



SEVERIDADE DA SECA NO ESTADO DO TOCANTINS E SUAS RELAÇÕES COM OS EVENTOS DE EL NIÑO

Givanildo de Gois¹, José Francisco de Oliveira Júnior², Rafael Coll Delgado³, Marcel Moraes⁴

1. Doutorando da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF), Seropédica/RJ – Brasil (givanildogois@gmail.com).
2. Professor Doutor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais (DCA), Seropédica/RJ – Brasil.
3. Professor Doutor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais (DCA), Seropédica/RJ – Brasil
4. Estudante de Graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia (IA), Seropédica/RJ – Brasil.

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

Dados de precipitação de 34 localidades das microrregiões do Estado do Tocantins (TO) foram usados no cálculo do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para a análise espaço-temporal da severidade da seca na escala anual. A série compreende o período de 1976-2012 fornecidos por três bases de dados (ANA, INMET e CPRM). Foi utilizado o método Spline para interpolar o índice SPI no estado do TO, e por fim foram comparados com os eventos severos de seca durante os episódios de El Niño (forte) (1982/83, 1990/93 e 1997/98). A análise espacial dos eventos de El Niño forte mostra que as categorias moderadamente seco e muito seco ocorre nas microrregiões Bico do Papagaio, Araguaína, Miracema do Tocantins, Jalapão e Dianópolis. A categoria extremamente seca ocorre nas microrregiões do Rio Formoso e Gurupi. As ocorrências de El Niño-Forte (1993, 1997 e 1998) foram identificadas nas categorias extremamente seco nas porções (SW), (W) e (S) das microrregiões Rio Formoso, Miracema do Tocantins, Araguaína e Bico do Papagaio. Apesar dos eventos de El Niño forte atuar no estado do Tocantins e ter impacto na severidade da seca. As categorias moderadamente a extremamente úmidos são atuantes nas microrregiões Bico do Papagaio e Rio Formoso nas porções (N) e (SW) do estado, seguidas das microrregiões Jalapão, Gurupi e Dianópolis nas porções (W), (SW), (E) e (S). Foram identificadas as mesmas categorias nas microrregiões Bico do Papagaio (porção N), Araguaína (porção NW) e na microrregião Jalapão (porção E), e nas porções (S) e (SW) das microrregiões Dianópolis e Gurupi, e porção (SW) do Rio Formoso. Embora, os impactos e a severidade das secas ocorram constantemente sobre o estado do Tocantins. A categoria próxima ao normal foi observada em algumas das microrregiões do Estado do TO. Na avaliação temporal do índice SPI das microrregiões do Bico do Papagaio, Araguaína e Dianópolis identificaram número elevado de eventos na categoria extremamente seco. É importante ressaltar que o índice SPI foi capaz de identificar a severidade da seca quando da ocorrência de

eventos de El Niño forte no estado do TO.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de seca, ENOS, região Norte, SIG, variabilidade climática.

DROUGHT SEVERITY ON TOCANTINS STATE AND ITS RELATIONS WITH EL NIÑO EVENTS

ABSTRACT

Precipitation data from 34 locations in regions of Tocantins (TO) State were used in Standardized Precipitation Index (SPI) calculation for spatio-temporal analysis of drought severity on annual scale. The series cover 1976-2012 period provided by three databases (ANA, INMET and CPRM). Spline method was used to interpolate SPI index in TO state, and finally were compared with severe drought events during strong El Niño events (1982/83, 1990/93 and 1997/98). Spatial analysis of strong El Niño events shows that categories moderately dry and very dry occurs in regions Parrot's Beak, Araguaína Miracema, Jalapão and Dianópolis. Category is extremely dry in Rio Formoso and Gurupi regions. Occurrences of Strong El Niño (1993, 1997 and 1998) were identified in categories extremely dry in portions (SW), (W) and (S) of micro Rio Formoso, Miracema, Araguaína and Parrot's Beak. Despite strong El Niño act in TO state and have an impact on drought severity. Moderately to extremely wet categories are active in regions Parrot's Beak and Rio Formoso in portions (N) and (SW) state, followed by micro Jalapão Gurupi and Dianópolis in portions (W), (SW), (E) and (S). Identifying same categories in Parrot's Beak (the N), Araguaína portion (NW) and micro Jalapão regions portion (E), and portions (S) and (SW) of micro Dianópolis and Gurupi, and portion (SW) Rio Formoso. Although impact and droughts severity occur constantly about TO state. Next category of normal was observed in some regions of TO State. In evaluation of temporal SPI index of microregions Parrot's Beak, and Araguaína Dianópolis identified high number of events in category extremely dry. Importantly, SPI index was able to identify drought severity upon strong El Niño events occurrence in TO state.

KEYWORDS: index of drought, ENSO, climate variability, GIS, North region.

INTRODUÇÃO

A ausência de investimentos econômicos e da formação de recursos humanos capacitados em pesquisas que possam fornecer informações sobre a ocorrência de fenômenos extremos (secas, enchentes e desertificação) na maioria dos estados brasileiros, e principalmente aqueles que compõem a região Centro-Oeste do país, tem sido um dos principais entraves ao conhecimento dos fatores desencadeadores destes fenômenos. Neste cenário merece destaque o estado Tocantins (TO), que apresenta uma grande carência de informações sobre a severidade da seca, e principalmente sua relação com os eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS). A seca é uma anomalia que ocorre em todos os regimes climáticos existentes com alta ou baixa precipitação e pode afetar milhões de pessoas ao mesmo tempo, sendo a população rural a mais exposta a esse fenômeno na maioria dos estados brasileiros

(DUARTE, 2001). Ela possui características diferentes de outros fenômenos, normalmente atinge uma vasta extensão temporal e espacial (GOIS et al., 2005). Entretanto, é importante destacar que nos últimos anos diversos índices de seca têm sido avaliados na tentativa de se caracterizar a seca; em que os mesmos podem fornecer diferentes respostas quanto aos impactos e à severidade da seca para uma mesma região, por apresentarem diferentes exigências quanto à entrada de dados (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012).

Devido aos graves impactos da seca nas atividades econômicas e sociais, e na tentativa de quantificar e caracterizar os seus impactos, várias metodologias foram criadas entre as quais se destacam: os índices de seca que são baseados em dados de precipitação, temperatura do ar e capacidade água disponível (CAD). Existe na literatura uma variedade de índices de seca, como por exemplo, o Índice de Anomalia de Chuva (em inglês, RAI – *Rainfall Anomaly Index*) (MARCUIZZO et al., 2012); Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP) e o Índice de Anomalia de Umidade (Z-Índice) (PALMER, 1965, FERNANDES et al.; 2010; FARIA et al.; 2012 e SANTOS et al., 2011); Método dos Decis (GIBBS & MAHER, 1967 e VALADÃO, et al., 2010); Índice de Seca NOAA (em inglês, NDI - *NOAA Drought Index*) (STROMMEN et al., 1980; TITLOW, 1987, LIRA, et al., 2011, MELO, et al., 2011, COVELE, 2011); Índice de Precipitação Padronizado denominado de SPI (em inglês, *Standardized Precipitation Index*) (McKEE et al., 1993 e 1995, PAREDES et al., 2008, FERNANDES et al., 2010, FERNANDES et al., 2011, BLAIN et al., 2011, BLAIN et al., 2012). Sendo que os mais utilizados na caracterização de secas meteorológicas e agrícolas são os índices ISSP, SPI, Método dos Decis e Quantis. Ao longo do manuscrito será adotada no texto a denominação em inglês do índice SPI.

O índice SPI vem sendo utilizado em vários estudos científicos devido a sua capacidade de quantificar o déficit ou excesso pluviométrico em diversas escalas temporais e, ainda permitir comparações entre regiões com diferentes características climáticas e por fim sendo comparado com outros índices usados na literatura (McKEE et al., 1993; BLAIN & BRUNINI, 2007; MACEDO et al., 2010).

A distribuição da precipitação pluvial é influenciada pelos oceanos adjacentes, características fisiográficas, pelos modos de variabilidade, como por exemplo, o ENOS (fase quente - El Niño e a fase fria - La Niña) e as alterações no Gradiente Interhemisférico da Temperatura da Superfície do Atlântico. Além disso, é interessante salientar que esses modos de variabilidade têm uma influência na escala regional e local (MACEDO et al., 2010, BRAGA et al., 2012).

Apesar da seca trazer sérios prejuízos socioeconômicos à maioria dos Estados brasileiros, e principalmente ao estado TO, há poucos estudos sobre a caracterização e quantificação dos seus efeitos no Estado, e suas relações com eventos de ENOS sendo uma das motivações deste trabalho que tem por objetivo aplicar o índice SPI na escala espaço-temporal em 34 localidades das sete microrregiões do Estado do TO no período de 1976-2012 e relacionar com os eventos de El Niño (forte).

MATERIAL E MÉTODOS

Situado na região Norte do Brasil, o Tocantins possui uma área superficial de 277.720,520 km² (IBGE, 2013). O clima predominante é “Aw”, segundo classificação climática de Köppen. O índice pluviométrico apresenta precipitação média anual de

1.200 mm e média máxima de 1.700 mm. A temperatura média mínima anual é de 23° C e a média máxima é de 26° C. A umidade relativa varia entre uma média mínima anual de 65 % e média máxima de 75 % (PRODIAT, 1982 e BATISTA et al., 2010).

No estudo foi realizado o cálculo do índice SPI conforme a metodologia proposta por McKEE et al., (1993, 1995) e sua análise espaço-temporal baseado em dados de precipitação (mm) (dado de entrada) de 34 localidades pertencentes a sete microrregiões do Estado do Tocantins (Figura 1), proveniente do banco de dados hidroweb (<http://www2.ana.gov.br/>) de uma série de 1976 a 2012 (37 anos) fornecido pela Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

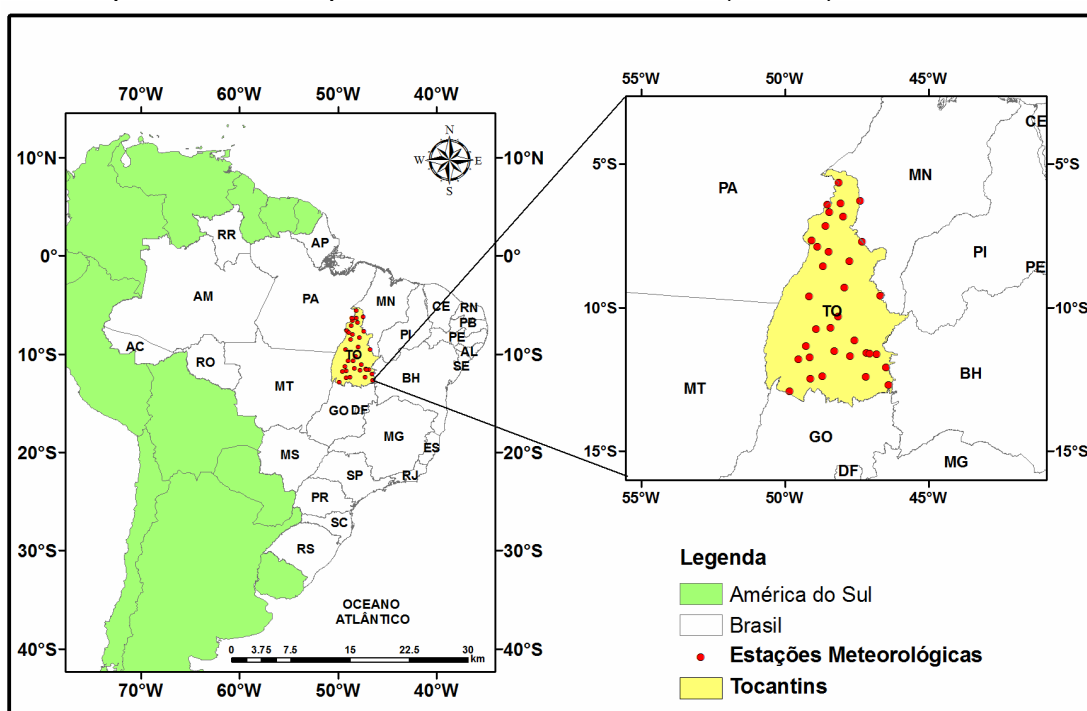


FIGURA 1. Localização geográfica da área de estudo e das 34 estações meteorológicas convencionais provenientes da ANA, INMET e CPRM, respectivamente.

Para fins deste estudo, foram calculados os SPIs na escala anual para os 34 localidades da área de estudo. De acordo com McKEE et al. (1993, 1995) 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 (Equação 1):

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

Em que,

$\alpha > 0$	(α) Parâmetro de Forma (adimensional);
$\beta > 0$	(β) Parâmetro de Escala (mm);
$x > 0$	(x) Total de Precipitação (mm);
$\Gamma(\alpha)$	Função gama definida pela Equação 02:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

Os parâmetros e a função de densidade de probabilidade gama foram ajustados para distribuição de frequência dos totais de precipitações pluviais das 34 estações. Foram calculados os parâmetros de forma e escala (α e β), da função de densidade de probabilidade gama estimados para cada uma das 34 estações meteorológicas na escala de tempo anual.

Segundo, (THOM, 1966) e ASSIS et al. (1966), o Método da Máxima Verossimilhança (MMV) é o mais indicado para as estimativas dos parâmetros de α e β (Equações 3 e 4):

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

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (4)$$

Em que, A é definido pela Equação (5):

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(X_i) \quad (5)$$

Em que, \bar{X} = Média aritmética da precipitação pluvial (mm), \ln = logaritmo neperiano, N = número de observações.

Os parâmetros de forma e de escala foram calculados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para a escala de tempo anual. Em que a probabilidade cumulativa (Equações 6 e 7):

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

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

$$F(\beta t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^{\beta t} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

A qual é definida como sendo a função gama incompleta considerando que a função gama incompleta não admite valores nulos. Visto que a distribuição gama é indefinida para valores de precipitação iguais a zero, a probabilidade cumulativa pode ser determinada em duas partes (Equação 8):

$$F(x) = P_0 + (1 - P_0) G(x) \quad (8)$$

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. As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por PANOFSKY e BRIER (1958), onde os dados de precipitação estão ordenados em ordem crescente de magnitude de forma que os valores são baixos, o tamanho da amostra é dado pela (Equação 9):

$$P_0 = \frac{m}{n+1} \quad (9)$$

Em que m é o número de ordem dos valores de zeros em uma série climatológica e n o tamanho da amostra. Uma vez que seria desnecessário reproduzir vários gráficos para cada localidade e cada ano para todas as estações nas escalas de tempo e durante cada mês, o valor de SPI ou Z é obtido mais facilmente pela aproximação matemática desenvolvida por ABRAMOWITZ e STEGUN (1965), a qual converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável Z , onde Z é definido pelas equações (10) e (11):

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < P(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < P(x) \leq 1 \quad (11)$$

Onde, t é definido pelas equações (12) e (13):

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(P(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < P(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (P(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < P(x) \leq 1 \quad (13)$$

Sendo os coeficientes $c_0=2,515517$; $c_1=0,802853$ $c_2=0,010328$ e $d_1=1,432788$; $d_2=0,189269$; $d_3=0,001308$. A partir dos cálculos dos valores do SPI na escala de tempo anual para as localidades da área de estudo, foram classificados conforme a Tabela 1.

TABELA 1. Classificação dos períodos secos e úmidos do SPI, segundo McKEE et al. (1993, 1995).

SPI	Categoria
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

Foi realizado o tratamento e a organização dos dados de precipitação das 34 localidades do estado. As séries históricas com falhas foram eliminadas e preenchidas através da média mensal climatológica (30 anos) de cada uma das sete microrregiões do Estado do TO. Outro procedimento consiste na utilização de dados de relevo, gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, no projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM, com 3 s de arco (aproximadamente 90 m de resolução espacial), é distribuído gratuitamente pelo governo norte-americano (MIRANDA, 2013). A partir disso foi utilizado o software ArcGIS 10 (ArcMap), onde foram gerados mapas do índice SPI na escala anual para as microrregiões do estado TO, utilizando o método matemático de interpolação espacial *Spline*, e por fim foram comparados com os eventos severos de seca com os episódios de El Niño (forte) conforme Tabela 2 (CPTEC, 2013). Todavia, a adoção do método *Spline* se deve em função dele ser amplamente utilizado na espacialização de dados meteorológicos, principalmente dados de precipitação (FILHO et al., 2012). Foram calculadas as frequências médias absolutas dos eventos de severidade de seca conforme os intervalos dos limites inferior e superior (-1,00 a -1,49; -1,50 a -1,99 e $\leq -2,00$) das categorias (Moderadamente seco, Muito seco e Extremamente seco) – Tabela 1 para os índices SPI's na escala anual, respectivamente. E após o cálculo eles foram espacializados utilizando novamente o software ArcGIS 10 (ArcMap) com objetivo de identificar qual ou quais microrregiões são mais aptas a ocorrência de eventos de severidade de seca no estado do TO.

TABELA 2. Classificação de ocorrência de eventos de El Niño (forte), segundo CPTEC (2013).

Anos de El Niño	Categoria
1982 – 1983	Forte
1990 – 1993	Forte
1997 – 1998	Forte

FONTE: CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a análise espacial baseada no método Spline do índice SPI para os anos de eventos de El Niño forte, segundo a categorização do CPTEC (2013). De acordo com a Tabela – 2 o ano de 1982 (Figura 2a) caracterizou-se como evento de El Niño-Forte no Estado do TO. Por meio do índice SPI verificou-se que as maiores intensidade da seca ocorreram nas porções (E), (NE), (NW) e (SE) do Tocantins, correspondentes às microrregiões Bico do Papagaio, Araguaína, Miracema do Tocantins, Porto Nacional, Jalapão, Dianópolis e Gurupi. A microrregião do Bico do Papagaio foi categorizada com eventos de seca moderada enquanto a microrregião Araguaína com eventos de seca nas categorias moderadamente a extremamente seco e por fim, seguidas pelas microrregiões Miracema do Tocantins, Porto Nacional, Jalapão, Dianópolis e Gurupi com as maiores ocorrências nas categorias moderadamente seco a muito seco, segundo a Tabela 1. Ainda neste mesmo ano, notou-se uma pequena faixa de eventos categorizados como moderadamente úmido, muito úmido e extremamente úmido nas microrregiões Bico do Papagaio e Rio Formoso nas porções (N) e (SW) do estado. De acordo com estudos realizados por MARCUZZO et al. (2012) observou sobre as porções E, S, NE, NW, SE e Centro – Oeste, respectivamente uma queda no índice pluviométrico em torno de 10 mm que indica o começo do período seco com pluviosidade máxima de 30 mm.

Verificou-se que no ano de 1983 (Figura 2b) - (Tabela 2) as ocorrências de eventos de seca na categoria extremamente seco na porção (N) do Bico do Papagaio e na porção SE das microrregiões do Jalapão e Dianópolis, seguido de eventos de seca nas categorias muito a moderadamente seco se concentraram nas porções (NW) e (NE) das microrregiões de Porto Nacional, Gurupi e Rio Formoso. As categorias, moderadamente e extremamente úmido foram observadas no ano de 1983 nas porções (W), (SW), (E) e (S) das microrregiões Rio Formoso, Jalapão, Gurupi e Dianópolis.

Para o ano de 1990 que compreende o episódio de El Niño-Forte (Tabela 2) nota-se a ocorrência de eventos de seca nas categorias extremamente seco a muito seco nas microrregiões Bico do Papagaio (porção N), Miracema do Tocantins (porção NW), Araguaína (porção NE) e em Dianópolis (porção SE). Foram identificadas as categorias moderadamente a extremamente úmidos nas microrregiões Bico do Papagaio (porção N), Araguaína (porção NW) e nas microrregiões Jalapão (porção E), ao S da microrregião de Dianópolis e SW das microrregiões de Gurupi e Rio Formoso (Figura 2c). As Figuras 2d, 2e, e 2f correspondem aos anos de El Niño-Forte (1993, 1997 e 1998) com a ocorrência das

categorias extremamente seco na porção SW, W e S das microrregiões Rio Formoso, Miracema do Tocantins, Araguaína e Bico do Papagaio. Foram identificadas as categorias moderadamente seco e próximo ao normal na maioria das microrregiões do Estado do TO. Apesar da ocorrência de evento El Niño forte foram observados nas Figuras 2d, 2e, e 2f, a ocorrência das categorias moderadamente úmidos a extremamente úmidos nos respectivos anos de 1993, 97 e 98 em algumas microrregiões do Tocantins.

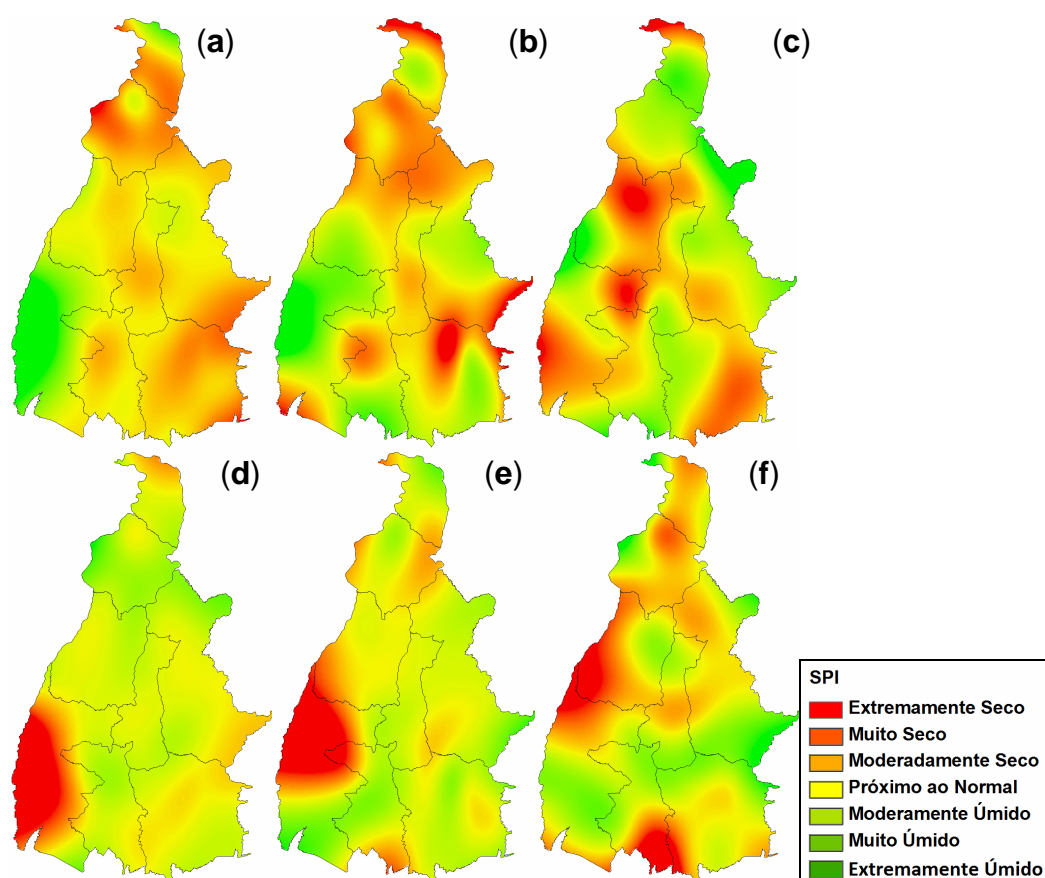


FIGURA 2. Análise espacial do índice SPI pelo método Spline para as microrregiões do Estado do TO para os eventos de El Niño nos anos de 1982 (a), 1983 (b), 1990 (c), 1993 (d), 1997 (e) e 1998 (f).

As Figuras (3a, 3b e 3c) mostram as frequências médias absolutas dos eventos de severidade de seca para o estado do Tocantins para a categoria extremamente seco, muito seco e moderadamente seco. Na Figura 3a as porções E, NE e NW das microrregiões Bico do Papagaio (N-NW), Araguaína (porção W-NW), Rio Formoso (W-SW), Dianópolis (E-SE), Gurupi (porção W-SW) e Porto Nacional (Central) revelou um aumento nas ocorrências de eventos extremamente seco com percentuais de 2,7%; 5,4%; e 8,1%. Enquanto a microrregião Rio Formoso por sua

vez, foi a que apresentou o maior percentual (21,6%) dos eventos extremamente seco.

Conforme a (Figura 3b) observa-se que as frequências médias absolutas dos eventos de severidade de seca para categoria muito seco para as microrregiões do Bico do Papagaio (porção N), Araguaína (porção NW), Dianópolis (SE) e Gurupi (porção SW) tiveram percentuais que variaram entre 2,7%; a 8,1%. Por fim a (Figura 3c), revelou as maiores frequências médias absolutas dos eventos de severidade de seca para os episódios moderadamente seco nas microrregiões Bico do Papagaio (porção N–NW), Araguaína (porção W-NW), Jalapão (porção L-NE), seguidas pelas microrregiões de Dianópolis (porção L-SE), Gurupi (porção S-SW), Porto Nacional (porção Central) e Rio Formoso (porção W-SW), que correspondem aos respectivos percentuais de 8,1%, 10,8%; 13,5% e 16,2% dos eventos.

Segundo estudo realizado nos estados do Mato Grosso, Goiás, Tocantins, São Paulo, Paraná e Santa Catarina por ALTAMIRANO (2010) revelaram que as frequências médias absolutas dos eventos severos de seca para as escalas do SPI – 1, SPI – 3, SPI – 6 e SPI – 12 meses, respectivamente apresentaram alta variabilidade (0 a 24%) nas frequências médias absolutas com maiores porcentagens nas escalas temporais dos SPI – 6 e SPI – 12 meses, sendo os anos de 1973, 1992 e 1983 os anos que apresentaram as maiores variações interanuais com valores de 17% e 24% de eventos extremamente secos, muito seco e moderadamente seco para o SPI – 12, nos respectivos Estados. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os resultados neste estudo para as microrregiões do Estado do TO.

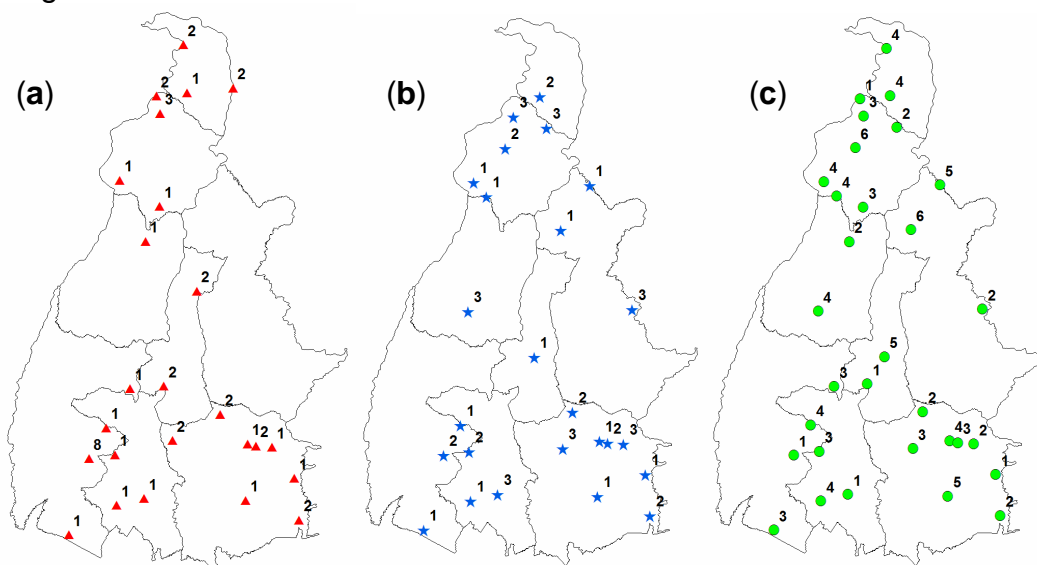
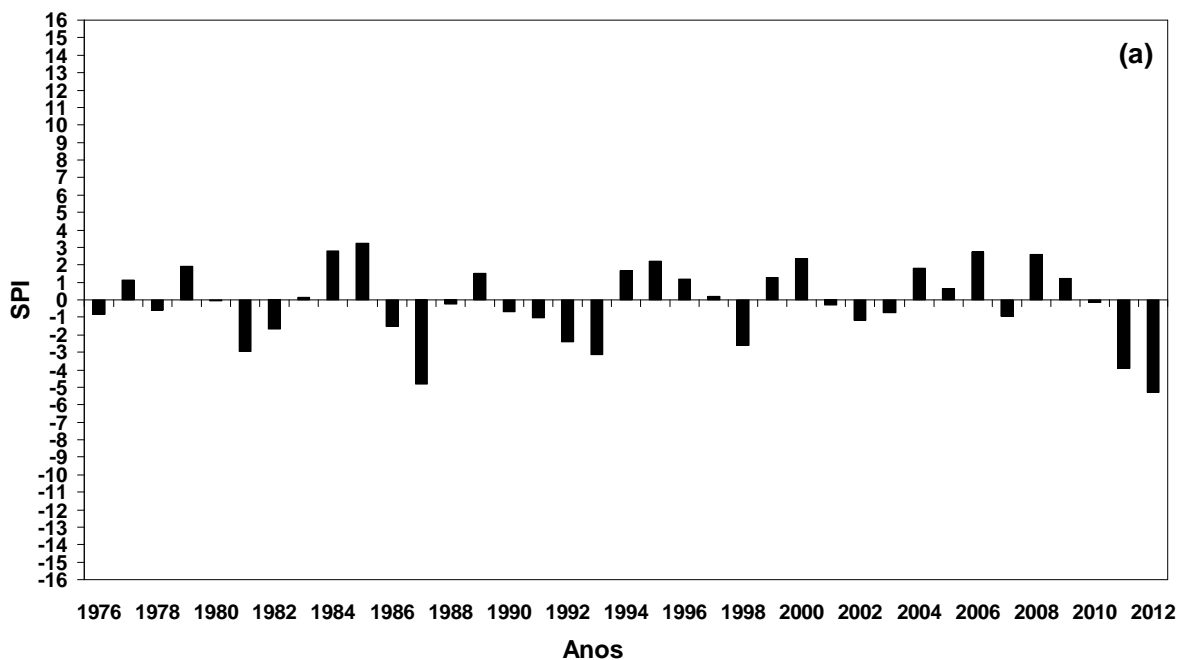


FIGURA 3. Frequência média absoluta dos eventos de severidade da seca para o estado do TO para as categorias extremamente seco (**vermelho-triângulo**), muito seco (**azul-estrela**) e moderadamente seco (**verde-bolinha**) na escala anual do SPI.

Foi realizada avaliação temporal do índice SPI na escala mensal para as microrregiões Bico do Papagaio, Araguaína e Dianópolis (Figuras 4). A microrregião do Bico do Papagaio (Figura 4a) apresentou a ocorrência de 7, 11 e 13 eventos na

categoria extremamente seco, ao longo dos anos de 1987, 1993, 2011 e 2012, seguidos de 2 eventos na categoria muito seco (1982 – 1986) e 2 na categoria moderadamente seco (1991 – 2002). A Figura 4(b) mostra a variação espacial do SPI para a microrregião de Araguaína, onde foram observados na categoria extremamente seco a ocorrência de 13 eventos nos anos de 1976, 1978, 1981, 1982, 1983, 1987, 1990, 1991, 1998, 2007, 2010, 2011 e 2012, respectivamente, onde os anos de 1976 (-4,05), 1983 (-4,29), 1998 (-6,57) e 2012 (-12,86) se destacam como anos excepcionais, em que ocorreram os maiores eventos extremamente secos.

Segundo MACEDO et al. (2012) as ocorrências de anos excepcionais, se devem possivelmente as características tanto da orografia, quanto ao clima e atuação de fenômenos meteorológicos. Evento de seca na categoria extremamente seco foram relatados em algumas localidades do Estado da Paraíba, nos respectivos anos deste estudo. Por fim, eventos nas categorias, muito seco e moderadamente seco foram observados apenas dois ao longo dos anos de 1977 e 1997. A Figura 4(c) mostra a variação espacial do índice SPI para a microrregião Dianópolis, onde foi observada a ocorrência de 13 eventos de seca na categoria extremamente seco nos anos de 1982, 1983, 1984, 1986, 1990, 1993, 1996 1998, 2001, 2002, 2007, 2010 e 2012, respectivamente, onde os anos de 1982 (-6,78), 1984 (-7,12), 1990 (-11,16), 1993 (-10,40), 2002 (-7,01) e 2012 (-8,48) foram os anos mais significativos em relação à categoria extremamente seco. GUEDES et al. (2012) ressalta a influência do fenômeno El Niño categorizado como forte em 10 localidades do Estado do Piauí. Os resultados obtidos pelos autores coincidiram com os resultados encontrados no Estado do Tocantins, para as categorias muito seco e extremamente seco, assim como nas demais categorias da escala do SPI. Foram registrados 3 eventos (moderadamente seco) e 1 evento (muito seco) nos anos de 2005, 2006 e 1977.



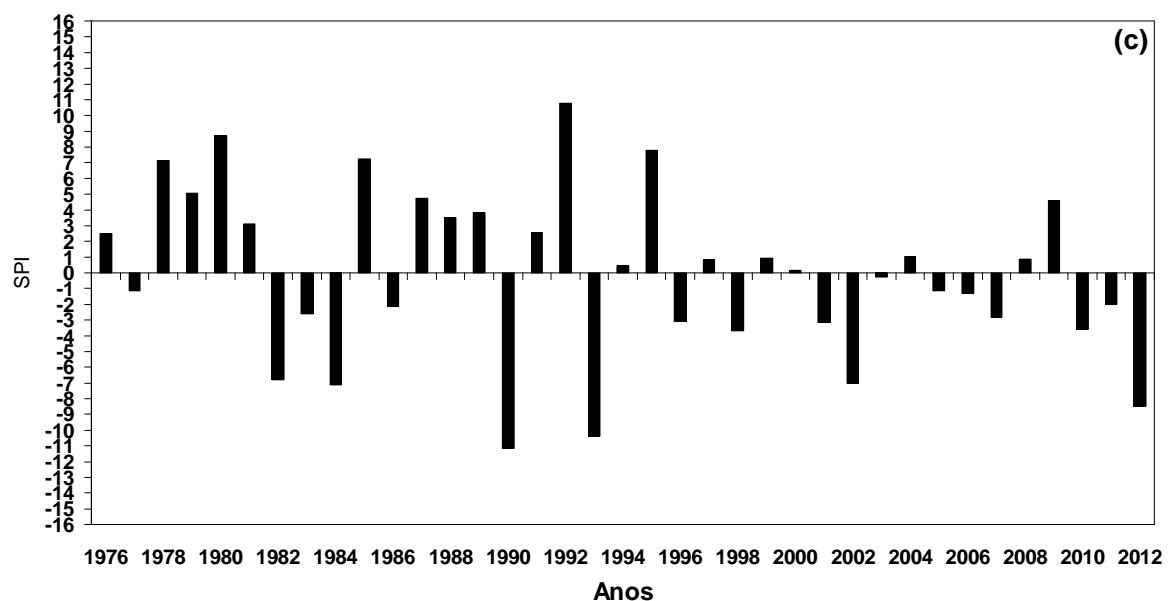
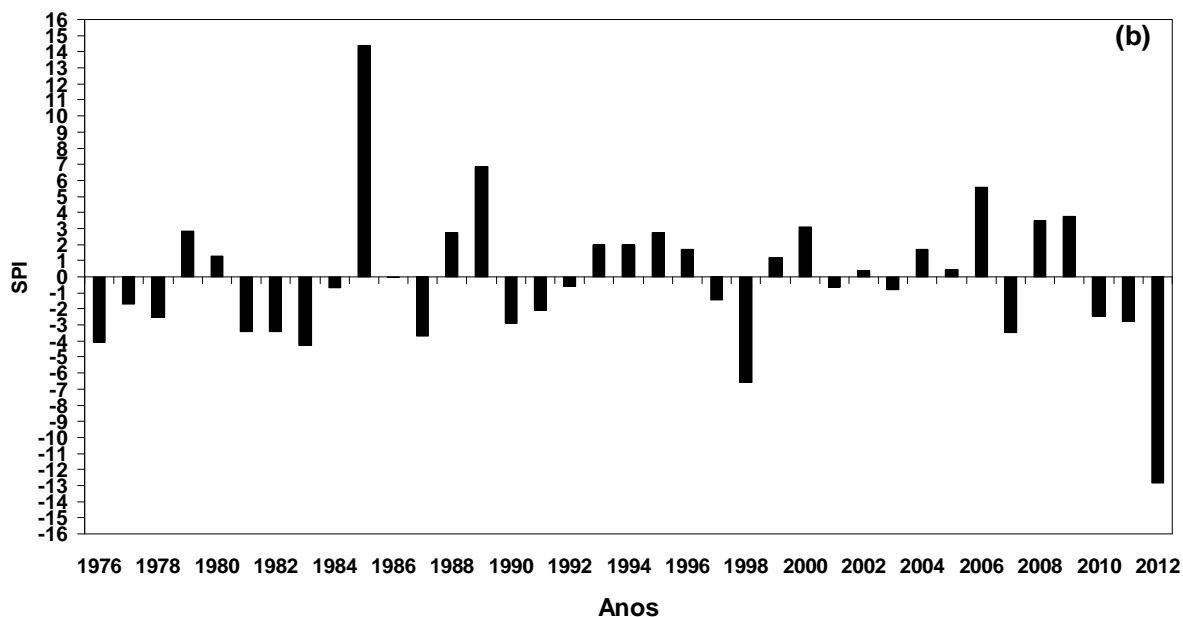


FIGURA 4. Análise temporal do índice SPI na escala anual para as microrregiões Bico do Papagaio (a), Araguaína (b) e Dianópolis (c) no período de 1976-2012.

CONCLUSÕES

O índice SPI é capaz de identificar a severidade da seca quando há ocorrência de eventos de El Niño forte no estado do Tocantins.

O método de interpolação Spline consegue espacializar com devida coerência todas as categorias do índice SPI para o período 1976-2012.

A análise espacial dos eventos de El Niño forte mostra que as categorias moderadamente seco e muito seco ocorre nas microrregiões Bico do Papagaio,

Araguaína, Miracema do Tocantins, Jalapão e Dianópolis. A categoria extremamente seca ocorre nas microrregiões do Rio Formoso e Gurupi.

As ocorrências de El Niño-Forte (1993, 1997 e 1998) foram identificadas nas categorias extremamente seco nas porções (SW), (W) e (S) das microrregiões Rio Formoso, Miracema do Tocantins, Araguaína e Bico do Papagaio.

Apesar dos eventos de El Niño forte atuar no estado do Tocantins e ter impacto na severidade da seca, as categorias moderadamente a extremamente úmidos são atuantes nas microrregiões Bico do Papagaio e Rio Formoso nas porções (N) e (SW) do estado, seguidas das microrregiões Jalapão, Gurupi e Dianópolis nas porções (W), (SW), (E) e (S). Foram identificadas as mesmas categorias nas microrregiões Bico do Papagaio (porção N), Araguaína (porção NW) e na microrregião Jalapão (porção E), e nas porções (S) e (SW) das microrregiões Dianópolis e Gurupi, e porção (SW) do Rio Formoso. Embora, os impactos e a severidade das secas ocorram constantemente sobre o estado do Tocantins a categoria próxima ao normal é observada em algumas das microrregiões do Estado do TO.

As frequências absolutas médias nas categorias extremamente seco, muito seco e moderadamente seco na escala anual de SPI usadas no estudo mostra que a microrregião Rio Formoso apresenta as maiores frequências na categoria extremamente seco. As categorias muito seco e moderadamente seco são similares na maioria das microrregiões do estado do Tocantins.

Na avaliação temporal do índice SPI das microrregiões do Bico do Papagaio, Araguaína e Dianópolis identificaram número elevado de eventos na categoria extremamente seco. Vale ressaltar que esses eventos seguem o padrão dos eventos de ENOS (El Niño e La Niña) aqui não explorados nesse trabalho, mas que merece uma avaliação com outro tipo de ferramenta estatístico-matemática (análise harmônica e espectral, *wavelet*, redes neurais ou análise de componentes principais).

É importante ressaltar que o índice SPI foi capaz de identificar a severidade da seca quando da ocorrência de eventos de El Niño forte no estado do Tocantins.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Nacional de Água (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) por disponibilizarem os dados de precipitação para este estudo.

REFERÊNCIAS

ASSIS, F. N.; ARRUDA H. V. & PEREIRA A.R. **Aplicações de Estatística à Climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária / UFPEL, Rio Grande do Sul - RS. p 61-69, 1996.

ALTAMIRANO, R. J. A. Climatologia dos Eventos Chuvosos e Secos Severos, Extremos e Muito Extremos Usando o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) para as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37APHL5>> Acesso em: 20 abril de 2013.

BATISTA, D. L., SILVA JÚNIOR, J. L. C.; SILVA, R. A. **Seca Meteorológica na Microrregião do Bico do Papagaio Estado do Tocantins**. [online] 2010. Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo-SP. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/740_48296.pdf>. Acesso em: 10 abril de 2013.

BLAIN, G. C; BRUNINI, O. Análise Comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer Adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.1, p.105-111, 2007.

BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T. 118 Anos de Dados Mensais do Índice Padronizado de Precipitação: Série Meteorológica de Campinas, Estado e São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 137-148, 2011.

BLAIN, G. C. Revisiting the probabilistic definition of drought: strengths, limitations and an agrometeorological adaptation. **Revista Bragatina**, v. 71, p. 132-141, 2012.

BRAGA, C. C.; CERQUEIRA, H. D. V.; AMANAJÁS, J. C.; VITORINO, M. I.; NASCIMENTO, G. S. L. **Relação entre TSM e precipitação no litoral da Paraíba para diferentes escalas de tempo usando transformada de ondeletas**. XI Congresso Argentino de Meteorologia, MENDOZA-ARGENTINA, 2012. Disponível em: <<http://www.congremet.prmarg.org/upload/bragacelia.pdf>>. Acesso em: 05 abril de 2013.

COVELE, P. A. Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em Moçambique usando NOAA_AVHRR- NDVI. **Revista GEOUSP – Espaço Tempo**, n. 29, p. 85 - 95, 2011.

DUARTE, R. S. Seca, Pobreza e Políticas Públicas no Nordeste do Brasil **In: Pobreza, Desiguald social y cidadanía**. 1º ed Buenos Aires: CLASCO, v. 1, p. 425-440, 2001.

FARIA, S. M.; ASSUNÇÃO, H. F. O Fenômeno Seca e a Produtividade Agrícola do Estado de Goiás. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí - UFG**, v. 7, p. 178 – 180, 2012.

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. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 771-779, 2010.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B. A. O. Estimativa da variação da produtividade do arroz em diferentes escalas temporais do índice SPI. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 335-343, 2011.

FILHO, H. C. C.; STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A. Análise especial da precipitação pluviométrica na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação. **Revista GEONORTE**, v.1, p.336-345, 2012.

GIBBS, W. J., MAHER, J. V. **Rainfall Deciles as Drought Indicators**. Bureau of Meteorology Bulletin, nº 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, 1967.

GOIS, G.; SOUZA, J. L.; SILVA, P. R. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Caracterização da Desertificação no Estado de Alagoas Utilizando Variáveis Climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, p. 301-314, 2005.

GUEDES , R. V. S.; MACEDO , M. 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**, n. 23, p. 55-65, 2012.

LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; NETO, J. D.; AZEVEDO, C. A. V.; FRANCO, E. S. Variação Sazonal da Cobertura Vegetal em Áreas do Submédio São Francisco a partir de Dados NDVI e Imagens TM-LANDSAT 5. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 1 – 9, 2011.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUSA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.5, n.1, p.204-214, 2010.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; COSTA, H. C. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 77-85, 2012.

MAIA, L. M.; SOUSA, A. B.; RUFINO, L. L.; SILVA, D. F. **Análise da Ocorrência Simultânea de ENOS e ODP Sobre o Cariri Cearense**. [online] 2011. Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa-PB. Disponível em: <<http://www.sic2011.com/sic/arg/37469125081903746912508.pdf>>. Acesso em: 15 abril de 2013.

MELO, E. T.; SALES, M. C.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-ce. **Revista RA'E GA – O Espaço Geográfico em Análise**, n. 23, p. 520 - 533, 2011.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 17 abr. 2013.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **Drought monitoring with multiple time scales. Preprints**, In: 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, p. 233-236, 1995.

McKEE, T.B., DOESKEN, N.J., KLEIST, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. **In: Proceedings of the 8th Conference On Applied Climatology**. AMS, Boston, MA, p. 179–184, 1993.

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, p. 101-101, 2012.

PAREDES, F.; MILLANO, J. L.; GUEVARA, E. Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de los llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. **Revista de Climatología**, v. 8, p. 15-27, 2008.

PALMER, W. C. **Meteorological Drought**. Research Paper, n.45, U. S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D. C. 1965. 58p.

PROJETO de desenvolvimento Integrado da Bacia do Araguaia – Tocantins. Brasília: PRODIAT, 1982.

SANTOS, R. S.; COSTA, L. C.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; OLIVEIRA, R. A.; JUSTINO, F. B. Avaliação da Relação Seca/Produtividade Agrícola em Cenário de Mudanças Climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 321-321, 2011.

SILVA JÚNIOR, J. L. C.; SILVA, R. A.; MACIEL, G. F.; SILVA, G. F. G. ; COSTA, J. **Avaliação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) Como Indicador Climático da Variabilidade Pluviométrica na Microrregião de Gurupi-TO.** [online] 2011. Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa-PB. Disponível em: <<http://sic2011.com/sic/arq/37981254607953798125460.pdf>>. Acesso em: 05 abril de 2013.

STROMMEN, N., KRUMPE, P., REID, M., STEYAERT, L. **Early warning assessments of droughts used by the U.S. agency for international development.** In: Pocinki, L.S., Greeley, R.S., Slater, L. (Eds.), *Climate and Risk*. The MITRE Corporation, McLean, VA, p. 8–37, 1980.

TITLOW, J. K.. **A precipitation-based drought index for the Delaware river basin.** Publications in Climatology 40. C.W. Thornthwaite Associates, Centerton, NJ, 1987.

THOM, H.C.S. **A note on the gamma distribution.** *Monthly Weather Review*, v.86, p.117-122, 1958. [online] 2011. American Meteorological Society, Escritório de Climatologia, EUA Weather Bureau, Washington, DC. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2)>. Acesso em: 12 abril de 2013.

VALADÃO, C. E. A.; SILVA, B. K. N.; TELLES, P. T.; SCHMIDT, D. M.; ANDRADE, R. L.; CORREIA FILHO, W. L. F.; BARRETO, N. J. C.; MATA M. V. M.; LOPO, A. L. B.; SPYRIDES, M. H. C. LUCIO, P. S. **Uma Análise Comparativa de Alguns Índices de Aridez Aplicados às Capitais do Nordeste do Brasil.** In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém – PA, 2010.