

Artigo

Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na Região Norte do Estado do Paraná Associada aos Eventos de El Niño-Oscilação Sul

Paulo Miguel de Bodas Terassi¹ , José Francisco de Oliveira-Júnior² ,
Givanildo de Góis³ , Emerson Galvani⁴ 

¹*Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.*

²*Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade de Alagoas, AL, Brasil.*

³*Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁴*Departamento de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.*

Received in January 6, 2017 – Accepted in August 9, 2017

Resumo

Este estudo objetivou avaliar a variabilidade da seca com base no índice Standardized Precipitation Index (SPI) em localidades da região Norte do estado do Paraná e a sua relação com o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Utilizaram-se as séries pluviométricas de cinco estações meteorológicas com 40 anos, obtidas junto ao Instituto Agrônomo do Paraná, ao Instituto Nacional de Meteorologia e ao Sistema Meteorológico do Paraná. Destacou-se que os eventos de El Niño e La Niña influenciaram na variabilidade anual das chuvas, entretanto, mostraram associações menos significativas com extremos secos do índice SPI. Com a redução significativa dos totais de chuvas, o período de junho a agosto registrou a maior frequência das categorias de SPI moderadamente seco (18,3%), muito seco (13,0%) e extremamente seco (7,0%). As maiores frequências mensais de seca foram com intensidades, moderada, muito e extremamente seca, foram registrada na estação de Apucarana (83 eventos), seguida pelas estações de Maringá e Paranavaí (68 eventos), e Bela Vista do Paraíso (63 eventos) e Londrina (66 eventos), com as menores ocorrências de eventos de seca. Embora a literatura consultada indique a associação do aumento ou redução dos totais pluviométricos durante a ocorrência dos eventos El Niño e La Niña, as correlções de Kendall, Spearman e Pearson, e os parâmetros estatísticos (índice de concordância, erro padrão da estimativa e Teste t) empregados indicaram predominantemente baixas correlações entre os resultados obtidos de SPI - 1 mês e o ENOS em todas as regiões estudada.

Palavras-chave: seca, riscos climáticos, índice de severidade de seca, parâmetros estatísticos, ENOS.

Standardized Precipitation Index Variability in the Northern Region of Paraná State Associated with the El Niño - Southern Oscillation

Abstract

This study aimed to evaluate drought variability based on Standardized Precipitation Index (SPI) in localities in northern region of Parana State and its relationship with El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Rainfall of five meteorological stations 40 years time series, obtained from Agronomic Institute of Paraná, National Institute of Meteorology and Paraná Meteorological System. It was noted that El Niño and La Niña events influenced annual rainfall variability, however, showed less significant associations with dry extremes of SPI index. With significant reduction of rainfall totals, June to August period registered highest frequency of SPI categories moderately dry (18.3%), very dry (13.0%) and extremely dry (7.0%). The highest monthly drought frequencies were intensified, moderate, very and extremely dry, recorded at Apucarana station (83 events), followed by Maringá and Paranavaí stations (68 events), and Bela Vista do Paraíso (63 events) and Londrina (66 events), with lowest occurrences of drought events. Although, literature consulted indicates as-

sociation between increase or reduction of rainfall totals during El Niño and La Niña events occurrence, Kendall, Spearman and Pearson correlations, and statistical parameters used indicated predominantly low correlations between results obtained from SPI - 1 month and ENSO in all regions studied.

Keywords: drought, climate risks, drought severity index, statistical parameters, ENSO.

1. Introdução

No Brasil, a chuva é um fator importante para os riscos climáticos, dado que a seca ou as enchentes determinam os maiores prejuízos no setor agrícola (Keller Filho *et al.*, 2005) e os períodos prolongados de estiagem comprometem o abastecimento de água e a geração de energia (Lyra *et al.*, 2014; Gois *et al.*, 2015).

Desta forma, a compreensão da variabilidade da chuva é importante para o adequado planejamento e desenvolvimento das atividades industriais, agrícolas e florestais em escala regional (Martin *et al.*, 2008; Oliveira Júnior *et al.*, 2012). Silva *et al.* (2008) destacam que a produção agrícola se mostra vulnerável às variações pluviométricas, mesmo mediante a utilização intensiva da tecnologia, posto que o ritmo da disponibilidade da água ao longo das fases produtivas de cada cultura determina o potencial agrícola de uma região.

A seca agrícola é um período resultante de valores anômalos negativos de chuva, eventos severos de falta de chuva e evaporação excessiva (Blain e Brunini, 2006). Vários índices foram desenvolvidos na literatura para avaliar a seca ao redor do Mundo (Mishra e Singh, 2010). Dentre eles destacam-se o *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) (Palmer, 1965); Índice de Anomalia de Chuva (IAC) (Rooy, 1965); o Índice dos Decis de Gibbs e Maher (1967); e o *Standardized Precipitation Index* (SPI) (McKee *et al.*, 1993), entre outros.

O índice SPI é uma ferramenta capaz de quantificar e monitorar a seca em diferentes escalas de tempo e suas características como a intensidade, magnitude e frequência (Sirdas e Sen, 2003; Blain e Brunini, 2007). Corresponde também a um dos métodos preconizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para caracterizar as anomalias de chuva no Brasil (Gois *et al.*, 2015). Blain (2014) descreve o SPI como um algoritmo matemático desenvolvido para caracterizar e detectar anomalias de precipitação pluvial em relação a uma condição climática esperada. Segundo Zhang *et al.* (2009), os resultados decorrentes da aplicação do índice SPI indica condições de seca ou umidade excessiva e corresponde a uma informação essencial para o gerenciamento de recursos hídricos.

A quantidade e distribuição das chuvas influenciam diretamente o calendário agrícola da região norte do Paraná (RNP), condições que determinam os períodos em que os solos são extensivamente cobertos por culturas ou com maiores exposições do solo. Neste sentido, a aplicação do SPI para esta região torna-se necessário ao monitoramento da frequência e intensidade das secas como um subsídio ao planejamento agrícola (Fernandes *et al.*, 2010).

Historicamente, a região RNP se destaca pela alta fertilidade de sua cobertura pedológica, sobretudo pelos solos férteis da formação Serra Geral, desde o início de sua colonização com a cultura cafeeira, uma das propulsoras deste processo de ocupação regional (Serra *et al.*, 2008).

No entanto, as condicionantes climáticas se mostram como limitantes aos rendimentos agrícolas, sendo que a escolha das culturas e o período de plantio, fundamentais ao planejamento agrícola regional. Portanto, as atividades agrícolas se adequam às variações dos atributos climáticos, com destaque para o regime pluviométrico, considerado um dos principais fatores condicionantes ao rendimento agrícola (Carmello e Sant'Anna Neto, 2016).

Os municípios de Apucarana, Londrina, Maringá e Paranavaí são os mais populosos da região RNP, sendo que Londrina e Maringá se destacam por apresentarem uma população superior a 350.000 e 500.000 habitantes (IBGE, 2016), respectivamente, e se destacam por sua elevada interação econômica regional.

Juntamente com o município de Bela Vista do Paraíso, estes municípios apresentam uma economia regional altamente voltada e dependente do setor primário, com o desenvolvimento intensivo das atividades agropastoris (Nóbrega *et al.*, 2015). Desta forma, a compreensão da severidade da seca na região RNP constitui em subsídio fundamental, pois é uma das áreas agrícolas de aporte econômico para estado do Paraná e o Brasil.

Uma das maiores teleconexões responsáveis pela variabilidade das chuvas em território nacional, o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) corresponde ao modo de variabilidade climática interanual resultante das combinações de anomalia da temperatura de superfície do Mar (TSM) e a pressão atmosférica no Oceano Pacífico Equatorial (Trenberth e Stepaniak, 2001).

Dentre os mecanismos de grande escala da circulação atmosférica, o ENOS influencia de forma significativa na variabilidade anual das chuvas na região Sul do Brasil e, conseqüentemente, na região Norte do Paraná, com o aumento/redução das chuvas em períodos das fases El Niño e La Niña, respectivamente com o aquecimento e resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial (Grimm *et al.*, 1998; Grimm *et al.*, 2000; Nery *et al.*, 2014; Nascimento Júnior e Sant'Anna Neto, 2016).

Entretanto, nenhum outro trabalho avaliou a aplicação do índice SPI para a região em estudo e a sua relação com os períodos úmidos e secos com as fases opostas do ENOS. Por conseguinte, o SPI é considerado como um efetivo indicador da ocorrência de eventos umidade elevada (Seiler *et al.*, 2002) e de seca (Penalba e Rivera, 2015) e a investigação da associação destes extremos com os

ENOS é de alta relevância para diversos setores da economia e sociedade.

Baseado no exposto, este estudo objetivou avaliar a variabilidade da seca com base no índice SPI em cinco estações meteorológicas situadas na região Norte do estado do Paraná no período de 40 anos e a sua relação como o modo de variabilidade climática El Niño-Oscilação Sul.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

A RNP é caracterizada por apresentar um regime pluviométrico com uma transição climática bem definida entre dois grandes domínios climáticos do território brasileiro. O primeiro corresponde ao clima Subtropical do

Brasil Meridional, com uma distribuição homogênea e sem estação seca definida, nos quais dominam os tipos climáticos “Cfa” e “Cfb” (Álvares *et al.*, 2013), segundo a classificação de Köppen (1936). Por sua vez, os setores mais próximos ao Brasil Central apresentam um regime de chuva no período do verão e com estação seca bem definida, com a predominância da tipologia climática “Aw” (Nery, 2006; Fritzsons *et al.*, 2011).

2.2. As séries pluviométricas

Neste estudo foram usadas séries pluviométricas de cinco estações meteorológicas, entre 1976 a 2015 (Fig. 1). A série temporal de 40 anos foi obtida junto ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e no INMET. Excepcionalmente, a partir de 1997 para a estação meteorológica de

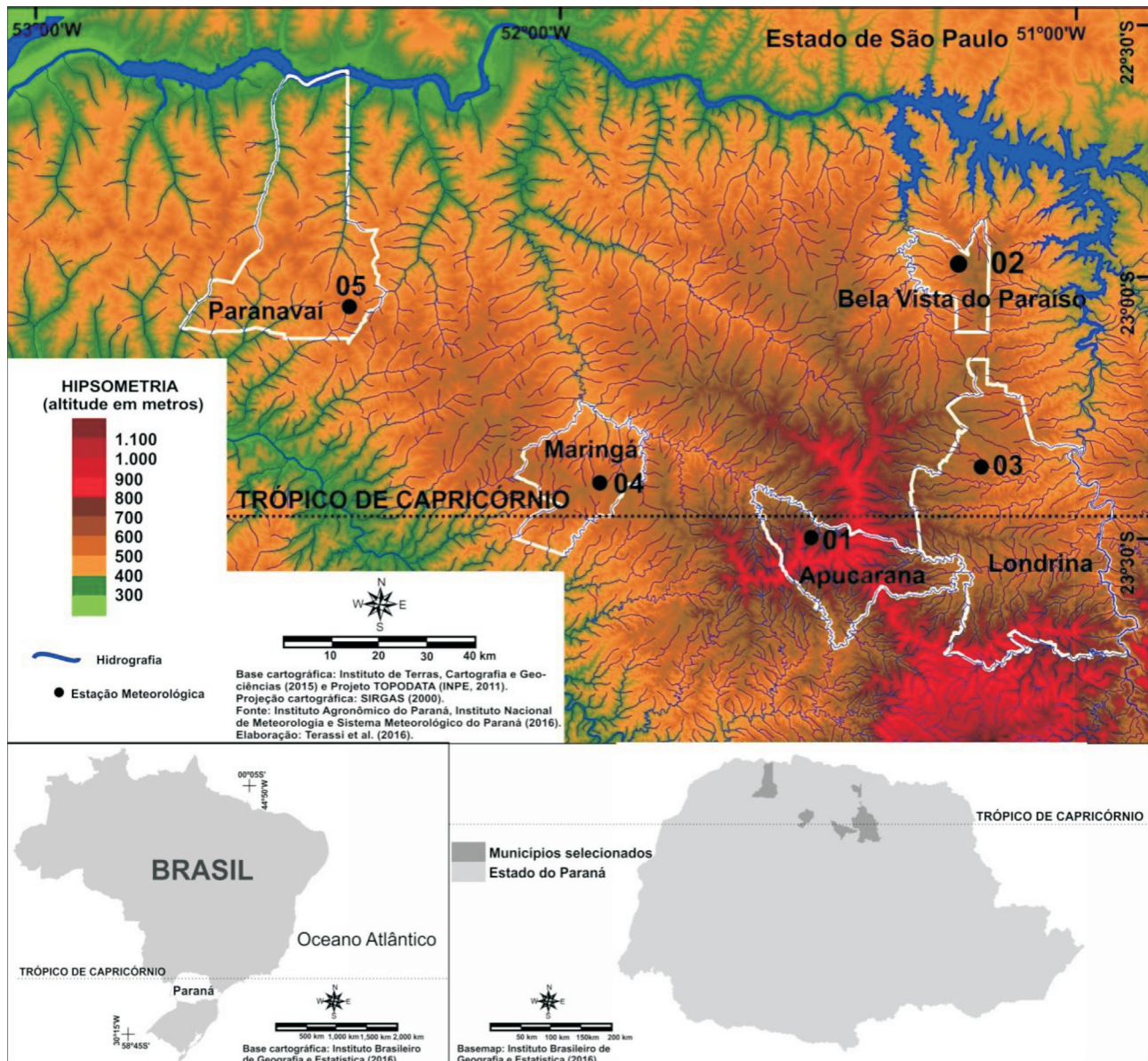


Figura 1 - Localização geográfica das estações meteorológicas selecionadas para este estudo e a sua hipsometria (m).

Apucarana passou a pertencer pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Detalhes das coordenadas geográficas, percentual de falhas da série e valores médios anuais de chuva encontram-se na Tabela 1.

Com base nas séries diárias, foram determinadas as séries mensais de chuva, nas quais foram realizadas a análise de qualidade dos dados (percentual de falhas) e o preenchimento de falhas pelo método de ponderação regional apresentado por Villeda e Mattos (1975).

Esse método tem como base o registro pluviométrico de três postos localizados o mais próximo possível do posto em que se verifica a falta de dados, com a seleção dos postos pluviométricos com características pluviométricas (distribuição mensal e total anual) e altitudes semelhantes (Oliveira *et al.*, 2010).

A precipitação estimada é determinada pela média ponderada do registro das três estações vizinhas, onde os pesos são as razões entre as precipitações normais anuais. Considerando x o posto que apresente a falha e por A, B e C os postos vizinhos, é possível determinar a precipitação (P_x) desse posto x pela média ponderada do registro dos três postos vizinhos, onde os pesos são as razões entre as precipitações anuais normais (Eq. (1)).

$$P_x = \frac{\overline{P_x}}{3} \left(\frac{P_a}{\overline{P_a}} + \frac{P_b}{\overline{P_b}} + \frac{P_c}{\overline{P_c}} \right) \quad (1)$$

em que: x é o posto pluviométrico ou estação meteorológica com dados pluviométricos faltantes; P_x (mm) é a precipitação do mês faltante; $\overline{P_x}$ (mm) é a precipitação média mensal da estação x ; P_a , P_b e P_c são as precipitações mensais reais dos postos pluviométricos selecionados para o preenchimento; e $\overline{P_a}$, $\overline{P_b}$ e $\overline{P_c}$ são as precipitações médias mensais destes mesmos postos.

2.3. Ferramentas estatísticas aplicadas à série temporal

A análise exploratória das séries baseou-se na média, mediana, coeficiente de variação (CV , %), desvio padrão (S , mm), extremos, primeiro e terceiro quartil e *outliers* apresentada na forma de *boxplot*. Todas as análises estatísticas foram feitas no software ambiente R versão 3.3.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

2.4. Cálculo do índice SPI

De acordo com McKee *et al.* (1993) a série histórica é ajustada a uma distribuição de probabilidade gama, no qual é transformada em uma distribuição normal, onde o índice SPI para cada localidade e período desejado tem o valor zero para sua média e variância unitária. A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade (Eq. (2)):

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (2)$$

em que, α = parâmetro de forma (adimensional); β = parâmetro de escala (mm); x = total de chuva (mm); $\Gamma(\alpha)$ = função gama definida pela Eq. (3):

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (3)$$

Os parâmetros e a função de densidade de probabilidade gama foram ajustados para distribuição de frequência dos totais de chuvas das 5 estações. Foram calculados os parâmetros de forma (α) e escala (β), da função de densidade de probabilidade gama estimada para cada uma das estações na escala anual. Segundo, Oliveira-Júnior *et al.* (2012) e Gois *et al.* (2015) o Método da Máxima Verossimilhança (MMV) é o mais indicado para as estimativas dos parâmetros de α e β (Eqs. (4) e (5)):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\hat{X}}{\alpha} \quad (5)$$

em que, A é definido pela Eq. (6):

$$A = \ln(\overline{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(X_i) \quad (6)$$

em que, \overline{X} é a média da chuva (mm), \ln é o logaritmo neperiano, N é número de observações.

Os parâmetros α e β foram calculados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de chuva obser-

Tabela 1 - Identificador (ID), nome e coordenadas geográficas das cinco estações meteorológicas em estudo, com a chuva média anual (mm), desvio padrão (S , mm), coeficiente de variação (CV , %) e falhas de registros (%).

ID	Estações	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Chuva média anual (mm)	S (mm)	CV (%)	Falhas (%)
01	Apucarana	23°30'	51°32'	746	1.639,2	81,08	59,36	< 0,5
02	Bela Vista do Paraíso	22°57'	51°12'	600	1.531,7	76,85	60,21	< 0,5
03	Londrina	23°22'	51°10'	585	1.620,8	81,38	60,25	< 0,5
04	Maringá	23°24'	51°55'	549	1.654,1	82,40	59,78	< 0,5
05	Paranavaí	23°05'	52°26'	480	1.511,2	60,82	76,60	< 0,5

vado para a escala anual. Em que a probabilidade cumulativa (Eqs. (7) e (8)):

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (7)$$

Substituindo o valor de $t = \frac{x}{\beta}$, na Eq. (6) reduz a Eq. (7):

$$F(\beta t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^{\beta t} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (8)$$

A qual é definida como sendo a função gama incompleta considerando que a função gama incompleta não admite valores nulos. A distribuição gama é indefinida para valores de chuva iguais a zero, a probabilidade cumulativa pode ser determinada em duas partes (Eq. (9)):

$$F(x) = P_0 + (1 - P_0)G(x) \quad (9)$$

em que, P_0 é a probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros) e $G(x)$ é a distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados em dias chuvosos. A distribuição de probabilidade cumulativa $F(x)$ é transformada em uma distribuição normal para a variável Z aleatória, com média zero e variância um, onde a variável Z é correspondente ao valor do SPI. Maiores detalhes das probabilidades cumulativas empíricas encontra-se em Oliveira-Júnior *et al.* (2012) e Gois *et al.* (2015). Após o cálculo do SPI, determinou-se para a escala mensal a frequência em número de meses das categorias descritas pelos intervalos deste índice (Tabela 2), conforme os parâmetros estabelecidos por McKee *et al.* (1993).

As informações de ocorrência do ENOS foram obtidas na base de dados da National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center - NOAA/CPC (NOAA, 2015). Na Tabela 3, encontram-se os anos de El Niño, La Niña e Neutro de 1976 a 2016, classificados como quente (vermelho) e frio (azul) com base em um limite de $\pm 0,5$ °C da temperatura da superfície do mar (TSM) do Pacífico Equatorial na região El Niño 3.4.

Após o cálculo do SPI, foram separadas as respectivas categorias conforme a Tabela 2. Os eventos de ENOS foram relacionados com as categorias do SPI-1 mês por

meio de uma matriz de interação. Os eventos de ENOS foram classificados da seguinte forma: i) El Niño Forte $3,1,70$; ii) $0,90 >$ El Niño Moderado $> 1,69$; iii) $0,50 >$ El Niño Fraco $> 0,89$; $0,49 >$ Neutro $> -0,49$; $-0,49 >$ La Niña Fraca $> -1,49$; $-1,49 >$ La Niña Moderada $> -1,69$; La Niña Forte $\leq -1,70$.

A matriz de interação foi avaliada com base nos coeficientes (Kendall - τ , Spearman - ρ e Pearson - r) e R^2 , seguido do índice de concordância de Willmott (d), Erro Padrão da Estimativa (EPE) e teste t-Student. Segundo Lira (2004), o coeficiente τ é uma medida de correlação utilizada para dados ordinais, similar ao coeficiente ρ . Ambas as variáveis devem ser medidas no mínimo em nível ordinal, de forma que seja possível atribuir postos a cada uma das variáveis. Ou seja, se duas variáveis podem ser consideradas estatisticamente dependentes, o coeficiente τ deve estar no intervalo de $-1 \leq \tau \leq 1$, sendo definido pela Eq. (10):

$$\tau = \frac{(Q_y - Q_x)}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad (10)$$

em que τ é o coeficiente de correlação de Kendall; Q_y é a quantidade de pares concordantes, Q_x é a quantidade de pares discordantes, n é o número de elementos aos quais se atribuíram postos em x e y .

Segundo Lira (2004), o coeficiente de Spearman, dado pela Eq. (11), é uma medida de correlação não-paramétrica. Seu estimador foi derivado a partir do estimador do coeficiente de correlação linear de Pearson (Siegel, 1975).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (11)$$

em que ρ é o coeficiente de correlação de Spearman; d_i é a diferença entre as ordenações; n é o número de pares ordenações.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas, sendo dado pela Eq. (12). É um índice adimensional com valores situados ente $-1 \leq r \leq 1$ inclusive, que mostra a

Tabela 2 - Classificação dos períodos secos e úmidos do SPI, segundo McKee *et al.* (1993), e escala de classificação dos ENOS.

SPI	Categorias	ENOS	Categorias
$\geq 2,00$	Extremamente úmido	$\geq 1,70$	El Niño Forte
1,50 a 1,99	Muito úmido	0,90 a 1,69	El Niño Moderado
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido	0,50 a 0,89	El Niño Fraco
0,99 a -0,99	Próximo ao normal	0,49 a -0,49	Neutro
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco	-0,49 a -1,49	La Niña Fraca
-1,50 a -1,99	Muito seco	-1,49 a -1,69	La Niña Moderada
$\leq -2,00$	Extremamente seco	$\leq -1,70$	La Niña Forte

Tabela 3 - Anos e meses de ocorrência do ENOS (El Niño em vermelho, La Niña em azul, e Neutro em preto) entre 1976-2015.

ENOS	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1976	-1,5	-1,1	-0,7	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8
1977	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8
1978	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0
1979	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0	0,1	0,1	0
1981	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0
1982	0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	1,9	2,1	2,1
1983	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,7	0,3	0	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3
1986	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,4	0,7	0,9	1,0	1,1
1987	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6	1,4	1,2	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,4	-1,7	-1,8
1989	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,5	0,2	0	-0,1	-0,1	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	1,0
1995	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-0,9
1996	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,6	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3	2,3
1998	2,1	1,8	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,7	-1,0	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4
1999	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6
2000	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3
2002	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	1,1
2003	0,9	0,7	0,4	0	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
2004	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7
2005	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,2	0	-0,1	0	-0,2	-0,5	-0,7
2006	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9
2007	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,3
2008	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3
2010	1,3	1,2	0,9	0,5	0,0	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4
2011	-1,3	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-0,9
2012	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2014	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,4	0,5	0,6
2015	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3

Fonte: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados.

$$r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

em que $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ e $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ são valores medidos em ambas as variáveis; \bar{x} e \bar{y} são médias aritméticas de ambas as variáveis.

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

em que R^2 é o coeficiente de determinação; n é o número de observações; y_i é o valor observado; \bar{y} é a média dos valores observados.

O índice d de Willmott *et al.* (1981) varia entre 0 a 1, sendo a precisão maior quanto mais próximo de 1 e menor precisão quando próximo a 0. O índice d é definido pela Eq. (14):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|E_i - O_i|)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (14)$$

O EPE é a medida do desvio médio entre os valores do ENOS e os valores estimados SPI_1. O EPE mostra a extensão do erro entre os valores obtidos das estimativas e os valores fornecidos pela amostra.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n-2}} \quad (15)$$

em que, n é número de observação; O_i é o valor i -ésimo dados de ENOS observados; E_i é o valor i -ésimo dos dados de SPI_1 estimados.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n_1 + n_2}}} \quad (16)$$

em que \bar{x}_1 e \bar{x}_2 são as médias das amostras, S_1 e S_2 são os desvio padrões amostrais, n_1 e n_2 são os número de observações, segue uma distribuição t de Student com $(n - 1)$ graus de liberdade.

Para o presente estudo foi formulada as seguintes hipóteses: i) nula (H_0 : Não há diferença entre as médias do SPI_1 e ENOS) e alternativa (H_1 : Há diferença entre as médias do SPI_1 e ENOS) de que as médias do SPI_1 e ENOS são iguais e diferentes, para o teste t de Student, ou seja:

$$H_0: \mu_{SPI} = \mu_{ENOS} \quad (17)$$

para p -valor > 0.05 (Significativo).

$$H_1: \mu_{SPI} \neq \mu_{ENOS} \quad (18)$$

para p -valor < 0.05 (Não-Significativo).

3. Resultados e Discussão

As estações de Apucarana, Maringá e Londrina apresentaram os maiores totais pluviométricos anuais (> 1600 mm), sobretudo, por localizarem-se nas altitudes

acima de 500 m na região RPN (Fig. 1), condição que permitem a maior interação entre a orografia e os sistemas meteorológicos responsáveis pela geração das chuvas, segundo Silva *et al.* (2006) e Terassi *et al.* (2016). A estação de Bela Vista do Paraíso e Paranavaí obtiveram as menores médias pluviométricas anuais, (< 1600 mm) (Fig. 2), principalmente, pela redução significativa de chuvas no período de junho a agosto.

Nas estações meteorológicas de Bela Vista do Paraíso ($1531,7 \pm 76,85$), Londrina ($1620,8 \pm 81,38$) e Paranavaí ($1511,2 \pm 60,82$) a chuva apresentou maior variabilidade anual do que ($CV > 60\%$) as estações Apucarana ($1639,2 \pm 81,08$) e Maringá ($1654,1 \pm 82,40$) ($CV < 59\%$). De um modo geral, as estações mostram uma alta dispersão e heterogeneidade das chuvas anuais que na região RNP.

Comparando-se a variabilidade anual das chuvas com a ocorrência dos ENOS, observou-se que os eventos de maior intensidade influenciaram o aumento ou a diminuição dos totais anuais de chuva. Os anos de 1985 e 1988 mostraram de forma clara a atuação intensa da La Niña (Grimm, 2003; NOAA, 2015) para a redução das chuvas na região, com uma chuva média inferior a 1200 mm para região RNP. Por sua vez, as maiores alterações em relação às médias anuais de chuva, foram os anos de 1983, 1997, 2009 e 2015 registraram média superior a 1900 mm, sendo predominantemente influenciado pelo El Niño, conforme Grimm *et al.* (2000), Nery *et al.* (2005) e Nery e Carfan (2014) observaram para a região Sul do Brasil.

O índice SPI foi aplicado aos registros anuais de pluviosidade e comparado aos eventos de ENOS. Observou-se a classificação próximo ao normal para os anos de 1979 e 1980, de 1983 a 1987, 1989 a 1994 e de 2003 a 2011, nos quais houve tanto a atuação dos eventos de El Niño quanto La Niña, que não demonstraram alteração significativa para o SPI anual. Os eventos de La Niña dos anos de 1988, 1995, 1996, 1999 e 2000 obtiveram intensidade entre moderada e extremamente seca do índice SPI para a RNP, enquanto que os anos de 1997 e 1998, mesmo sob as condições de El Niño, apresentaram seca moderada devido à distribuição irregular das chuvas durante a ocorrência deste evento. Os períodos de 1981 a 1982 e de 2012 a 2015 mostraram episódios moderadamente úmido do SPI, com o predomínio da neutralidade dos ENOS, a exceção foram os El Niño que ocorreram nos anos de 1982 e 2015 (Fig. 3).

A quantidade de anos com alteração dos totais de pluviosidade sob a ação do El Niño foi superior àqueles influenciados pela La Niña, concordante com o preconizado por Nery *et al.* (2005) para o estado do Paraná, uma vez que estes autores descrevem que a fase positiva (El Niño) demonstrou uma maior influência nas alterações positivas dos totais de chuva.

Entretanto, mostra-se que as alterações dos totais anuais pluviométricos não implicaram necessariamente na obtenção de SPI diretamente relacionado a estas variações. Observa-se que estes resultados são contrários aos obtidos

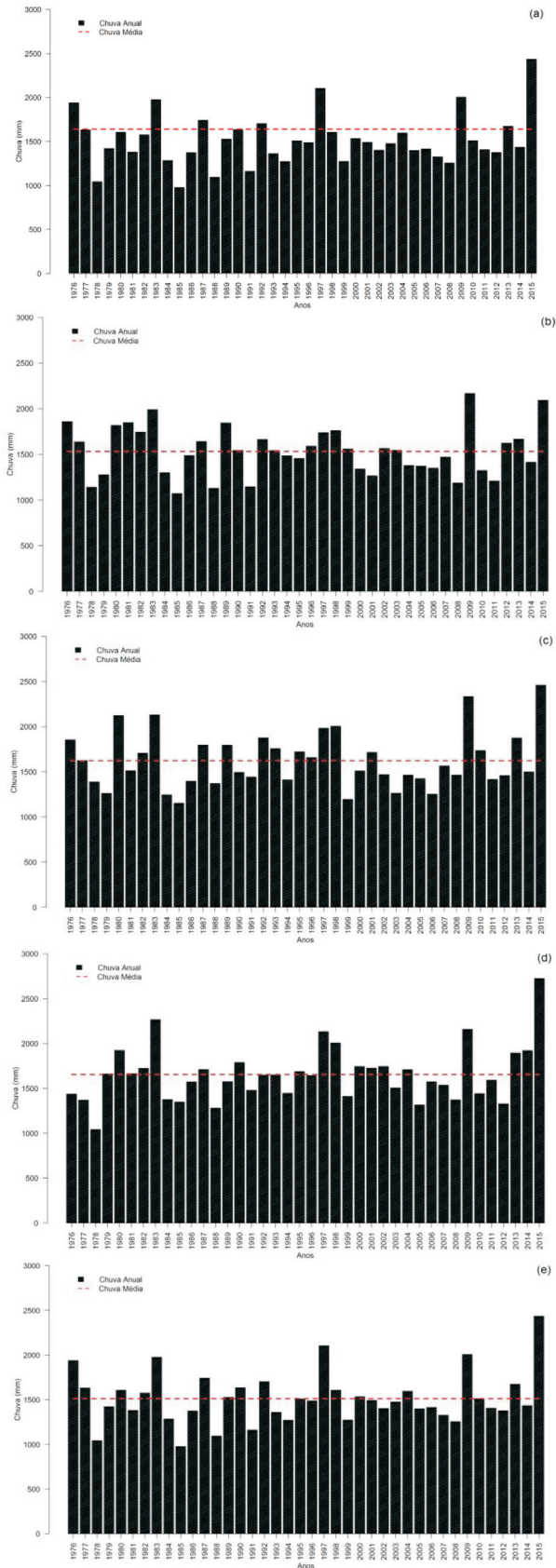


Figura 2 - Distribuição pluviométrica anual e a média (mm) das estações: (a) Apucarana, (b) Bela Vista do Paraíso, (c) Londrina, (d) Maringá e (e) Paranavai, no período de 1976-2015.



Figura 3 - Distribuição anual do índice Standardized Precipitation Index (SPI) das estações meteorológicas (Apucarana, Bela Vista do Paraíso, Londrina, Maringá e Paranavai) no período de 1976 a 2015.

por Penalba e Rivera (2015) para o sul da América do Sul, uma vez que estes autores obtiveram a ocorrência de valores negativos/positivos de SPI para o período de La Niña/El Niño.

Os resultados demonstraram que a região RNP apresenta as maiores taxas de chuva no período entre setembro a março, superior a 70% dos totais de chuva. Esta região paranaense caracteriza-se pela transição climática do domínio do clima subtropical do Brasil Meridional para o clima

Tropical do Brasil Central, segundo estudos anteriores (Silva *et al.*, 2006; Fritzsos *et al.*, 2011), com uma tendência significativa de redução das chuvas no inverno, principalmente para a estação de Bela Vista do Paraíso, com maior proximidade com o clima Tropical, mostrando os maiores valores do extremo superior de chuva para os meses de janeiro e dezembro. Mais próxima em relação ao Trópico de Capricórnio, a estação meteorológica de Apucarana mostrou as menores diferenças entre os totais pluviométricos entre os meses mais chuvosos e mais secos, o que se assemelha com o clima subtropical da região Sul do Brasil (Fig. 4).

As maiores diferenças dos resultados pluviométricos ocorreram nos meses de setembro a março, visto que ocorrem maior umidade e aumento da temperatura do continente durante esta época do ano, que por sua vez possibilita a maior ocorrência de chuvas convectivas (Baldo, 2006; Silva *et al.*, 2006). Inversamente, as menores discrepâncias entre as estações estão nos meses de inverno, de abril a agosto, principalmente pela atuação dos sistemas atmosféricos extratropicais (sistemas frontais), conforme indicam Nery (2006) e Zandonadi *et al.* (2015) (Fig. 4).

Segundo Grimm (2004) e Nery *et al.* (2005), a redução dos totais mensais de chuva durante a ocorrência dos

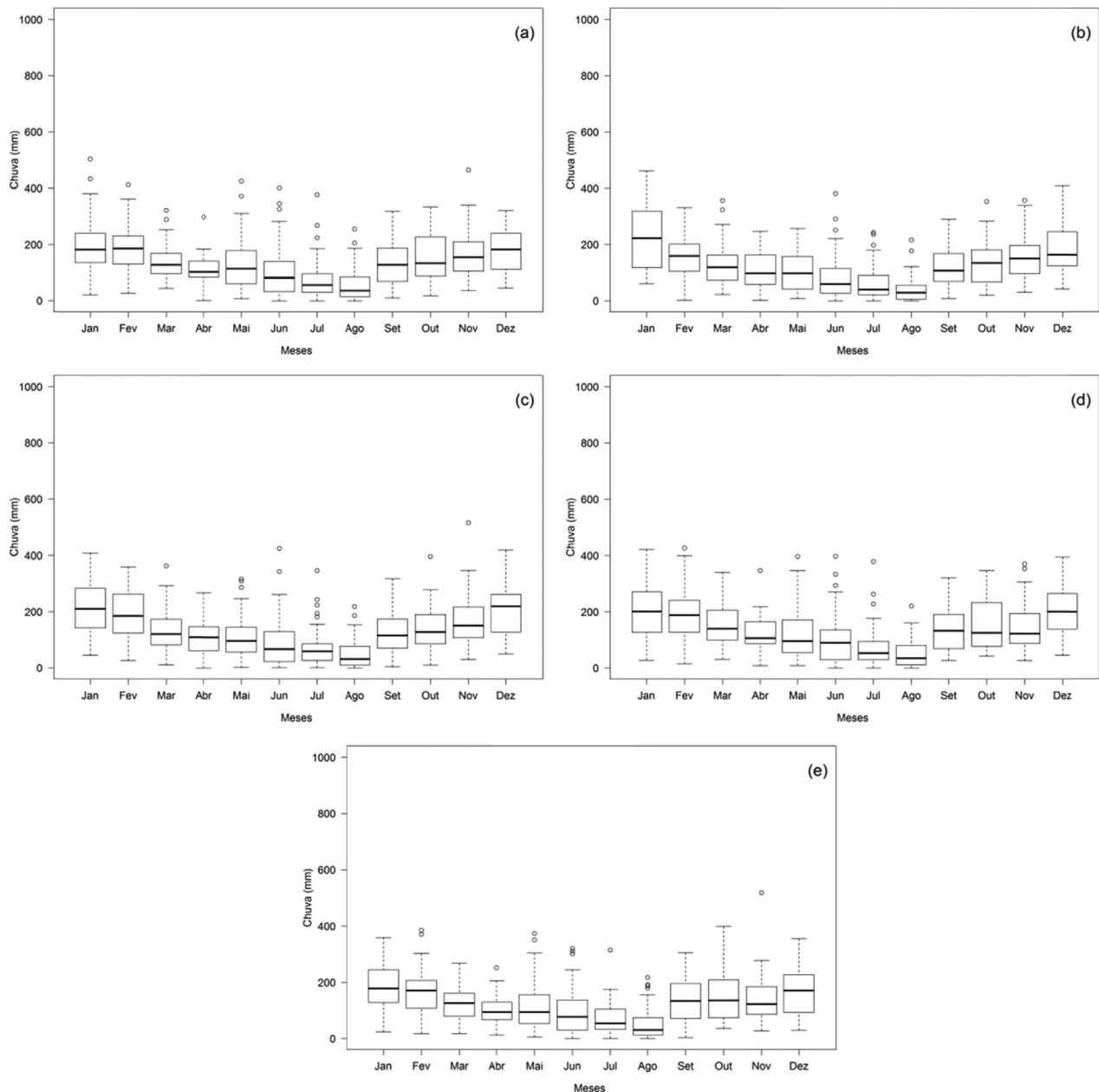


Figura 4 - Boxplot da chuva mensal (mm) (box - mediana, primeiro e terceiro quartil; barras verticais - extremo superior e inferior e circunferências - outliers) das estações: (a) Apucarana, (b) Bela Vista do Paraíso, (c) Londrina, (d) Maringá e (e) Paranavaí, no período de 1976-2015.

eventos de La Niña se dá pela rápida passagem dos sistemas frontais, sobretudo nos meses de inverno, período de maior dependência deste sistema meteorológico para a geração dos totais de chuva.

Destaca-se que a área de estudo tem a atuação frequente da massa Polar Atlântica (mPa) e dos sistemas frontais associados, sendo este último um dos mecanismos de maior atuação na geração das chuvas para o Sul do Brasil (Reboita *et al.*, 2010; Borsato e Mendonça, 2015). Segundo Silva *et al.* (2006), os maiores totais de chuva na área de estudo ocorrem nos meses de verão devido à maior interação entre os sistemas frontais e os sistemas atmosféricos intertropicais, como por exemplo, a massa Equatorial continental (mEc); as linhas de instabilidades (LI); a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).

A aplicação do índice SPI mensal mostrou a ocorrência de eventos próximos ao normal, principalmente para o outono (81%) e primavera (77%), nos períodos de março a maio e setembro a novembro para as cinco estações meteorológicas. Com as maiores frequências percentuais mensais de episódios moderadamente seco (18,3%), muito seco (13,0%) e extremamente seco (7,0%), os meses de inverno, no período que vai de junho a agosto correspondem àqueles de maior susceptibilidade de ocorrência de eventos de estiagens e secas severas. Com os maiores totais de chuvas (Fig. 4), os meses de janeiro, fevereiro e dezembro apresentam os menores percentuais de eventos moderadamente, muito e extremamente seco (3%) e as maiores frequências de eventos moderadamente úmido, muito úmido e extremamente úmido (31,3%), ressaltando as condições de menores probabilidades de ocorrências de secas e estiagens durante este período (Fig. 5).

Dado os elevados totais de chuva, destaca-se a localidade de Bela Vista do Paraíso que não apresenta nenhum registro de meses secos durante o período de novembro a janeiro, o que indica que a localidade apresenta o menor potencial a risco de estiagens e secas (Fig. 5), ou seja, a maioria dos eventos na respectiva localidade encontra-se

dentro da normalidade de acordo com a escala de classificação do SPI anual.

Embora apresente as maiores totais anuais de chuva, dada à influência do efeito orográfico, a localidade de Apucarana apresentou os maiores riscos às secas dentre as estações analisadas, sobretudo nos meses de julho (40%) e agosto (60%), com o registro de 16 e 24 eventos de moderadamente seco a extremamente seco (Fig. 5). As maiores frequências mensais de seca com intensidades, moderada, muito e extremamente seca, foi registrada na estação de Apucarana (83 eventos), seguida respectivamente pelas estações de Maringá e Paranavaí (68 eventos), e Bela Vista do Paraíso (63 eventos) e Londrina (66 eventos) com as menores frequências de ocorrências de eventos.

O coeficiente τ aplicado às estações da área de estudo e ao valor médio da RNP entre o SPI e o ENOS, variou entre 0,043 e 0,069, sendo, portanto, uma baixa correlação de Kendall. Baseando-se no teste Kendall, o SPI e o ENOS foram independentes, pois o coeficiente τ foi próximo de zero. No entanto, segundo o teste de significância (p-valor) as estações de Apucarana, Bela Vista do Paraíso e Maringá foram significativas (S), as exceções foram às estações de Londrina e Paranavaí. Ressalta-se que para toda a RNP o teste foi S. O p-valor variou entre 0,0260 e 0,1664. O valor de p aceitável (0,05) ocorreu apenas nas estações Londrina e Paranavaí.

Similarmente, foi aplicado o coeficiente ρ as estações citadas e a RNP com valores entre 0,101 e 0,098. Encontrou-se uma baixa correlação entre o SPI e o ENOS no período de estudo. Na Tabela 4 observa-se que o coeficiente ρ foi próximo de 0, o que indicou que não há tendência de que o SPI aumente ou diminua quando quaisquer uma das fases dos ENOS se intensifique. O teste de Spearman mostrou que as estações de Londrina e Paranavaí foram não-significativas (NS), a exceção foi a estação de Apucarana. O p-valor variou entre 0,0265 e 0,1687. O valor de p aceitável (0,05) foi identificado nas estações Londrina e Paranavaí, seguido de Apucarana. O coeficiente r variou entre 0,114 e 0,098, sendo obtida uma relação positiva para SPI e o ENOS, porém, muito baixa e seguindo os resultados

Tabela 4 - Valores obtidos dos coeficientes de Kendall (τ), Spearman (ρ) e Pearson (r) com os níveis de significância, coeficiente de determinação (R^2) e p-valor (0,05) entre índice SPI e o ENOS para as estações meteorológicas de Apucarana, Bela Vista do Paraíso, Londrina, Maringá, Paranavaí e a RNP.

Estações meteorológicas	Kendall				Spearman				Pearson			
	τ	p-valor	Signif.	R^2	ρ	p-valor	Signif.	R^2	r	p-valor	Signif.	R^2
Apucarana	0,059	0,0593	S	0,0034	0,090	0,0495	NS	0,0080	0,093	0,0416	NS	0,0087
Bela Vista do Paraíso	0,056	0,0698	S	0,0032	0,081	0,0748	S	0,0066	0,098	0,0312	NS	0,0097
Londrina	0,069	0,0260	NS	0,0048	0,101	0,0265	NS	0,0103	0,131	0,0041	NS	0,0171
Maringá	0,043	0,1664	S	0,0019	0,063	0,1687	S	0,0040	0,085	0,0641	S	0,0072
Paranavaí	0,067	0,0318	NS	0,0045	0,098	0,0324	NS	0,0095	0,114	0,0122	NS	0,0131
RNP	0,043	0,1664	S	0,0019	0,063	0,1687	S	0,0040	0,085	0,0641	S	0,0072

Legenda: S = Significativo, NS = Não-Significativo e Signif. = Significância.

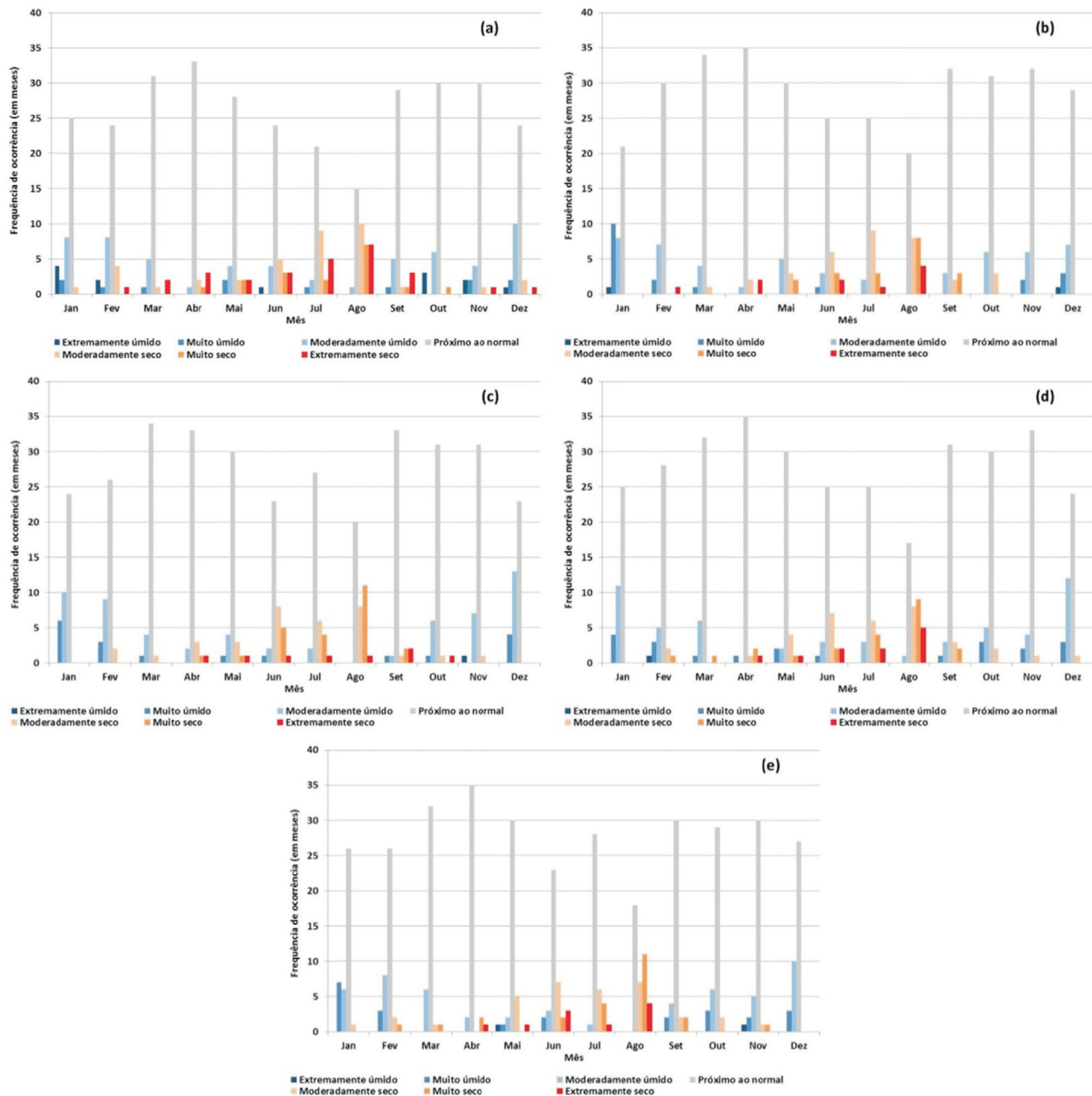


Figura 5 - Frequência em número de meses das categorias do índice Standardized Precipitation Index (SPI) para as estações: (a) Apucarana, (b) Bela Vista do Paraíso, (c) Londrina, (d) Maringá e (e) Paranavaí, no período de 1976-2015.

anteriores. Metodologia similar foi aplicada a Bangladesh em 60 anos de dados mensais de chuva, as exceções foram a utilização do modelo auto-regressivo integrado de médias móveis (ARIMA), a transformação Box Cox e sem o ENOS. No entanto, todos os resultados dos testes e previsões revelaram uma boa concordância entre eles no estudo (Rahman *et al.*, 2017).

Quanto ao teste de significância, nota-se um aumento da classificação NS em todas as estações, as exceções foram a estação de Maringá e a RNP, em todos os testes adotados no estudo com a classificação S. O p-valor variou

entre 0,0041 e 0,0641, sendo que o valor de p aceitável (0,05) ocorreu em todas as estações da RNP, a exceção foi estação de Maringá. Destaca-se que a correlação de Pearson obteve menor variação de p-valor em comparação com as correlações de Kendall e Spearman. O índice R^2 explicou apenas uma média 0.33% do modelo de Kendall, seguido de 0,71% do modelo de Spearman e, por fim, abaixo de 1,05% no modelo de Pearson na relação entre o SPI e o ENOS na RNP.

A análise via diagrama de dispersão do modelo SPI vs. ENOS nas cinco estações e na RNP, mostrou um desem-

penho que variou de mau a péssimo do modelo de regressão em todas as estações e na RNP, com baixos valores do coeficiente R^2 entre 0.0072 a 0.0171, seguido de r entre 0,09 a 0,11, que apontam para a independência das variá-

veis SPI e ENOS. O índice d do modelo SPI vs. ENOS, para as estações e a RNP, variou entre $0,44 > d > 0,47$ (Mau), seguido pela à estação de Apucarana ($d < 0,03$) classificado como péssimo (Fig. 6).

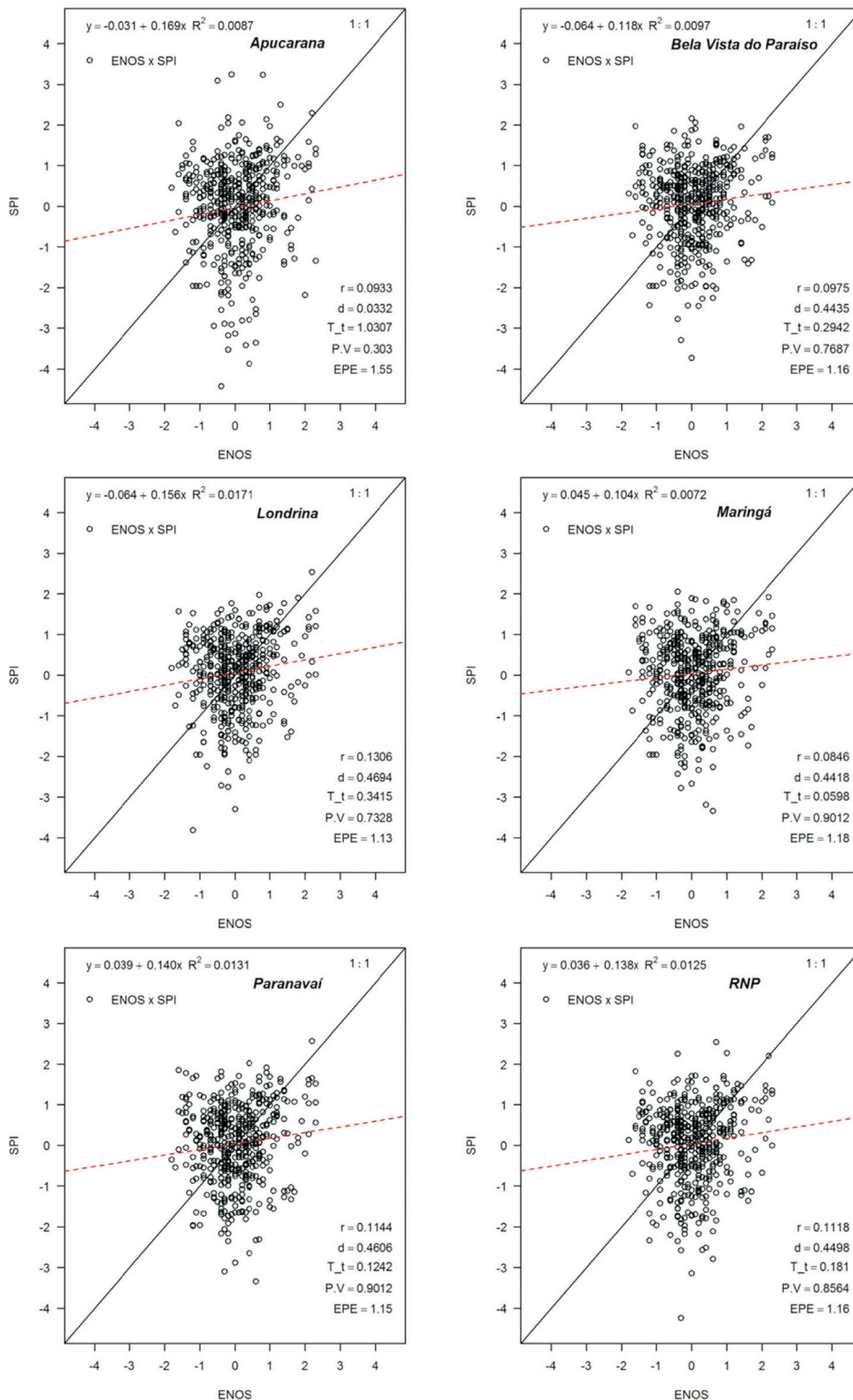


Figura 6 - Diagrama de correlação (1:1) entre SPI e o ENOS para as estações Apucarana, Bela Vista do Paraíso, Londrina, Maringá, Paranavaí e RNP, com os respectivos parâmetros estatísticos (EPE, teste-t (T_t), P.V, índice d , coeficientes r e R^2) para a escala mensal no período de 1976-2015.

Os menores valores de EPE foram abaixo de 1,20 em todas as estações da RNP. Isto é, quanto menor EPE, melhor é o ajuste do modelo de regressão aos dados, a exceção foi a estação Apucarana (EPE = 1,55). Resultado similar ao obtido por Gois *et al.* (2015) para estado do Tocantins na avaliação de El Niños fortes. A análise do teste t de Student nas estações e na RNP revelou que não existe evidência suficiente para rejeição da hipótese nula (H_0), de que não há diferença entre as médias do SPI e o ENOS em nenhuma das cinco localidades da RNP para p-valor. Valor acima do nível aceitável ($> 0,05\%$ de probabilidade) variou entre 0,303 a 0,9012, e os valores do teste t de Student entre 0,0598 a 1,0307 (Fig. 6).

Portanto, os parâmetros estatísticos empregados no diagrama de dispersão mostraram que a correlação dos resultados mensais de SPI foi pouco significativa para afirmar que há uma associação direta entre os ENOS e a variabilidade do índice SPI. Igualmente, estas análises ressaltam a afirmação de Blain *et al.* (2010) de que a principal característica das séries do SPI é a grande variabilidade temporal, a qual indica que em uma mesma região meses extremamente secos podem ser precedidos e/ou seguidos de meses úmidos ou normais, e que distintos casos de seca podem ocorrer de forma aleatória.

Os resultados obtidos por este trabalho condizem com os obtidos por Blain e Kayano (2011) para Campinas (SP), uma vez que estes autores indicaram que o ENOS não apresenta uma influência significativa para a variabilidade mensal do SPI para a localidade supracitada.

Estes resultados também são coincidentes com o que Teodoro *et al.* (2015) avaliaram para o estado do Mato Grosso do Sul, uma vez que estes autores identificaram a ocorrência frequente de meses moderadamente secos durante os eventos de El Niño forte, assim como meses categorizados como moderadamente úmido em períodos definidos como de La Niña forte.

Em contraposição, outras regiões brasileiras demonstraram melhores correlações entre os ENOS e o índice SPI. Santos *et al.* (2014) e Santos *et al.* (2017) pesquisaram para a Amazônia Oriental os eventos secos e chuvosos estabelecidos pelo SPI-6 e observaram correlação positiva com as anomalias de TSM do Atlântico Tropical e correlação negativa com as anomalias de TSM do Pacífico Tropical, indicando que os eventos chuvosos/secos sobre a região ocorreram em episódios de gradiente negativo/Positivo e/ou La Niña/El Niño. Guedes *et al.* (2012) destacaram que a comparação de eventos de seca com os de El Niño mostrou que há correlação positiva entre eles, principalmente durante as secas mais intensas para o estado do Piauí.

4. Conclusões

O índice SPI permitiu avaliar de forma eficiente a ocorrência de condições associadas às secas e ao excesso de chuva, sendo que seu conhecimento corresponde a um importante subsídio ao planejamento e desenvolvimento de

atividades do setor agrícola, uma das mais importantes atividades econômicas da RNP. Portanto, o presente trabalho possibilitou a identificação da ocorrência de períodos de anomalias de SPI, secos e chuvosos, para a escala associando-as os eventos ENOS.

Dentre os principais resultados, mostrou-se que os eventos mais intensos de El Niño e La Niña influenciaram a variabilidade anual das chuvas. Os eventos de El Niño de 1976, 1982, 1983, 1987, 1992, 1997, 1998, 2009 influenciaram para determinar anos de chuva superior a normal climatológica, enquanto que os eventos de La Niña de 1985 e 1988 coincidiram com a redução das chuvas. Entretanto, uma análise visual demonstrou que os resultados de SPI durante os eventos de El Niño e La Niña não correspondem necessariamente em anomalias positivas ou negativas de chuva na região de estudo, uma vez que os anos de chuva elevada e caracterizados pelo El Niño de 1997/1998 apresentaram categorias entre moderadamente seco a extremamente seco.

Na escala mensal, as cinco estações analisadas possuem maior concentração das chuvas nos meses de verão, período da menor frequência do índice SPI próximo a normal e a maior quantidade de registro de eventos moderadamente úmidos a extremamente úmido, indicando menor vulnerabilidade às estiagens e secas durante este período para a região de estudo. Entretanto, com a redução das chuvas, os meses de inverno, de junho a agosto, registraram as maiores frequências de eventos moderadamente (18,3%), muito (13,0%) e extremamente seco (7%). As maiores frequências mensais de seca com intensidades, moderada, muito e extremamente seca, foi registrada na estação de Apucarana (83 eventos), seguida respectivamente pelas estações de Maringá e Paranavaí (68 eventos), e Bela Vista do Paraíso (63 eventos) e Londrina (66 eventos) com as menores frequências de ocorrências de eventos. Embora a literatura consultada indique a associação do aumento ou redução dos totais pluviométricos durante a ocorrência dos eventos El Niño e La Niña, os parâmetros estatísticos empregados indicaram predominantemente baixas correlações e coeficiente de determinação, e um índice de concordância mau e péssimo entre os resultados obtidos pelo modelo de desempenho (SPI_1 vs. ENOS), e que segundo o teste t, não há diferença em as médias do SPI e ENOS, e que o mesmo segue uma distribuição normal.

Referências

- ÁLVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- BALDO, M.C. **Variabilidade Pluviométrica e a Dinâmica Atmosférica da Bacia do Rio Ivaí**. 2006. 153 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2006.

- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no estado de São Paulo. **Bragantia**, v.65, n.3, p.517-525, 2006.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no Estado do São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.1, p.105-111, 2007.
- BLAIN, G.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEZZOPANE, J.E.M.; BONOMO, R. Índice de precipitação aplicado às condições de seca no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.10, p.1067-1073, 2010.
- BLAIN, G.C.; KAYANO, M.T. 118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.137-148, 2011.
- BLAIN, G.C. Extreme value theory applied to the standardized precipitation index. **Acta Scientiarum Technology**, v.36, n.1, p.147-155, 2013.
- BORSATO, V.A.; MENDONÇA, F.A. Participação da massa polar atlântica na dinâmica dos sistemas atmosféricos no Centro Sul do Brasil. **Mercator**, v.14, p.113-130, 2015.
- CARMELLO, V.; SANT'ANNA NETO, J.L. Rainfall Variability and Soybean Yield in Paraná State, Southern Brazil. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v.2, n.1, p.86-97, 2016.
- DUHAN, D.; PANDEY, A. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901-2002 at Madhya Pradesh, India. **Atmospheric Research**, v.122, p.136-149, 2013.
- FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F.; AMORIM, A.O. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, v.45, n.8, p.771-779, 2010.
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; WREGGE, M.S.; CHAVES NETO, A. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no estado do Paraná. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, v.23, n.1, p.555-572, 2011.
- GIBBS, W.J.; MAHER, J.V. **Rainfall deciles as drought indicators**. Bureau of Meteorology, Melbourne: Commonwealth of Australia, 1967. 84 p.
- GOIS, G., DELGADO, R.C., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do standardized precipitation index (SPI) para os episódios de El Niño Forte no Estado do Tocantins, Brasil. **Irriga**, v.20, n.2, p.371-387, 2015.
- GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v.11, n.1, p.2863-2880, 1998.
- GRIMM, A.M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.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.
- GRIMM, A.M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes vs. remote influences. **Journal of Climate**, v.16, n.1, p.263-280, 2003.
- GRIMM, A.M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v.22, n.2-3, p.123-138, 2004.
- GUEDES, R.V.S.; MACEDO, M.J.H.; SOUSA, F.A.S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.1, n.23, p.55-65, 2012.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_uf.shtml. Acesso em 28 de agosto de 2016.
- KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, v.40, n.4, p.311-322, 2005.
- LIRA, S.A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção de coeficientes com aplicações**. 2004. 196f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Métodos Números em Engenharia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v.34, n.13, p.3546-3558, 2014.
- MARTIN, T.N.; NETO, D.D.; VIEIRA JUNIOR, P.A.; MANFRON, P.A. Homogeneidade espaço temporal e modelos de distribuição para a precipitação pluvial no estado de São Paulo. **Revista Ceres**, v.55, n.5, p.476-481, 2008.
- MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n.1-2, p. 202-216, 2010.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to times scale**. In: VIII Conference on Applied Climatology. Boston. American Meteorological Society, p.179-184, 1993.
- NASCIMENTO JÚNIOR, L.; SANT'ANNA NETO, J.L. Contribuição aos estudos da precipitação no estado do Paraná: a oscilação decadal do Pacífico - ODP. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, v.35, n.2, p.314-343, 2016.
- NERY, J.T.; STIVARI, S.M.S.; MARTINS, M.L.O.F.; SILVA, E.S.; SOUSA, P. 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.
- NERY, J.T. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p.61-75, 2006.
- NERY, J.T.; CARFAN, A.C. Re-analysis of pluvial precipitation in southern Brazil. **Atmosfera**, v.27, n.2, p.103-114, 2014.
- NOAA/CPC - National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Acesso em 17/07/2015.
- NÓBREGA, M.T.; SERRA, E.; SILVEIRA, H.; TERASSI, P.M.B.; BONIFÁCIO, C.M. Landscape structure in the Pirapó, Paranapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná, Brazil. **Brazilian Journal of Biology (Online)**, v. 27, n.4, s. 2, p. 1-13, 2015.
- OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1186-1192, 2010.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GOIS, G.; BRITO, T.T.; MOURA, N.S.H. Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no

- estado de Alagoas. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.2, p.101-101, 2012.
- PALMER, W. C. **Meteorological drought**. US Weather Bureau, Washington, n.45, 1965. 58p.
- PENALBA, O.C.; RIVERA, J.A. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America - emphasis in regional drought occurrences. **Advances in Geosciences**, v.42, n.1, p.1-14, 2015.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2016) R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>
- RAHMAN, M.A.; YUNSHENG, L.; SULTANA, N. Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann-Kendall, Spearman's rho tests and ARIMA model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.129, n.4, p.409-424, 2017.
- RIVERA, J.A.; PENALBA, O.C. Trends and spatial patterns of drought affected area in Southern South America. **Climate**, v.2, n.4, p.264-278, 2014.
- ROOY, M.P.V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, v.14, n.1, p.43-48, 1965.
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185-204, 2010.
- SANTOS, S.R.Q.; BRAGA, C.C.; SANTOS, A.P.P.; BRITO, J.I.B.; CAMPOS, T.L.O.B. Classificação de eventos extremos de precipitação em múltiplas escalas de tempo em Belém-PA: Utilizando o índice de precipitação normalizada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.4, p.628-635, 2014.
- SANTOS, S.R.Q.; BRAGA, C.C.; SANSIGOLO, C.A.; SANTOS, A.P.P. Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.1, p.111-122, 2017.
- SEILER, R.A.; HAYES, M.; BRESSAN, L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. **International Journal of Climatology**, v.22, n.11, p.1365-1376, 2002.
- SERRA, E.; NÓBREGA, M.T.; ANDRADE, J.A. Paisagem, estudo de caso no espaço agrário do Noroeste do Paraná. **Revista da ANPEGE**, v.8, n.10, p.85-99, 2012.
- SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 350 p.
- SIRDAS, S.; SEN, Z. Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey. **Hydrological Sciences Journal**, v.48, n.5, p.809-820, 2004.
- SILVA, C.B.; SANT'ANNA NETO, J.L.; TOMMASELLI, J.T.G.; PASSOS, M.M. Dinâmica atmosférica e análise geoestatística do clima na área de integração paisagística 'Raia Divisória' SP/PR/MS: uma proposta de tipologia climática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.2, n.1, p.53-70, 2006.
- SILVA, D.F.; PRELA-PANTANO, A.; SANT'ANNA NETO, J.L. Precipitação e produtividade agrícola na região do Médio Paranapanema - SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3, n.1, p.101-116, 2008.
- TEODORO, P.E.; CORRÊA, C.C.G.; TORRES, F.E.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; SILVA JÚNIOR, C.A.; GOIS, G.; DELGADO, R.C. Analysis of the occurrence of wet and drought periods using Standardized Precipitation Index in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Journal of Agronomy**, v.14, n.2, p.80-86, 2015.
- TERASSI, P.M.B.; SILVEIRA, H.; GRAÇA, C.H. Regiões pluviométricas homogêneas e a erosividade das chuvas na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - Paraná. **Caderno de Geografia**, v.26, n.46, p.507-521, 2016.
- TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate**, v.14, n.8, p.1697-1701, 2001.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n.2, p.184-194, 1981.
- ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J. A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and Applied Climatology**, v.119, n.1, p.741-756, 2015.
- ZHANG, Q.; XU, C.; ZHANG, Z. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. **Theoretical and Applied Climatology**, v.98, n.1-2, p.89-99, 2009.