
Distribuição espaço-temporal

da precipitação e SPI no estado
de Rondônia (RO), Brasil, por meio
de técnicas de geoestatística

Space-time distribution of precipitation
and SPI in the State of Rondônia (RO),
Brazil, by means of geostatistics techniques

Ranieli dos Anjos de Souza Muler¹⁻²

Valdir Moura²

Laura De Simone Borma³

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),

2 Grupo de Pesquisas Espaciais - GREES, Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia (IFRO), Rondônia (RO), Brasil.

3 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Ciência
do Sistema Terrestre (CCST/INPE), São José dos Campos (SP), Brasil.

ranieli.muler@ifro.edu.br

valdir.moura@ifro.edu.br

laura.borma@inpe.br

Resumo

O presente estudo teve por objetivo analisar o padrão de distribuição espacial da precipitação e a variabilidade espaço-temporal das anomalias (secas) de chuva de longo prazo (SPI-12) no estado de Rondônia, utilizando o Índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index* - SPI), por meio de uma abordagem geoestatística. Para tanto, trabalhou-se com a série histórica de dados pluviométricos da NOAA para o período de 1983 a 2014 e com o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) na escala de 12 meses. A modelagem espacial do SPI-12 foi conduzida pelo método de krigeagem ordinária e para a precipitação utilizou-se a krigeagem ordinária e indicativa. Estes métodos possibilitaram identificar 3 regiões distintas climatologicamente no estado de Rondônia, tendo-se, ao norte, uma região mais úmida, a sudoeste, uma área progressivamente mais seca e uma região central de transição. Com base nessa metodologia também foi possível identificar os anos de 1984, 1992, 1998, 2000 e 2003 como sendo anos de ocorrência significativa de seca de longa duração (SPI-12). No entanto, a abrangência espacial da seca não apresentou região preferencial, ocorrendo de forma diversa através da grande extensão territorial do estado.

Palavras chave: seca; krigeagem; precipitação; Rondônia.

Abstract

This study had the objective of analyzing the spatial distribution pattern of the precipitation and the spatio-temporal variability of the long-term (drought) rainfall anomalies (SPI-12) in the state of Rondônia, using the Standardized Precipitation Index - SPI, by means of a geostatistical approach. To achieve this goal, we worked with the NOAA historical rainfall data series for the period 1983 to 2014 and with the Standardized Precipitation Index (SPI) on the 12-month scale. Spatial modeling of SPI-12 was conducted by means of the ordinary kriging method and for the precipitation ordinary and indicative kriging was used. These methods made it possible to identify 3 climatologically distinct regions in the state of Rondônia, with a more humid region to the north, a progressively drier area to the southwest and a central transition region. Based on this methodology, it was also possible to identify the years 1984, 1992, 1998, 2000 and 2003 as years of significant long-term drought (SPI-12). However, the spatial coverage of the drought did not present a preferential region, occurring in a different way through the great territorial extension of the state.

Key words: drought; kriging; precipitation; Rondônia.

1. Introdução

A seca é entendida como uma característica temporal do clima, registrada sempre que a chuva ou a umidade disponível se desvia abaixo da normal independente do regime regional de temperatura e umidade. É, ainda, um processo de início lento e geograficamente abrangente, que normalmente atinge grandes áreas. Estas características dificultam a sua detecção e predição, o que faz com que, frequentemente, a seca só seja reconhecida quando os seus efeitos já estão sendo sentidos. Desta forma, por maiores que sejam elevados os valores médios de precipitação em uma dada região, ela sempre será suscetível a reduções temporárias e recorrentes dos volumes de precipitação, ou seja, por mais úmida a região, estará ainda, sujeita a ocorrência de secas (Santos, 2011).

O histórico de secas na Amazônia é bem conhecido, contudo, elas variam segundo as causas, a área de abrangência e o período do ano em que ocorrem. Em geral, as secas na Amazônia são atribuídas ao aquecimento anômalo das temperaturas de superfície do mar (TSM's) do oceano Pacífico, também conhecido como o evento El Niño. No entanto, as secas mais recentes ocorridas na região, tais como a seca de 2005 e 2010, foram atribuídas a um aquecimento anômalo da TSM do oceano Atlântico Tropical (Marengo *et al.*, 2008; Lewis *et al.*, 2011). Enquanto as secas de El Niño atingem, principalmente, as regiões norte e nordeste da Amazônia, as secas decorrentes do *Atlantic Multi Decadal Oscillation* (AMO) tendem a impactar as regiões sul, sudeste e sudoeste da bacia amazônica (Lewis *et al.*, 2011).

Sobre essa temática, pesquisas têm se apoiado em índices padronizados para investigar eventos de seca. O *Standardized Precipitation Index* (SPI), desenvolvido por Mckee *et al.*

(1993) tem sido um dos mais utilizados por se basear na probabilidade de ocorrência de seca em qualquer escala de tempo (NASA, 2017).

Conceitualmente, as secas podem se dividir em secas meteorológicas, agrícolas e hidrológicas. De acordo com Pires (2003), os primeiros efeitos são oriundos da seca meteorológica, que aponta déficits da precipitação em relação a níveis normais, mostrando um desequilíbrio entre a precipitação e a evapotranspiração. Em seguida tem-se a seca agrícola, que reduz a disponibilidade hídrica no solo, prejudicando as culturas existentes. Com o aumento do período de estiagem, surge a seca hidrológica, que se relaciona com os níveis médios de água nos reservatórios superficiais, subterrâneos e depleção de água no solo.

Em termos de SPI, os tipos de secas estão associados diretamente às escalas temporais deste índice, ou seja, quanto maior a duração, maior o déficit hídrico e, conseqüentemente, maiores os prejuízos econômicos e sociais. Assim, SPI até 3 meses (SPI-3) reflete as condições de água no solo em curto e médio prazos e fornece a estimativa da precipitação sazonal, é também sensível às grandes variações na magnitude da chuva em regiões e períodos do ano em que a precipitação é muito reduzida ou muito elevada, tornando-se uma medida indispensável à climatologia da região. A informação do SPI na escala de 6 meses (SPI-6) está associada às anomalias das reservas de água e às vazões dos rios. O SPI de 9 meses (SPI-9) fornece indicação de padrões de precipitação, uma vez que as secas podem demorar uma estação do ano ou mais para ocorrerem. Já o SPI de 12 meses (SPI-12) está diretamente associado à escassez de água em forma de vazão e aos níveis de água dos lençóis subterrâneos (Domingos, 2006). No presente trabalho, o SPI-12 foi utilizado para identificar secas de longo prazo, as quais, de

acordo com a definição acima, tendem a produzir impactos no regime hidrológico.

O SPI utiliza como dados de entrada valores de precipitação que são, frequentemente, obtidos em estações pluviométricas pontuais, o que torna necessário a utilização de métodos de interpolação espacial para o mapeamento desta variável. Diversos autores têm utilizado a geoestatística para estimar a variabilidade espacial da seca (Akhtari *et al.*, 2009; Karavitis *et al.*, 2011; Portela *et al.*, 2012; Van Loon & Laaha, 2015; Barker *et al.*, 2016 e Wu *et al.*, 2016).

Entre as análises geoestatísticas existentes, a krigagem tem sido amplamente aplicada para investigar fenômenos ambientais. Esta abordagem apresenta a vantagem de determinar e considerar a correlação espacial do fenômeno pela análise do semivariograma e, ainda, permitir avaliar as direções de continuidade e as estatísticas do erro (Camargo *et al.*, 2004).

Baseado nestes pressupostos, este estudo tem como objetivo analisar a distribuição da precipitação e a variabilidade espaço-temporal das anomalias (secas) de chuva de longo prazo (SPI-12) no estado de Rondônia para o período compreendido entre os anos de 1983 a 2014.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

O estado de Rondônia está localizado na porção ocidental da Amazônia, faz divisa com a Bolívia ao sul e oeste, com os estados do Acre e Amazonas ao norte e Mato Grosso na porção sul e leste. Possui uma área territorial de 237.590,54 km² (Figura 1). A precipitação total média, com base nos dados deste estudo, avaliados entre os anos de 1983 e 2014 é de 1.933 mm/ano.

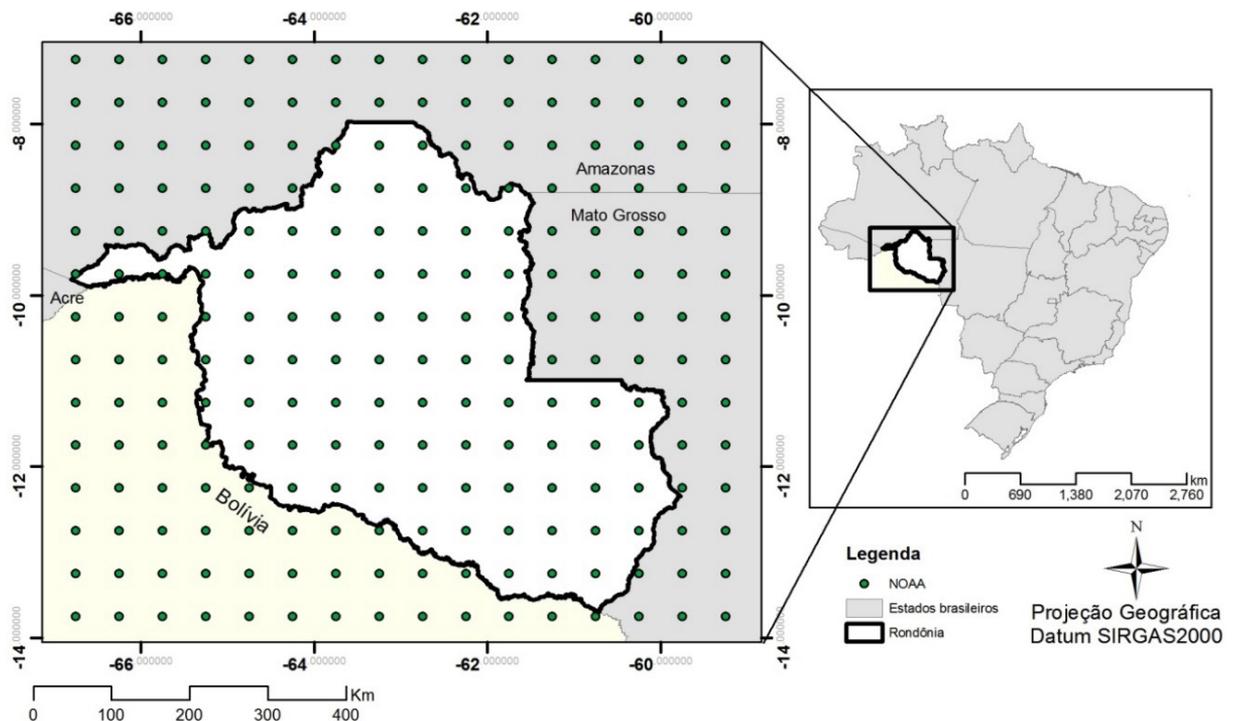


Figura 1 Localização da área de estudo

2.2 Dados utilizados

Os dados de precipitação mensal proveniente do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) foram adquiridos em pontos de grade com resolução espacial de 0.5° entre os anos 1983 e 2014. Estes dados são disponibilizados pela plataforma do *International Research Institute for Climate and Society* (IRI), que possui um conjunto de estimativas de precipitação mensal global construído em grades de latitude/longitude. Na **Figura 2** apresenta-se o modelo *Object Modeling Technique for Geographic Applications* (OMT-G) utilizado no desenvolvimento das etapas desta pesquisa.

2.3 Precipitação histórica

A precipitação total anual (histórica) foi gerada para estabelecer as regiões de baixa à alta umidade no estado de Rondônia. O procedimento baseou-se na aplicação da média simples em cada um dos 224 pontos (na grade) conforme equação 1.

$$P_i = \sum_{i=1}^N \frac{(p_i(x_i, y_i))}{N}$$

Em que, P_i é a precipitação média anual em cada ponto x_p, y_p ; N é o número de anos da série histórica; p_i é o valor de precipitação anual coletado nos pontos x_p, y_p .

A média anual histórica calculada nos pontos x_p, y_p da grade do NOAA foi espacializada por meio da krigagem: ordinária e indicativa. Com isso, gerou-se uma superfície contínua dos dados que foram fatiados em 3 (três) classes:

- ...{ $P \leq 1711$ mm/ano - baixa precipitação}
- ...{ 1711 mm/ano < $P \leq 2182$ mm/ano - normal}
- ...{ $P > 2182$ mm/ano - alta precipitação}

2.4 Aplicação do *Standard Precipitation Index* (SPI)

Keyantash & Dracup (2002) testaram a robustez de dezoito indicadores de seca tendo concluído que o SPI é o melhor indicador climático para identificar e quantificar a intensidade, duração e extensão espacial de secas, o que justifica a sua ampla utilização em mais de 50 países, tanto no âmbito da investigação associada ao tema, como no monitoramento de secas.

Como os valores do índice SPI representam precipitações padronizadas, um valor do índice igual a zero é indicativo de que não houve desvios nos valores da precipitação relativos à precipitação média no período analisado. Valores positivos indicam que a precipitação é superior à média e os negativos indicam que a precipitação é inferior, neste último caso é quando se identifica a ocorrência de seca (Santos, 2011).

O SPI na escala de 12 meses é indicado para refletir padrões de precipitação de longo prazo, cuja classificação baseou-se nos critérios definidos na **Tabela 1**. Os critérios da **Tabela 1** foram, então, reclassificados para 3 classes do SPI-12: úmido ($SPI > 0.50$); normal ($0.50 \geq SPI \geq -0.50$) e seco ($SPI < -0.50$).

Para a escolha dos anos a serem mapeados os valores de SPI-12, selecionou-se os anos em que mais de 50% dos pontos amostrados ($n=224$) apresentaram ao menos seis meses com ocorrência de déficit de precipitação.

2.5 Krigagem

Nesta pesquisa, aplicou-se a krigagem ordinária e indicativa para a modelagem espacial dos dados de precipitação e do SPI-12, por meio dos seguintes procedimentos: análise exploratória dos dados e remoção de tendências; verificação da anisotropia pela análise

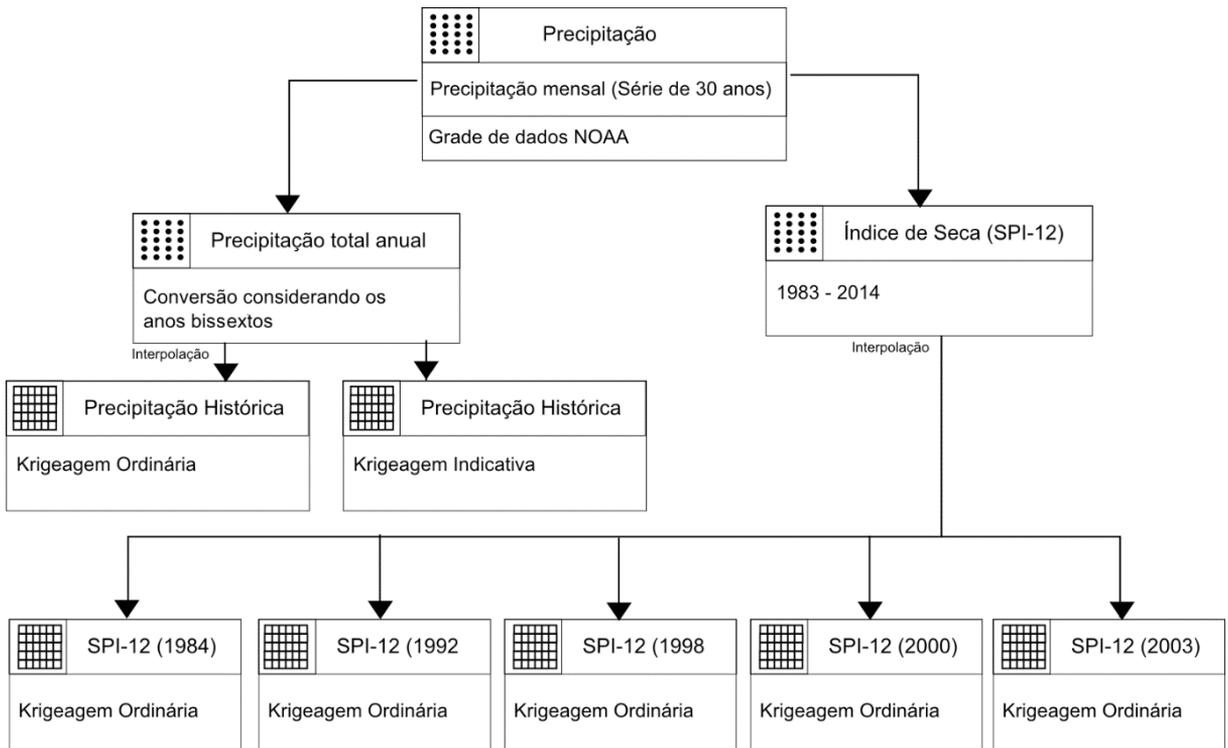


Figura 2 Modelo *Object Modeling Technique for Geographic Applications* (OMT-G)

Tabela 1 Intervalos do *Standard Precipitation Index* (SPI)

Grau	Intervalo	Classes
Extremamente úmido	$SPI > 2,0$	Úmido
Severamente úmido	$1,50 < SPI \leq 2,00$	
Moderadamente úmido	$1,00 < SPI \leq 1,50$	
Anormalmente úmido	$0,50 < SPI \leq 1,00$	
Normal	$-0,50 \leq SPI \leq 0,50$	Normal
Anormalmente seco	$-0,50 < SPI \leq -1,00$	Seco
Moderadamente seco	$-1,00 < SPI \leq -1,50$	
Severamente seco	$-1,50 < SPI \leq -2,00$	
Extremamente seco	$SPI < -2,0$	

Fonte: NASA, 2017

de semivariogramas de superfície; geração do semivariograma experimental; ajuste do semivariograma experimental (modelo teórico); validação do modelo de ajuste; krigeagem e a validação cruzada.

3. Resultados e discussão

Analisando uma série temporal de dados pluviométricos e SPI-12, por meio de uma abordagem anisotrópica, constatou-se que estes fenômenos apresentam direção preferencial (Figura 3). Verificando a Figura 3, observa-se que apenas no ano de 2000, o resultado do SPI-12 teve padrão isotrópico.

3.1 Modelagem estrutural da precipitação: Krigeagem ordinária e indicativa

Depois de verificada a ocorrência de anisotropia, os semivariogramas experimentais foram gerados considerando as direções de maior e menor continuidade. Para os dados de precipitação gerou-se o semivariograma experimental para as direções de 90° , com tolerância angular de 27° , número de lag 8, incremento 47000 e tolerância 23500; e na direção 180° com tolerância angular de 30° , lag 6, incremento 70000 e tolerância 35000. O erro médio da validação do modelo de ajuste foi 0.471, com desvio padrão 27.422 e variância 751.943 (Figura 4).

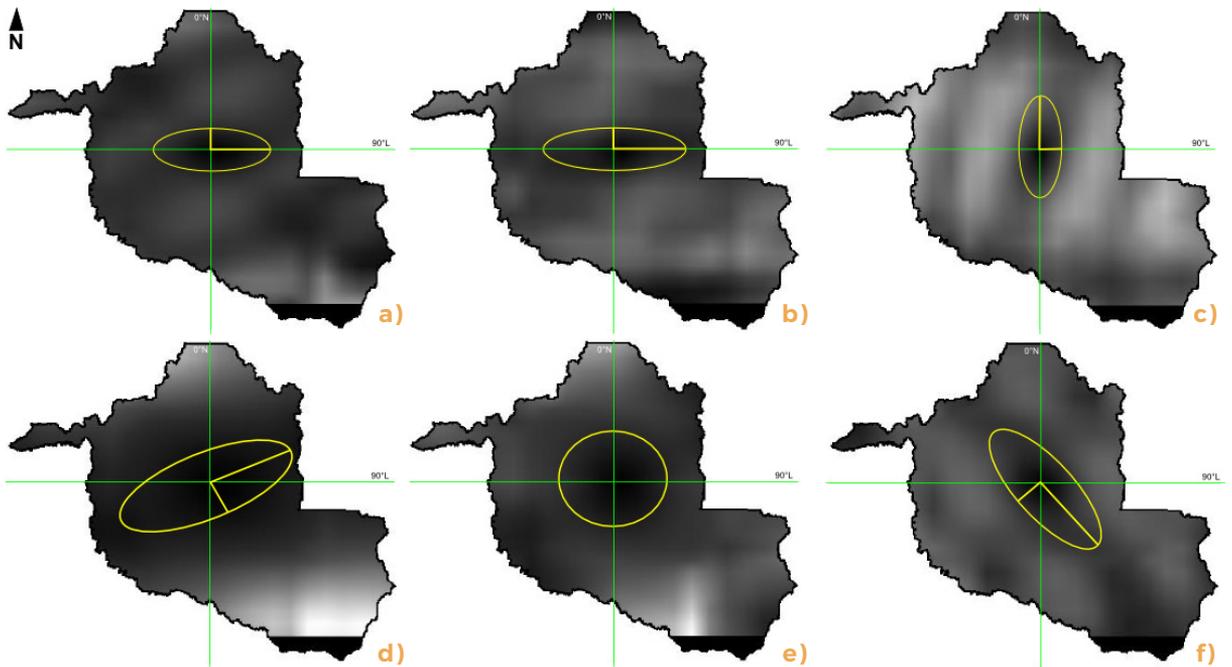


Figura 3 Mapas de superfície para verificação de anisotropia. **a)** Mapa de superfície dos dados de precipitação, direção 90° ; **b)** mapa de superfície dos dados do SPI-12 do ano 1984, direção 90° ; **c)** mapa de superfície dos dados do SPI-12 do ano 1992, direção 0° ; **d)** mapa de superfície dos dados do SPI-12 do ano 1998, direção 65° ; **e)** mapa de superfície dos dados do SPI-12 do ano 2000, isotrópico; **f)** mapa de superfície dos dados do SPI-12 do ano 2003, direção 140°

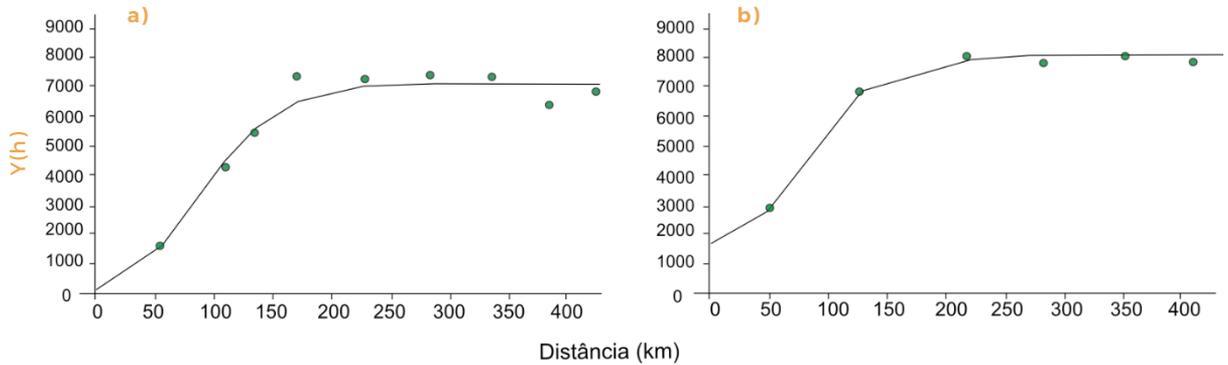


Figura 4 Modelagem estrutural das amostras de precipitação anual histórica. **a)** Semivariograma experimental (90°) em círculo e semivariograma teórico (90°) ajustado pelo modelo gaussiano em linhas; **b)** semivariograma experimental (180°) em círculo e semivariograma teórico (180°) ajustado pelo modelo gaussiano em linha

Os parâmetros do modelo teórico utilizado para modelar o semivariograma único e consistente estão apresentados na **Tabela 2**.

A krigeagem ordinária apresenta uma dependência única da geometria dos dados, uma vez que a variância com essa característica pode não ser adequada para representar as incertezas da estimativa para o atributo. Já a krigeagem indicativa considera os valores do atributo em cada posição x_p, y_p , sendo um meio de superar tais limitações e obter uma melhor estimativa da precipitação (Felgueiras *et al.*, 2014).

Considerou-se que o ajuste do modelo indicativo foi satisfatório, uma vez que, os erros aproximaram-se de uma média zero. Assim, prosseguiu-se para a execução da krigeagem indicativa. Os parâmetros de ajuste para cada nível de corte foram utilizados para modelar o semivariograma ‘único e consistente’ em todas as direções e, posteriormente, para aplicar o estimador de krigeagem, fixando as probabilidades 0.25, 0.50 e 0.75 para o corte I, II e III respectivamente (**Tabela 3**).

Tabela 2 Parâmetros do modelo teórico utilizados na krigeagem ordinária

Amostra	Direção	Modelo	Efeito pepita	Contribuição	Alcance	Estruturas
Precipitação	90°	Gaussiano	50.978	7050	190244	3
	180°	Gaussiano	1700	6300	200000	3

Tabela 3 Parâmetros utilizados no modelo teórico da krigeagem indicativa

Nível de corte	Direção	Modelo	Efeito pepita	Contribuição	Alcance	Estruturas
1690	90°	Esférico	0.011	0.191	197159	3
	180°	Esférico	0.031	0.176	213097	
1930	90°	Esférico	0.030	0.242	242953	3
	180°	Esférico	0.055	0.245	274546	
2240	90°	Esférico	0.010	0.209	233505	3
	180°	Esférico	0.012	0.178	186209	

Observa-se que a krigeagem ordinária apresentou uma maior acurácia quando comparada com a krigeagem indicativa. No entanto, ambas as métricas destacaram a porção norte do estado como sendo de alta precipitação, a região centro-sudeste como normal e a região oeste como de baixa precipitação, dividindo o estado de Rondônia em três regiões distintas climatologicamente (**Figura 5**).

Através da **Figura 5 (1b)**, observa-se que a variância obtida pela krigeagem ordinária é incrementada por um raio em torno dos pontos amostrados onde os valores locais são desconhecidos. Já na **Figura 5 (2b)**, a variância da krigeagem indicativa, apresenta menor incerteza nos pontos amostrados e maior nas zonas intermediárias entre as regiões mais

homogêneas estimadas para a distribuição da precipitação.

Para a validação cruzada da krigeagem ordinária e indicativa utilizou-se como referência a própria grade do NOAA, devido não contar com outra base de dados externos para validação. Na **Tabela 4** estão descritos os parâmetros utilizados para esta validação. De tal forma que as médias próximas de zero demonstram que os modelos aplicados nos fenômenos em estudo não apresentam tendência. Portanto, a análise estatística indicou que o estimador de krigeagem ordinária apresentou uma maior acurácia que a krigeagem indicativa, aproximando-se mais da média dos valores observados e com menor desvio padrão e erro médio quadrático (RMSE).

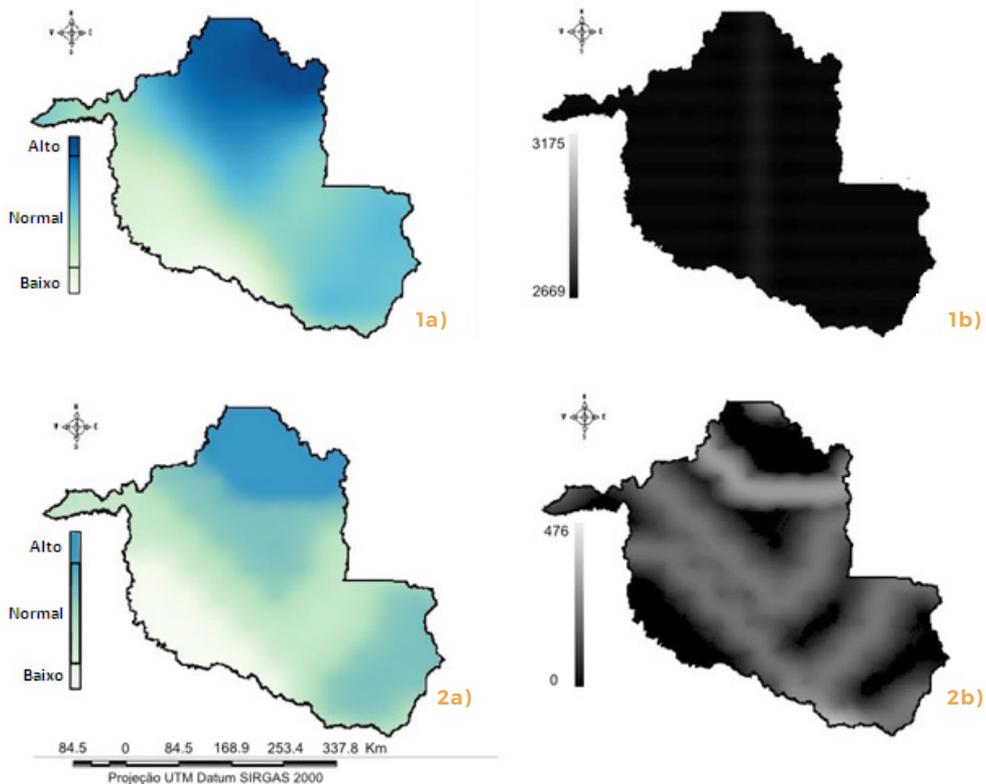


Figura 5 Mapa da distribuição espacial da precipitação por krigeagem ordinária **1a)**; mapa da variância da krigeagem ordinária **1b)**; mapa da distribuição espacial da precipitação por krigeagem indicativa **2a)**; mapa de incerteza da krigeagem indicativa **2b)**

Tabela 4 Parâmetros da validação cruzada da estimativa por krigeagem ordinária (KO) e krigeagem indicativa (KI)

Método	Média dos dados observados	Média dos dados estimados	Mínimo/Máximo observado	Mínimo/Máximo estimado	Erro médio	σ (erro)	RMSE
KO	1933.88	1924.34	1503 2418.34	1451.27 2417.43	-4.38	11.92	38.68
KI		1960.88		1553.11 2462	32.83	75.16	289.95

3.2 Modelagem estrutural do SPI-12: krigeagem ordinária

No período utilizado como referência para esta pesquisa (1983 a 2014), os anos em que foi identificada a ocorrência do fenômeno conhecido como seca hidrológica ou, seca de longa duração, foram os anos de 1984, 1992, 1998, 2000 e 2003. Para estes anos foram modelados os semivariogramas da krigeagem ordinária, utilizando a abordagem anisotrópica, que considera as direções preferenciais de ocorrência do evento (Figura 6).

Após a modelagem para obtenção do semivariograma, foram obtidos os parâmetros utilizados no ajuste do modelo teórico (Tabela 5), visando obter melhores resultados do estimador da krigeagem ordinária para os casos em que ocorreu a anisotropia combinada, nos

anos de 1984, 1992, 1998 e 2003. Para o ano 2000 utilizou-se a modelagem omnidirecional.

Na Tabela 6 estão destacados os valores referentes à média, variância e desvio padrão do erro encontrado no processamento dos semivariogramas, ilustrados na Figura 6.

A precipitação em Rondônia apresentou um padrão que aponta para o zoneamento do estado em três regiões climatológicas distintas que, no geral, diminui do centro para oeste, cuja porção central representa uma transição entre o norte úmido e o sudoeste progressivamente mais seco, conforme observado na Figura 5. Contudo, para o SPI-12 o padrão espacial se mostrou variável, com ocorrência de seca hidrológica em maior severidade na porção mais úmida ao norte nos anos de 1992 e 1998 (Figura 7).

Tabela 5 Parâmetros para ajuste do modelo teórico da krigeagem ordinária aplicada ao SPI-12

Ano	Direção	Modelo	Efeito pepita	Contribuição	Alcance	Estruturas
1984	90°	Gaussiano	0.099	0.268	289522	3
	180°	Gaussiano	0.024	0.487	196927	
1992	0°	Exponencial	0.075	0.105	423004	3
	90°	Exponencial	0.011	0.167	229785	
1998	65°	Gaussiano	0.013	0.195	503910	3
	155°	Gaussiano	0.025	1.026	992268	
2000	Omni	Esférico	0.011	0.572	567591	-
2003	140°	Gaussiano	0.019	0.051	283635	3
	230°	Gaussiano	0.001	0.082	197171	

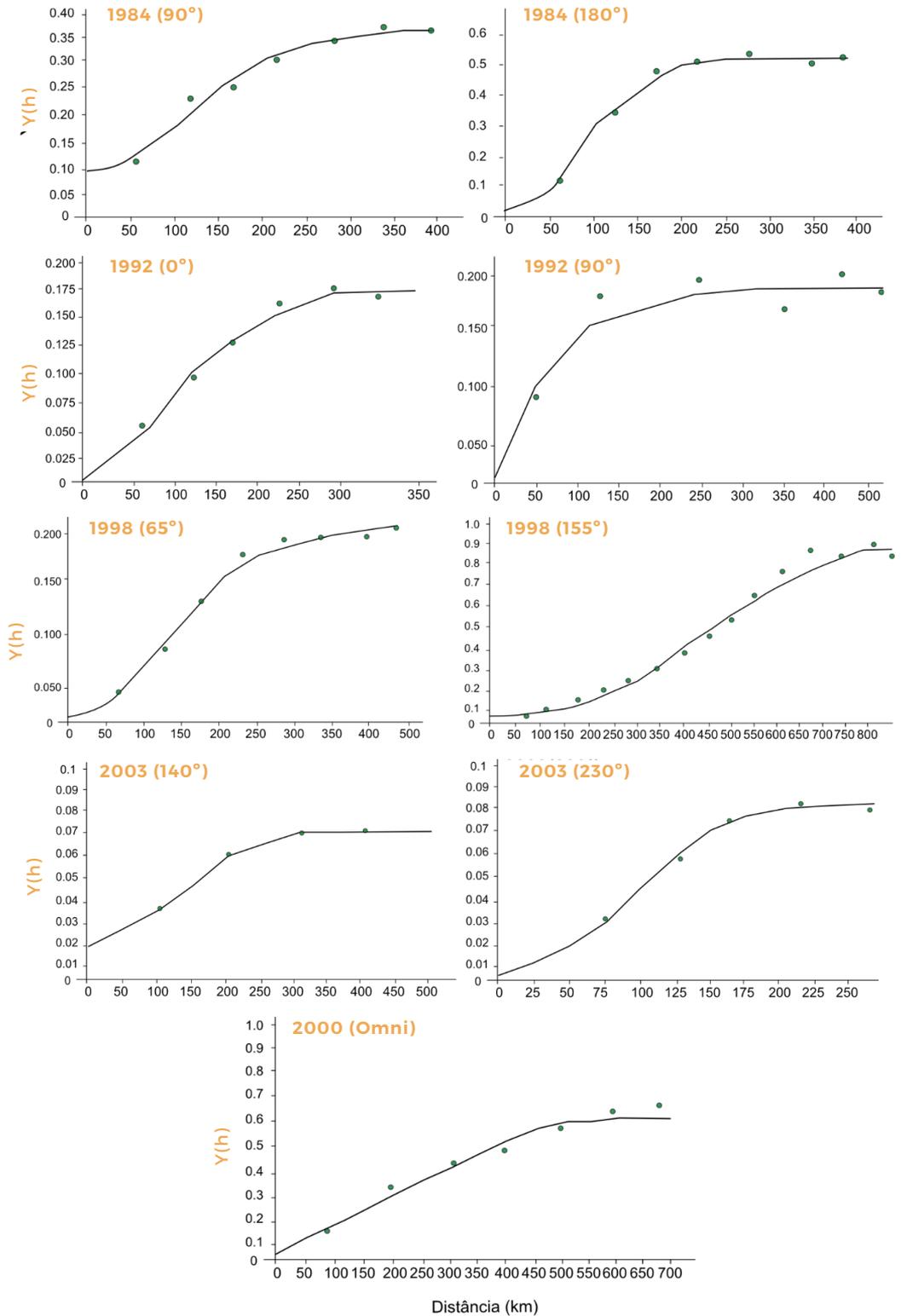


Figura 6 Modelagem estrutural das amostras do SPI-12; (círculo) modelo experimental; (linha) modelo teórico

Tabela 6 Parâmetros do erro obtidos por meio da validação do modelo ajustado

Ano	Média	σ^2	σ
1984	-0.023	0.096	0.310
1992	0.006	0.035	0.187
1998	0.00	0.024	0.154
2000	0.002	0.053	0.230
2003	-0.011	0.023	0.151

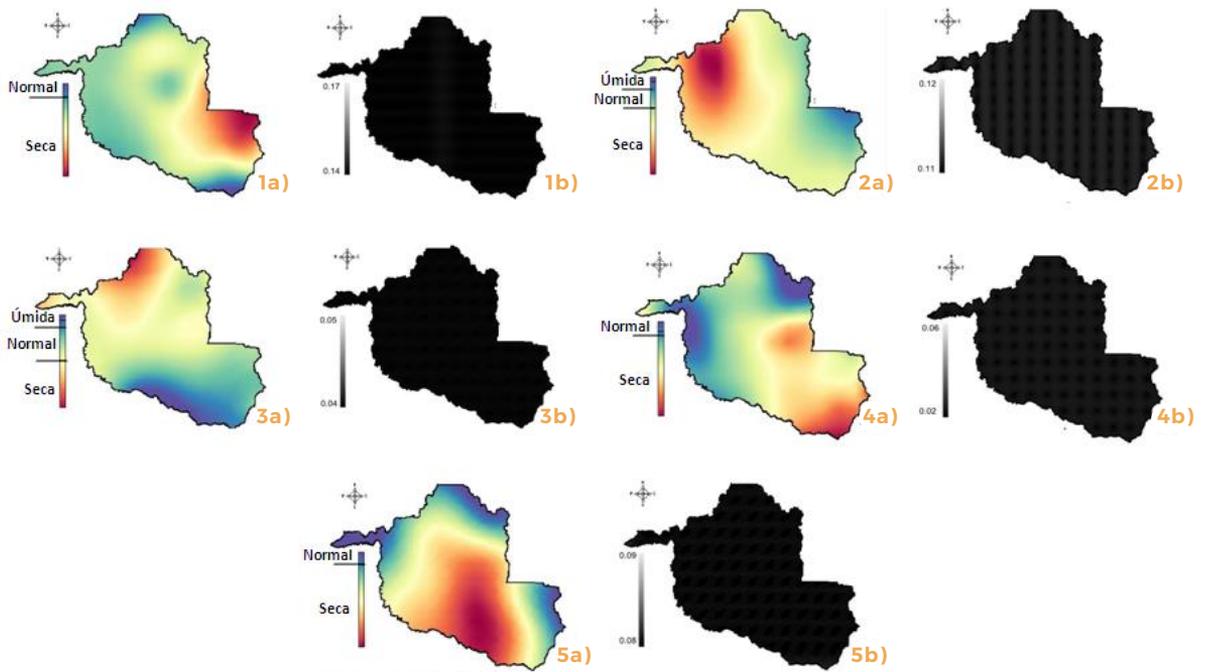


Figura 7 Mapa da distribuição espacial do SPI-12. **1a e 1b** estimativa do SPI-12 para o ano 1984 e mapa da variância respectivamente; **2a e 2b** estimativa do SPI-12 para o ano 1992 e mapa da variância respectivamente; **3a e 3b** estimativa do SPI-12 para o ano 1998 e mapa da variância respectivamente; **4a e 4b** estimativa do SPI-12 para o ano 2000 e mapa da variância respectivamente; **5a e 5b** estimativa do SPI-12 para o ano 2003 e mapa da variância respectivamente

O ano de 2003 apresentou ocorrência de seca hidrológica com maior severidade em quase toda porção territorial do estado. Apenas os anos de 1992 e 1998 tiveram as 3 classes (úmido, normal e seco) de SPI-12 identificadas, nos demais anos os resultados obtidos pelo índice, variaram entre as classes normal a seco.

A seca de longa duração observada para os anos 1992, 1998 e 2003 apresentou ocorrência concomitante ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul - ENOS (1992-93, 1997-98, 2002-03). O ENOS de 1982-83 e 1997-98 foram os eventos de maior intensidade registrados durante o período desta pesquisa, demonstrando que as secas ocorridas nos anos 1984 e 2000 podem

ter sido uma consequência de um forte aumento das TSM do Pacífico tropical aliado a um interstício de chuvas moderadas.

Os parâmetros da validação cruzada da krigeagem ordinária aplicados aos dados de

SPI-12, apresentados na **Tabela 7**, evidenciam um bom ajuste da modelagem. Entretanto, para o ano 2000 houve tendência em superestimar a severidade da seca hidrológica.

Tabela 7 Parâmetros da validação cruzada da estimativa por krigeagem ordinária para SPI-12

Ano	Média dos dados observados	Média dos dados estimados	Mínimo/Máximo observado	Mínimo/Máximo estimado	Erro médio	σ (erro)	RMSE
1984	-1.58	-1.54	-4.31 -0.02	-4.25 0.50	0.020	0.1276	0.17
1992	-0.96	-0.96	-3.19 0.73	-2.84 0.74	0.012	0.1122	0.11
1998	-0.26	-0.27	-1.20 0.46	-1.40 0.58	0.002	0.0368	0.02
2000	-1.18	-1.22	-2.41 -0.09	-2.63 -0.09	-0.004	0.0246	0.04
2003	-1.13	-1.14	-1.96 -0.19	-1.83 -0.26	0.003	0.1069	0.03

4. Conclusões

O *Standard Precipitation Index* é um índice que possibilita quantificar e monitorar o déficit hídrico em escalas temporais de curto, médio e longo prazo e, ainda, em áreas de grande extensão. Contudo, bancos de dados de estações meteorológicas com mais de 30 anos de informações contínuas, necessários para uma melhor eficiência da validação dos resultados, são inexistentes para o estado de Rondônia. Com isso, os dados de reanálise (p.e. NOAA) tornam-se fontes úteis para este tipo de investigação uma vez que, sua correlação com estações meteorológicas tem se mostrado satisfatória (Santos *et al.*, 2015; Saldanha *et al.*, 2015).

Os anos de secas de longa duração (SPI-12) evidenciados neste estudo foram os anos de 1984, 1992, 1998, 2000 e 2003. Em termos de causas, esses extremos podem estar associa-

dos aos eventos El Niño-Oscilação Sul - ENOS ocorridos, respectivamente, em 1982-83, 1991-92, 1997-98 e 2002-03.

Conclui-se a partir desses dados que, com o uso da geoestatística, é possível espacializar a precipitação e o SPI-12. Nesse sentido, esta ferramenta tem o potencial de fornecer condições básicas para o planejamento sobre o ambiente frente às constantes variações sazonais e interanuais do clima.

Rondônia é um estado vulnerável às mudanças climáticas, visto que, grande parte da sua base produtiva baseia-se na produtividade agropecuária, cujos impactos negativos dos eventos de seca hidrológica podem resultar em riscos socioeconômicos e ambientais, o que faz das informações climáticas, uma importante ferramenta para o planejamento, previsão e/ou mitigação dos efeitos da seca sobre os ecossistemas.

5. Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo à Ranieli dos Anjos de Souza Muler.

6. Referências citadas

- AKHTARI, R; MORID, S.; MAHDIAN, M. H. & V. SMAKHTIN. 2009. "Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices". *Int. J. Climatol.*, 29: 135-145.
- BARKER, L. J.; HANNAFORD, J.; CHIVERTON, A. & C. SVENSSON. 2016. "From meteorological to hydrological drought using standardised indicators". *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20: 2.483-2.505.
- CAMARGO, E. C. G.; DRUCK, S. e CAMARA, G. 2004. "Análise de superfícies por geoestatística linear". In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G. e MONTEIRO, A.V.M. (eds), *Análise Espacial de Dados Geográficos*. pp. 42-79. EMBRAPA, Brasil.
- DOMINGOS, S. I. S. 2006. *Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer drought severity index (PDSI)*. Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal. Tese (Licenciatura).
- FELGUEIRAS, C. A.; CAMARGO, E. C. G. & J. O. ORTIZ. 2014. Geostatistical anisotropic modeling of carbon dioxide emissions in the Brazilian Negro basin, Mato Grosso do Sul. *V GEOPANTANAL (Simpósio de Geotecnologias no Pantanal)*. 896-904. Campo Grande, Brasil. (22 a 26 de novembro).
- KARAVITIS, C. A.; ALEXANDRIS, S.; TSESMELIS, D. E. & J. ATHANASOPOULOS. 2011. "Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece". *Water*, 3: 787-805.
- KEYANTASH, J. & J. A. DRACUP. 2002. "The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83: 1.167-1.180.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, J. M & D. NEPSTAD. 2011. "The 2010 Amazon drought". *Science*, 331 (6.017): 554-554.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J. & J. KLEIST. 1993. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. *VIII CAC (8th Conference on Applied Climatology)*. 179-184. Anaheim, USA. (17-22 de janeiro).
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S.; CAMARGO, H.; ALVES, L. L. M. & L. F. BROWN. 2008. "The drought of Amazonia in 2005". *Journal of Climate*, 21(3): 495-516.

- NASA. 2017. "Standardized Precipitation Index (SPI)". Disponível em: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/subseasonal/atlas/SPI-html/SPI-description.html>. [Acesso: janeiro, 2017].
- PIRES, V. 2003 *Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação*. Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra).
- PORTELA, M. M.; SANTOS, J. F. F.; NAGHETTINI, M.; MATOS, J. P. e A. T. SILVA. 2012. "Superfícies de limiares de precipitação para identificação de secas em Portugal continental: uma aplicação complementar do índice de precipitação padronizada, SPI". *Revista Recursos Hídricos*, 33(02): 5-23.
- SALDANHA, C. B.; RADIN, B.; CARDOSO, M. A. G.; RIPPEL, M. L.; FONSECA, L. L. e F. RODRIGUES. 2015. "Comparação dos dados de precipitação gerados pelo GPCP vs observados para o estado do Rio Grande do Sul". *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(4): 415-422.
- SANTOS, M. S. 2011. "Caracterização espaço-temporal de secas utilizando ondas de ondas e o *Standardized precipitation index*: uma aplicação para a parcela mineira da bacia do rio São Francisco". CPRM. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_marcos_santos.pdf. [Acesso: março, 2017].
- SANTOS, F. A. A.; ROLIM, P. A. M.; RIBEIRO, N. C. C. e E. A. SANTOS. 2015. Avaliação do uso de dados de precipitação gerados pelo CPC/NCEP na modelagem hidrológica em uma região hidrográfica do rio Araguaia. *XVII SBSR (Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto)*. 1.601-1.608. João Pessoa, Brasil, (25 a 29 de abril).
- VAN LOON, A. F. & G. LAAHA. 2015. "Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics". *Journal of Hydrology*, 526: 3-14.
- WU, J.; CHEN, X.; GAO, L.; YAO, H.; CHEN, Y. & M. LIU. 2016. "Response of Hydrological Drought to Meteorological Drought". *Advances in Meteorology*, 2016: 1-12.