação de Pearson (r) (FREEDMAN ET AL., 2007) entre os dados advindos das estações meteorológicas e do produto ERA5-Land para cada uma das variáveis (i.e., temperatura e precipitação). A significância estatística de r foi testada com a hipótese de ausência de correlação (hipótese nula), contra a hipótese alternativa de correlação diferente de zero, segundo a estatística do teste (t-Student):

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (1)$$

Admitindo que a estatística t segue distribuição t-Student com $n-2$ graus de liberdade, sendo n o número de observações, a hipótese de nulidade ocorre quando $P(T > t) < \alpha$, com T representando uma variável aleatória de mesma distribuição. As correlações foram consideradas significativas ao nível (α) de 5%, ou seja, quando o p-valor dado por $P(T > t)$ é inferior a $\alpha = 0{,}05$.

2.3. Índices para eventos extremos de precipitação e temperatura

Após a validação dos dados do ERA5-Land na região de estudo, estes dados foram usados para determinar índices para eventos extremos de precipitação e temperatura sobre a região, considerando o período de 1950 a 2021.

O ETCCDMI (*Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices*) recomenda a utilização de 29 índices climáticos para análise de extremos de temperatura e precipitação (KARL et al., 1999; PETERSON et al., 1999; ZHANG et al., 2005; ZHANG et al., 2011). Neste trabalho foram utilizados 16 índices listados na tabela 2 (sendo 6 índices para a precipitação e 10 para temperatura), e calculados para a área de estudo em cada ponto de grade. Para isto, foi utilizado o pacote *RClimDex v1.9* (disponível em

https://github.com/ECCC-CDAS/RClimDex#readme) no programa estatístico R (ZHANG; YANG, 2018).

Tabela 2- Índices para extremos de temperatura e precipitação analisados neste trabalho e que são recomendados pela ETCCDMI.

Sigla	Índice	Definição	Unidade
TXx	Máx. temperatura máxima	Máximo valor da temperatura máxima diária.	°C
TNx	Máx. temperatura mínima	Máximo valor da temperatura mínima diária.	°C
TXn	Mín. temperatura máxima	Mínimo valor da temperatura máxima diária.	°C
TNn	Mín. temperatura mínima	Mínimo valor da temperatura mínima diária.	°C
TMAXmean	Média da temp. máx.	Valor médio da temperatura máxima diária	°C
TMINmean	Média da temp. mín.	Valor médio da temperatura mínima diária	°C
TN10p	Noites frias	Porcentagem de dias em que a temperatura mínima diária < 10-ésimo percentil.	%
TX10p	Dias frios	Porcentagem de dias em que a temperatura máxima diária < 10-ésimo percentil.	%
TN90p	Noites quentes	Porcentagem de dias em que a temperatura mínima diária > 90-ésimo percentil.	%
TX90p	Dias quentes	Porcentagem de dias em que a temperatura máxima diária > 90-ésimo percentil.	%
Rx1day	Máx. precipitação 1 dia	Precipitação máxima em 1 dia.	mm
Rx5day	Máx. precipitação 5 dias	Precipitação máxima em 5 dias consecutivos.	mm
CDD	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com a quantidade diária de precipitação < 1 mm.	dias
CWD	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com a quantidade diária de precipitação ≥ 1 mm.	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação total anual quando a precipitação diária em dias úmidos (precipitação ≥ 1 mm) > 95-ésimo percentil.	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação total anual quando a precipitação diária em dias úmidos (precipitação ≥ 1 mm) > 99-ésimo percentil.	mm

Definições detalhadas sobre os índices estão disponíveis em http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml.

Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2011)

A análise dos índices foi realizada de forma espacial, por ponto de grade, para toda a área de estudo. Para cada índice foi feito o mapa médio dos índices anuais e determinada sua tendência para o período de 1950-2021.

Para a análise da tendência, foi utilizado o teste Mann-Kendall (KENDALL, 1975; MANN, 2008). O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico para identificar tendências em dados de séries temporais. Dada a série de observações $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ proveniente de uma amostra de n variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas. A hipótese nula do teste é que os dados são provenientes de uma população com variáveis aleatórias independentes e igualmente distribuídas e hipótese alternativa que os dados seguem uma tendência monotônica no tempo. O teste analisa as diferenças nos sinais entre os pontos de dados anteriores e posteriores:

$$S = \sum_{k=1}^{n_j-1} \sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j - x_k) \tag{2}$$

onde:

$$sgn = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \tag{3}$$

Considerando que S é normalmente distribuída com média nula e variância:

$$VAR(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^{p} t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \tag{4}$$

onde p é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados e t_j é o número de dados com valores iguais no j-ésimo grupo, a estatística S permite identificar tendências de incremento ou decremento na série X quando assume valores positivos ou negativos, respectivamente.

Especificamente, é estabelecida como hipótese nula (ausência de tendência) quando S não é significativamente diferente de zero, cuja verificação é feita segundo a estatística Z_{MK} , definida por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, se\ S > 0 \\ 0, se\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, se\ S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Nestas condições, admitindo Z como variável aleatória com distribuição normal, de média nula e variância $VAR(S)$, o *p*-valor que equivale à $P(Z > |Z_{MK}|)$ indica a rejeição da hipótese nula quando tal probabilidade é inferior a $\alpha/2$. Neste trabalho foi utilizado um nível de significância de 5%.

Em complemento ao teste de Mann-Kendall, o coeficiente de Theil-Sen (SEN, 1968) se destaca como uma ferramenta útil para quantificar a amplitude das tendências de incremento ou decremento:

$$Q_{ij} = \frac{x_j - x_i}{j - i}; \quad i < j \quad (6)$$

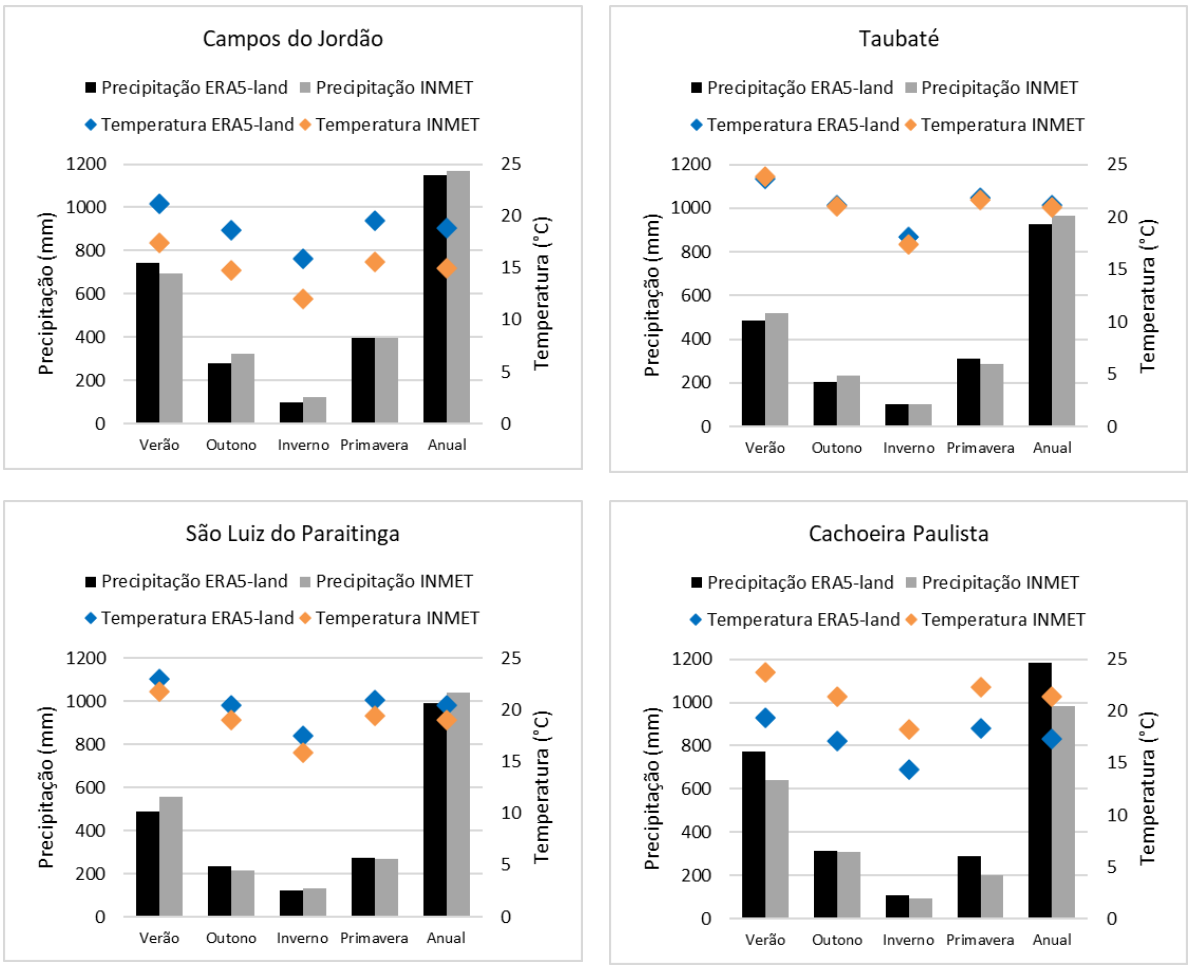
sendo x_i e x_j observações na série X segundo os instante i e j (i.e., anos, no contexto deste estudo). Valores positivos ou negativos de Q indicam tendência crescente ou decrescente, respectivamente. O coeficiente de Theil-Sen é a mediana dos N valores de Q_{ij}, em que $N = n(n-1)/2$ é o número de pares de comparações obtidas a partir das observações em X.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Validação dos dados do ERA5-Land e Climatologias

Para a validação considerando a escala anual, foi observado que os dados do ERA5-Land subestimaram a precipitação em Campos do Jordão (~20 mm), Taubaté (~30 mm) e São Luiz do Paraitinga (~45 mm) , enquanto que para Cachoeira Paulista os acumulados anuais de precipitação foram superestimados (~200 mm) (Figura 2).

Figura 2- Comparação das climatologias (período disponível para cada estação) para as estações meteorológicas do INMET e os dados do ERA5-Land na RMVPLN para Temperatura e Precipitação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Já na escala sazonal, a precipitação para os dados do ERA5-Land, para Campos do Jordão, foi superestimada no verão (~50 mm), subestimada no outono (~40 mm) e inverno (~20 mm), e semelhante na primavera, comparados aos dados do INMET. Em Taubaté, a precipitação foi menor no verão (~35 mm) e no outono (~30 mm), enquanto no inverno foi igual e na primavera ligeiramente maior (~25 mm). Para São Luiz do Paraitinga, os dados de precipitação do ERA5-Land apresentaram acumulados menores no verão (~70 mm), levemente maiores no outono (~20 mm) e praticamente igual para o inverno e primavera. Para Cachoeira Paulista, a precipitação é superestimada no verão (~130 mm) e primavera (~91 mm) e praticamente igual para o outono e inverno, considerando os dois conjuntos de dados.

A temperatura média foi em torno de 4°C superior para os dados do ERA5-Land, em todas estações do ano e anual, para Campos do Jordão, sendo o inverso para Cachoeira Paulista, aproximadamente 4°C inferior. Taubaté apresentou temperaturas médias

praticamente iguais para ambas fontes de dados e para São Luiz do Paraitinga os dados do ERA5-Land superestimaram as temperaturas sazonal e anual em torno de 1°C/1.5°C, comparados aos dados do INMET.

Todos os dados apresentaram correlações estatisticamente significativas, α=5% (Tabela 3), com exceção dos dados de precipitação no verão em Cachoeira Paulista. De acordo com a classificação de magnitude apresentada em EVANS (1996), a correlação foi moderada (entre 0.4–0.59) para a precipitação no verão para Taubaté e Cachoeira Paulista e no verão e primavera para São Luiz do Paraitinga. Segundo a mesma abordagem, a temperatura no verão para São Luiz do Paraitinga apresentou uma correlação fraca (0.2–0.39). Todas as demais apresentaram correlação forte (0.6–0.79) ou muito forte (>0.8).

Tabela 3- Correlação entre os dados das estações e da reanálise ERA5-Land. Em negrito estão os valores estatisticamente significativos (α=5% ou seja, p-valor<0,05)

Estação	Verão		Outono		Inverno		Primavera		Anual	
	T(°)	P (mm)	T(°)	P (mm)	T(°)	P (mm)	T(°)	P (mm)	T(°)	P (mm)
Campos do Jordão	**0.962**	**0.716**	**0.981**	**0.893**	**0.939**	**0.793**	**0.951**	**0.833**	**0.989**	**0.894**
Taubaté	**0.862**	**0.681**	**0.970**	**0.783**	**0.935**	**0.861**	**0.893**	**0.791**	**0.981**	**0.863**
São Luiz do Paraitinga	**0.486**	**0.628**	**0.950**	**0.713**	**0.954**	**0.838**	**0.766**	**0.611**	**0.950**	**0.816**
Cachoeira Paulista	**0.959**	0.544	**0.997**	**0.935**	**0.967**	**0.917**	**0.894**	**0.931**	**0.992**	**0.911**

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

De maneira geral, com os resultados obtidos das correlações e gráficos, os dados do ERA5-Land representaram a temperatura na região melhor do que a precipitação. Apresentando uma temperatura superestimada em Campos do Jordão e São Luiz do Paraitinga, subestimada em Cachoeira Paulista e um melhor resultado para Taubaté. A precipitação anual é subestimada em Campos do Jordão, Taubaté e São Luiz do Paraitinga e

superestimada em Cachoeira Paulista. Em termos interanuais, a representação do modelo apresentou diferentes condições (superestimativa ou subestimativa) para cada estação do ano. Desta forma, os dados do conjunto do ERA5-Land foram utilizados para as análises de climatologia e extremos (características e tendências) sobre a RMVPLN por ponto de grade.

A média anual de temperatura entre 1950 e 2021 (Figura 3a) na RMVLP está entre 16°C e 22°C, sendo as regiões de menor temperatura na porção Norte, Noroeste e Leste (maiores altitudes, Figura 1) e as regiões central (de sudeste a nordeste) e Sul (no litoral) com maiores temperatura.

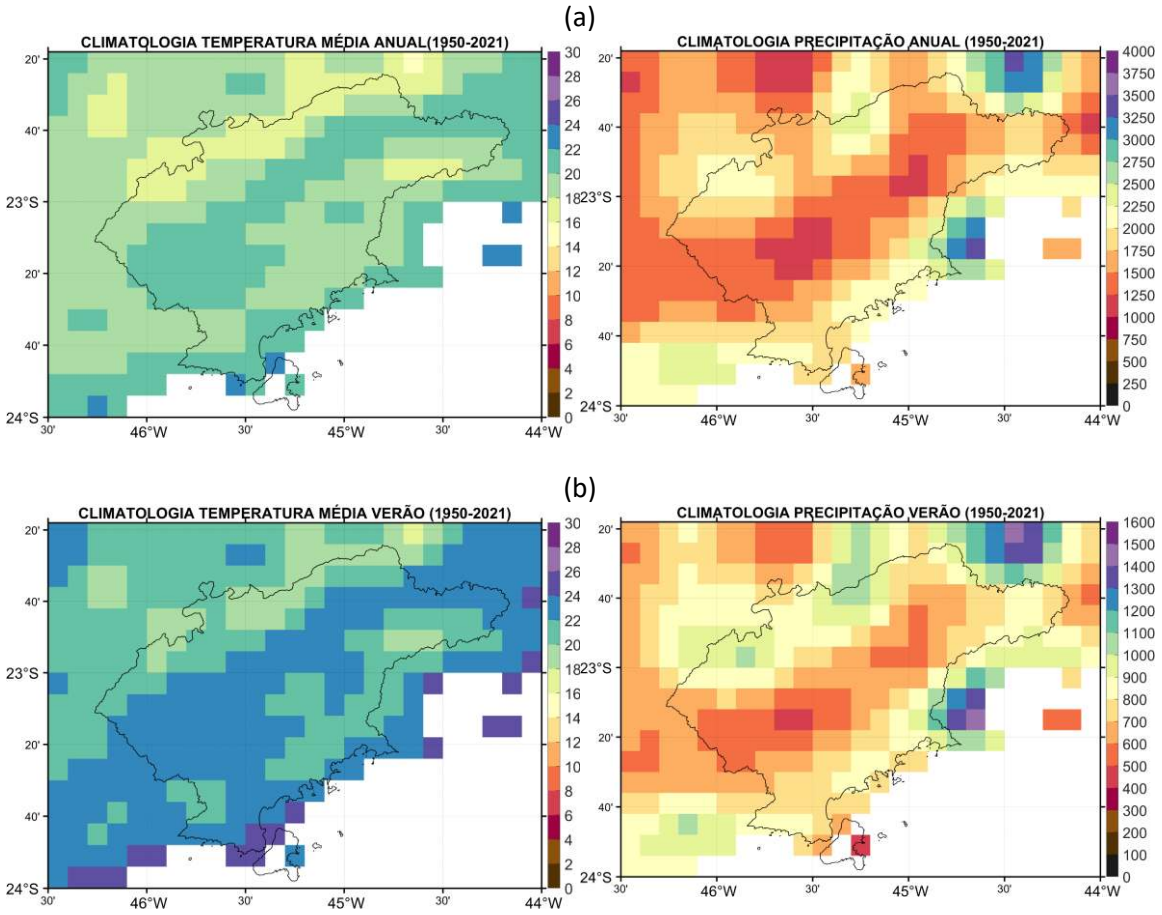
Para a análise sazonal de temperatura, observa-se que o verão (Figura 3b), outono (Figura 3c) e primavera (Figura 3e), possuem distribuição espacial da temperatura semelhantes ao da temperatura anual, sendo o verão a estação de maiores temperaturas (variação entre 26°C e 20°C) e o outono (variação entre 18°C e 24°C) e a primavera (variação entre 18°C e 22°C) estações de transição de temperatura entre verão e inverno. No inverno (Figura 3d), são observados os menores valores de temperatura (entre 14°C e 20°C), sendo que os maiores valores são encontrados no litoral e os menores valores na porção norte. Os valores concordam com VASCONCELLOS E REBOITA (2021) que destacam a influência do relevo na distribuição de temperatura sobre o sudeste do Brasil e das mudanças de temperatura ocorridas com a passagem de frentes frias sobre a região.

A precipitação anual apresenta acumulados entre 1000 mm e 2750 mm (Figura 3a), sendo que os maiores valores são encontrados na faixa litorânea e os menores na porção central da região.

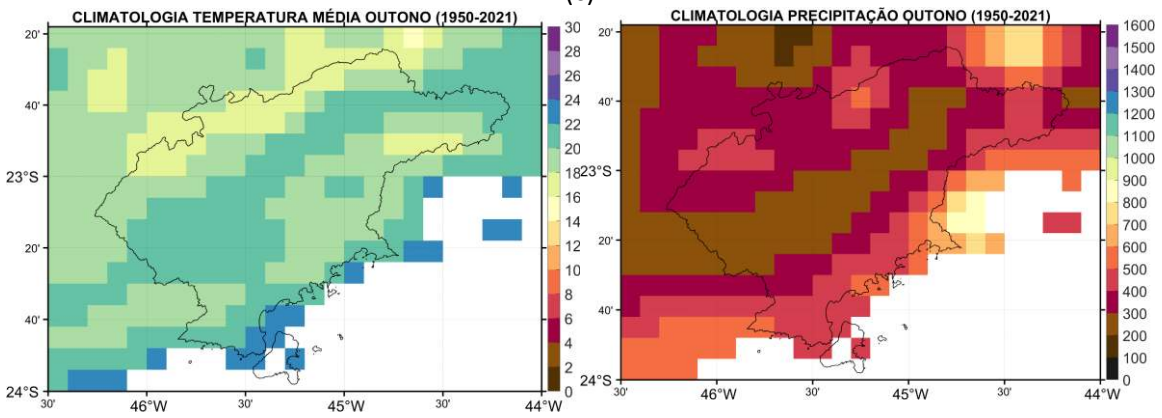
Na análise sazonal da precipitação, observa-se o verão (Figura 3b) é a estação de maiores acumulados de precipitação (entre 500 mm e 1200 mm) e o outono e primavera estações de transição, com precipitação entre 300 mm e 700 mm respectivamente (Figura 3c e Figura 3e). Nessas três estações, a distribuição espacial da precipitação é semelhante, em que os maiores acumulados são encontrados nas porções Sul, Sudeste, Norte e Noroeste da RMVPLN e menores para toda região central. O inverno representa a estação com os menores acumulados registrados na região, com valores entre 100 mm e 300 mm. Os maiores acumulados nesta estação são registrados a Sul e Sudeste (ao longo do litoral) e os menores valores na região central e duas pequenas áreas a Leste e Noroeste. A variabilidade sazonal da precipitação no sudeste do Brasil é modulada pelo Sistema de Monção da América do Sul

(GAN et al., 2021) e a porção leste de São Paulo sofre influência do sistema de brisa marítima e brisa de vale-montanha devido à proximidade com o Oceano Atlântico Sul e a presença da Serra do Mar (VASCONCELLOS E REBOITA, 2021).

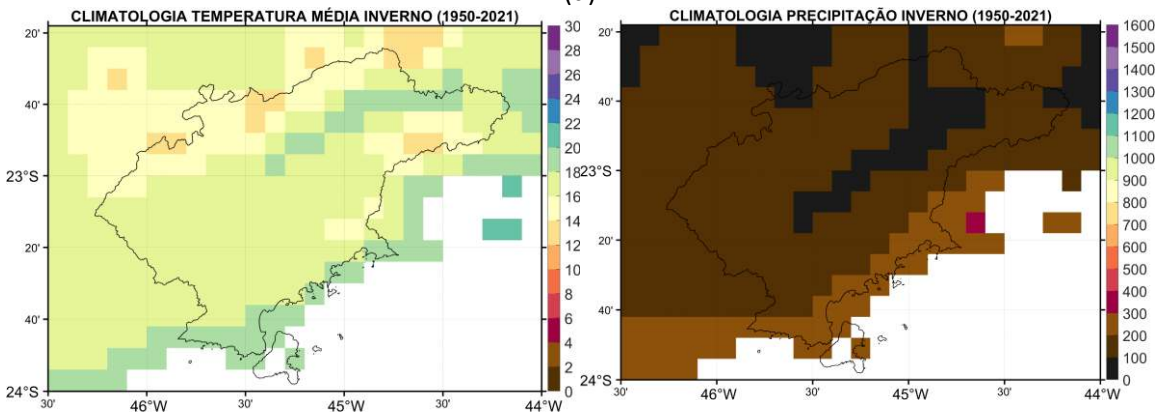
Figura 3- Climatologia de temperatura (ºC) e precipitação (mm) para 1950-2021 na RMVPLN (a) anual; (b) verão; (c) outono; (d) inverno; (e) primavera, com os dados do ERA5-Land.



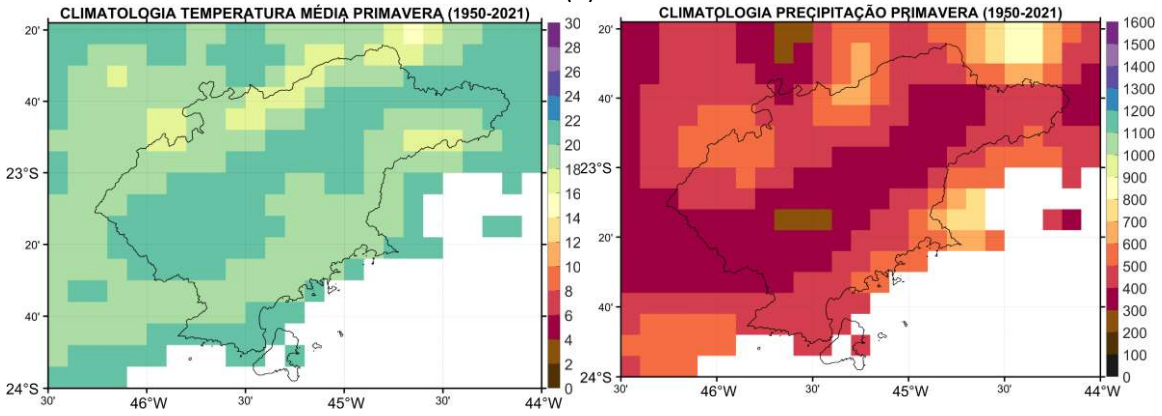
(c)



(d)



(e)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3.2. Índices para eventos extremos de temperatura e precipitação e análise de tendência

Para os dias consecutivos secos (CDD – *Consecutive Dry Days*) a média na região ficou entre 16 e 32 dias sem precipitação, sendo que as regiões central, Norte, Noroeste e Oeste apresentaram os maiores valores de CDD e as regiões Sul e Sudeste os menores valores de CDD (Figura 4a). Toda a região central, de Sudeste a Nordeste da RMVPLN, apresentou uma redução na quantidade de dias consecutivos secos (de 4-8 dias), sendo significativos apenas para alguns pontos . O restante da região apresentou tendência positiva (aumento de 2 dias), entretanto esses valores não foram estatisticamente significativos.

Os dias consecutivos úmidos (CWD - *Consecutive Wet Days*) apresentaram uma distribuição heterogênea na região, variando entre 16 e 48 dias consecutivos com registro de precipitação (Figura 4b). A porção de Sudoeste- Nordeste apresentou os menores valores de CWD, duas pequenas localidades de limites superior e inferior, a Sudeste e Sul, respectivamente, e o restante com os maiores valores de CWD na região de estudo . A região apresentou diminuição significativa na quantidade de dias consecutivos úmidos na porção nordeste (4-8 dias) e tendência negativa (decréscimo de 2-8 dias), porém sem significância estatística.

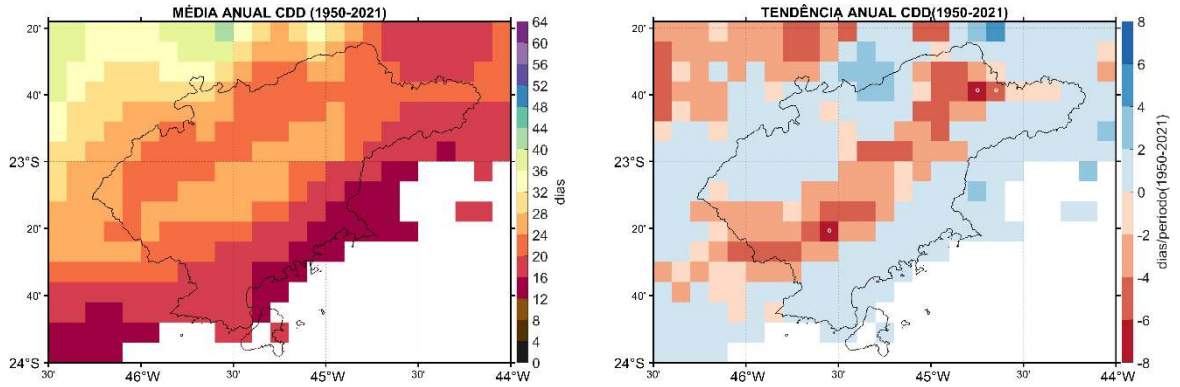
Os dias muito úmidos (R95P) variaram entre 240 e 600 mm de precipitação e os dias extremamente úmidos (R99P), entre 80 e 200 mm (Figura 4c e Figura 4d). Suas distribuições foram semelhantes com menores valores para a região central e maiores para Norte, Noroeste, Sul e Sudeste. O índice R95P apresentou tendências negativas na região central (decréscimo de 50 mm nos dias úmidos) e positivas nas demais regiões (acréscimo de 50 a 150 mm nos dias úmidos), não sendo nenhum valor significativo. O padrão espacial do índice R99P foi semelhante ao R95P, porém as tendências negativas na porção central (decréscimo de 100 mm nos dias úmidos) foram estatisticamente significativas.

A média dos valores de máxima precipitação em um dia (RX1DAY) foram de 60mm a 100 mm e para cinco dias consecutivos (RX5DAY) de 120 mm a 180 mm, ambas com menor valor na região central e maior valor a Sul e Sudeste (ao longo da região litorânea), Leste e áreas a Noroeste e Norte (Figura 4e e Figura 4f). Os índices RX1DAY e RX5DAY apresentaram tendências negativas no nordeste da região (com decréscimo de 20-30 mm para RX1DAY e 10-

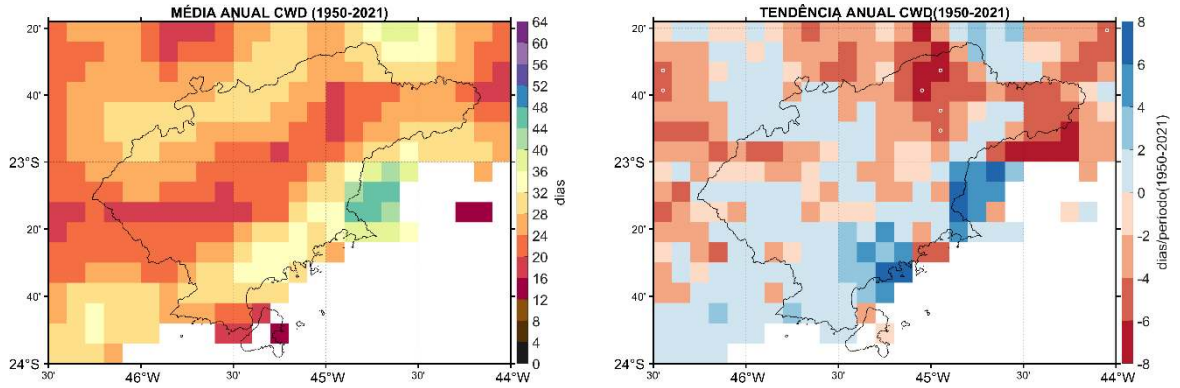
30 mm para RX5DAY) sendo significativos apenas em alguns pontos. Já na porção centro-sul da região as tendências foram positivas (10-20 mm para RX1DAY e 10-30 mm para RX5DAY) com significância estatística em alguns pontos .

Figura 4- Média (coluna da esquerda) e Tendência (coluna da esquerda), em que círculos brancos representam significância estatística 95%, para índices anuais de eventos extremos de precipitação na RMVPLN calculados com dados do ERA5-Land (1950-2021): (a) CDD; (b) CWD; (c) R95P; (d) R99P; (e) RX1DAY; (f) RX5DAY.

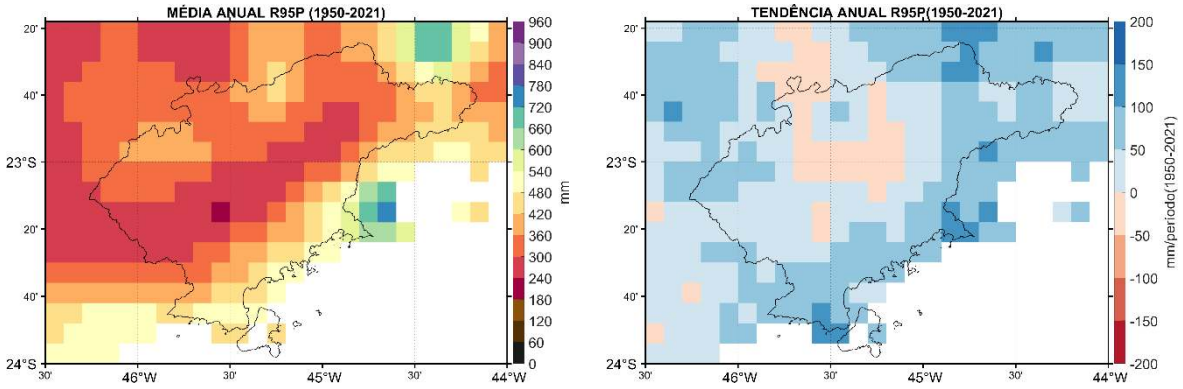
(a)



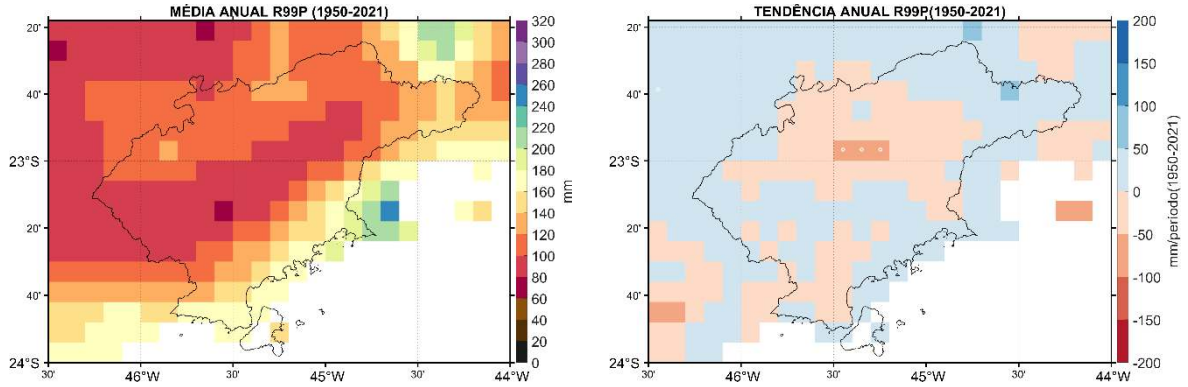
(b)



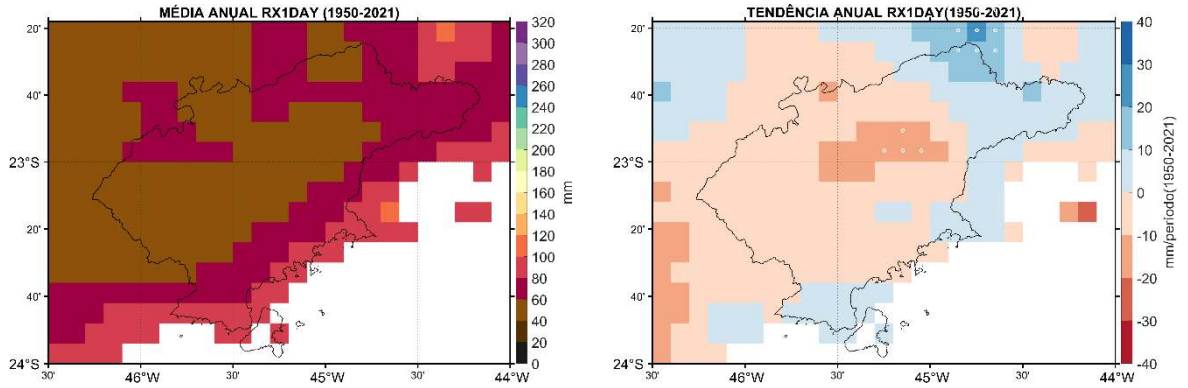
(c)



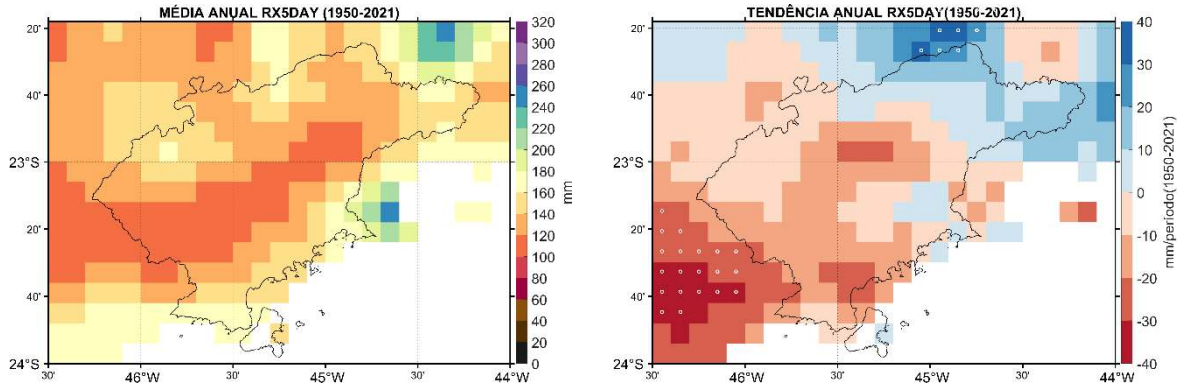
(d)



(e)



(f)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A média da temperatura máxima (TMAXMEAN) foi de 28°C para a região central de Sudoeste a Nordeste e de 24°C para as demais regiões (Figura 5a). A média da temperatura mínima (TMINMEAN) foi de 16°C para quase toda região e 20°C para Nordeste, Sul e Sudeste (litoral) (Figura 5b). Os dois índices TMAXMEAN e TMINMEAN apresentaram tendências positivas com aumento de 0.5°C-1,5ºC estatisticamente significativo para toda a região de

estudo, indicando que as médias da temperatura máxima e mínima tiveram um aumento no período de 1950-2021.

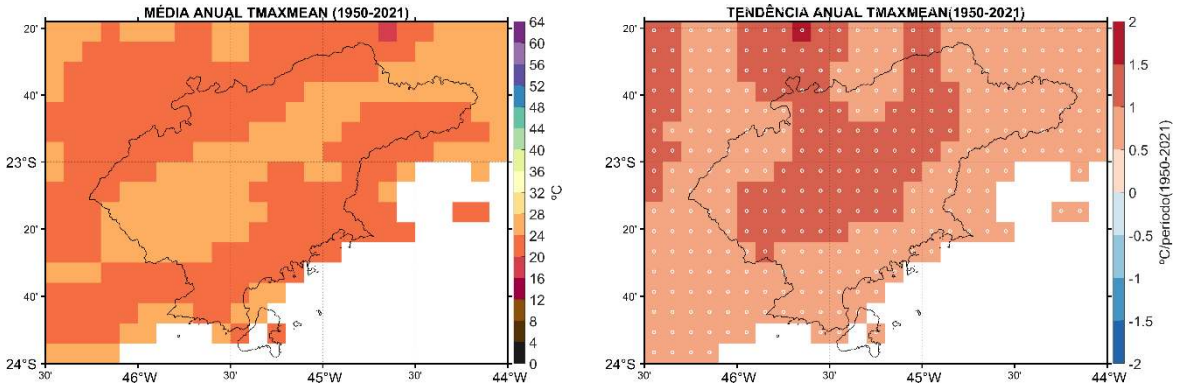
A média anual da porcentagem de noites frias (TN10P), noites quentes (TN90P), dias frios (TX10P) e dias quentes (TX90P) foi de 12% (Figura 5c,d,e,f). As análises de tendências para esses quatro índices mostraram mudanças significativas em toda região de estudo. Foram observados diminuição na porcentagem de noites frias (2-6%) e aumento nas noites quentes (10-15%). Os dias frios apresentaram uma redução (2-6%) e os dias quentes um aumento (5-15%).

A mínima temperatura mínima (TNN) foi de 12°C para a região litorânea de Sul a Sudeste com ínfimas áreas de 16°C, pontos de menor temperatura (4°C) ao Norte e Noroeste e 8°C para maior parte da região (Figura 5g). A maior temperatura mínima (TNX) foi de 20°C para as regiões Noroeste, Norte e Leste, 28°C no Sul e 24°C para o restante (Figura 5h). Para a mínima temperatura mínima não foram encontradas tendências significativas, porém os valores foram positivos ao norte e negativos ao sul da região. Já a maior temperatura mínima apresentou aumento significativo de 0,5ºC a 2ºC em toda a região.

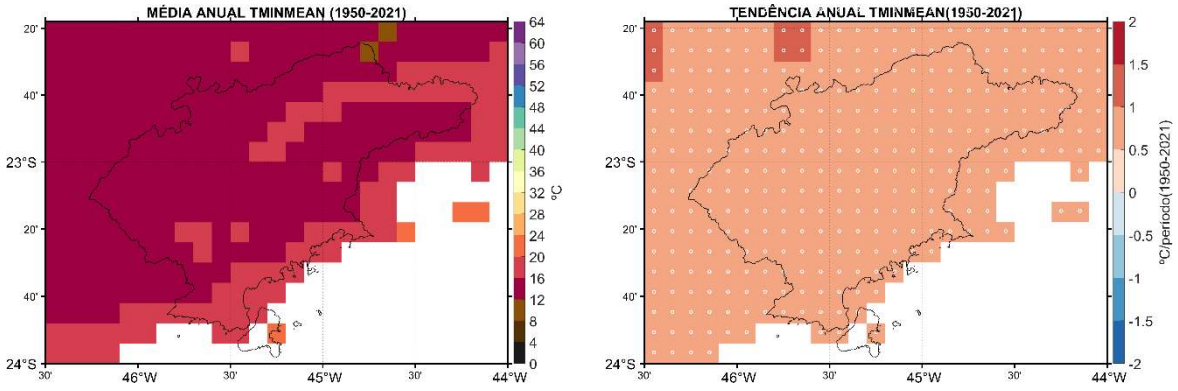
A mínima temperatura máxima (TXN) foi de 16°C para quase toda região, com áreas de 12°C nas regiões Noroeste, Norte, Leste, Sudeste e Sul (figura 5i). A máxima temperatura máxima (TXX) variou entre 28°C e 36°C, com maior temperatura para região central de Sudeste a Nordeste e Sul e menores para as demais áreas (Figura 5j). A região apresentou uma redução significativa na menor temperatura máxima (entre 0,5 e 1,5 ºC) e um aumento significativo na maior temperatura máxima em toda região (entre 0,5ºC e 2ºC).

Figura 5- Média (coluna da esquerda) e Tendência (coluna da esquerda), em que círculos brancos representam significância estatística 95%, para índices anuais de eventos extremos de temperatura na RMVPLN calculados com dados do ERA5-Land (1950-2021): (a) TMAXMEAN; (b) TMINMEAN; (c) TN10P; (d) TN90P; (e) TX10P; (f) TX90P; (g) TNN; (h)TNX; (i) TXN; (j) TXX.

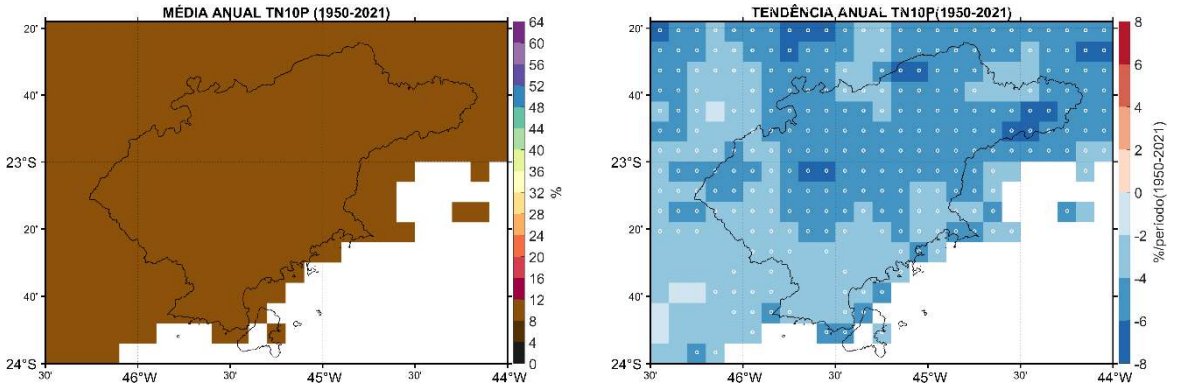
(a)



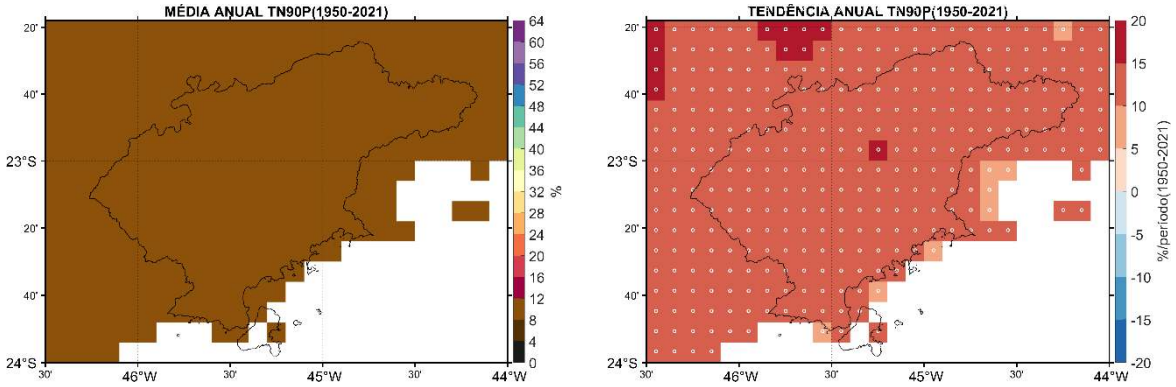
(b)



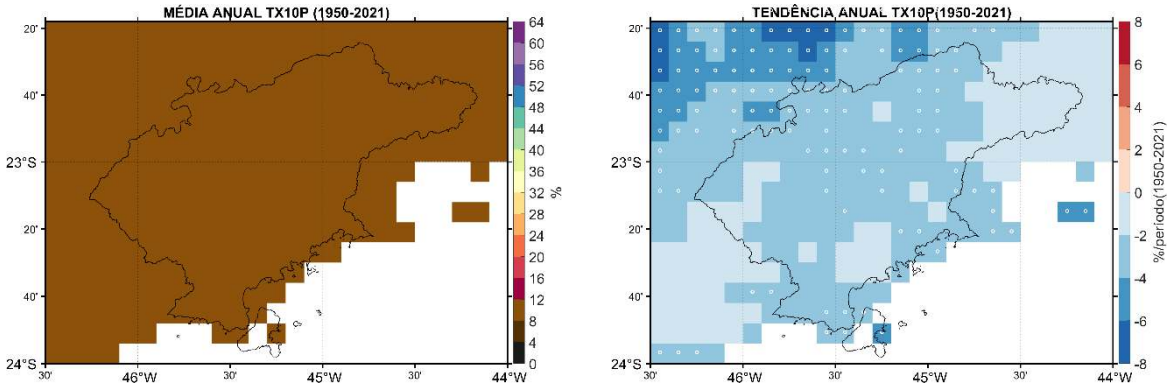
(c)



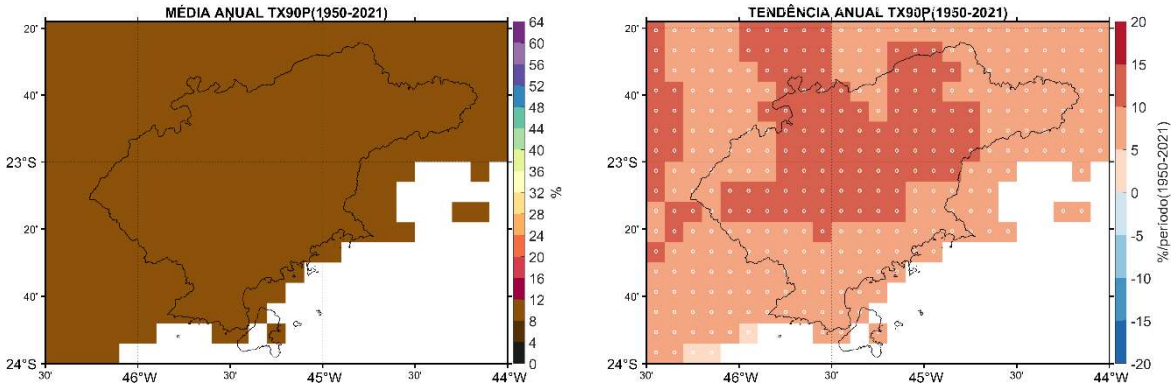
(d)


MÉDIA ANUAL TN90P(1950-2021)
TENDÊNCIA ANUAL TN90P(1950-2021)
%
%/período(1950-2021)
20°
40'
23°S
24°S
30'
46°W
45°W
44°W

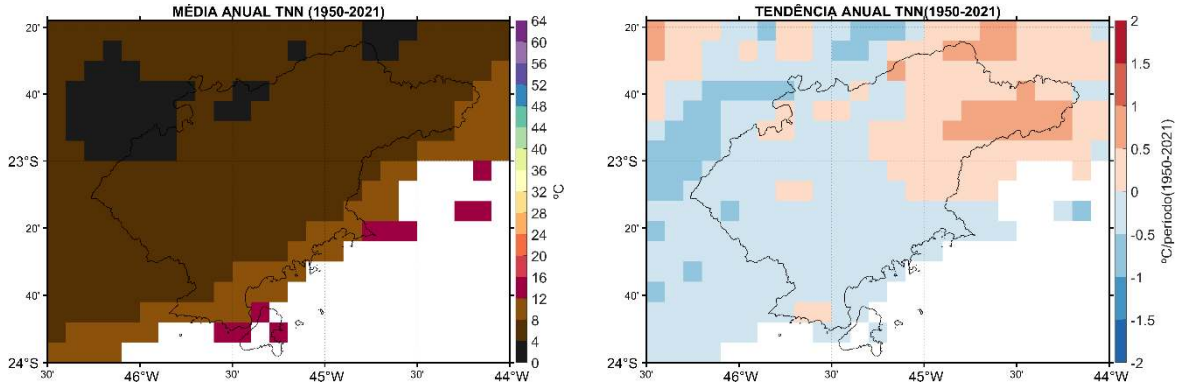
(e)


MÉDIA ANUAL TX10P (1950-2021)
TENDÊNCIA ANUAL TX10P(1950-2021)
%
%/período(1950-2021)
20°
40'
23°S
24°S
30'
46°W
45°W
44°W

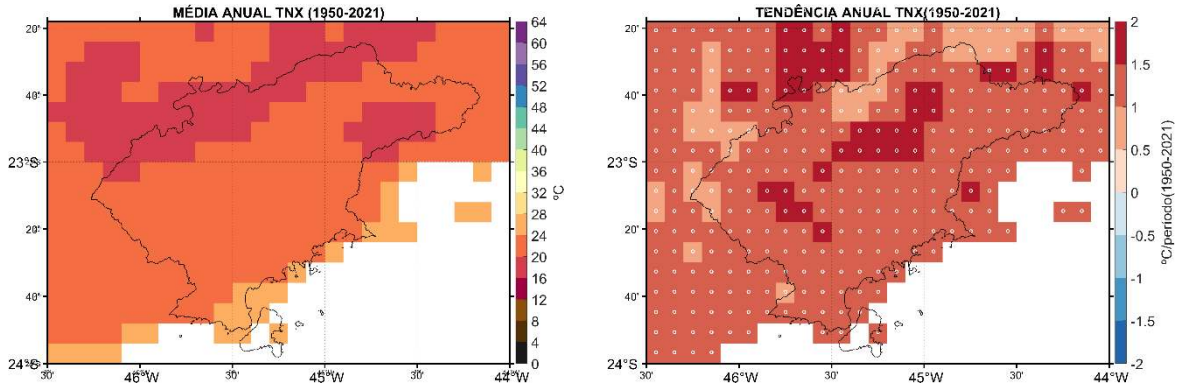
(f)


MÉDIA ANUAL TX90P(1950-2021)
TENDÊNCIA ANUAL TX90P(1950-2021)
%
%/período(1950-2021)
20°
40'
23°S
24°S
30'
46°W
45°W
44°W

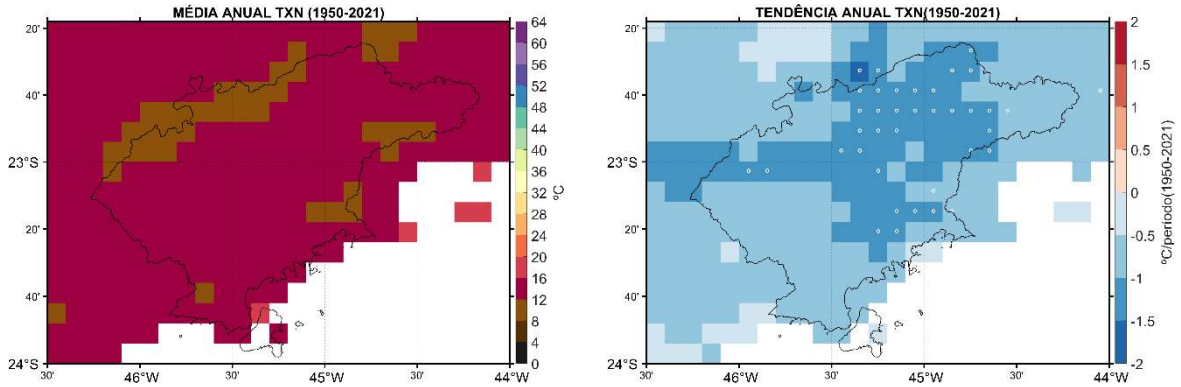
(g)


MÉDIA ANUAL TNN (1950-2021)
TENDÊNCIA ANUAL TNN(1950-2021)
°C
°C/período(1950-2021)
20°
40'
23°S
24°S
30'
46°W
45°W
44°W

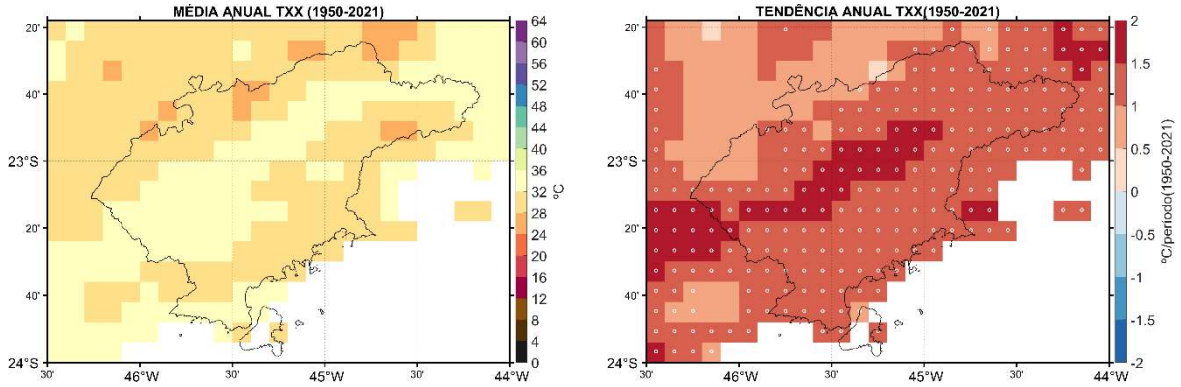
(h)


MÉDIA ANUAL TNX (1950-2021)
TENDÊNCIA ANUAL TNX(1950-2021)
°C
°C/período(1950-2021)
20°
40'
23°S
24°S
30'
46°W
45°W
44°W

(i)


MÉDIA ANUAL TXN (1950-2021)
TENDÊNCIA ANUAL TXN(1950-2021)
°C
°C/período(1950-2021)
20°
40'
23°S
24°S
30'
46°W
45°W
44°W

(j)



De maneira geral, os resultados indicam mudanças nos extremos de temperatura, com aumento significativo nas noites e dias quentes e diminuição nos dias e noites frias. A média das temperaturas máxima e mínima, assim como a maior temperatura máxima e a maior temperatura mínima apresentaram um aumento generalizado na região no período de 1950-2021. Bosco et al. (2022) também encontraram um aumento da temperatura na RMVP considerando o período de 1961-2014.

Para os extremos de precipitação, não foram encontradas tendências significativas de aumento ou diminuição consistentes para toda a região, mas merece destaque a porção central-nordeste, que apresentou diminuição nos dias consecutivos secos, aumento nos dias consecutivos úmidos e aumento no acumulado de precipitação para 1 e 5 dias. Estes resultados também foram encontrados por Bosco et al. (2022) na análise de mudanças de precipitação da RMVP para 1961-2014.

Estes resultados concordam com estudos globais e regionais anteriores, mostrando que associado ao padrão de aquecimento médio global, diferentes regiões do globo apresentam mudanças nos eventos extremos de precipitação e temperatura de formas diferenciadas (ALEXANDER et al., 2006; SUN et al., 2016; REGOTO et al., 2021; SENEVIRATNE et al., 2021; BOSCO et al., 2022). Um resumo dos índices analisados é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4- Resumo dos Resultados Encontrados para os 16 índices de precipitação e temperatura na RMVPLN: média ± desvio padrão; tendência (valores predominantes); tendência significativa (S) ou não significativa (NS) ; e média ± desvio-padrão de tendência na região.

Índice	Média± desvio-padrão na RMVP	Tendência	S/NS	Média± desvio-padrão de tendência na RMVP (período)
TXx	30,51±1,68ºC	+	S	1,15±0,31ºC
TNx	21,37±1,93ºC	+	S	1,22±0,23ºC
TXn	13,78±1,13ºC	-	S	-0,77±0,27ºC
TNn	5,04±0,96ºC	+/-	NS/NS	-0,1±0,35ºC
TMAXmean	23,36±1,28ºC	+	S	0,95±0,17ºC
TMINmean	14,53±1,06ºC	+	S	0,77±0,1ºC
TN10p	10,22±0,04%	-	S	-4,38±1,1%
TX10p	10,20±0,04%	-	S	-2,97±1,53%
TN90p	10,20±0,04%	+	S	12,25±1,37%
TX90p	10,26±0,04%	+	S	9,22±1,45%
Rx1day	62,74±10,27 mm	-/+	S/NS	0,21±7,47 mm
Rx5day	148,42±23,31 mm	-/+	NS/NS	-1,08±15,52 mm
CDD	28,92±6,87 dias	+/-	S/NS	-1,05±2,07dias
CWD	26,53±3,94 dias	+/-	S/NS	-1,75±2,79dias
R95p	363,36±90,32 mm	+/-	NS/NS	52,88±35,16 mm
R99p	363,35±90.32 mm	-/+	S/NS	0,48±18,95 mm

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou realizar uma análise de tendências de mudanças de precipitação e temperatura e seus extremos em uma das principais regiões geoeconômicas do Brasil, a RMVPLN. Para a análise espacial foi necessário a utilização de um conjunto de dados com boa cobertura espacial e temporal, já que a distribuição de estações meteorológicas na região é pequena. Para a utilização dos dados do ERA5-Land foi realizada uma validação para as estações meteorológicas, com os resultados apontando que esses dados representam melhor a temperatura do que a precipitação. Dessa forma a Climatologia foi avaliada espacialmente, mostrando que a região possui uma área central de maior temperatura e menor precipitação, enquanto no Norte, Noroeste e Leste ocorre o oposto. Nas porções Sul e Sudeste as climatologias indicam altas temperaturas e precipitação.

A avaliação de mudança nos extremos de temperatura e precipitação, para o período de 1950-2021 indicam que a RMVPLN apresentou mudanças nos extremos de temperatura, com aumento significativo nos extremos quentes e diminuição nos extremos frios, resultados compatíveis com o aquecimento global e estudos globais e regionais anteriores. Essa tendência de aquecimento foi indicada pelo aumento significativo na porcentagem de dias quentes (TX90P), porcentagem de noites quentes (TN90P), máxima temperatura mínima (TNX), temperatura mínima média (TMINMEAN), temperatura máxima média (TMAXMEAN) e máxima temperatura máxima (TXX - significativo para maior parte da região). Além da diminuição na porcentagem de noites frias (TN10P - significativo para maior parte da região) e de dias frios (TX10P - não significativo para maior parte da região). A média anual de TMAXMEAN e TXX mostram que os extremos quentes foram mais intensos na região central, sentido Sudoeste-Nordeste. A mínima temperatura máxima (TXN) e a mínima temperatura mínima (TNN) foram os únicos índices de temperatura que não fundamentaram essa tendência de aquecimento. TXN apresentou decréscimo, entretanto não foi significativo para maior parte da região, já TNN, não apresentou resultado significativo na região.

Os extremos de precipitação apresentaram tanto aumento como diminuição de forma heterogênea, entretanto não foram resultados estatisticamente significativos neste estudo. A média anual de dias consecutivos secos (CDD) e úmidos (CWD) apontam que os extremos negativos de precipitação foram mais intensos na região central. Com os extremos positivos de precipitação mais intensos nas extremidades da região, ao longo do litoral (Sul e Sudeste)

e áreas ao Leste, Norte e Noroeste. Sendo essas regiões as de maior valor para os dias muito úmidos, extremamente úmidos e precipitação máxima em 1 e 5 dias consecutivos (RX1day e RX5day).

Este trabalho evidencia a importância de estudos locais e regionais para a análise de tendências de mudanças de precipitação e temperatura e seus extremos. Como o próprio IPCC (2021) salienta, apesar da temperatura média global já ter aumentado 1.09ºC no período de 2011-2020 comparado ao período de 1950-1900, diferentes regiões do globo estão experimentando diferentes mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

LAP agradece ao CNPq Projeto Universal (Processo 426530/2018-7). RGN agradece à FAPESP (Processo 2021/01305-6) e ao CNPq (Processo 305220/2022-5). CAB agradece ao CNPq pela Bolsa de Pós-Doutorado (Processo 152269/2022-3) e pela Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial - DTI-A (Processo 383480/2023-0).

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Lisa Victoria; ZHANG, Xuebin; PETERSON, Thomas; CAESAR, John; GLEASON, Byron; TANK, Albert; HAYLOCK, Malcolm; COLLINS, Dean; TREWIN, Blair; RAHIMZADEH, Fatemeh; TAGIPOUR, Afsaneh; RUPAKUMAR, Kolli; REVADEKAR, Jayashree; GRIFFITHS, Gareth; VINCENT, Lucie; STEPHENSON, David; BURN, James; AGUILAR, Enric; BRUNET, Manola; TAYLOR, Michael; NEW, Mark; ZHAI, Panmao; RUSTICUCCI, Matilde; VAZQUEZ-AGUIRREL, Jose. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, **J. Geophys. Res.**, 111, D05109, 2006. DOI: 10.1029/2005JD006290.

AYRES, Ana Carolina. **Variabilidade e desastres Naturais da região do Vale do Paraíba/SP: passado e futuro.** Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fisch. 2010. Dissertação (Mestrado) - Curso de PósGraduação em Ciências Ambientais, Ciências Ambientais, UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ, Taubaté - SP, 2010.

BOSCO, Ricardo Brambila; VALVERDE, María Cleofé. Projeções climáticas de precipitação e temperatura na Região Metropolitana do Vale do Paraíba–SP simulados por modelos climáticos do CMIP6. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1621-1638, 2022.

EVANS, James (1996) **Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences**. Brooks/Cole Publishing; Pacific Grove, Calif.). Creio que para resolver bastaria explicitar as faixas de variação.

FIPE. **Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas.** Panorama Regional Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (P5). São Paulo: FIPE, Secretaria De Desenvolvimento Regional Do Estado De São Paulo, 2021. Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. Disponível em: https://rmvpln.pdui.sp.gov.br/wp-content/uploads/P5-Vale-do-Paraiba-16-12-21.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022.

FREEDMAN, David; PISANI, Robert; PURVES, Roger (2007). **Statistics**. Pisani, R. Purves, 4th Edn. WW Norton & Company, New York

GAN, Manoel Alonso ; RODRIGUES, Luís Ricardo ; RAO, Vadlamudi Brahamananda. **Monção na América do Sul**. In: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, Nelson Jesuz Ferreira. (Org.). Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática. 1ed.SÃO PAULO: Oficina de Textos, 2021, v. 1, p. 133-144.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Estimativas da População. *[S.l.].* IBGE, 2021. Tabelas de estimativas para 1º de julho de 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados. Acesso em: 22 nov. 2022.

IPCC. Summary for Policymakers. 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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 3–32, 2021. DOI:10.1017/9781009157896.001.

IPCC. Summary for Policymakers. In**: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability***. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 3-33, 2022. DOI:10.1017/9781009325844.001.

KARL, Thomas; NICHOLLS, Neville; GHAZI, Anver. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. **Climatic Change**, v.42, p.3-7, 1999. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1005491526870.

KENDALL, Maurice George. **Rank Correlation Methods**. 4.ed. London: Charles Griffin Eds, 1975.

LAVELL, Allan; OPPENHEIMER, Michael; DIOP, Cherif; HESS, Jeremy; LEMPERT, Robert; LI, Jianping; MUIR-WOOD, Robert; MYEONG, Soojeong. **Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience**. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor,

and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, p. 25-64, 2012.

MANN, Michael Evan. Smoothing of climate time series revisited. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 16, 2008. DOI: https://doi.org/10.1029/2008GL034716.

MARENGO, Jose Antonio; ALVES, Lincoln; AMBRIZZI, Tercio; YOUNG, Andrea; BARRETO, Naurinete; RAMOS, Andrea. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1472, n. 1, p. 5-20, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/nyas.14307.

MUÑOZ-SABATER, Joaquín. ERA5-land monthly averaged data from 1981 to present. **Copernic. Clim. Chang. Serv.(C3S) Clim. Data Store (CDS)**, v. 146, p. 1999-2049, 2019. Acesso em: 31 mai. 2021. DOI: 10.24381/cds.68d2bb30

MUÑOZ-SABATER, Joaquín; DUTRA, Emanuel; AGUSTÍ-PANAREDA, Anna; ALBERGEL, Clément; ARDUINI, Gabriele; BALSAMO, Gianpaolo; BOUSSETTA, Souhail; CHOULGA, Margarita; HARRIGAN, Shaun; HERSBACH, Hans; MARTENS, Brecht; MIRALLES, Diego; PILES, María; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, Nemesio; ZSOTER, Ervin; BUONTEMPO, Carlo; THÉPAUT, Jean-Noël. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 9, p. 4349-4383, 2021. DOI: https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021.

PETERSON, Thomas; FOLLAND, Christopher; GRUZA, George; HOGG, William; MOKSSIT, Abdallah; PLUMMER, Neil. Report of the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs. WMO, Rep. WCDMP- 47, WMO-TD 1071. **World Meteorol. Organ.,Geneva, Switzerland,** p.143, 2001.

REGOTO, Pedro; DERECZYNSKI, Claudine; CHOU, Sin Chan; BAZZANELA, Anna Carolina. 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.

SEADE. **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados.** RMVale tem a segunda maior riqueza do interior do estado de São Paulo. São José dos Campos: Jornal O Vale, 2021. Disponível em: https://www.seade.gov.br/rmvale-tem-a-segunda-maior-riqueza-do-interior-do-estado-de-sao-paulo/#:~:text=O%20PIB%20(Produto%20Interno%20Bruto,segundo%20levantamento%20da%20Funda%C3%A7%C3%A3o%20Seade. Acesso em: 22 nov. 2022.

SEN, Pranab Kumar. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI: https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934.

SENEVIRATNE, Sonia; ZHANG, Xuebin; ADNAN, Muhammad; BADI, Wafae; DERECZYNSKI, Claudine; LUCA, Alejandro Di; GHOSH, Subimal; ISKANDAR, Iskhaq; KOSSIN, James; LEWIS, Sophie; OTTO, Friederike; PINTO, Izidine; SATOH, Masaki; VICENTE-SERRANO, Sergio;

WEHNER, Michael; ZHOU, Botao. **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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1513–1766, 2021. DOI:10.1017/9781009157896.013.

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da. Eventos climáticos extremos. **Revista usp**, n. 103, p. 33-40, 2014. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40.

SUN, Wenyi; Mu, Xingmin; Song, Xiaoyan; Wu, Dan; Cheng, Aifang; Qiu, Bing. Changes in extreme temperature and precipitation events in the Loess Plateau (China) during 1960–2013 under global warming. **Atmospheric Research**, v. 168, p. 33-48, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.09.001

UNGA. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. A/71/644. **Proceedings of the Seventy-First Session.** Agenda Item 19c, p. 41, 2016.

VASCONCELLOS, Fernanda Cerqueira ; REBOITA, Michelle Simões. **Clima da Região Sudeste**. In: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, Nelson Jesuz Ferreira. (Org.). Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática. 1ed. SÃO PAULO: Oficina de Textos, 2021, v. 1, p. 51-63.

ZHANG, Xuebin; ALEXANDER, Lisa; HEGERL, Gabriele; JONES, Philip; TANK, Albert Klein; PETERSON, Thomas; TREWIN, Blair; ZWIERS, Francis. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 2, n. 6, p. 851-870, 2011. DOI: https://doi.org/10.1002/wcc.147.

ZHANG, Xuebin; FENG, Yang; CHAN, Rodney. **User's manual: Introduction to RClimDex v1.9**. Climate Research Division Environment Canada. Downsview, Ontario, 2018.

ZHANG, Xuebin; HEGERL, Gabriele; ZWIERS, Francis; KENYON, Jesse. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, v. 18, n. 11, p. 1641-1651, 2005. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI3366.1

ZILLI, Marcia; CARVALHO, Leila; LIEBMANN, Brant; SILVA DIAS, Maria. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4840.