



CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DA INFLUÊNCIA DO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL SOBRE A PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ

*Contribution to studies of the influence of El Niño Southern
Oscillation on rainfall in the Paraná State, Brazil*

*La contribution à l'étude de l'influence El Niño Southern
Oscillation sur la précipitation dans l'État du Paraná, Brésil*

Airton Kist  

Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)
kist@uepg.br

Deyse Márcia Pacheco Gebert  

Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)
dmpgebert@uepg.br

Resumo: A precipitação pluvial é um elemento climático importante do qual depende a produção agrícola, o abastecimento de água e geração de energia hidrelétrica de uma determinada região. Sua variabilidade é uma importante fonte de risco, e parte significativa pode ser explicada pelo fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O objetivo do trabalho foi avaliar e caracterizar a influência do fenômeno ENOS sobre a quantidade e distribuição espacial da precipitação pluvial anual, sazonal, estacional e mensal no estado do Paraná no período de 1974 a 2020. Com dados de precipitação pluvial mensal de 400 estações pluviométricas se elaborou mapas da precipitação média trimestral, sazonal e anual e mapas de desvios em relação à média histórica local e estadual. Em termos de precipitação anual, o sudoeste é a região mais afetada pelo ENOS e o litoral e região metropolitana as regiões menos afetadas. Na estação seca há uma maior influência do ENOS no Estado do que na estação chuvosa, com destaque para a região sudoeste que apresenta as maiores diferenças entre a fase quente e fria. Eventos El Niño, em todas as estações do ano, estão relacionados à maior quantidade de chuvas, principalmente no outono, nas regiões oeste, sudoeste, centro-sul e boa parte da região sudeste. Em janeiro, fevereiro e agosto chove mais nos eventos La Niña, em setembro chove mais em anos Neutros e nos demais 8 meses do ano chove mais em anos sob influência do El Niño.

Palavras-chave: Séries temporais de precipitação. Fenômeno ENOS. Variabilidade climática. Geoestatística. Mapas de precipitação.

Abstract: Rainfall is an important climatic element on which agricultural production, water supply and hydroelectric power generation depend. Its variability is an important source of risk, and a significant part can be explained by the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. The objective of this study was to evaluate and characterize the influence of the ENSO phenomenon on the quantity and spatial distribution of annual, seasonal, quarterly and monthly rainfall in the Paraná state, Brazil from 1974 to 2020. With monthly rainfall data from 400 weather stations, maps of the average quarterly, seasonal and annual precipitation and deviation maps were elaborated in relation to the local and state historical average. In terms of annual rainfall, the southwest is the region most affected by ENSO and the coast and metropolitan region are the least affected regions. In the dry season there is a greater influence of ENSO in the State than in the rainy season, with emphasis on the southwest region that presents the greatest differences between the hot and cold phase. El Niño events, in all seasons of the year, are related to the greater amount of rainfall, especially in autumn, in the west, southwest, center-south and much of the southeast region. El Niño events, in all seasons of the year, are related to the greater amount of rainfall, especially in autumn, in the west, southwest, center-south and much of the southeast region. In January, February and August it rains more in La Niña events, in September it rains more in Neutral years and in the other 8 months of the year it rains more in years under the influence of El Niño.

Keywords: Rainfall time series. ENSO phenomenon. Climate variability. Geostatistics. Rainfall maps.

Résumé: La précipitation pluvial est un élément climatique important dont dépendent la production agricole, l'approvisionnement en eau et la production d'énergie hydroélectrique dans une région donnée. Sa variabilité est une source importante de risque, et une partie importante peut être expliquée par le phénomène El Niño Southern Oscillation (ENSO). L'objectif de ce travail était d'évaluer et de caractériser l'influence du phénomène ENSO sur la quantité et la distribution spatiale des précipitations annuelles, saisonnières et mensuelles dans l'état du Paraná de 1974 à 2020. Avec les données pluviométriques mensuelles de 400 stations pluviométriques des cartes des précipitations moyennes trimestrielles, saisonnières et annuelles et des cartes des écarts par rapport à la moyenne historique locale et nationale ont été préparées. En termes de précipitations annuelles, le sud-ouest est la région la plus touchée par l'ENSO et la côte et la région métropolitaine sont les moins touchées. Pendant la saison sèche, il y a une plus grande influence de l'ENSO dans l'état que pendant la saison des pluies, en mettant l'accent sur la région du sud-ouest qui présente les plus grandes différences entre les phases chaudes et froides. Les événements El Niño, à toutes les saisons de l'année, sont liés à la plus grande quantité de précipitations, en particulier en automne, dans l'ouest, le sud-ouest, le centre-sud et une grande partie de la région sud-est. En janvier, février et août, il pleut davantage lors des événements La Niña, en septembre, il pleut davantage les années neutres et les 8 autres mois de l'année, il pleut davantage les années sous l'influence d'El Niño.

Mots-clés : Séries temporelles de précipitations. Phénomène ENSO. Variabilité climatique. Géostatistique. Cartes des précipitations.

Submetido em: 17/03/2022

Aceito para publicação em: 05/08/2022

Publicado em: 19/08/2022



1. INTRODUÇÃO

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 2020 o estado do Paraná foi o segundo colocado na produção de grãos do Brasil. A produção agrícola, assim como a geração de energia hidrelétrica, tem grande importância econômica para o Estado sendo a precipitação um regulador para ambas (NERY *et al.*, 2005).

Além do conhecimento do regime pluviométrico, do ponto de vista climatológico, é necessário o conhecimento do impacto das variações climáticas sobre a precipitação. Isso permite adequar o planejamento a essas variações e tornar mais eficiente e racional a utilização de recursos hídricos (GRIMM *et al.*, 1998).

A precipitação pluvial é um elemento climático importante do qual depende a produção agrícola de uma determinada região e sua variabilidade é uma importante fonte de risco para a produção agrícola, pois perdas de produtividade estão relacionadas com a falta ou excesso de precipitação. Além disso, o aumento ou a redução da disponibilidade hídrica e a distribuição temporal da vazão nos rios podem afetar o abastecimento de água e geração de energia. Assim, o conhecimento da variabilidade interanual da precipitação pluviométrica é essencial no planejamento da agricultura, geração de energia e abastecimento de água (para o planejamento das atividades produtivas em geral). Esta variável apresenta significativa variabilidade interanual no Paraná, parte da qual é explicada pelo fenômeno chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS) (GRIMM *et al.*, 2000; BARROS; SILVESTRI, 2002; VERA *et al.*, 2004).

O ENOS é um padrão climático recorrente que implica em mudanças na temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial e é caracterizado por anomalias positivas (El Niño) ou negativas (La Niña). Tanto a fase quente (El Niño) como a fria (La Niña) provocam mudanças na circulação atmosférica em escala global e regional gerando anomalias climáticas, sendo a principal fonte de variabilidade climática de curto prazo em escala sazonal e interanual (GRIMM *et al.*, 1998, 2000; MATZENAUER *et al.*, 2017; BERLATO; FONTANA, 2003; FONTANA; BERLATO, 1997) provocando variabilidade pluviométrica em grande parte da superfície terrestre incluindo o Brasil, em especial a região Sul (JOZAMI *et al.*, 2015).

O Índice Oceânico Niño (Oceanic Niño Index – ONI), atualmente utilizado pelo CPC (Climate Prediction Center), é um dos muitos índices que caracterizam o ENOS (NOAA, 2021). Ele é definido pela média móvel trimestral da anomalia de temperatura da superfície do mar

(TSM) para a região do Niño 3.4, por no mínimo, cinco meses consecutivos, onde a anomalia maior que $+0,5^{\circ}\text{C}$ está associado a El Niño e inferior a $-0,5^{\circ}\text{C}$ está associado a La Niña (<http://enos.cptec.inpe.br/>). Entre as duas fases extremas do ciclo ENOS (El Niño e La Niña) existe uma terceira fase denominada Neutra, quando as anomalias médias de TSM estão entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ e $+0,5^{\circ}\text{C}$. (NOAA, 2021).

Diversos autores já analisaram dados de séries de precipitação pluvial do Paraná sob diferentes abordagens. Alguns avaliaram o padrão pluviométrico (GEBERT *et al.*, 2018, NITSCHKE *et al.*, 2019, MELLO; SAMPAIO, 2019) e outros analisaram a influência do ENOS (CALDANA *et al.*, 2019, DE SOUSA *et al.*, 2002, NERY *et al.*, 2005, TEIXEIRA; MARTIN-VIDE, 2013, TERASSI *et al.*, 2018) sobre a precipitação do Estado ou regiões específicas.

Assim como Matzenauer *et al.* (2017) que avaliaram a relação do ENOS com a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial anual, estacional e mensal no estado do Rio Grande do Sul no período 1961 a 2010, o objetivo principal do presente trabalho é caracterizar a influência do fenômeno ENOS sobre a quantidade e distribuição espacial da precipitação pluvial no estado do Paraná no período de 1974 a 2020. Além dos mapas da precipitação média trimestral, sazonal e anual também se elaborou mapas de desvios da precipitação em relação à média para quantificar e caracterizar as regiões do Estado em relação a influência ENOS sobre a precipitação e dessa forma contribuir no estudo desse fenômeno sobre a precipitação no Paraná.

O conhecimento da influência do ENOS sobre a precipitação do Paraná possibilita traçar estratégias para lidar com o risco associado à variabilidade climática causada pelo ENOS e assim minimizar os impactos na agricultura, geração de energia e abastecimento de água. Permitindo assim aos gestores públicos gerenciar e minimizar o impacto econômico e social desse fenômeno recorrente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa pesquisa foram utilizadas séries históricas mensais de precipitação pluvial de 400 estações pluviométricas espalhadas pelo estado do Paraná e o período avaliado foi de 1974 a 2020. As séries de dados foram obtidas no site do Instituto da Água e Terra (<http://www.iat.pr.gov.br/>) do governo do estado do Paraná. Para participar do estudo



realizou-se uma pré-análise de consistência nos dados e foram utilizadas apenas as séries das estações que tinham pelo menos 40 anos de dados no período analisado e um percentual de falhas variando de 0% a 7%. Em média, as séries utilizadas no estudo têm 45 anos de dados, possuem menos de 1,2% de falhas e os dados faltantes não foram preenchidos.

Os valores mensais de precipitação pluvial de todas as estações pluviométricas foram agrupados de acordo com a ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño, La Niña e Neutro), segundo a classificação da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA, 2021). Além disso, os dados ainda foram agrupados de forma trimestral: outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto), primavera (setembro, outubro e novembro) e verão (dezembro, janeiro e fevereiro); sazonal: estação chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro) e anual (agrupamento de 12 meses) (NITSCHKE *et al.*, 2019; NASCIMENTO JÚNIOR *et al.*, 2020; NASCIMENTO JÚNIOR; SANT'ANNA NETO, 2016).

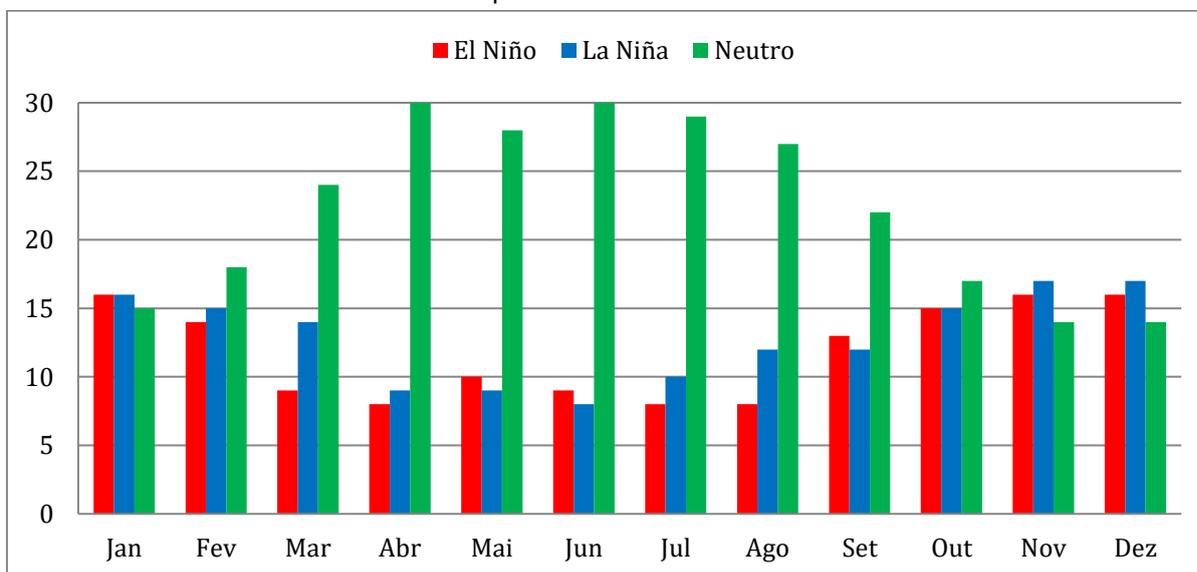
Para a análise e elaboração dos mapas, com os dados agrupados de cada estação pluviométrica, foram calculadas a precipitação média mensal, trimestral, sazonal e anual, além do desvio em relação à média. Os desvios foram calculados levando em consideração as médias de cada agrupamento: anual, sazonal e trimestral. Por exemplo, os desvios anuais foram calculados a partir da diferença entre a média histórica de precipitação de cada estação pluviométrica e a média histórica estadual (com base nas 400 estações) do período em estudo. Também foram determinados os desvios anuais por evento ENOS de cada estação pluviométrica da seguinte forma: primeiro agrupou-se os dados da estação por evento ENOS e calculou-se as médias para o El Niño, La Niña e Neutro e depois calculou-se a diferença de cada uma dessas médias em relação à média histórica anual da mesma estação pluviométrica do período em estudo. Analogamente foram calculados os desvios segundo a classificação seco e chuvoso e para cada estação do ano e sob as fases dos ENOS. Os mapas dos desvios em relação à média servem para mostrar e identificar as regiões do Estado onde chove abaixo ou acima da média além de quantificar esse desvio médio. Assim é possível identificar as regiões do Estado onde o fenômeno ENOS tem maior influência.

Os mapas da caracterização espacial dos dados foram elaborados no software R 4.1.1 (R Core Team, 2021), utilizando o pacote *geoR* (RIBEIRO *et al.*, 2020) por meio de técnicas geoestatísticas, onde o método de interpolação adotado foi a krigagem ordinária (MELLO *et al.*, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão representados o número de ocorrências, durante os meses do ano, de eventos El Niño, La Niña e Neutro no período de 1974 a 2020 (47 anos). Durante esse período ocorreram 29 eventos ENOS (14 eventos quentes e 15 frios) que correspondem a 52,28% dos meses, sendo 25,18% de El Niño e 27,30% de La Niña. Há uma maior prevalência de eventos ENOS de outubro a fevereiro, representando 63,8%, 70,2%, 70,2%, 68,1% e 61,7% dos casos nesses meses, respectivamente, e os meses de março a setembro os eventos ENOS representam 48,9%, 36,2%, 40,4%, 36,2%, 38,3%, 42,6% e 53,2% dos meses, respectivamente, do período avaliado. Ainda, nos meses de janeiro, novembro e dezembro houve mais ocorrência de El Niño e La Niña do que Neutro. Segundo Matzenauer *et al.* (2017) isso se deve ao fato que em geral os eventos ENOS se iniciam na primavera e perdem força no final do verão ou outono.

Figura 1 - Número de ocorrências dos eventos El Niño, La Niña e Neutro durante os meses do ano no período 1974-2020.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

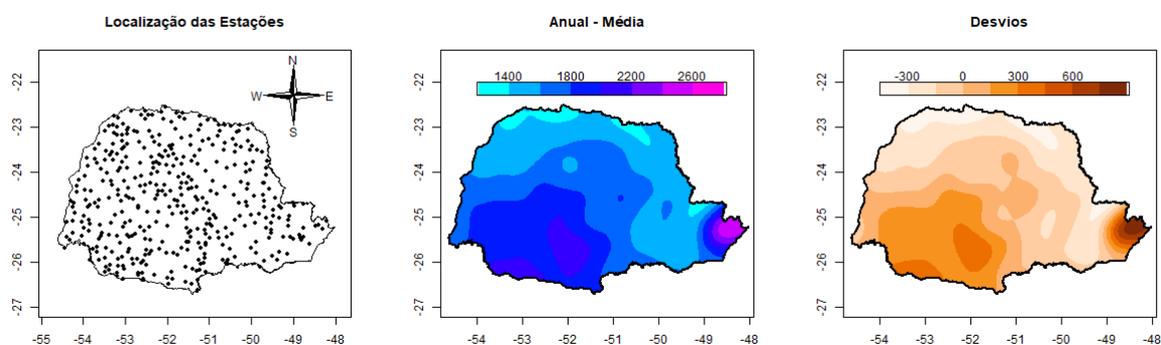
Nesse estudo foram utilizadas séries históricas de precipitação de 400 estações pluviométricas espalhadas pelo estado do Paraná. O primeiro mapa da Figura 2 apresenta a localização dessas estações e pode-se observar que há uma boa distribuição e cobertura por todo o Estado, isso promove uma interpolação de dados mais consistente quando as técnicas geoestatísticas são aplicadas.



Além da localização das estações pluviométricas a Figura 2 apresenta a distribuição espacial da precipitação média anual e o desvio em relação à média anual histórica de precipitação pluvial do Paraná, com base nas 400 estações, do período de 1974 a 2020 (1.713,22 mm). O mapa dos desvios foi elaborado para identificar as regiões do Estado onde choveu abaixo ou acima da média anual histórica estadual no período considerado.

Partes da região litorânea, sudoeste e centro-sul apresentaram as maiores médias anuais de precipitação (acima de 2.000 mm) e com desvios de no mínimo 300 mm acima da média anual do Estado. As regiões mais claras dos mapas, partes das regiões noroeste, norte, centro oriental e metropolitana apresentaram os menores valores de precipitação média anual (abaixo de 1.600 mm), com desvios negativos inferiores a -150 mm, indicando chuvas de no mínimo 150 mm abaixo da média estadual do período analisado. É interessante salientar que esses valores (tanto de médias quanto de desvios) diminuem gradativamente no sentido sudoeste/nordeste e litoral/centro oriental do Estado.

Figura 2 – Distribuição espacial: da localização das estações pluviométricas, da precipitação média anual e do desvio em relação à média anual histórica de precipitação do Paraná do período de 1974 a 2020.



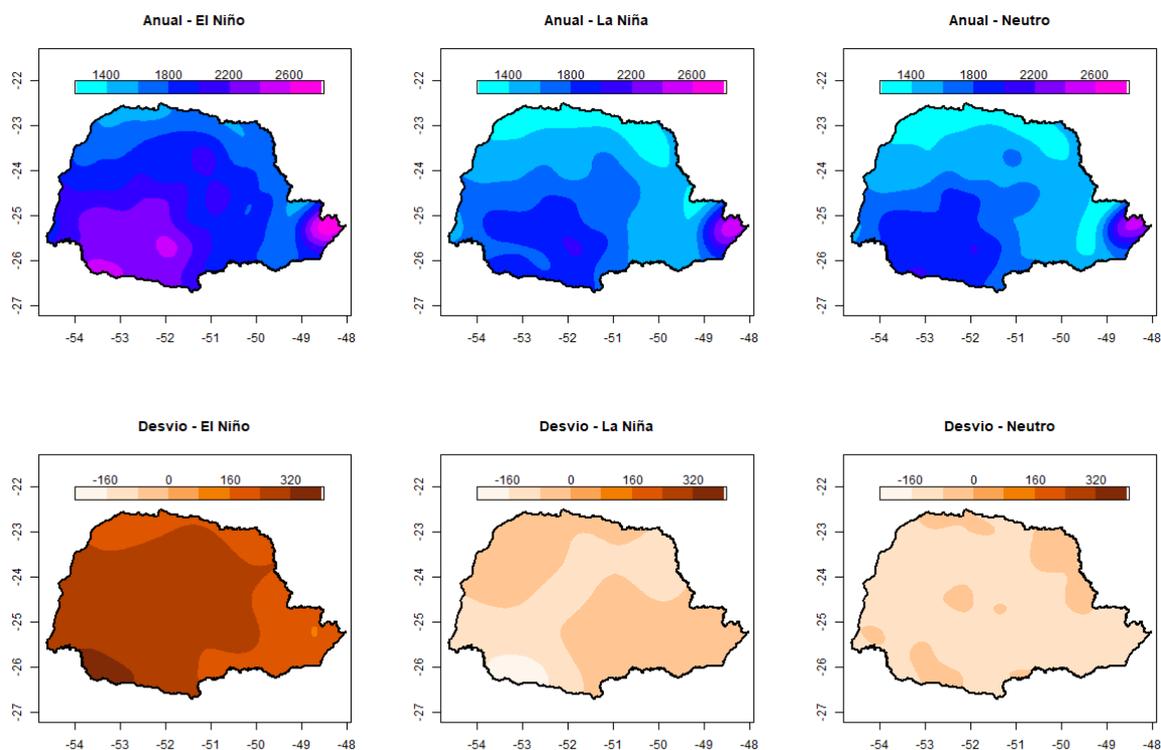
Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Nitsche *et al.* (2019) fizeram um estudo com a apresentação dos mapas da distribuição espacial da precipitação média anual, por estação do ano e mensal do Paraná, do período de 1976 a 2015, com base em 479 estações pluviométricas e meteorológicas. O mapa de precipitação média anual de Nitsche *et al.* (2019) é muito parecido com o mapa da presente pesquisa (Figura 2). A diferença de sete anos (dois no início e cinco no final) no período de abrangência dos estudos aparentemente não trouxe diferenças significativas nas médias anuais.

A partir dos dados de cada estação pluviométrica, agrupados de acordo com as fases do fenômeno ENOS (El Niño, La Niña e Neutro), segundo a classificação da NOAA (NOAA, 2021), também foram gerados mapas de precipitação média anual e de desvios em relação à média histórica de cada estação pluviométrica (Figura 3).

O padrão heterogêneo da distribuição da precipitação seja em escala anual, sazonal ou trimestral (Figuras 2, 3, 5, 6, 7, 8 e 9) tem ligação com a geomorfologia do Estado. A precipitação na região leste é influenciada pela barreira orográfica da Serra do Mar e principalmente devido à grande influência do Atlântico e na região sul está associada às altas altitudes. Tendo o relevo, em seus extremos, estreitas relações com as retenções de massas de ar procedentes do Pacífico Sul, portanto relacionadas diretamente com o ENOS (MELLO; SAMPAIO, 2019, TEIXEIRA; MARTIN-VIDE, 2013).

Figura 3 - Distribuição espacial da precipitação média anual e dos desvios de precipitação em relação à média histórica de cada estação pluviométrica sob efeito El Niño, La Niña e Neutro.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Analisando os mapas da precipitação média da Figura 3 é possível observar que, em média, sob o efeito do El Niño chove bem mais que nos períodos Neutros ou sob efeito do La



Niña. O padrão espacial nos três casos se assemelha com o padrão espacial da média anual sem a separação por eventos ENOS (Figura 2). Independentemente do evento ENOS que ocorre, os maiores valores de chuva são sempre observados no litoral e sudoeste e os menores no noroeste, norte e passando pela região metropolitana. As precipitações pluviais médias no Paraná em anos Neutros são similares às precipitações pluviais médias que ocorrem em anos de La Niña, sendo de 1.617,27 mm, 1.633,32 mm e 1.971,50 mm em anos Neutros, La Niña e El Niño, respectivamente.

Para o efeito intra-anual do fenômeno ENOS no regime pluviométrico do estado do Paraná, em relação aos anos de neutralidade, observou-se um incremento na ordem de 21,90% na precipitação média anual para os anos de eventos El Niño e um acréscimo de menos de 1% em eventos La Niña.

Observando os mapas da Figura 3 referentes aos desvios na fase La Niña e Neutra, em todo o Estado ocorreram chuvas abaixo da média histórica. Sendo abaixo de -80 mm na fase Neutra em praticamente todo o Estado, já sob o efeito de La Niña os desvios tiveram maior variabilidade, ficando abaixo de -160 mm em parte da região sudoeste.

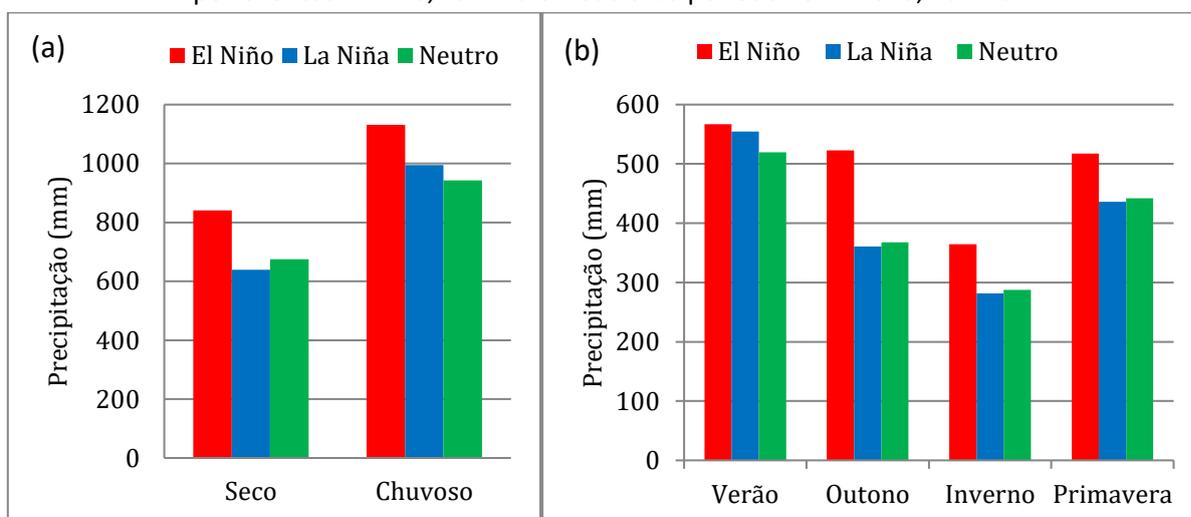
Quando observamos os desvios para o período afetado pelo fenômeno El Niño, todos são positivos, variando de 80 a 400 mm, dependendo do local, com a grande maioria acima de 240 mm, ou seja, com El Niño tem um acréscimo de no mínimo 240 mm/ano acima da média na maior parte do Paraná. Um ponto a destacar é a região sudoeste, na fase El Niño apresenta os maiores desvios positivos e na fase La Niña os maiores desvios negativos, indicando que, em termos de precipitação anual, é a região mais afetada pelo ENOS, seguida da região que vai do sudoeste em direção ao norte pioneiro e atravessa o Estado em diagonal (ver mapa Desvios - La Niña na Figura 3).

Outro ponto a destacar é que em praticamente toda a região metropolitana (que inclui o litoral) e partes do noroeste e norte do Estado, quando afetada pelo El Niño e La Niña, apresentam um desvio menor (em relação a sua média histórica), que os desvios das demais regiões do Estado, ou seja, a precipitação anual dessas regiões se mantém mais próximo da sua média anual, sendo as regiões menos afetadas pelo ENOS em termos de precipitação anual.

As precipitações médias mensais, do período de 1974 a 2020, separadas por eventos ENOS e agrupadas por estações do ano e período seco e chuvoso (NITSCHÉ *et al.*, 2019 e

NASCIMENTO JÚNIOR *et al.*, 2020) estão representadas na Figura 4. No Paraná, período seco e chuvoso (a) e estações do ano (b), em média, chove mais em anos com El Niño, com maior discrepância no outono. Na fase La Niña e Neutra a precipitação média no Estado é muito similar no outono, inverno, primavera e período seco e levemente diferente no período chuvoso e no verão.

Figura 4 - Precipitação pluvial média por período seco e chuvoso (a) e estação do ano (b) separado por eventos El Niño, La Niña e Neutro do período 1974-2020, Paraná.

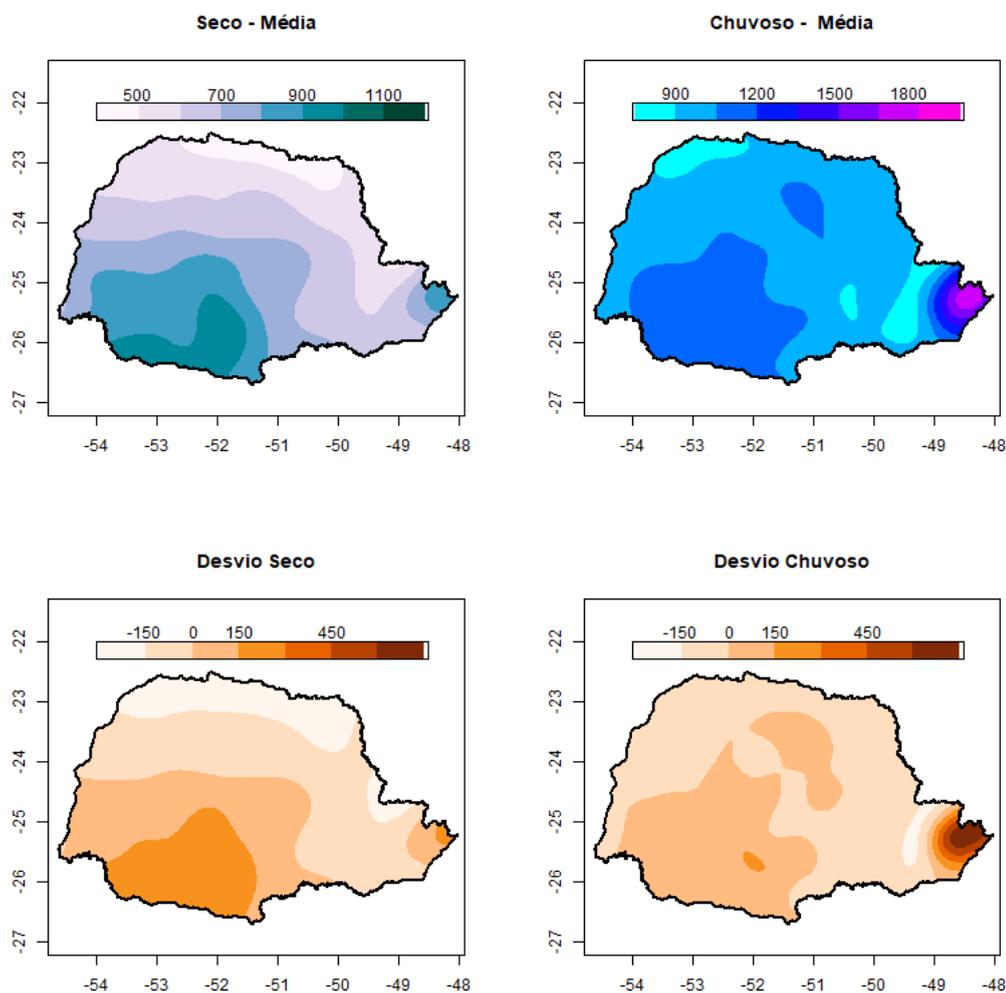


Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Em nenhuma estação do ano ou período sazonal, em média, há uma resposta padrão do ENOS sobre o Paraná, isto é, com precipitação elevada em eventos El Niño, baixa em eventos La Niña e valores intermediários em anos Neutros, com diferenças bem marcantes entre os três eventos (MATZENAUER *et al.*, 2017). O que se percebe é uma diferença relevante nos acumulados médios de precipitação em eventos de El Niño em relação as outras fases nos períodos seco e chuvoso e no outono, inverno e primavera. Porém, quando a análise é feita por estações pluviométricas fica mais evidente a atuação do ENOS em algumas regiões do Estado (Figuras 5 a 9). Isso ocorre devido à grande diversidade morfológica e climática do Estado, principalmente entre o planalto e serra (MELLO; SAMPAIO, 2019). Por isso a importância da abordagem da precipitação por estação meteorológica e não por média estadual.



Figura 5 - Distribuição espacial da precipitação por estação seca e chuvosa e o desvio médio de cada estação pluviométrica em relação à média estadual por estação seca e chuvosa.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

No Paraná, no período seco (abril a setembro) chove em média 699,70 mm enquanto no período chuvoso (outubro a março) chega a 1.013,52 mm em média, um aumento de 44,85% em relação à estação seca. Quando separado por evento El Niño, La Niña e Neutro chove em média na estação seca (chuvosa) 840,52 (1.130,98), 638,95 (994,37) e 675,19 (942,09) mm, respectivamente, representando um incremento de 34,56%, 55,63% e 39,53% da estação seca para a chuvosa. Isso indica que na fase La Niña temos as maiores diferenças de precipitação entre os períodos seco e chuvoso (Figura 4 (a)).

A distribuição espacial da precipitação média do agrupamento dos dados por estação seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março) bem como o desvio médio de cada estação pluviométrica em relação à média estadual por estação seca e chuvosa estão na Figura

5. Na estação seca as maiores precipitações e desvios ocorrem na região sudoeste, seguida das regiões oeste, sul e litoral do Estado e as menores em partes das regiões noroeste, norte, centro oriental e metropolitana. Enquanto no sudoeste chove em média 200 mm acima da média, no noroeste, norte e parte da região metropolitana, chovem mais de 200 mm abaixo da média. A região litorânea é a que apresenta as maiores médias e desvios em relação à média na estação chuvosa seguida da região sudoeste e partes da região oeste, centro sul e sudeste.

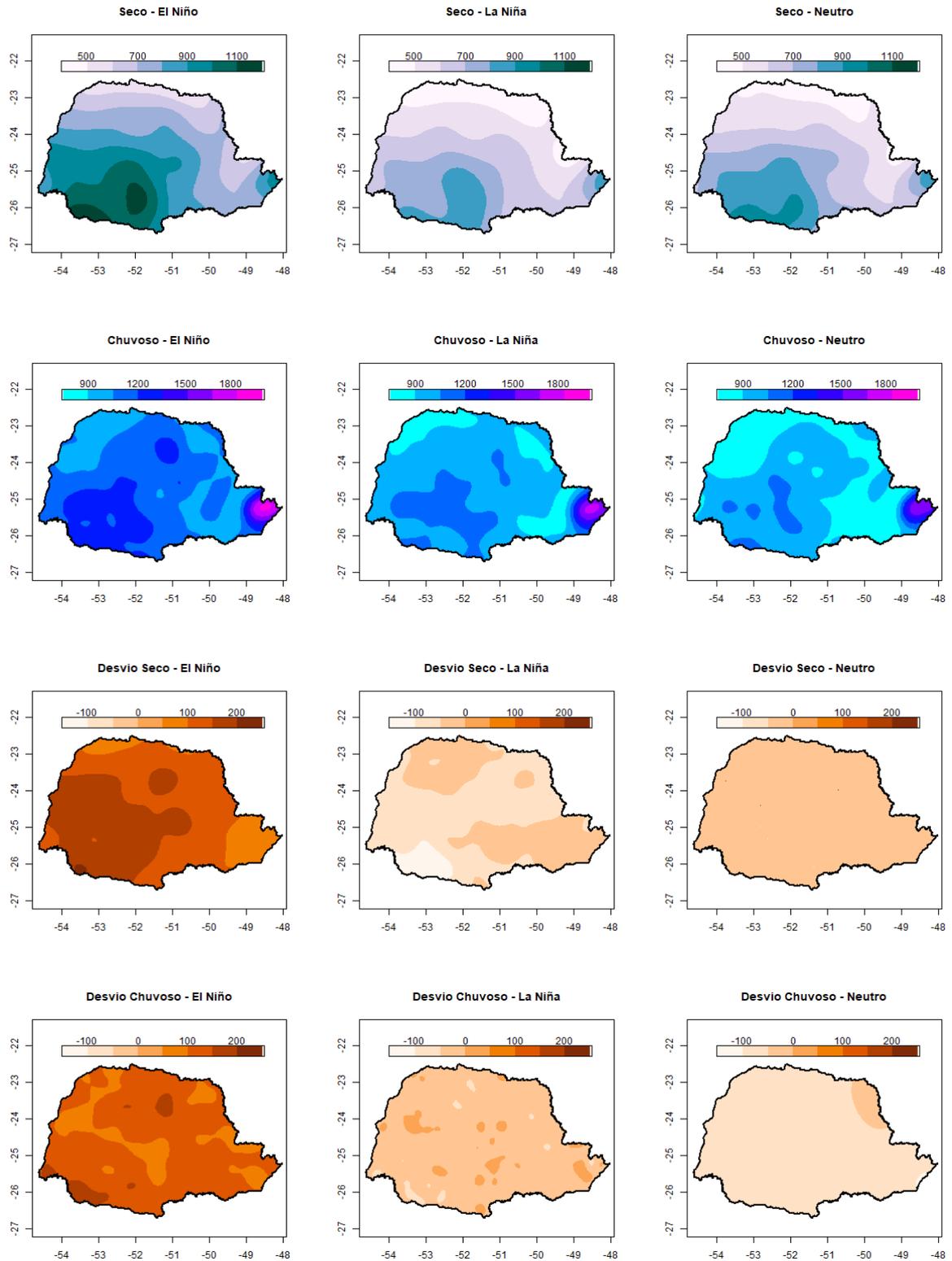
Com os dados da estação seca e chuvosa agrupados por fases do ENOS (Figura 6) é possível perceber que a estação seca em eventos La Niña é a que apresenta as menores precipitações, seguida da fase Neutra, o que corrobora com os resultados da Figura 4 (a). O padrão espacial na estação seca nas fases do ENOS se assemelha muito com o da precipitação média dessa estação sem a separação por evento ENOS, sendo a região sudoeste e parte do litoral as mais chuvosas e à medida que segue para o norte do Estado a precipitação diminui gradativamente, assim como ocorre no mapa da precipitação anual (Figuras 2 e 3).

Ainda na Figura 6, tanto na estação seca como na chuvosa, assim como ocorre na média anual, quando estamos sob efeito do El Niño temos as maiores precipitações. Na estação chuvosa a distribuição espacial da precipitação segue um padrão levemente diferente do período seco, enquanto na estação seca as maiores precipitações ocorrem no sudoeste e litoral a estação chuvosa concentra as maiores precipitações em todas as fases do ENOS no litoral do Estado seguido do sudoeste. Há também uma inversão quanto a fase do ENOS em que ocorre a menor precipitação, isto é, a fase Neutra chove menos que com La Niña (Figuras 4 (a) e 6). Os desvios no El Niño são positivos em todas as regiões do Estado e negativos no La Niña e fase Neutra.

Na estação seca há uma maior influência do ENOS no Estado, isso se evidencia pelo fato de termos os maiores desvios negativos nessa estação na fase La Niña. Novamente a região sudoeste apresenta na fase El Niño os maiores desvios positivos e na fase La Niña os maiores desvios negativos, fato que não se repete na estação chuvosa, mas ainda assim os desvios são negativos na fase La Niña. Isso evidencia a influência do ENOS na precipitação do Estado nas estações seca e chuvosa, com maior atuação na região sudoeste na estação seca.



Figura 6 - Distribuição espacial da precipitação por estação seca e chuvosa e dos desvios em relação à média histórica de cada estação pluviométrica separada por fases do ENOS.

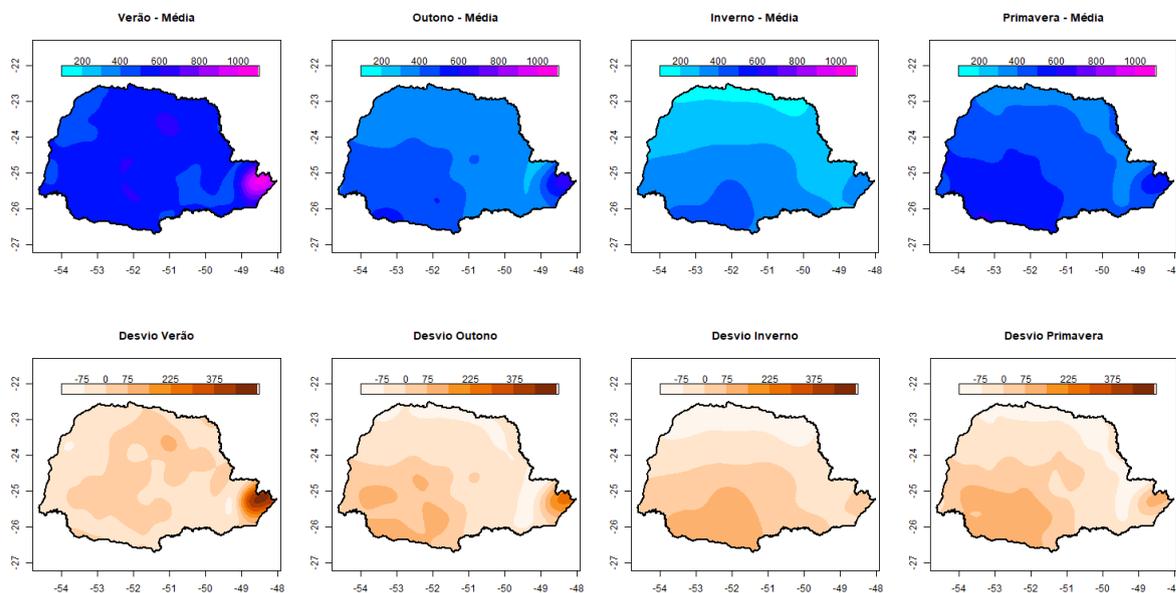


Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

A distribuição espacial da precipitação média de acordo com as estações do ano e o

desvio médio de cada estação pluviométrica em relação à média estadual por estação do ano estão apresentados na Figura 7. No Paraná, em média chove 545,06 mm, 399,04 mm, 301,95 mm e 467,18 mm no verão, outono, inverno e primavera, respectivamente, sendo verão a estação mais chuvosa e inverno a mais seca. No verão a região do litoral é a mais chuvosa e no outono e primavera chove mais no litoral, sudoeste e oeste do Estado e no inverno as maiores precipitações ocorrem no sudoeste, oeste, sudeste e litoral. Nos mapas dos desvios em relação à média histórica por estação do ano além de mostrar em quais regiões do Estado chove abaixo ou acima da média histórica também quantifica esse desvio. No verão, exceto pelo litoral e partes das regiões noroeste e metropolitana, tanto no mapa de precipitação média e desvio, o padrão espacial é um pouco diferente das demais estações do ano, cujos mapas apresentam um padrão de certa forma parecido. Assim como no mapa de precipitação anual, os mapas de precipitação por estação ano do presente estudo também são parecidos com os encontrados em Nitsche *et al.* (2019).

Figura 7 - Distribuição espacial da precipitação média de acordo com as estações do ano e o desvio médio de cada estação pluviométrica em relação à média estadual por estação do ano.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

A Figura 8 apresenta os resultados da distribuição espacial da precipitação média de acordo com as quatro estações do ano agrupados de acordo com as fases do fenômeno ENOS. Pode-se observar que o inverno é a estação mais seca, apresentando as menores médias de



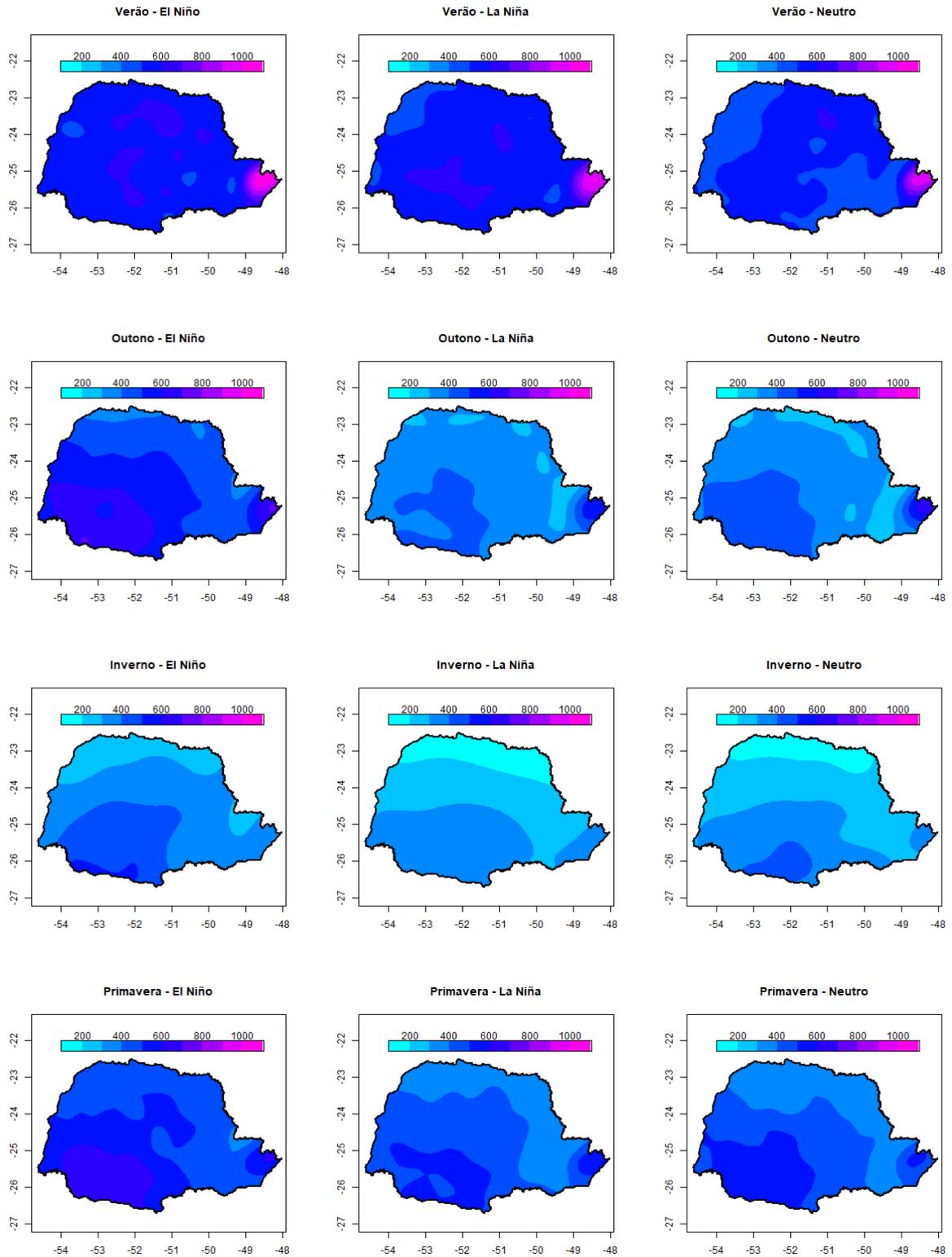
chuva, principalmente nas fases Neutra e La Niña, de no máximo 400 mm. Já os mapas do verão apresentaram as maiores médias, principalmente nas fases fria e quente do ENOS, com médias acima de 400 mm, chegando até aproximadamente 1000 mm. O mapa de verão (Figura 8), sem influência de ENOS (fase Neutra), apresenta as menores precipitações da estação no oeste, noroeste e partes das regiões sudoeste e metropolitana do Estado, resultado que corrobora com os da Figura 4(b) (no verão chove mais com El Niño ou La Niña do que na fase Neutra). Também é interessante observar que no verão, independente da influência do ENOS, o litoral apresenta médias de precipitação com distribuição espacial muito semelhantes.

Durante o inverno, nas fases Neutra e La Niña, a distribuição e médias de precipitação são bem semelhantes. Nestas fases, chove menos de 200 mm na porção mais ao norte do Estado e acima de 300 mm no litoral, sudoeste incluindo partes das regiões oeste e central e entre 200 e 300 mm nas demais regiões do Estado. Já no inverno sob efeito de El Niño a região sudoeste e parte da centro-sul apresentaram médias de até 500 mm, em alguns pontos chegando a superar 600 mm.

Agora observando apenas o efeito do El Niño nas quatro estações do ano (Figura 8) é possível verificar que outonos e primaveras são muito semelhantes, apresentando na região sudoeste, parte do oeste, parte do centro sul e litoral, médias de até 800 mm. Entretanto, nos meses de verão, o litoral e proximidades da serra apresentam as maiores médias e não o sudoeste, chegando a superar os 1.000 mm em alguns pontos.

De uma maneira geral pode-se dizer que o efeito do ENOS no verão é mais fraco, pois a distribuição e médias de precipitação pouco se alteram, quando comparadas ao período Neutro. Durante o outono, o efeito do El Niño fica mais evidente, pois as médias de precipitação aumentam significativamente em quase todo o Estado, já sob efeito de La Niña as médias pouco se alteram, se comparadas ao período Neutro. Já no inverno há pouca influência do ENOS no Estado, tendo pouca diferença entre as três fases. E por fim, para a primavera, que em geral possui médias de precipitação maiores que no inverno e menores que no verão, o efeito de La Niña é quase imperceptível, pois a distribuição e médias de chuva praticamente não se alteram.

Figura 8 - Distribuição espacial da precipitação média de acordo com as estações do ano e influência de eventos ENOS.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).



Os resultados encontrados relacionados aos desvios da precipitação média histórica de cada estação meteorológica, agrupados por estação do ano, estão apresentados na Figura 9. Nesta figura fica evidente que sob efeito do El Niño, em qualquer estação do ano, exceto em alguns locais pontuais no verão, os desvios são sempre positivos, ou seja, em praticamente todo o Estado chove acima da média na fase El Niño, com maior destaque para o outono com desvios acima de 140 mm nas regiões oeste, sudoeste, centro-sul e boa parte da região sudeste. Essas mesmas regiões, quando sob efeito de La Niña, apresentam os maiores desvios negativos, com chuvas de até 99 mm abaixo da média. Isso evidencia que outono é a estação que o ENOS tem maior influência na precipitação no Paraná.

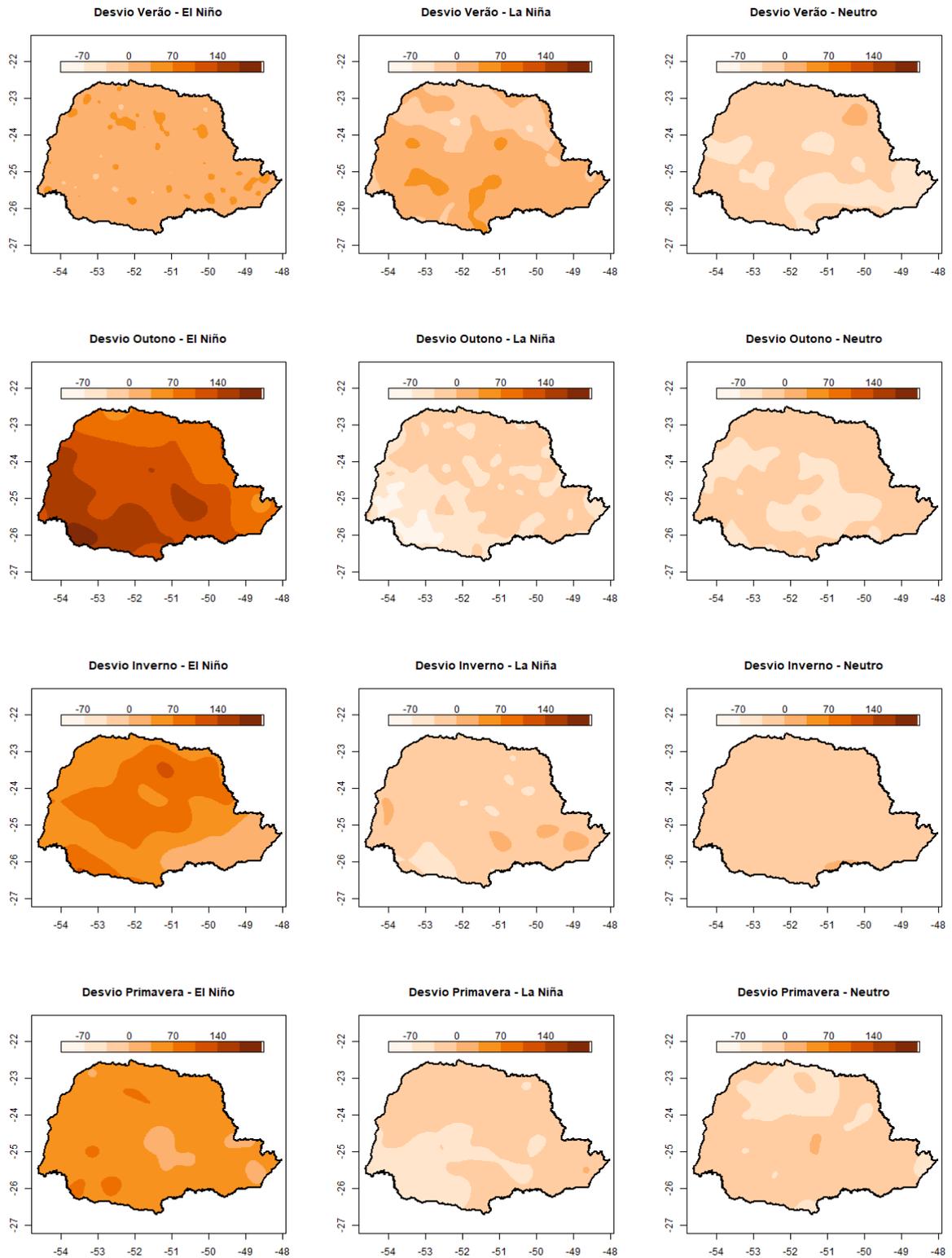
Durante o inverno, os efeitos causados pelo La Niña são mais suaves. Na maior parte do Estado os desvios em relação à média ficaram entre -35 e 0 mm, apenas uma parte da região sudoeste e alguns pontos do centro e norte pioneiro do Estado apresentaram desvios negativos menores que -35 mm, indicando chuvas de no mínimo 35 mm abaixo da média local. Por outro lado, em partes da região metropolitana e sudoeste temos chuvas acima da média local. Já os invernos sob efeito de El Niño apresentaram desvios bem maiores e positivos em quase todo o Estado, desvios entre 35 e 105 mm acima da média, exceto a região metropolitana e parte do sudeste que obtiveram desvio de até 35 mm acima da média local.

Os efeitos sobre a precipitação do Paraná causados pelo La Niña durante a primavera se assemelham ao outono. Já sob efeito de El Niño, a primavera apresenta apenas desvios positivos sendo na faixa de 70 a 105 mm nas regiões norte e metropolitana, entre 105 e 140 em parte do noroeste e praticamente todo centro do Paraná e desvios superiores a 105 mm nas regiões oeste e sul e, portanto, menores do que no outono.

Ainda observando a Figura 9, o verão é a estação do ano em que o ENOS causa os menores desvios, ficando entre -35 e 35 mm na maior parte do Estado, o que é pouco, pois o verão é a estação com as maiores precipitações. Mais especificamente, na fase El Niño temos praticamente em todo o Estado desvios positivos e em contrapartida na fase Neutra, negativa, ficando um misto entre os dois na fase La Niña. O que evidencia pouca ou nenhuma influência do ENOS sobre a precipitação no verão em praticamente todas as regiões do Paraná. O verão apresenta as maiores médias de chuvas, porém quando sob efeito de La Niña e El Niño os desvios não são muito altos, apresentando chuvas bem próximas da média local ou de no

máximo 50 mm, via de regra, os verões são sempre mais chuvosos que as outras estações do ano.

Figura 9 - Distribuição espacial dos desvios em relação à média de precipitação da localidade de acordo com as estações do ano e influência de eventos ENOS.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).



Vale salientar, de uma maneira geral, que os outonos sob efeito de El Niño não apresentaram as maiores médias de chuva do Estado (Figura 4(b)), no entanto apresentaram os maiores desvios positivos, ou seja, é o período que o efeito de El Niño causa as maiores chuvas acima da média histórica local.

A precipitação pluvial média mensal (mm) por eventos El Niño, La Niña e Neutro no período de 1974 a 2020 para o estado do Paraná, com base nos dados das 400 estações analisadas, estão na Figura 10. Percebe-se que, em média, em janeiro, fevereiro e agosto chove mais nos eventos La Niña e apenas em setembro chove mais em anos Neutros. Nos demais 8 meses do ano chove mais sob influência do El Niño.

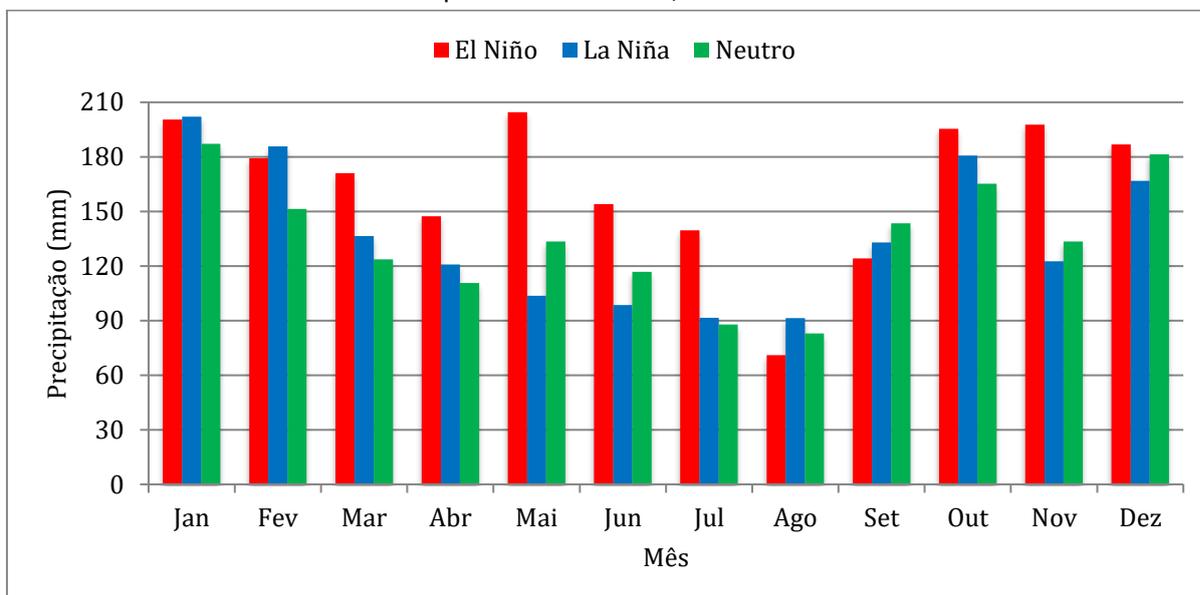
No estudo de Matzenauer *et al.* (2017), que avaliou a precipitação pluvial no Rio Grande do Sul no período de 1961 a 2010, foi observado que em dez meses do ano choveu mais em eventos El Niño, em março choveu mais em eventos La Niña, enquanto em julho choveu mais em anos Neutros. No Paraná em seis meses do ano (janeiro, fevereiro, março, abril, julho e outubro) a precipitação média mensal é menor em eventos Neutros, em outros quatro meses (maio, junho, novembro e dezembro) isso ocorre em eventos La Niña e em agosto e setembro é mais seco em eventos El Niño, resultado que não é observado em nenhum mês por Matzenauer *et al.* (2017) para o Rio Grande do Sul. Enquanto que no Rio Grande do Sul a precipitação média mensal em anos Neutros é inferior que em anos com La Niña em cinco meses do ano (janeiro, março, junho, agosto e setembro), no Paraná isso ocorre em sete meses do ano (janeiro, fevereiro, março, abril, julho, agosto e outubro). Com base nessas análises é possível dizer que o fenômeno ENOS afeta de forma diferente o clima nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, pois os resultados são consideravelmente diferentes.

A precipitação mensal inferior em anos Neutros do que em anos com La Niña em sete meses do ano é uma informação importante e útil, principalmente nos meses de janeiro a abril, pois nesse período as culturas de maior importância econômica para o Estado estão no campo e um déficit hídrico pode afetar o desenvolvimento das plantas. A geração de energia hidrelétrica e o abastecimento de água também podem ser afetados com essa baixa na precipitação em anos Neutros.

Com destaque para maio e novembro, também em junho e dezembro, verifica-se uma resposta padrão do fenômeno ENOS considerando a média mensal estadual, isto é, com

precipitação elevada em eventos El Niño, baixa em eventos La Niña e valores intermediários em anos Neutros.

Figura 10 – Precipitação pluvial média mensal (mm) em eventos El Niño, La Niña e anos Neutros do período 1974-2020, Paraná.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

4. CONCLUSÕES

A maior contribuição desse trabalho aos estudos da influência do El Niño Oscilação Sul na precipitação no estado do Paraná foi em caracterizar sua influência sobre a quantidade e distribuição espacial em termos anual, sazonal e trimestral através de mapas de precipitação e de desvios.

A precipitação pluvial média anual no estado do Paraná com base nas 400 estações, do período de 1974 a 2020, foi de 1.713,22 mm. Com os dados agrupados por El Niño, La Niña e Neutro a média foi de 1.971,50 mm, 1.633,32 mm e 1.617,27 mm, respectivamente, tendo pouca diferença em termos de média anual entre anos Neutros e anos La Niña.

Partes da região litorânea, sudoeste e centro-sul apresentaram as maiores médias anuais de precipitação (acima de 2.000 mm) e com desvios de no mínimo 300 mm acima da média anual do Estado. Partes da região noroeste e norte do Paraná e partes da região centro oriental e metropolitana apresentaram os menores valores de precipitação média anual (abaixo de 1.600 mm), com desvios negativos inferiores a 150 mm, além disso esses valores



(tanto de médias quanto de desvios) diminuem gradativamente no sentido sudoeste/nordeste e litoral/centro oriental do Estado.

Em termos de precipitação anual a região sudoeste é a região mais afetada pelo ENOS, pois apresenta os maiores desvios positivos em relação à média histórica na fase El Niño e os maiores desvios negativos na fase La Niña. Por outro lado, o litoral e região metropolitana são as regiões menos afetadas.

Em nenhuma estação do ano ou período sazonal (seco e chuvoso), em média, há uma resposta padrão do ENOS sobre o Paraná, isto é, com precipitação elevada em eventos El Niño, baixa em eventos La Niña e valores intermediários em anos Neutros. Porém, quando a análise é feita por estações pluviométricas fica mais evidente a atuação do ENOS em algumas regiões do Estado nesses períodos. Na estação seca há uma maior influência do ENOS no Estado do que na estação chuvosa, com destaque para a região sudoeste que apresenta as maiores diferenças entre a fase quente e fria do ENOS.

No Paraná, em média chove 545,06 mm, 399,04 mm, 301,95 mm e 467,18 mm no verão, outono, inverno e primavera, respectivamente, sendo o verão a estação mais chuvosa e o inverno a mais seca. No verão a região do litoral é a mais chuvosa e no outono e primavera chove mais no litoral, sudoeste e oeste do Estado e no inverno as maiores precipitações ocorrem no sudoeste, oeste, sudeste e litoral. Eventos El Niño, em todas as estações do ano, estão relacionados à maior quantidade de chuvas, com maior destaque para o outono nas regiões oeste, sudoeste, centro-sul e boa parte da região sudeste.

Em três meses do ano (janeiro, fevereiro e agosto) chove mais nos eventos La Niña, em setembro chove mais em anos Neutros e nos demais 8 meses do ano chove mais quando estamos sob influência do El Niño. Aparentemente uma resposta padrão do fenômeno ENOS ocorre em quatro meses do ano (maio, junho, novembro e dezembro), com destaque para maio e novembro, isto é, com precipitação elevada em eventos El Niño, baixa em eventos La Niña e valores intermediários em anos Neutros.

REFERÊNCIAS

BARROS, Vicente R.; SILVESTRI, Gabriel E. The relation between sea surface temperature at the subtropical south-central Pacific and precipitation in southeastern South America. **Journal**

of *climate*, v. 15, n. 3, p. 251-267, 2002. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26249147>. Acesso em: 01 dez. 2021.

BERLATO, Moacir A.; FONTANA, Denise Cybis. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**: aplicações de previsões climáticas na agricultura. Editora da UFRGS, 2003, 110 p.

CALDANA, Nathan Felipe da Silva; MARTELÓCIO, Alan Carlos; RUDKE, Anderson Paulo; NITSCHKE, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique. Frequência, intensidade e variabilidade pluviométrica na mesorregião sudoeste Paranaense. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, n.15, p. 161-181, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64516>.

DE SOUZA, Patrícia; NERY, Jonas T.; MARTINS, Maria de L. O. F.; **Análise da Precipitação no Estado do Paraná Associada com o Índice de Oscilação do Pacífico**. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu-PR.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/128.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2021.

GEBERT, Deyse Márcia Pacheco; KIST, Airton; DAS VIRGENS FILHO, Jorim Sousa. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.60406>.

GRIMM, Alice M.; BARROS, Vicente R.; DOYLE, Moira E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2).

GRIMM, Alice M.; FERRAZ, Simone E. T.; GOMES, Júlio. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998. DOI: [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).

JOZAMI, Emiliano; CONSTANZO, Marta B.; CORONEL, Alejandra S. Influencia de “El Niño-Oscilación Sur” sobre las precipitaciones en Paraná y Lucas González (Entre Ríos, Argentina). **Revista de Climatología**, v. 15, p. 85-92, 2015. Disponível em: <http://www.climatol.eu/reclim/reclim15h.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2020.

MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, 2017. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/25510>. Acesso: 18 fev. 2020.

MELLO, José Marcio de; BATISTA, João Luís Ferreira; RIBEIRO JUNIOR, Paulo Justiniano; OLIVEIRA, Marcelo Silva de. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v.69, p. 25-37, 2005. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr69/cap02.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2020.



MELLO, Yara Rúbia de; SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. Análise geoestatística da precipitação média para o estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64468>.

NOAA - Cold & Warm Episodes by Season. Climate Prediction Center. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 08 fev. 2021.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg; SANT'ANNA NETO, João Lima. Contribuição aos estudos da precipitação no estado do Paraná: a oscilação decadal do Pacífico-ODP. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 35, p. 314-343, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v35i0.42048>.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg; RODRIGUES SILVESTRE, Miriam; SANT'ANNA NETO, João Lima. Trends and rainfall tropicalization in Paraná State, south of Brazil. **Atmosfera**, v. 33, n. 1, p. 1-18, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20937/atm.52441>.

NERY, Jonas Teixeira; STIVARI, Sonia Maria Soares; MARTINS, Maria de Lourdes O. F.; SILVA, Eraldo Schunk; SOUSA, Patricia. Estudo da precipitação do estado do Paraná e sua associação à temperatura da superfície do Oceano Pacífico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 161-171, 2005. Disponível em: <http://sbagro.org/files/biblioteca/1460.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

NITSCHKE, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique; RICCE, Wilian da Silva; PINTO, Larissa Fernandes Dias. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. 216 p. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 12 out. 2020.

RIBEIRO JR, Paulo J.; DIGGLE, Peter J.; SCHLATHER, Martin; BIVAND, Roger; RIPLEY, Brian (2020). geoR: Analysis of Geostatistical Data. R package version 1.8-1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=geoR>. Acesso em: 12 out. 2020.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco; GALVANI, Emerson; DE GOIS, Givanildo. Frequência e Intensidade Pluviométrica na Região Norte do Estado do Paraná, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 121-133, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.134610>.

TEIXEIRA, Nivaldo Fernandes; MARTÍN-VIDE, Javier. Influência do ENOS na distribuição das precipitações no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 1, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v12i1.30484>.

VERA, Carolina; SILVESTRI, Gabriel; BARROS, Vicente; CARRIL, Andrea. Differences in El Niño response over the Southern Hemisphere. **Journal of climate**, v. 17, n. 9, p. 1741-1753, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<1741:DIENRO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<1741:DIENRO>2.0.CO;2).