



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Detecção de Padrões de Mudanças Climáticas no Oeste e Sudoeste do Paraná no Período de 1977-2018

Angélica Maiara Pivatto Schmoeller¹, Leila Limberger²

¹ Mestranda em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná. (45) 99947-9705. angelicapivatto@hotmail.com (autor correspondente). ² Prof^a Dra. da Graduação e Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná. (45) 99924-7509. leila.limberger@unioeste.br.

Artigo recebido em 21/02/2023 e aceito em 05/06/2023

RESUMO

Os efeitos das mudanças climáticas são sentidos em escala meso e microclimática, tornando-se necessários estudos sobre as tendências nos padrões climáticos em diversos pontos do globo. Para isso, utilizou-se dados diários de precipitação de 30 postos meteorológicos para o período de 1977 a 2018. Os dados foram processados no software estatístico “R”, utilizando-se o pacote RClimpact para identificação de eventos extremos e de mudanças climáticas. Na sequência, foi obtida a tendência linear no tempo, e a significância estatística da tendência através do teste t-Student. Como resultado, verificou-se que o índice PRCPTOT indica que o total anual de chuva aumentou, assim como os índices R95p e R99p, indicando que as chuvas se concentraram mais nos extremos de 5% e 1% da distribuição dos dados. O CWD apresentou redução e o CDD teve aumento durante a série histórica nas estações, indicando que o maior valor de precipitação indicado pelo PRCPTOT ocorre com mais frequência em menos dias e, também, que os períodos de seca aumentaram. O índice SDII indica que a concentração das chuvas aumentou no período analisado. Ao analisar os anos mais secos e mais chuvosos (o equivalente ao índice PRCPTOT) em comparação com o índice Ocenic Niño Index (ONI), verifica-se que a variabilidade da chuva total anual é determinada, em grande parte, por esse fenômeno natural. No entanto, os demais índices de mudanças climáticas indicam uma maior concentração da chuva e intensificação dos eventos extremos, o que permite a afirmação de que já são sentidos, em escala local, os efeitos do aquecimento global que gera alteração climática. Palavras-chave: eventos extremos; índices ETCCDI; variabilidade climática.

Climate Change Pattern Detection in Western and Southwestern Parana in the 1977-2018 Period

ABSTRACT

The effects of climate change are felt on a meso and microclimate scale, making studies on trends in climate patterns in different parts of the globe necessary. For this, daily precipitation data from 30 meteorological stations for the period from 1977 to 2018 were used. The data were processed in the “R” statistical software, using the RClimpact package to identify extreme events and climate changes. Next, the linear trend over time was obtained, and the statistical significance of the trend was obtained using the t-Student test. As a result, it was found that the PRCPTOT index indicates that the annual total rainfall increased, as well as the R95p and R99p indices, indicating that rainfall was concentrated more at the extremes of 5% and 1% of the data distribution. The CWD showed a reduction and the CDD increased during the historical series in the seasons, indicating that the highest precipitation value indicated by the PRCPTOT occurs more frequently in fewer days and, also, that the periods of drought have increased. The SDII index indicates that the concentration of rainfall increased in the analyzed period. When analyzing the driest and wettest years (the equivalent of the PRCPTOT index) in comparison with the Ocenic Niño Index (ONI), it appears that the variability of total annual rainfall is largely determined by this natural phenomenon. However, the other indices of climate change indicate a greater concentration of rainfall and the intensification of extreme events, which allows the assertion that the effects of global warming that generate climate change are already being felt on a local scale.

Keywords: extreme events; ETCCDI indices; climatic variability.

Introdução

As chamadas “mudanças climáticas” vêm recebendo destaque, nas últimas décadas, em meio acadêmico, na mídia e até na geopolítica mundial. Esse destaque ocorre devido a um possível comportamento do clima não respondido por elementos naturais. Por isso, atribui-se à atividade humana a responsabilidade sobre o incremento de temperatura que leva a mudanças nos padrões de circulação atmosférica, tanto pelo acréscimo de gases de efeito estufa na atmosfera quanto pela mudança no uso do solo. Por isso, identificar as mudanças climáticas, seus principais causadores e conscientizar a sociedade sobre os efeitos danosos pode evitar catástrofes ainda maiores.

Em toda a história do planeta Terra, o clima sempre sofreu variações, por causas naturais, como a ciclicidade das eras glaciais e interglaciais, alterações das emissões solares, variação nos parâmetros orbitais terrestres, atividades vulcânicas, entre outros (Marengo et al., 2023). As mudanças climáticas naturais são, portanto, constantes na história da Terra. Entretanto, atualmente, o aquecimento global antropogênico, causador e intensificador das mudanças climáticas, vêm ganhando muito espaço na mídia social e na geopolítica global. A mudança climática é um dos principais problemas ambientais do século XXI e que afeta diretamente a humanidade em diversos segmentos. Evidências físicas podem ser observadas na própria natureza, como temperaturas médias globais altas no ar, em lagos e oceanos, derretimento das geleiras e mantos de gelo na Groenlândia e Antártida, declínio da umidade dos solos e da produtividade das colheitas, elevação global do nível médio dos mares, entre outras (IPCC, 2022). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2021) as mudanças climáticas, são uma variação significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, em uma escala de tempo prolongada, podendo perdurar por décadas ou mais.

O CO₂ é considerado o principal gás do efeito estufa. Atualmente, são encontradas em torno de 416 ppm de CO₂ na atmosfera terrestre (NASA, 2023). Segundo o relatório do IPCC (2018), considerando desde a era pré-industrial, a temperatura média global para a década de 2006 a 2015 foi 0,87°C mais alta que a temperatura média global registrada entre 1850 e 1900. Ainda segundo o relatório, atualmente o aquecimento global

antropico está aumentando em 0,2°C por década devido às emissões de gases poluentes do passado e da atualidade. Segundo o AR6 do IPCC, desde a era pré-industrial até a atualidade, a humanidade emitiu 2,4 trilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera. Destes, 42% foram emitidos apenas no período entre 1990 e 2019 (Angelo, 2022).

Os efeitos das mudanças climáticas são sentidos em escala meso e microclimática, o que traz a necessidade de estudos sobre as tendências nos padrões climáticos em diversos locais do globo, pois esses efeitos ocorrem de forma mais intensa na baixa troposfera. As mudanças climáticas ocorrem devido a uma atmosfera mais aquecida, chamada de “aquecimento global”, identificado como a intensificação do efeito estufa na atmosfera e atribuído ao aumento de gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 1995, 2007, 2021). Logicamente, o principal efeito do aquecimento global é o incremento das temperaturas, tanto a média quanto a mínima e a máxima. Esse incremento de temperatura, por sua vez, leva mais energia ao sistema superfície-atmosfera, o que desencadeia mudanças nos padrões de circulação atmosférica. Dessa forma, outros elementos climáticos são alterados, especialmente a chuva, que tem mudanças na sua distribuição anual, intensidade e/ou mudança de localização (Mendonça, 2005; Ambrizzi, 2014).

Sobre os efeitos da mudança climática no Paraná, Silva et al. (2015) identificaram aumento nos índices TN90p (noites quentes) e TX90p (dias quentes) em todas as regiões do Estado para o período de 1976 e 2010, com aumento mais significativo das temperaturas máximas; quanto às chuvas, identificaram elevação nos períodos secos no sudoeste do estado e redução de chuvas fortes no norte/noroeste. Ely e Fortin (2019), analisando a tendência em índices térmicos extremos para o período de 1971 a 2014, identificaram também uma tendência positiva do índice TXx, especialmente no norte do estado, apesar de haver uma tendência mais modesta também nos índices de temperatura mínima. Kogima (2018) identificou aumento das ondas de calor no estado do Paraná, especialmente nas regiões norte e oeste.

As mudanças climáticas causam, portanto, tendências positivas ou negativas para os parâmetros climáticos como chuva ou temperaturas, mas também causam uma intensificação na variabilidade natural, desencadeando eventos extremos tanto positivos quanto negativos (Marengo et al., 2023; Ambrizzi, 2014).

Porém, para entender como a mudança climática causa intensificação da variabilidade natural do clima, deve-se conhecer os fenômenos desencadeadores dessa variabilidade natural. No estado do Paraná, estudos desenvolvidos por Grimm (2003 e 2009), Nery (2005), Massoquim e Azevedo (2010), Silva et al. (2015) e Ferreira (2017) identificaram que os eventos extremos de chuva são relacionados com anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano Pacífico Equatorial, associados ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS).

O ENOS é um fenômeno climático oscilatório de escala global que ocorre em nível de oceano e atmosfera caracterizado por um aquecimento ou resfriamento das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial/Tropical, constituindo os fenômenos El Niño e La Niña, respectivamente (Cai et al., 2020). É um dos maiores moduladores de variabilidade climática na América do Sul e global, por meio de mudanças na circulação atmosférica tanto pela alteração na transferência de calor do oceano para a atmosfera quanto por geração de ondas de Rossby, como o padrão Pacific South America (PSA) e por mudanças na circulação da célula de Walker (Barros et al., 2008; Tedeschi et al., 2012; Lin; Qian, 2019; Cai et al., 2020).

Para a região Sul do Brasil, o El Niño provoca aumento de precipitação e a La Niña, diminuição, especialmente na primavera e início de verão do ano de início do fenômeno (Grimm et al., 1998; Grimm; Tedeschi, 2009; Reibota et al., 2021a; Kayano, et al., 2022).

Atualmente, discute-se sobre os diferentes tipos de ENOS e como esses afetam a variabilidade climática global. Os diferentes tipos de ENOS são classificados como Leste, Central ou Mix, dependendo do local do maior aquecimento (Ashok et al., 2007; McPhaden, 2011; Tedeschi et al., 2015; 2016; Cai et al., 2020). Goudard et al. (2022), utilizando dados de precipitação do GPCC, identificaram que, para o sul do Brasil, os efeitos do El Niño Leste e Central variam de intensidade e padrão espacial, sendo que nos eventos de EN Leste, as anomalias de chuva são mais condizentes com o levantado na bibliografia, ou seja, anomalias positivas de chuva no sul do Brasil, enquanto nos eventos de EN Central as anomalias positivas são mais fracas ou até inexistentes, com anomalias negativas de precipitação, em alguns meses.

Ferreira (2017) utilizou séries históricas de precipitação do antigo Instituto das Águas do Paraná (IAP) (atualmente incorporado ao atual

Instituto Água e Terra – IAT, de dez municípios da região, com dados diários de 1977 a 2015. Foi analisado os efeitos dos fenômenos ENOS e Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) sobre a precipitação da região. Em seus resultados, observou que os anos mais chuvosos foram 1982/1983, 1997/1998 e 2014/2015, coincidindo com os três eventos mais fortes de El Niño já registrados até hoje. Os anos mais secos foram 1978 (Neutro), 1985 (La Niña/Neutro), 1988 (La Niña), 1991 (Neutro/El Niño) e 1999 (La Niña). Os anos de 1977, 1978, 1979 e 2000 em diante, ocorreu a fase fria da ODP, enquanto a fase quente ocorreu entre 1980 e 1999. Ferreira (2017) concluiu que o fenômeno ENOS possui maior influência sobre a precipitação da região oeste do Paraná do que a ODP.

De Freitas et al. (2023) analisaram eventos de secas extremas na bacia hidrográfica do Rio Paraná durante o período de 1979 a 2021 e identificaram que o evento hidrológico de seca mais severo começou em 2016 e se estendeu até o final do período de análise. Durante esse período houve associação com anomalias de temperatura da superfície dos mares em evento de El Niño em 2016/2017, condições neutras de ENOS em 2019/2020 e condição de La Niña em 2020/2021. Ou seja, o fenômeno ENOS não explica esse período de seca extrema registrado na bacia do rio Paraná. Muitos estudos (Marengo et al., 2015; Coelho et al., 2015; Finke et al., 2020) indicam que o aumento dos eventos extremos na região Sul pode ser relacionado às mudanças climáticas por meio da combinação da redução de precipitação e aumento de temperatura.

O Paraná vivenciou, entre os anos de 2018 e 2021, uma intensa crise hídrica, apontada como a pior estiagem já registrada no Estado (Paraná Portal, 2020; Bem Paraná, 2021). Efeitos negativos em diversos ramos da sociedade foram sentidos, como, por exemplo: a) a baixa geração de energia elétrica, já que o Estado é um forte produtor, com usinas instaladas nos rios Iguaçu, Paraná, entre outros; b) falta e/ou racionamento de água para o consumo em determinadas regiões; c) perdas na agricultura, especialmente nas regiões oeste e sudoeste do Paraná que são regiões agrícolas.

Por outro lado, os eventos de anomalias positivas de chuva (chuvas acima da média) também resultam em efeitos negativos para a sociedade, já que chuvas em excesso podem resultar em erosão, deslizamento de terra, enchentes, inundações, alagamentos, assoreamento dos rios, entre outros problemas. Segundo o

CEPED (2011), dentre os principais impactos causados por eventos extremos positivos de chuva no Paraná, estão as alterações nos ecossistemas locais, nas moradias, mortandades e enfermidades. Isso ocorre de forma alarmante, principalmente, devido às questões de infraestrutura urbana precária e de baixas condições de resiliência por parte da população para defrontar-se com esses eventos.

A partir dessa contextualização surge a pergunta: esses eventos extremos de chuva e seca registrados no Paraná, especialmente na última década, são parte da variabilidade natural do clima ou são efeitos locais das mudanças climáticas globais?

Assim, a hipótese do artigo é que efeitos locais das mudanças climáticas globais são mais fortes do que a variabilidade natural na modulação dos eventos extremos na área de estudo, mais especificamente na alteração do padrão de chuvas, pois a população está sofrendo tanto com os efeitos da seca, (perca da produtividade agrícola, racionamento de água, baixa produção de energia elétrica) quanto de chuvas extremas (inundações, erosão, dificuldades no trato agrícola).

O objetivo geral do artigo é analisar se há efeitos locais das mudanças climáticas globais. Para isso, foram elencados os objetivos específicos: a) verificar o comportamento dos índices de mudanças climáticas Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) aplicados a dados de precipitação de postos meteorológicos da região oeste/sudoeste do Paraná; b) identificar a tendência linear no tempo com significância estatística dos índices de precipitação na região oeste/sudoeste do Paraná durante o período de 1977 a 2018 para identificação de padrões de mudanças climáticas; c) avaliar o papel do ENOS na modulação da variabilidade da PRCPTOT.

Dessa forma, a pesquisa se justifica, pois permite a análise de índices de chuva, o que pode subsidiar decisões sobre planejamento agrícola e urbano, além de aumentar os conhecimentos sobre os efeitos locais das alterações climáticas.

Os dados de precipitação utilizados na presente pesquisa são da base de dados do Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental (LEDA), constituindo um conjunto de 30 postos meteorológicos do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR), do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 1977 a

2018. Esses dados de precipitação foram processados no software estatístico, de formato livre Open Source, "R", no qual foram utilizados os pacotes Rclimdex e Rclimply, criados pelo ETCCDI para identificação de eventos extremos. Com esses índices calculados, foi obtida a tendência linear no tempo. A tendência linear no tempo foi calculada a partir do incremento indicado na equação linear. Também foi calculada a significância estatística da tendência por meio do teste t-Student.

O artigo está dividido em três seções, além da presente introdução. Na seção 2 estão representados os procedimentos metodológicos de forma detalhada. Na seção 4 estão apresentados os resultados e sua discussão. Por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais que indicam a conclusão geral do trabalho.

Material e métodos

Os dados de precipitação utilizados na presente pesquisa são da base de dados do Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental (LEDA), constituindo um conjunto de 30 postos meteorológicos dos institutos de pesquisa IDR, SIMEPAR e INMET para o período de 1977 a 2018; no caso do IDR e do SIMEPAR foram obtidos após envio de solicitação formal e disponibilizados via link, para uso específico em pesquisa científica para os integrantes do LEDA. No caso dos dados do INMET, eles foram obtidos a partir do banco de dados online BDMEP, via download. Após download dos dados eles foram organizados em planilhas de cálculo, sendo as falhas preenchidas pelo método IDW (*Inverse Distance Weighting*), conforme definido por Ely et al. (2021).

Os postos meteorológicos estão localizados nas cidades de Barracão, Boa Vista da Aparecida, Cascavel, Catanduvas, Céu Azul, Diamante do Oeste, Entre Rios do Oeste, Espigão Alto do Iguaçu, Foz do Iguaçu, Francisco Beltrão, Maripá, Matelândia, Mercedes, Missal, Nova Santa Rosa, Palmas, Palotina, Pato Branco, Planalto, Pranchita, Quedas do Iguaçu, Ramilândia, Rio Bonito do Iguaçu, Santa Helena, Santa Lúcia, Santo Antonio do Sudoeste, São Miguel do Iguaçu, Serranópolis do Iguaçu, Três Barras do Paraná e Vera Cruz do Oeste (Figura 1).

A escolha dessa área se deu a partir da definição de Limberger e Ely (2019) das áreas homogêneas de variabilidade de precipitação no Paraná, sendo utilizada na presente pesquisa a

região oeste/sudoeste do Paraná, área que sofre forte crise hídrica nos últimos anos, seguido de período com chuvas extremas.

Esses dados de precipitação foram processados no software estatístico R, de formato livre Open Source, no qual foram utilizados os pacotes Rclimindex e Rclimpack, criados pelo ETCCDI para identificação de eventos extremos. Esses índices podem ser obtidos por meio do site <http://etccdi.pacificclimate.org/list27indices.shtml>, o que permite a comparação dos resultados em nível global. Esses pacotes compreendem o cálculo de 27 índices, sendo divididos em índices de temperatura e de precipitação. Nessa pesquisa foram utilizados índices que identificam o padrão da chuva, sendo:

- PRCPTOT: precipitação total anual;
- CDD (Consecutive Dry Days – Dias Consecutivos Secos): número máximo de dias consecutivos com chuva ≤ 1 mm;
- CWD (Consecutive Wet Days – Dias Consecutivos Úmidos): número máximo de dias consecutivos com chuva ≥ 1 mm;
- R10mm, contagem anual de dias quando PRCP (precipitação) ≥ 10 mm;
- R20mm, contagem anual de dias quando PRCP ≥ 20 mm;
- R95p: precipitação total anual quando chuva $> 95p$, ou seja, quantidade de precipitação anual acima do percentil 95;
- R99p: precipitação total anual quando chuva $> 99p$, ou seja, quantidade de precipitação anual acima do percentil 99;
- Rx1day: precipitação máxima mensal de um dia;
- Rx2day: precipitação máxima mensal de 2 dias consecutivos;
- Rx5day: precipitação máxima mensal de 5 dias consecutivos; e
- SDII: índice de intensidade de precipitação simples.

A partir dos resultados obtidos do processamento desses índices foi, então, calculada a tendência linear no tempo. A tendência linear no tempo será calculada a partir do “a” ou coeficiente angular da equação linear

$$\hat{y}(t) = b + a * t, \text{ em que:}$$

\hat{y} : valor estimado da observação $y(t)$ (coordenada y do diagrama cartesiano)

b: intercepto (valor de y quando a reta ajustada cruza a ordenada, em $t=0$)

a: coeficiente angular (inclinação da reta, tendência linear)

x: quantidade de observações em dada amostra (no caso, evolução cronológica do tempo)

Assim, a tendência pode ser expressa na unidade da variável em um determinado intervalo de tempo (“x” mm de chuva/anos) através da análise do coeficiente angular, que indica a variação da variável no espaço de tempo unitário. Pode ser também expressa em porcentagem, em relação ao valor climatológico mensal ou anual, como expresso a seguir:

$$\% \text{tendência} = (a * \Delta t / \text{média climatológica}) * 100\%, \text{ em que:}$$

a: expressa o coeficiente angular ($\Delta \hat{y} / \Delta t$)

Δt : a quantidade de observações (número de tempos ou meses analisados).

Também foi calculada a significância estatística da tendência estimada através do teste t-Student. Segundo Rogerson (2012), o valor crítico de t pode ser expresso por:

$$t_c = r \sqrt{\frac{(N - 2)}{1 - r^2}}, \text{ em que:}$$

t_c : valor crítico para t

r: coeficiente de correlação linear

N: quantidade de observações.

A tendência linear é considerada significativa quando t amostral é maior do que t_c (Rogerson, 2012). No presente trabalho, como o número de tempos é de 492, a significância estatística para o teste t-Student para $p < 0,05$ (95% de confiança) é 1,645, ou seja, todos os valores de t-calculado acima de 1,645 são considerados significativos.

Para complementar essa metodologia, foi utilizado o Método Gráfico Cronológico de Tratamento da Informação (MGCTI) proposto por Nouaceur, Laignel e Turki (2014), baseado na Matriz de Bertin. A Matriz de Bertin faz uso da Semiologia Gráfica e permite a apresentação dos dados em um sistema matricial formado por linhas e colunas. Desse modo, foi possível analisar a variabilidade pluviométrica total anual das estações meteorológicas estudadas.

Para organização do gráfico utilizando a metodologia MGCTI, utilizou-se os dados diários já obtidos dos sites de institutos de pesquisa INMET, SIMEPAR e IAPAR. Primeiramente, foi necessário transformar os dados diários em dados mensais e anuais com auxílio do programa CDO (*Climate Data Operators*). O MGCTI submete uma sequência de etapas. Para iniciar, os dados de precipitação anual foram ordenados utilizando o critério do menor para o maior valor. Isso foi feito para todas as estações meteorológicas

individualmente. Em seguida, é necessário estabelecer os quantis baseados na variabilidade anual de chuvas. Foram estabelecidos cinco quantis para as 30 estações em questão, e para eles atribuí-se categorias de um a cinco com cores distintas de acordo com o critério de umidade: 1 – muito seco, 2 – seco, 3 – normal, 4 – chuvoso, 5 – muito chuvoso. Após executar essa etapa para todas as estações, os resultados foram sendo colocados lado a lado para constituir uma matriz, resultando em colunas compondo as estações, por ordem alfabética e numeral, e linhas formando os anos. Na

terceira etapa, foram aplicados os cálculos estatísticos de soma, média, desvio padrão e padronização utilizando o conjunto das 30 estações. Os valores pluviométricos foram substituídos pelas categorias de 1 a 5 definidas anteriormente. Para finalizar esse método, os valores por linha foram somados. Na sequência, esses valores foram somados para obter uma média da coluna, possibilitando desenvolver o cálculo do desvio padrão, definindo assim, os anos com seca mais intensa.



Figura 1. Localização das estações meteorológicas em análise

Resultados e discussão

Índices de detecção de mudanças climáticas

A apresentação dos resultados dos índices será baseada no Quadro 1, no qual estão representados os valores de tendências calculadas para cada índice e estação meteorológica. No Quadro 1 também estão destacados em negrito e com asterisco (*) os valores significativos estatisticamente para $p < 0,05$.

O índice PRCPTOT indica o total anual de chuva para cada cidade analisada. No caso das 30 estações analisadas, registrou-se tendência positiva em 28 e todos os valores significativos foram

positivos. Os valores significativos ocorreram para as porcentagens acima de 20%, sendo que o maior valor de tendência ocorreu em Barracão com 37,26% de tendência, seguido de Missal, Ramilândia e Nova Santa Rosa (29,96%, 29,93% e 29,76%, respectivamente). Ou seja, na região oeste-sudoeste do Paraná o total anual de chuvas aumentou no período de 1977 a 2018. Resultado semelhante também foi encontrado por Dufek e Ambrizzi (2008) para o estado de São Paulo no período de 1950 a 1999. Silva et al. (2015) também verificaram tendência positiva no PRCPTOT no oeste do Paraná, porém não significativa estatisticamente, para o período de 1976 a 2010.

Apesar de não haver consenso entre os modelos de previsão do clima futuro (Marengo et al., 2023), os resultados da presente pesquisa corroboram com os cenários de projeções do IPCC (2021) quanto ao futuro próximo (2021-2040), indicando aumento de chuva total no Sudeste da América do Sul, com sinais fracos para um aumento de temperatura de 1,5°C e sinais mais fortes para uma projeção de aumento de temperatura de 4°C, especialmente para os modelos CMIP6 e CORDEX (IPCC, 2021) (ver site <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>). Apesar de os modelos de previsão climática para a chuva para o sul da América do Sul não apresentarem concordância entre si, diversos estudos têm apontado para uma tendência de aumento no futuro próximo. Os estudos de Chou et al. (2014) e Teodoro et al. (2021), por exemplo, indicam uma projeção de aumento de chuva no sul da América do Sul e Bacia do Prata, respectivamente, até 2100.

No entanto, só o índice PRCPTOT não é suficiente para a compreensão dos impactos locais das mudanças climáticas globais, já que o valor total anual da precipitação pode estar sendo distribuído de forma variada durante os meses e com eventos sucessivos de secas e enchentes. Por isso, outros índices foram calculados, dentre eles o CDD.

O índice CDD soma o número máximo de dias consecutivos secos em um ano e manifestou tendência positiva significativa em 11 estações em análise, com valores bem expressivos, como em Serranópolis do Iguçu (70,08%), Céu Azul (57,45%) e Santa Helena (56,88%). Esse índice indica que os períodos de estiagem estão aumentando na região oeste e sudoeste do Paraná, em detrimento do aumento do total anual de chuvas. Esse resultado é confirmado pelo estudo de Silva et al. (2015), que identificaram elevação nos períodos secos no sudoeste do Paraná para o período de 1976 a 2010. Costa e Andrade (2021) também observaram aumento dos dias consecutivos secos e diminuição dos dias consecutivos úmidos em Guarapuava. No entanto, projeções do CDD feitas por modelos do IPCC (Marengo et al., 2023) não indicam tendência significativa nos diversos cenários modelados.

Quanto ao CWD, que calcula o máximo de dias consecutivos úmidos, registrou-se, de forma geral, uma redução nos valores desse índice na área de estudos. Ou seja, há menos dias com chuva (acima de 1 mm). Verifica-se que os valores de tendência foram divergentes quanto ao aumento ou diminuição dos dias consecutivos úmidos entre as

estações analisadas: algumas estações apresentaram valores positivos; outras, negativos. No entanto, para os valores significativos, todas as cidades, exceto Rio Bonito do Iguçu, apresentaram tendência de diminuição dos dias consecutivos úmidos.

Ou seja, de acordo com os índices apresentados até agora, verificou-se tendências positivas de precipitação total anual na maior parte das estações, porém diminuição do número de dias chuvosos e aumento dos dias consecutivos secos. Mendonça e Castelhana (2019), ao analisarem os índices extremos em Curitiba, e Marrafon e Reboita (2021), ao estudarem as características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos, encontraram esse mesmo resultado. Os dois estudos apontam tendência de precipitação em maior volume diário, distribuída em menos dias, o que favorece vários desastres, como inundações, erosão, enchentes etc.

Quanto aos índices R10mm e R20mm (número de dias de chuva com valores acima de 10 e 20 mm, respectivamente) ambos apresentaram valores significativos positivos, com maior destaque para o R20mm. Quanto ao R10mm, os valores significativos apresentaram tendência positiva, como, por exemplo, em Barracão com 17,89% de aumento e Nova Santa Rosa com 25,71% de aumento. Para o índice R20mm, pode-se notar que os valores de tendência foram positivos, exceto nas estações de Matelândia, Pato Branco, Santo Antônio do Sudoeste e São Miguel do Iguçu. No entanto, os valores significativos apresentam tendência positiva para a contagem anual de dias com precipitação ≥ 20 mm. Esse resultado corrobora com o apresentado nos índices anteriores, com os valores totais diários de chuva apresentando valores de tendência positiva para o período analisado.

Os índices R95p e R99p apontam a ocorrência de eventos extremos, e apresentaram tendência positiva significativa em 15 e 24 estações meteorológicas, respectivamente. Os valores significativos do índice R95p apontam tendências altas de acontecimentos de eventos extremos, como, por exemplo, na estação de Ramilândia, em que a tendência chegou aos 148,26% e Santo Antônio do Sudoeste, com aumento de 139,70% no total de precipitação dos 5% extremos. O índice R99p foi o índice que mais apresentou valores significativos dentre os analisados, e com porcentagem de tendência muito alta de aumento da frequência dos eventos, como por exemplo, na estação de Ramilândia, em que a tendência atingiu

316,60%, demonstrando que os eventos extremos estão mais presentes na área de estudos, corroborando com os resultados anteriores.

O índice Rx1day, que registra a ocorrência de precipitação máxima mensal de um dia, também apresentou tendência positiva significativa em 25 estações da área de estudo, demonstrando que o valor diário de chuva aumentou no período de registro nas cidades analisadas. Os valores significativos apontam que a precipitação máxima mensal de um dia possui forte tendência, atingindo 69,75% em Diamante do Oeste e 81,53% em Ramilândia. Da mesma forma, o índice Rx2day, que registra a ocorrência de precipitação máxima mensal de dois dias consecutivos, apontou tendência positiva significativa em 20 estações em estudo. Os valores significativos apontam que a precipitação máxima mensal de dois dias consecutivos possui forte tendência, alcançando 59,37% em Ramilândia. O índice Rx5day, que registra a ocorrência de precipitação máxima mensal de cinco dias consecutivos, apresentou tendência positiva significativa em 13 estações meteorológicas. Os valores significativos apontam que a precipitação máxima mensal de cinco dias consecutivos possui forte tendência, atingindo a margem dos 45,03% em Diamante do Oeste.

Por fim, o índice SDII, índice de intensidade de precipitação simples, resultou tendência positiva significativa em 19 estações analisadas. Por exemplo, Santa Helena possui 72,87% de tendência positiva para intensidade de precipitação simples. Esse resultado confirma todos os resultados anteriores: a chuva está mais intensa na área analisada, intercalada com mais dias secos.

Outros pesquisadores verificaram, em maiores escalas de análise, resultados semelhantes. Coppola et al. (2021) identificaram aumento da propensão máxima para ocorrência de eventos extremos de seca e enchentes na bacia do rio da Prata. Zandonadi et al. (2015), analisaram as mudanças nos extremos de precipitação na Bacia do rio Paraná e encontraram um aumento das precipitações intensas na maior parte da área de estudo, assim como o resultado do presente artigo. Essa situação é destacada por Mendonça (2021, p. 9), quando afirma que as chuvas no sul do Brasil “tenderão a uma maior concentração no tempo, intensificando os desastres naturais do tipo inundações, secas, tempestades, etc”, o que irá expandir a condição de tropicalidade no Brasil, resultando em um clima mais quente e úmido.

No entanto, é preciso se perguntar se essa condição de intensificação da variabilidade climática no sul do Brasil pode ser respondida por fenômenos naturais, como o El Niño/La Niña, o que é tema do próximo item.

Influência dos eventos ENOS na precipitação total anual

Apesar de as análises de tendência no tempo e os modelos de previsão de clima futuro indicarem um aumento de chuva total anual, além do aumento da variabilidade natural com registros de mais intensos e frequentes eventos extremos positivos e negativos de chuva, esse artigo se propõe também a estudar se o padrão de tendência de aumento de chuva (PRCPTOT com tendência positiva) pode ser explicado pela variabilidade natural do ENOS, já que esse é o principal modulador das chuvas na área de estudos.

Para esse intuito, foi elaborada a Matriz de Bertin e o índice de padronização da variabilidade da precipitação anual (Figuras 2.a e 2.b, respectivamente). A partir da análise dos resultados foi possível analisar a variabilidade pluviométrica total anual das estações meteorológicas estudadas e definir os anos com seca e chuva mais intensa.

Ao analisar as Figuras 2.a e b, definiu-se os seguintes anos como muito secos: 1977, 1978, 1981, 1985, 1988, 1991, 1999, 2006, e como anos secos: 1980, 1995, 2004, 2007, 2008, 2009, 2018. Comparando com o índice ONI (Oceanic Niño Index, disponível em <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONIv5.php>), identifica-se que em 62,5% dos anos muito secos tiveram a presença muito forte de La Niña, fenômeno que ocorre no Pacífico Equatorial, enquanto 42,85% dos anos secos tiveram a presença de La Niña.

Spinelli et al. (2020) demonstram que os anos de 1999, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2011 e 2012 apresentaram registros de desastres por estiagem no oeste de Santa Catarina. O ano com mais decretos municipais de Estado de Emergência e de Calamidade Pública foi o de 2005, com 126 decretos. Seguido pelo ano 2009 com 89 decretos, e em sequência, os anos de 2002 e 2004 com 88. Ao se comparar estes resultados com a área de estudo, oeste e sudoeste do Paraná, também houve períodos mais secos em 2005, nas cidades de Entre Rios do Oeste, com aproximadamente 40 dias consecutivos sem chuvas, Santa Helena com 35 dias consecutivos sem chuvas e São Miguel do Iguçu com 30 dias consecutivos sem chuvas. Os resultados apresentados pelo MGCTI, apontados

anteriormente, demonstraram os anos de 1977, 1978, 1981, 1985, 1988, 1991, 1999 e 2006 como anos muito secos. Equiparando esses resultados com Spinelli et al. (2020), coincidem os anos de 1999 e 2006 com períodos de forte estiagem nas duas áreas de estudo.

Os anos muito chuvosos foram os de 1983, 1998, 2013, 2014, 2015 e 2016. Exceto 2013 e 2014 (anos neutros), os demais foram anos de El Niños muito fortes.

Essas análises mostram que os fenômenos ENOS definem os anos muito secos e muito chuvosos na área de estudos.

Para se compreender um pouco a questão da tendência indicada pelos índices climáticos analisados na pesquisa, especialmente o PRCPTOT, destaca-se que a série histórica em análise iniciou com um período mais seco, sendo os anos de 1977 e 1978 alguns dos mais secos do período. Ao mesmo tempo, a série termina com uma sequência de anos bem chuvosos, sendo 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017 para quase todas as cidades em análise. Destaca-se que em 2015-2016 foi registrado um El Niño muito forte, que explica a grande quantidade de chuva nesse período.

Ao comparar os respectivos resultados com os resultados de Nery (2005), verifica-se que as médias estão próximas e muitas vezes iguais. Além disso, os anos de 1982/83 e 1997/98 (Figura 2.a) suportaram os maiores valores de anomalia de precipitação pluvial no sudoeste do Paraná nos dois trabalhos, anos em que o fenômeno El Niño estava atuando.

Andriucci et al. (2002), observaram que os anos de 1977 e 1978 apresentaram valores de precipitação muito baixos, em contrapartida, os anos de 1980 e 1983 se destacaram por alta concentração de chuvas na área de estudo. No presente artigo foi possível constatar a mesma variação para os anos de 1977, 1978 e 1983, porém no ano de 1980 não houve registros de altas pluviosidades na maior parte das estações da área de estudo, como pode ser verificado na Figura 2.a e b. Isso pode ser explicado pelo registro de eventos extremos em tais anos, La Niña (1977/78) e El Niño (1983).

Massoquim e Azevedo (2010), demonstram que os anos de 1997 e 1998 foram chuvosos no período em que o El Niño atuou (setembro a abril) na Microrregião de Campo Mourão, enquanto os anos de 1991 a 1994; 1999 e 2006 a 2008 apresentaram chuva abaixo da média, mesmo com a presença de El Niño, pois o fenômeno aconteceu com menor intensidade. Ao se

comparar estes resultados com a área de estudo (Figura 2.a), também se verifica que ocorreu alta precipitação para os anos de 1997 e 1998. Os anos mais secos que coincidiram, foram 1991, 1999 e 2006, os quais apresentaram chuvas abaixo da média na maior parte das estações meteorológicas; 2007 apresentou menos chuvas em 76,67% das estações; e 2008 apresentou chuva abaixo da média em 86,67% das estações em análise.

Em análise da região oeste do Paraná, Ferreira (2017) observou que os anos mais chuvosos e com a presença de El Niño de maior intensidade foram 1982, 1983, 1997, 1998, 2014 e 2015. Em contrapartida, destacou os anos de 1984, 1985, 1988, 1989, 1999, 2007, 2011 e 2012 como mais secos e com maior atuação de La Niña. Equiparando esses resultados com a área de estudo, percebe-se que tanto os anos chuvosos quanto os anos secos coincidem para a região oeste-sudoeste do Paraná da presente pesquisa. Também Marins e Limberger (2021), ao analisarem os eventos extremos de chuva na microrregião de Campo Mourão, concluíram que estes são associados ao fenômeno El Niño.

Ou seja, a precipitação total anual é modulada, em grande parte, pela variabilidade do ENOS. Porém, os índices de detecção de mudanças climáticas indicam uma tendência importante da quantidade de dias sem precipitação, aumento da intensidade diária de chuva e aumento dos eventos extremos. Por isso, é necessária uma análise cuidadosa ao se atribuir esses resultados ao aquecimento global ou mudanças climáticas globais, já que podem ser reflexos da variabilidade natural da área, influenciada pelos eventos ENOS. Porém, para isso, são necessários estudos futuros que associem os índices de extremos climáticos com os índices do ENOS.

Quadro 1. Valores da tendência linear no tempo (%) para as 30 estações em análise para todos os índices ETCCDI utilizados. Os valores significativos para $p < 0,5\%$ estão marcados com um asterisco (*) e negrito.

Estação	PRCPTOT	CDD	CWD	R10mm	R20mm	R95p	R99p	RX1day	RX2day	RX5day	SDII
Barracão	37,26*	23,07	-19,31	17,89*	23,54*	112,09*	302,66*	48,50*	34,76*	18,04	49,20*
Boa Vista da Aparecida	16,24*	35,43*	-34,14*	2,13	14,04	64,25*	161,06*	12,54	23,99	17,46	31,33*
Cascavel	4,26	34,74*	9,82	-4,90	3,49	32,71	169,78*	49,24*	45,46*	28,70*	-5,97
Catanduvás	15,28	-13,77	1,35	1,46	13,14	40,77	119,89*	35,42*	29,74*	32,61*	5,60
Céu Azul	9,00	57,45*	-63,32*	-4,81	2,57	73,27*	281,52*	46,12*	38,91*	29,39*	52,41*
Diamante do Oeste	17,06	-11,81	9,97	1,85	5,91	43,25	209,11*	69,75*	53,00*	45,03*	-12,16
Entre Rios do Oeste	17,25	16,67	12,35	11,16	10,04	45,64	181,49*	39,48*	25,32*	24,16*	14,69*
Espigão Alto do Iguaçu	4,43	-15,57	-11,29	-15,24	0,89	67,68*	173,26*	60,7*	39,65*	21,18	-1,01
Foz do Iguaçu	12,11	-5,23	-1,58	7,69	15,35	37,44	177,38*	29,85*	8,79	-1,58	13,12*
Francisco Beltrão	5,69	4,97	-10,97	3,68	8,03	0,31	-23,23	2,56	-14,37	-19,80	5,18
Maripá	20,07*	19,21	-9,32	14,00	24,59*	19,52	22,98	17,28	-1,35	-4,04	8,18
Matelândia	4,31	39,55*	-7,96	-2,63	-6,04	58,58*	215,04*	30,38*	33,57*	20,54*	12,89*
Mercedes	11,28	18,23	-42,87*	7,01	9,65	57,76*	178,38*	27,12*	7,01	-3,29	29,72*
Missal	29,96*	43,04*	-7,7	12,18	20,13*	100,75*	242,85*	49,16*	44,45*	39,12*	28,35*
Nova Santa Rosa	29,76*	16,87	18,06	25,71*	25,07*	69,68*	142,86*	20,85*	12,24	21,03*	25,63*
Palmas	4,97	34,01*	-6,93	0,35	10,54	21,48	-24,66	6,43	5,13	4,32	20,09*
Palotina	1,39	3,53	9,97	4,30	9,70	0,42	-90,18	-3,88	-10,77	-6,16	-0,00
Pato Branco	-5,40	4,23	13,56	-13,54	-12,12	12,61	64,04	18,20*	-3,00	-12,59	-26,41*
Planalto	8,60	30,73*	-10,64	-1,77	1,31	39,03	141,57*	27,23*	18,47*	-9,35	7,00
Pranchita	14,36	9,29	-6,96	1,90	14,94	45,38*	157,75*	35,43*	30,69*	18,55*	16,36*
Quedas do Iguaçu	3,39	10,07	-19,52	-3,78	4,60	35,30	115,51*	29,58*	34,10*	20,36	9,49
Ramilândia	29,93*	-11,47	-44,82*	1,53	18,86*	148,26*	316,60*	81,53*	59,37*	43,82*	41,73*
Rio Bonito do Iguaçu	27,93*	3,49	27,72*	13,79	16,14	69,03*	191,45*	40,93*	36,97*	29,28*	-6,81
Santa Helena	12,26	56,88*	-55,52*	-2,68	10,53	116,13*	304,39*	49,12*	35,66*	26,35*	72,87*
Santa Lucia	1,65	35,32*	-15,46	-5,62	0,73	36,24	161,67*	22,32*	27,73*	17,45	21,50*
Santo Antônio do Sudoeste	16,07	-22,45	-45,96*	-16,95	-2,37	139,70*	217,94*	55,23*	37,89*	20,04	22,17*
São Miguel do Iguaçu	-1,85	35,95*	-23,05	-9,45	-9,58	30,80	106,77	26,93*	26,77	14,55	19,71*
Serranópolis do Iguaçu	12,42	70,08*	-4,37	-2,58	9,94	81,29*	131,53*	36,14*	32,32*	21,84	11,73
Três Barras do Paraná	1,39	23,21	-25,02	-13,13	4,18	40,60	144,72*	36,06*	38,91*	10,82	23,74*
Vera Cruz do Oeste	26,24*	-5,57	2,47	11,94	17,04*	83,78*	118,61*	43,71*	30,55*	21,78*	19,93*

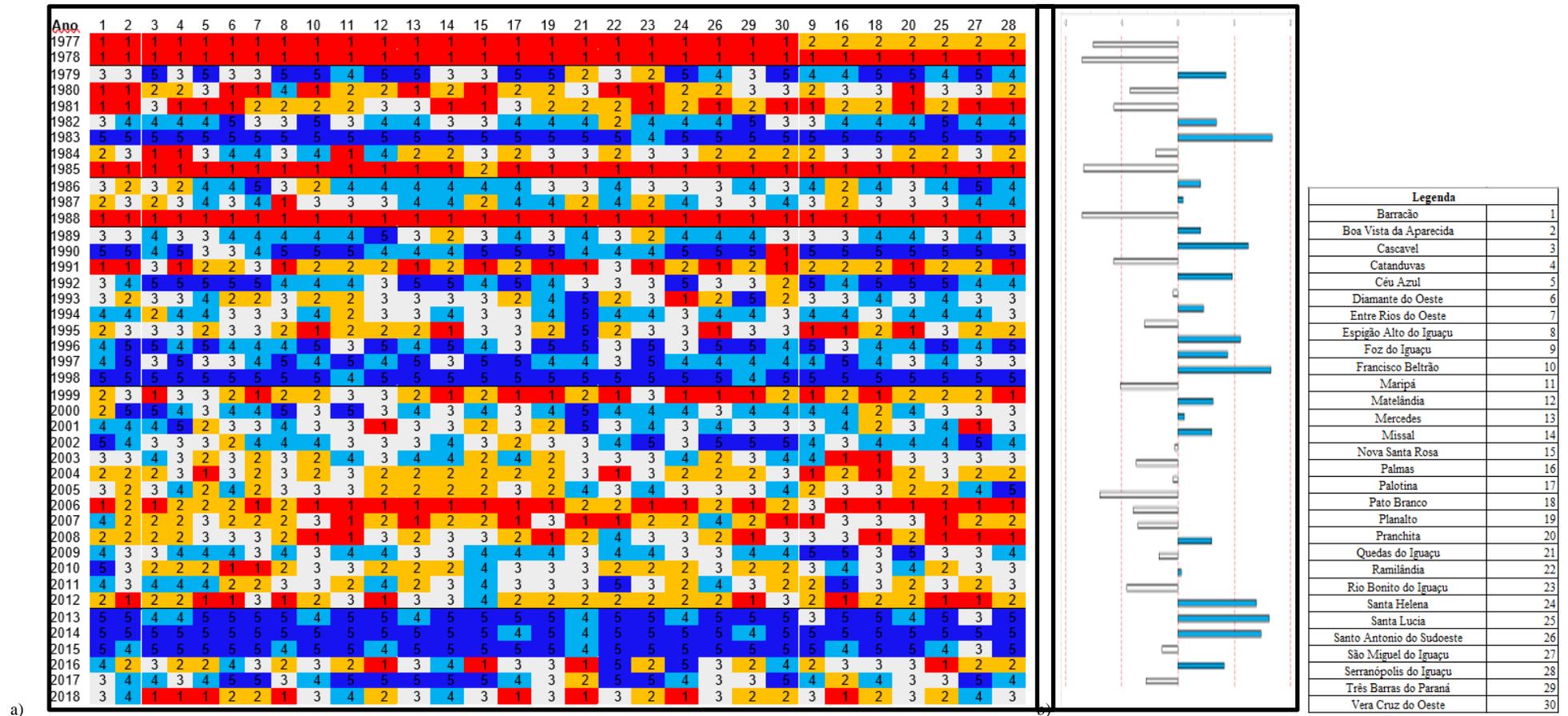


Figura 2. a) Matriz de Bertin - colunas correspondem às estações (conforme legenda ao lado – cada número corresponde a um posto meteorológico); as linhas correspondem aos anos, em ordem cronológica; as células vermelhas (número 1) correspondem aos anos muito secos; as células amarelas (número 2) aos anos secos; as células brancas (número 3) aos anos normais; as células azuis claras (número 4) aos anos chuvosos; as células azuis escuras (número 5) aos anos muito chuvosos. b) Índice de padronização da variabilidade de precipitação anual – barras cinzas: anomalia negativa; barras azuis: anomalia positiva.

Conclusões

Na presente pesquisa analisou-se os dados de precipitação de 30 postos meteorológicos espacializados na região oeste/sudoeste do Paraná. Os dados foram processados utilizando-se os pacotes Rclimdex e RClimpact, disponibilizados pelo ETCCDI. Verificou-se que a utilização desses pacotes é bastante acessível e fácil e que seus resultados podem ser facilmente comparados com outras pesquisas, já que são homogeneizados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Além disso, foi utilizado o Método Gráfico Cronológico de Tratamento da Informação (MGCTI) proposto por Nouaceur, Laignel e Turki (2014), baseado na Matriz de Bertin, para analisar a variabilidade pluviométrica das estações meteorológicas estudadas.

Os índices que mais apresentam resultados de tendência significativa foram os índices CDD, R95p, R99p, Rx1day, Rx2day, Rx5day e SDII, que indicam aumento de chuva total, porém diminuição dos dias chuvosos e aumento dos dias consecutivos secos, acarretando aumento do total diário de chuva. A tendência positiva dos índices R95p e R99p apontam o aumento de eventos extremos na área de estudo, o que ajuda a explicar os motivos para essa chuva diária mais concentrada, dado corroborado pelo índice SDII. Também os dias com chuva maior do que 10 mm e maior do que 20 mm tiveram, no geral, tendência positiva.

As estações meteorológicas apresentaram valores de tendências significativas de forma aleatória, ou seja, algumas apresentaram tendência significativa para certos índices, e outras não. Por isso, sugere-se para trabalhos futuros o mapeamento dos valores de tendência para cada um dos índices na área de estudos, visando a identificação de padrão espacial da manifestação dos índices de detecção de mudanças climáticas.

Por meio da Matriz de Bertin, foi possível analisar a variabilidade pluviométrica das estações meteorológicas estudadas, e definir os anos com seca mais intensa. Sendo assim, os anos definidos como muitos secos foram: 1977, 1978, 1981, 1985, 1988, 1991, 1999, 2006, e como anos secos: 1980, 1995, 2004, 2007, 2008, 2009, 2018. Anos muito chuvosos foram os de 1983, 1998, 2013, 2014, 2015 e 2016.

62,5% dos anos muito secos tiveram a presença intensa do fenômeno La Niña, e 42,85% dos anos secos também tiveram a influência de tal fenômeno. 66,6% dos anos muito chuvosos tiveram presença do fenômeno El Niño. Isso demonstra que

o fenômeno ENOS tem uma grande importância na definição das chuvas na área de estudos.

Portanto, apesar de no cálculo dos índices de mudança climática poder ser verificado que já são sentidos, no âmbito local, efeitos das mudanças climáticas globais no quesito chuva na região oeste/sudoeste do Paraná, esse resultado deve ser tomado com ressalvas, pois verifica-se que a variabilidade natural (fenômeno ENOS) exerce grande influência nas chuvas da área de estudos.

Assim, a hipótese do artigo foi refutada em partes, já que o total anual (PRCPTOT) sofre influências do ENOS: anos chuvosos e muito chuvosos ocorrem predominantemente em períodos de El Niño e anos secos e muitos secos, em períodos de La Niña. No entanto, os outros índices, que mostram a concentração da chuva, apresentam tendências bem significativas, que deixam a hipótese, em parte, confirmada.

Por isso sugere-se que, em estudos futuros, avalie-se a possibilidade de fatores naturais causarem a modulação dos demais índices de mudanças climáticas. Se isso não for confirmado, há a possibilidade de que os eventos extremos registrados sejam causados pelo aquecimento global antropogênico.

Os resultados desse estudo servem como um alerta para os gestores em empresas e governos, para que considerem a intensificação dos eventos extremos no planejamento de ações, bem como, invistam em medidas mitigadoras aos efeitos desses eventos extremos para a população.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica, a CAPES pela bolsa de Mestrado e a UNIOESTE pelo Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental.

Referências

- Ambrizzi, T., 2014. Variabilidade e mudança no clima: passado, presente e futuro, in: Cortese, T.T.P.; Natalini, G. (Org.), *Mudanças Climáticas do global ao local*. Manole, Barueri, pp. 1-38.
- Andriucci, L.R., Sant'anna Neto, J.L., Ferreira, M.E.M.C., 2002. Análise da variabilidade e tendência das chuvas e a descrição da produção agrícola na bacia do Rio Pirapó – PR. *Boletim de Geografia* 20, 41-57.
- Angelo, C., 2022. 21 Recados Fundamentais do Novo Relatório do IPCC. Observatório do Clima [online]. Disponível: <http://oc.eco.br/wp->

- content/uploads/2022/04/IPCC-WG3-resmo-OC.pdf. Acesso: 15 jul. 2022.
- Ashok, K., Behera, S.K., Rao, S.A., Weng, H.Y., Yamagata, T., 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research* [Online] 112. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2006JC003798>. Acesso: 20 fev. 2023.
- Barros, V.R., Doyle, M.E., Camilloni, I.A., 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical and Applied Climatology* [Online] 93 (1-2). Disponível: <https://ui.adsabs.harvard.edu/linkgateway/2008ThApC..93...19B/doi:10.1007/s00704-007-0329-x>. Acesso: 20 fev. 2023.
- Bem Paraná, 2021. Governo alerta para pior seca em 111 anos no Paraná e outros quatro estados. 28 mai. 2021.
- Cai, W., McPhaden, M.J., Grimm, A.M., Rodrigues, R.R., Taschetto, A.S., Garreaud, R.D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H., Marengo, J.A., Alves, L.M., Osman, M., Li, S., Wu, L., Karamperidou, C., Takahashi, K., Vera, C., 2020. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment* [Online] 1. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>. Acesso: 18 fev 2023.
- CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2011. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: Volume Paraná. Florianópolis.
- Chou, S., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Nobre, P., Marengo, J., 2014. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change* [Online] 3. Disponível: 10.4236/ajcc.2014.35039. Acesso: 29 mai. 2023.
- Coelho, C.A.S., De Oliveira, C.P., Ambrizzi, T., Reboita, M.S., Carpenedo, C.B., Campos, J.L.P.S., Tomaziello, A.C.N., Pampuch, L.A., Custódio, M.S., Dutra, L.M.M., da Rocha, R.P., Rehbein, A., 2015. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: Regional scale mechanism and teleconnections. *Climate Dynamics* [Online] 46. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>. Acesso: 24 mai. 2023.
- Coppola, E., Raffaele F., Giorgi F., Giuliani, G., Xuejie, G., Ciarlo, J.M., Sines, T.R., Torres-Alavez, J.A., Das, S., di-Sante, F., Pichelli, E., Glazer, R., Müller, S.K., Omar, S.A., Ashfaq, M., Bukovsky, M., Im, E-S., Jacob, D., Teichmann, C., Remedio, A., Remke, T., Kriegsmann, A., Bülow, K., Weber, T., Buntmeyer, L., Sieck, K., Rechid, D., 2021. Climate hazard indices projections based on CORDEX-CORE, CMIP5 and CMIP6 ensemble. *Climate Dynamics* [Online] 57. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05640-z>. Acesso: 29 mai. 2023.
- Costa, C., Andrade, A.R., 2021. Análise de tendências dos índices de precipitação pluviométrica para Guarapuava-PR. XIV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia [Online]. Disponível: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/78022>. Acesso: 22 out. 2022.
- de Freitas, A.A., Reboita, M.S., Carvalho, V.S.B., Drumond, A., Ferraz, S.E.T., da Silva, B.C., da Rocha, R.P., 2023. Atmospheric and Oceanic Patterns Associated with Extreme Drought Events over the Paraná Hydrographic Region, Brazil. *Climate* [online] 11. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.72944>. Acesso: 23 mai. 2023.
- Dufek, A.S., Ambrizzi, T., 2008. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* [Online] 93. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0348-7>. Acesso: 22 nov. 2022.
- Ely, D.F., Fortin, G., 2019. Trend analysis of extreme thermal indices in south Brazil (1971 to 2014). *Theoretical and Applied Climatology* [Online] 139. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02995-6>. Acesso: 02 out. 2022.
- Ely, D.F. ; Limberger, L. ; Mangili, F.B., Gamero, P., Schmengler, M., 2021. Análise de métodos para o preenchimento de falhas aplicados em séries de dados pluviométricos do estado do Paraná (Brasil). *Revista Ra'e Ga* [Online] 51. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.72944>. Acesso: 24 mai. 2023.
- Ferreira, L.G.B., 2017. Disponibilidade hídrica e produtividade de soja no Oeste do Paraná. Dissertação (Mestrado). Londrina, IAPAR.
- Finke, K., Jiménez-Estevé, B., Taschetto, A.S., Ummenhofer, C.C., Bumke, K., Domeisen,

- D.I.V., 2020. Revisiting remote drivers of the 2014 drought in South-Eastern Brazil. *Climate Dynamics* [Online] 55. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05442-9>. Acesso: 24 mai. 2023.
- Grimm, A.M., 2003. The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. *Journal of Climate* [Online] 16. Disponível: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2). Acesso: 05 out. 2022.
- Grimm, A.M., Ferraz, S. E.T., Gomes, J., 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate* [Online] 16. Disponível: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2). Acesso: 10 out. 2022.
- Grimm, A.M., 2009. Variabilidade Interanual do clima no Brasil, in: Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, N.J., Silva, M.G.A.J., Dias, M. A. F. S. (Org.), *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Texto, São Paulo, pp. 259-275.
- Grimm, A.M., Tedeschi, R.G., 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate* [Online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1>. Acesso: 20 jan. 2023.
- Goudard, G., Limberger, L., Mendonça, F.A., 2022. Variabilité des précipitations au sud du Brésil et son association avec différents types d'El Niño - Oscillation Australe (ENSO). 35ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie [Online]. Disponível: <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2022/aic/resumes/obsmodelgoudard.pdf>. Acesso: 20 fev. 2023.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1994. *Climate change 1994: Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. *Climate change 2007*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. *Global Warming of 1.5°C*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. *Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kayano, M.T., Cerón, W.L., Andreoli, R.V., Souza, R.A.F., Avila-Diaz, A., Zuluaga, C.F., Carvalho, L.M.V., 2022. Does the El Niño-Southern Oscillation Affect the Combined Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation and Pacific Decadal Oscillation on the Precipitation and Surface Air Temperature Variability over South America? *Atmosphere* [Online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/atmos13020231>. Acesso: 08 mai 2023.
- Kogima, K.C., 2018. Anomalias de calor associadas à variabilidade térmica no Estado do Paraná. *Dissertação (Mestrado)*. Londrina, UEL.
- Limberger, L., Ely, D.F., 2019. Régionalisation des précipitations dans l'état du Paraná (Brésil) en lien avec la température de surface de la mer. *Anais XXXII Colloque Internationale de l'Association Internationale de Climatologie*, Thessaloniki, Grécia.
- Lin, J., Qian, T., 2019. A New Picture of the Global Impacts of El Niño-Southern Oscillation. *Scientific Reports* [Online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54090-5>. Acesso: 20 fev. 2023.
- Marengo, J.A. Ambrizzi, T. Reboita, M.S., Costa, M.H., Dereczynski, C., Alves, L.M., Cunha, A.P., 2023. Climate Variability and Change in Tropical South America. In: Dominguez, J.M.L., Kikuchi, R.K.P.d., Filho, M.C.d.A., Schwaborn, R., Vital, H. (eds). *Springer* [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-21329-82>. Acesso: 05 mai. 2023.
- Marengo, J.A., Nobres, C.A., Seluchi, M.E., Cuartas, A., Alves, L.M., Mendiondo, E.M., Obregón, G., Sampaio, G.A., 2015. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP* [Online] 46. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>. Acesso: 05 mai. 2023.
- Marins, J. A. L., Limberger, L., 2021. Variabilidade especial da chuva na Microrregião Geográfica de Campo Mourão (PR) entre 1976-2016. *Geografia em Questão* [Online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.48075/geoq.v14i1.22639>. Acesso: 29 mai. 2023.
- Marrafon, V.H., Reboita, M.S., 2021. Características da precipitação na América do

- Sul reveladas através de índices climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia* [Online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.72181>. Acesso: 28 nov. 2022.
- Massoquim, N.G., Azevedo, T.R., 2010. Interferência de fenômenos climáticos em culturas temporárias na microrregião de Campo Mourão. *Revista GEOMAE* [Online] 1. Disponível: <https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/geomae/article/view/5750/3774>. Acesso: 28 out. 2022.
- McPhaden M.J., Lee, T., McClurg, D., 2011. El Niño and its relationship to changing background conditions in the tropical Pacific Ocean. *Geophysical Research Letters* [Online] 38. Disponível : <https://doi.org/10.1029/2011GL048275>. Acesso: 20 fev. 2023.
- Mendonça, F.A., 2005. Clima, tropicalidade e saúde: uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global. *Revista Brasileira de Climatologia* [Online] 1. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25231>. Acesso: 10 out. 2022.
- Mendonça, F.A., Castelhana, F., 2019. Local climate variability: trend analysis using extreme indices in Curitiba, Brazil. *XXXII Colloque Internationale de l’AIC* [Online]. Thessaloniki – Grécia, pp. 223-228.
- Mendonça, F.A., 2021. Mudanças Climáticas Globais: controvérsias, participação brasileira e desafios à Ciência. *Revista Humboldt* [Online] 1. Disponível: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/humboldt/article/viewFile/57365/36811>. Acesso: 29 mai. 2023.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2023. Carbon Dioxide. Disponível: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>. Acesso: 05 mai. 2023.
- Nery, J. T., 2005. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de climatologia* [Online] 1. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25233>. Acesso: 05 out. 2022.
- Nouaceur, Z., Laignel, B., Turki, I. 2014. Changement climatique en Afrique du nord: vers des conditions plus chaudes et plus humides dans le moyen Atlas marocain et ses marges. In *Anais Colloque de l’Association Internationale de Climatologie*. Dijon, pp. 386-393.
- Paraná Portal, 2020. Paraná registra a pior estiagem do país, e região de Curitiba enfrenta seca extrema. 24 set. 2020.
- Reibota, S.R., Ambrizzi, T. Crespo., N. M., Dutra, L.M.M., Ferreira, G.W.S., Rehbein, A., Drumond, A., da-Rocha, R.P., de-Souza, C.A., 2021. Impacts of teleconnection patterns on South America climate. *The New York Academy of Sciences* [Online] 1504. Disponível: <https://doi.org/10.1111/nyas.14592>. Acesso: 08 mai. 2023.
- Rogerson, P.A., 2012. Métodos Estatísticos Para Geografia: Um Guia Para o Estudante. *Revista Brasileira de Educação Geográfica* [online] 3. Disponível: <https://revistaedugeo.com.br/revistaedugeo/article/view/96/96>. Acesso: 28 mai. 2021.
- Silva, W.L., Dereczynski, C., Chang, M., Freitas, M., Machado, B.J., Tristão, L., Ruggeri, J., 2015. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia* [Online] 30. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130622>. Acesso: 15 out. 2022.
- Spinelli, K., Nascimento, R., Fuentes, M, 2020. Análise climática dos episódios de estiagem que provocaram danos socioeconômicos no oeste catarinense entre 1999 a 2012. *Revista Brasileira de Climatologia* [Online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.61710>. Acesso: 10 jan. 2023.
- Tedeschi, R.G., Cavalcanti, I.F.A., Grimm, A.M., 2012. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *International Journal of Climatology* [Online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.3519>. Acesso: 20 fev. 2023.
- Tedeschi, R.G., Grimm, A.M., Cavalcanti, I.F., 2015. A. Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. *International Journal of Climatology* [Online] 35. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4106>. Acesso: 20 fev. 2023.
- Tedeschi, R. G., Grimm, A. M., Cavalcanti, I. F., 2016. A. Influence of Central and East ENSO on precipitation and its extreme events in South America during austral autumn and winter. *International Journal of Climatology* [Online] 36. Disponível:

<http://dx.doi.org/10.1002/joc.4670>. Acesso: 18 fev. 2023.

Teodoro, T.A., Reboita, M.S., Llopart, M., da-Rocha, R.P., Ashfaq, M., 2021. Climate Change Impacts on the South American Monsoon System and Its Surface–Atmosphere Processes Through RegCM4 CORDEX-CORE Projections. *Earth Syst Environ* [Online] 5.

Disponível: <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00265-y>. Acesso: 29 mai. 2023.

Zandonadi, L., Acquaotta, F., Fratianni, S., Zavattini, J. A., 2015. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). *Theoretical and Applied Climatology* [Online] 123. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-015-1391-4>. Acesso: 20 fev. 2023.