

Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil*

Micejane da Silva COSTA¹, Kellen Carla LIMA², Matheus de Mendonça ANDRADE³, Weber Andrade GONCALVES⁴

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCC/UFRN), CEP 59.072-970, Natal – RN, Brasil. Autor correspondente. Endereço eletrônico: micejane@ccet.ufrn.br;
2 e 4 Professores Drs. do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCC/UFRN), CEP 59.072-970, Natal – RN, Brasil.
3Bacharel em Ciências e Tecnologia da Escola de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (ECT/UFRN), CEP 59.072-970, Natal – RN.

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

A frequência de eventos extremos de precipitação vem crescendo nos últimos anos, com maior intensidade e duração, e assim favorecendo desastres naturais como inundações e secas severas. Portanto, a expansão de conhecimentos acerca da variabilidade temporal e espacial de eventos extremos é de suma importância para as condições climáticas de uma determinada região. Esta pesquisa tem como objetivo verificar se há possíveis tendências na intensidade da chuva ocorrida durante o período menos chuvoso e chuvoso sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil durante o período de 1961 a 2011. O estudo foi realizado com dados diários de precipitação, distribuídos em 193 postos pluviométricos, fornecidos pela ANA e INMET. Utilizou-se o percentil para definição dos eventos extremos EPF e EPI. Posteriormente, foi aplicado o teste de Mann-Kendall a fim de verificar a possível tendência, crescente ou decrescente, com nível de significância estatística de 5%. Os resultados indicaram que houve tendência negativa nos meses de outubro a dezembro e positiva de junho a agosto, todos com significância estatística de 5%. Os demais meses apresentaram tendências, mas não significativas. A maior frequência de El Niño possivelmente explica essa tendência decrescente na intensidade da precipitação, consequentemente favoreceu maiores períodos sem chuvas. De um modo geral, esses resultados indicaram aumento na intensidade das secas e diminuição dos eventos de precipitação intensa ao longo dos anos, ficando com uma redução na precipitação em torno de 0,16 mm/ano para o período menos chuvoso e 0,64 mm/ano para o período chuvoso.

Palavras – chave: precipitação extrema, tendência, menos chuvoso, chuvoso.

Trends observed in precipitation extremes over the semiarid region of Northeast Brazil

ABSTRACT

The frequency of extreme precipitation events has increased in recent years, with greater intensity and duration, thus favoring natural disasters such as flood and severe drought. Therefore, the expansion of knowledge about the spatial and temporal variability of these extreme events is of paramount importance to the climatic conditions of a particular region. This research aims to check the possible trends in the intensity of rain occurred during the less rainy and rainy season on the Semi-arid region of Northeast Brazil during the period 1961-2011. The study was conducted with daily precipitation data, distributed in 193 rainfall stations, provided by the ANA and the INMET. We used the percentile for definition of extreme events WRE and HRE. Subsequently, the Mann-Kendall test was applied in order to check the possible trend, whether increasing or decreasing, with statistical significance level of 5%. The results indicated that there was a negative trend in the months from October to December and positive trend from June to August, all with statistical significance of 5%. The other months trends are presented, but not significant. The higher frequency of El Niño possibly explains the downward trend in the intensity of rainfall, consequently favored for longer periods without rain. Overall, these results indicated an increase in the intensity of dryness and reduction of heavy precipitation events over

^{*} Os resultados apresentados neste artigo foram extraídos de tese. E-mail para correspondência: micejane@yahoo.com.br (Costa, M. S).

the years, leaving a reduction in precipitation of around 0.16 mm/year for the rainy less season and 0.64 mm/year for the rainy season.

Keywords: extreme precipitation, trend, less rainy, rainy.

Introdução

A precipitação é uma das variáveis climáticas mais importantes. Seu conhecimento é de fundamental importância para que se tenha um planejamento adequado às inúmeras atividades humanas. A frequência de eventos extremos de precipitação vem crescendo nos últimos anos, com maior intensidade e duração, favorecendo desastres naturais como as inundações e secas severas (Marengo et al., 2011; Fu et al., 2013; Song et al., 2015). Neste sentido, a precipitação extrema tem sido bastante estudada em diferentes regiões do mundo, em face de sua importância no ciclo hidrológico e a manutenção dos seres vivos no planeta.

No Brasil, a variabilidade da precipitação é bem destacada na região Semiárida do Nordeste do Brasil – SANEB, apresentando características tropicais de tempo e clima. Esta região se estende meridionalmente de 3°S a 17°S, com extensão de 969.589,4 km², abrangendo aproximadamente 58% da superfície do Nordeste Brasileiro - NEB (Brasil-MIN 2005). A principal característica da região SANEB se deve à precipitação média anual variar entre 400 e 800 mm; possuir temperaturas acima de 23°C, e evapotranspiração acima de 2000 mm/ano (Moscati e Gan, 2007). Segundo Palmer (1965), o intervalo de tempo com períodos longos de seca geralmente duram vários meses a anos, com registros de chuvas menores que a média climatológica.

A variabilidade climática é marcada por eventos extremos de precipitação (chuvas em excesso ou em déficit), onde tal impacto pode atingir proporções catastróficas (Ramos, 1975; Kousky e Chu, 1978; Magalhães et al, 1987; Alves e Repelli, 1992; Molion e Bernardo, 2002; IPCC, 2007). A preocupação associada às incertezas com relação às mudanças climáticas tem motivado vários autores a investigar a presença de tendências climáticas, em escala regional, para várias partes do mundo (Yue et al., 2002; Burn e Elnur, 2002; Adamowski e Bougadis, 2003; Yue et al, 2003; Yue e Hashino, 2003; Silva, 2004; Burn et al., 2004; Yue e Pilon, 2004; Sansigolo, 2008; Sansigolo e Kayano, 2010). De acordo com Wilks (2011), a investigação de possível tendência de um conjunto de dados é de interesse no contexto das mudanças climáticas.

A necessidade de maiores conhecimentos sobre a variabilidade espacial e temporal da precipitação é crucial para planejamento de ações que visem minimizar a escassez hídrica. Assim, a avaliação de séries temporais é um importante instrumento para, através do comportamento passado, avaliar tendências futuras, especialmente no momento em que estudos de mudanças climáticas são mais frequentes. Para avaliar esta mudança, fez-se o uso, de análise de tendência. Recentes estudos foram realisados visando à identificação de possíveis tendências no Brasil (Silva, 2004; Oliveira et al., 2012; Oliveira et al., 2014; Pereira, 2014; Santos et al., 2014; Ferreira et al., 2015).

Como exemplo, pode-se citar Santos et al., (2014), que observaram que o teste de tendência pode ser usado em séries descontínuas com distribuição desconhecida, com a vantagem de utilizar a magnitude relativa dos valores da série estudada. Nos principais resultados, os autores mostraram predominância de tendência negativa de precipitação no sul e positiva ao noroeste da Amazônia. No entanto, nem todas as tendências apresentaram significância estatística. No NEB, Pereira (2014) verificou que na região do SANEB teve alguns núcleos com tendência negativa distribuídas nos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Bahia, onde a precipitação variou de 1 a 5 mm/ano. Tais tendências negativas dos núcleos de precipitação, de um modo geral, podem significar o aumento dos períodos sem chuvas ao longo dos anos, tanto no período chuvoso quanto no período menos chuvoso, o que foi observado também neste estudo. Oliveira et al. (2014), também estudou a tendência no NEB, com atuação de eventos extremos. Em geral, verificou tendência positiva na intensidade da precipitação e tendência negativa no total de números de eventos.

Os estudos anteriores não verificaram se existe tendência crescente ou decrescente na intensidade da precipitação e no número de eventos extremos para a região Semiárida do Nordeste do Brasil. Diante do exposto fica evidente a necessidade de se expandir maiores estudos, principalmente quando se trata de uma região semiárida como a SANEB, que possui períodos prolongados de seca. Portanto, espera-se responder por meio deste artigo, a seguinte pergunta: 'Os eventos extremos de precipitação apresentam tendência em número de ocorrência e intensidade no SANEB?' A hipótese para responder a essa pergunta, é que possivelmente, esses extremos possuam tendência, por conta da variabilidade atmosférica, diante da atuação de alguns sistemas atmosféricos precipitantes. Assim, o principal objetivo desta pesquisa é verificar se há tendências em eventos extremos de precipitação fraca (EPF) e intensa (EPI) para os períodos menos chuvoso e chuvoso da série temporal compreendida entre 1961 e 2011.

Material e métodos

A região SANEB (Figura 1) localiza-se entre 3°S e 17°S, com temperaturas mínimas

acima de 15°C e máximas que podem atingir 40°C. Este território foi escolhido por apresentar características marcantes, tais como: irregularidades de chuva (precipitação média acumulada inferior a 800 mm.ano⁻¹) e evaporação (superior à precipitação > 2000 mm.ano⁻¹), favorecendo a ocorrência de secas prolongadas (Magalhães et al, 1987; Moscati e Gan, 2007).

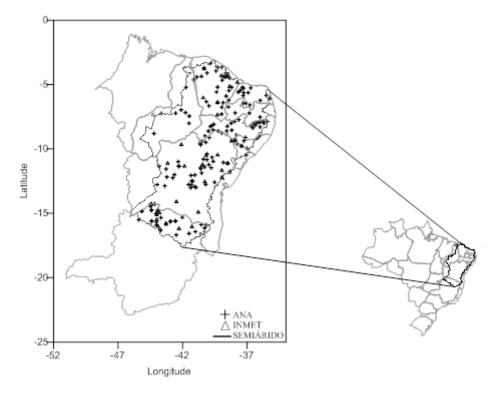


Figura 1. Representação das estações meteorológicas da (+) Agência Nacional de Águas - ANA e (△) Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizadas dentro do SANEB. Mapa: Costa, M. S. (2015).

Foram utilizadas as séries temporais de observados precipitação de fornecidas pelas instituições hidrometeorológicas, Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1961 a 2011. Soma-se 620 estações nas regiões do NEB e do Norte de Minas Gerais existentes nos dois bancos de dados. Porém, das 620, apenas 193 estações (sendo 165 da ANA e 28 do INMET) foram utilizadas para o estudo, como mostra a Figura 1, considerando-se todas as estações presentes na região em estudo, independente do total de número de falhas. Isto foi necessário pela pouca quantidade de estações no interior do SANEB.

A determinação e a quantificação de tendências a que se refere a presente pesquisa aconteceram sobre 193 estações meteorológicas distribuídas no SANEB. No entanto, analisaramse 51 x 12 = 612 séries de precipitação mensal. O

valor 51 refere-se ao total de anos distribuídos no período de 1961 a 2011, e o número 12, ao total de meses. Com essa série, foi possível definir os com maiores e menores registros, classificando os de maiores registros como período chuvoso e os menores como período menos chuvoso, para ambos os eventos extremos. Em média, 34,9% do total de estações apresentaram falhas nos dados, sendo que, 15,9% foram com registros de chuva e 49,2% sem chuva. Observou-se ainda, que regiões com maior número de falhas no banco de dados foram: norte e sudeste do SANEB, representadas pelos estados Ceará e Sergipe, respectivamente; e com menor número de falhas foram verificadas nos estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco, Piauí e Norte de Minas Gerais.

Análise dos quantis

Com intuito de definir dois tipos de eventos extremos de precipitação, foi utilizada a

técnica dos quantis, que consiste em organizar a série de dados na ordem crescente e em seguida, dividir em *n* partes. Utilizaram-se nesta pesquisa o percentil (P) que divide a amostra em 100 partes, percentagem uma com cada de aproximadamente igual. Os limiares definidos com as seguintes classificações: EPF ≤ P5 (evento de precipitação fraca) e EPI ≥ P95 (evento de precipitação intensa), com registros de chuva acima de zero. A precipitação para ambos percentis tiveram registros de chuva com acumulado entre 0,01 a 0,4 mm representando os EPF e valores acima de 41,4 mm representando os EPI. A técnica tem sido utilizada com sucesso para determinação de eventos extremos como mostra os estudos de (Lima et al, 2010; Teixeira e Satyamurty, 2011; Oliveira et al, 2012; Oliveira et al, 2014, Santos, et al., 2014).

Análise das tendências

O teste de Mann-Kendall - Z_{MK} (Mann, 1945; Kendall, 1975), é um teste não paramétrico, Organização Meteorológica sugerido pela Mundial (OMM) como excelente avaliador da tendência em séries temporais de climatológicos, no intuito de analisar possíveis mudanças climáticas (Fechine e Galvíncio, 2010). Diante disso, para análise da intensidade e o número de eventos de precipitação no período menos chuvoso e chuvoso aplicou-se o Z_{MK}. Este método descreve a tendência crescente ou decrescente de uma série temporal de dados (Xu et al. 2010). Para testar as observações da série, é necessário testar as hipóteses H₀ e H₁. A hipótese alternativa H₁, permite que as observações da série possuam tendência monotônica no tempo, ou seja, uma das variáveis aumenta ou diminui sua tendência.

Sendo assim, sob H_0 a estatística do teste é dada pela seguinte Equação 1:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{i=2}^{n} sinal (x_i - x_i)$$
 (1)

A função do sinal é realizada como se segue:

sinal =
$$\begin{cases} 1, se(x_i - x_j) > 0 \\ 0, se(x_i - x_j) = 0 \\ -1, se(x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

Em que: S é o coeficiente de correlação de $Z_{\rm MK}$; x_i e x_j são os dados estimados da sequência de valores, e n é o número de elementos da série temporal. A variância de S (Equação 2) é calculada quando o valor de n é muito grande, fazendo com que o S tenda a normalidade.

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p (t_p - 1)(2t_p + 5) \right]$$
 (2)

Sendo que, n é o número de observações; t_p é o número de dados com valores iguais em certo grupo p; e q o número de grupos contendo valores iguais na série de dados de um grupo p.

Após serem feitos os cálculos de S e variância de S será possível substituir na Equação 3, para se calcular o teste Z_{MK} que avalia a presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal através do valor Z_{MK} .

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, se S > 0\\ 0, se S = 0\\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, se S < 0 \end{cases}$$
 (3)

O sinal da estatística de Z_{MK} indica se a tendência é crescente ($Z_{MK} > 0$) ou decrescente $(Z_{MK} < 0)$. Um valor positivo do coeficiente Z_{MK} indica tendência de aumento da variável, enquanto valor negativo aponta tendência decréscimo. No presente estudo, foi utilizado o nível de significância $\alpha = 0.05$, representando os extremos. O valor de Z_{MK} descreve se a série possui tendência crescente ou decrescente; o pvalor se é significativo ao nível de 5%, e o Tau mostra a correlação entre as duas variáveis utilizadas, no nosso caso, ano e mês. Este teste tem sido utilizado com sucesso em vários estudos para o cálculo de tendências climáticas e hidrológicas (Silva, 2004; Sinha e Cherkauer, 2008; Santos et al., 2010; Teixeira e Satyamurty, 2011; Oliveira, et al., 2012; Oliveira, et al., 2014; Santos et al., 2014; Silva et al., 2015)

Resultados

Distribuição climatológica de eventos extremos

A Figura 2 mostra a distribuição do número de eventos extremos (EPF e EPI) em dois períodos. De maneira geral, é possível verificar que a distribuição do número de EPF e EPI pode ser dividida em dois períodos distintos: menos chuvoso (atividade convectiva menos intensa) e chuvoso (atividade convectiva intensa). Para que fosse feita a divisão dos diferentes períodos, levou-se em conta os seis meses consecutivos, representados pela maior e menor ocorrência de cada extremo. A divisão para cada extremo pode ser vista claramente na Figura 2, onde o EPF teve seu período menos chuvoso nos meses de

setembro a fevereiro e o chuvoso de março a agosto. Enquanto os EPI teve seu período menos chuvoso nos meses de maio a outubro e chuvoso de novembro a abril.

Os EPF possuem uma distribuição homogênea, onde as maiores ocorrências se destacam de março a agosto com valores entre 1.113 e 1.297 eventos, registrados em agosto (valor mínimo) e julho (valor máximo), respectivamente. Observando todos os meses do EPF, é possível dizer que os meses de setembro e outubro tiveram os menores registros 808 e 894 eventos, respectivamente; observa-se também, um decréscimo no total de número de eventos registrados de julho a setembro (de 1.230 para 808 eventos), voltando a crescer a partir de outubro (894 eventos). A justificativa para os eventos de EPF serem bem distribuídos em todos os meses do (Figura 2) possivelmente deve convergência relacionado à de umidade transportada pelos ventos alísios, ao aquecimento

da superfície e ao tipo de orografia no SANEB, fatores que favorecem a convecção local.

Os EPI possuem grande variabilidade em sua distribuição mensal, ficando com maiores registros entre os meses de novembro e abril (período chuvoso), com destaque os meses de janeiro e março com 1.639 e 1.875 eventos, respectivamente. É possível salientar, que o período intenso de chuva ocorre nos meses quente da região SANEB, ou seja, quando o sol incide com maior frequência no HS, período no qual os sistemas precipitantes estão mais intensos. Fator que pode justificar esse comportamento. Para os períodos menos chuvosos (de maio a outubro), observa-se uma diminuição no número de eventos a partir de maio até setembro, voltando a crescer em outubro. Uma possível explicação para os períodos menos chuvosos do EPI, pode ser justificada pelo fato dos ventos não conseguir trazer umidade do oceano Atlântico para dentro do continente, a ponto de causar chuvas nas áreas do SANEB.

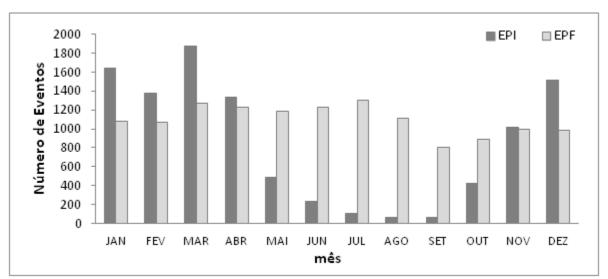


Figura 2. Climatologia (1961-2011) mensal do número dos eventos extremos: EPF: menos chuvoso (setembro a fevereiro) e chuvoso (março a agosto); EPI: menos chuvoso (maio a outubro) e chuvoso (novembro a abril).

A Figura 3 apresenta a climatologia do número de eventos extremos de precipitação (EPF e EPI) em dois períodos. Isto foi possível depois de analisar a distribuição mensal (Figura 2), desses eventos, definidos aqui como períodos, chuvoso e menos chuvoso (Figura 3). Os eventos EPF e EPI no período chuvoso apresentam quantidades de 7.328 e 8.226 eventos, respectivamente. Sendo o período menos chuvoso com 5.827 EPF e 1.925 EPI. Como visto anteriormente (Figura 2), os períodos menos chuvosos e chuvosos de cada evento ocorrem em meses diferentes. No período chuvoso observa-se

(Figura 3) que o EPF tem total de número de eventos próximo ao EPI, isso possivelmente pode esta relacionada, à ocorrência de pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície terrestre, seja em consequência do aquecimento do ar em contato com a superfície do SANEB, seja pela ação de fenômenos transientes, de caráter puramente dinâmico, como os DOL. Embora sejam diferentes as condições dinâmicas e termodinâmicas para cada evento e período, a organização das nuvens convectivas fornece o suprimento de ar quente e úmido para formação das mesmas.

Na Figura 4, observa-se a climatologia anual em número de eventos nos períodos menos chuvoso e chuvoso. Verifica-se que a distribuição, no número de EPF e EPI, apresenta uma variabilidade climática para os diferentes períodos. Observa-se que o período chuvoso de EPF, tem comportamento semelhante nos diferentes períodos de EPI, isso é claramente observado entre 1961 e 2000.

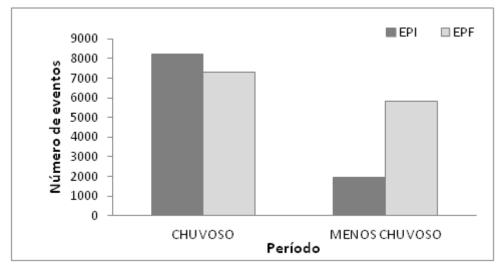


Figura 3. Climatologia (1961-2011) do número de diferentes eventos extremos e períodos: EPF: menos chuvoso (setembro a fevereiro) e chuvoso (março a agosto); EPI: menos chuvoso (maio a outubro) e chuvoso (novembro a abril).

Possivelmente dinâmicos os processos termodinâmicos do oceano-terra-atmosfera favorecem este comportamento. A partir de 1970 nota-se uma tendência positiva no EPF (chuvoso). Ainda sobre o EPF, mas no período menos chuvoso, há uma distribuição mais homogênea com poucas variações, que não ultrapassam 80 eventos; que pode está relacionado, com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala, e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico; permitindo advecção de umidade do oceano, deslocando-se para dentro do continente, visto que a temperatura do mar em alguns períodos fica

acima da média histórica, servindo como combustível para formação de chuvas.

O evento EPI apresenta um desempenho similar nos diferentes períodos, mas com comportamento semelhante ao chuvoso de EPF. Com relação ao período menos chuvoso de EPI, é possível verificar homogeneidade com o período chuvoso entre 1961 e 1993. Vale ressaltar que há uma redução no número de eventos a partir de 1994 no período menos chuvoso quando comparado com o chuvoso. Isto pode estar relacionado à grande variabilidade interanual, característica natural de uma região semiárida, com alguns anos extremamente secos e outros extremamente chuvosos.

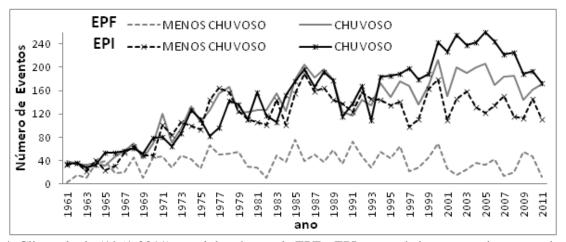


Figura 4. Climatologia (1961-2011) anual do número de EPF e EPI nos períodos menos chuvoso e chuvoso.

Intensidade da precipitação para os eventos extremos

O acumulado da precipitação para os diferentes tipos de eventos (EPF e EPI) e períodos (menos chuvoso e chuvoso) são apresentados na Figura 5. Ao analisar a Figura 5a é possível verificar a distribuição anual da intensidade do EPF nos períodos menos chuvosos e chuvosos. O período chuvoso do EPF na maioria dos casos teve sua intensidade reduzida quando se compara com seu período menos chuvoso, chegando ao seu valor máximo nos anos de 1974 e 2009 com 685 e 711 mm/ano, respectivamente.

O período menos chuvoso apresenta variabilidade em todos os anos analisados, com comportamento semelhante à climatologia em alguns anos, como por exemplo, de 1961 a 1965, 1985, 1992 e 2004, tendo em média uma diferença de 362 mm/ano. Observa-se que os totais anuais apresentaram uma forte variabilidade de um ano para outro, não existindo uma distribuição sazonal homogênea. Um dos motivos para este comportamento, é que dentro da região SANEB, predominam alguns regimes diferentes de precipitação, com máximos e mínimos ocorrendo em períodos distintos.

Na Figura 5b a distribuição da intensidade do EPI é observada. O período menos chuvoso do EPI mostra que a intensidade da precipitação não ultrapassou os 401 mm/ano. De 1964 a 2010 a intensidade da chuva na maioria dos casos, varia em média 278 mm/ano, exceto os anos que registram valores máximos: 1964, 1971, 1975, com valores entre 356, 401, 382 mm/ano,

respectivamente (Figura 5b). O período chuvoso do EPI segue o mesmo comportamento da climatologia, com variabilidade bem distinta. A intensidade da chuva está em média de 690 mm/ano, tendo seu maior registro em 1964 com 1.401 mm. Valores acima de 800 mm são registrados em quase todos os anos. Possivelmente esse comportamento se deve as características climáticas do SANEB, descrito anteriormente.

Ao comparar EPF com EPI (Figuras 5a e 5b), é possível observar que o período menos chuvoso de EPF (Figura 5a) apresenta maiores acumulados de chuva, em média 542 mm/ano. com alguns picos que ultrapassam os 800 mm/ano, nos anos de 1962, 1964 e 1979. Esses resultados podem estar relacionados à presença dos ENOS e/ou as anomalias do Atlântico Sul. Ficando o ano de 1962, considerado como ano neutro com acumulado de 812 mm; Em 1964, teve atuação de La Niña (moderado) o que justifica o maior acumulado (836 mm) no período analisado, visto que, com presença de La Niña ocorrem maiores chuvas no SANEB (INPE, 2015). Porém, em 1979 mesmo com atuação de El Niño fraco, foi observado um alto valor precipitante de 822 mm, o que sugere a existência de outros fatores. O El Niño inibe a precipitação, porém, como este El Niño foi fraco, provavelmente uma anomalia positiva de TSM no Atlântico Sul conseguiu vencer a inibição gerada pelo mesmo, favorecendo a precipitação na região estudada. Então, supõe-se que o fenômeno El Niño não é sempre sinônimo de seca.

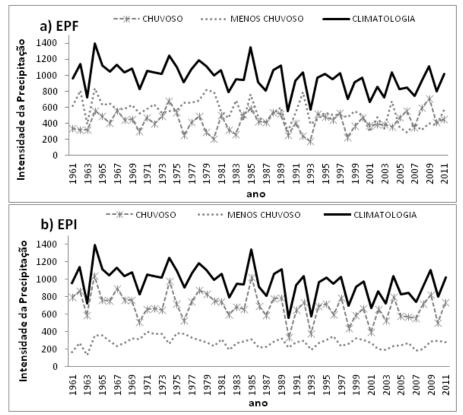


Figura 5. Climatologia (1961-2011) anual da intensidade da precipitação (mm), para os períodos: a) menos chuvoso do EPF (setembro a fevereiro), chuvoso do EPF (março a agosto); b) menos chuvoso do EPI (junho a novembro) e chuvoso do EPI (dezembro a maio).

A Figura 6 mostra a climatologia do acumulado médio da precipitação dos EPF e EPI nos períodos chuvoso e menos chuvoso. O acumulado médio da precipitação do EPI no período chuvoso foi de 654 mm/ano e no período menos chuvoso 260 mm/ano. Com relação à intensidade do EPF, nos diferentes períodos, registrou-se 372 mm/ano (chuvoso) e 542 mm/ano (menos chuvoso). Fica perceptível que há uma inversão no acumulado registrado pelos diferentes eventos, ou seja, o EPI tem maior intensidade registrada no período chuvoso e o EPF no período menos chuvoso, porém, os valores mínimos de EPI ocorrem no período menos chuvoso e EPF no

período chuvoso. Esse aumento na intensidade de EPI pode estar relacionado aos sistemas atuantes no período quente do HS. A dinâmica e termodinâmica da troposfera possibilita explicar esse aumento, seja por temperatura elevada ou maior advecção de umidade. Os sistemas atmosféricos que possivelmente podem propiciar formação de nebulosidade precipitante no SANEB são: Zona de convergência intertropical (ZCIT), Linha de instabilidade (LI), Zona de convergência do Atlântico sul (ZCAS), Sistema Frontal (SF), Distúrbios ondulatórios de leste (DOL), Vórtice ciclônicos de altos níveis (VCAN) e alguns Complexos convectivos de mesoescala (CCM).

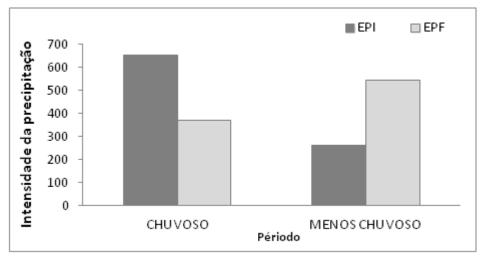


Figura 6. Climatologia (1961-2011) da precipitação (mm) dos EPF e EPI para os períodos: menos chuvoso do EPF (setembro a fevereiro), chuvoso do EPF (março a agosto), menos chuvoso do EPI (junho a novembro) e chuvoso do EPI (dezembro a maio).

Análise de tendência

Os resultados referentes ao teste de Mann-Kendall - Z_{MK} são mostrados na Tabela 1, com valores de Z_{MK} , p-valor, Tau e Prec. O valor de Z_{MK} refere-se à série que possui tendência crescente ou decrescente; o p-valor vai dizer se o resultado do teste é significativo ao nível de 5%; o tau mostra a correlação entre as duas variáveis utilizadas; e o Prec mostra o valor do volume da precipitação aumentando ou reduzindo.

O teste foi aplicado nos diferentes períodos e eventos extremos, definidos na seção anterior. Em geral, o período menos chuvoso de EPF mostra em média uma tendência decrescente, enquanto o período chuvoso mostra uma tendência crescente, porém não é estatisticamente significante ao nível de 5%. Pode estar relacionado à grande variabilidade interanual, característica natural de uma região semiárida, com ocorrência de alguns anos extremamente secos e outros extremamente chuvosos.

O EPI no período menos chuvoso revela tendência crescente, com significância estatística de 5%, o que sugere uma redução na frequência do número de EPI, ou seja, maiores períodos sem chuva. Situação que pode esta relacionada com a presença do El Niño. O EPI no período chuvoso revela uma tendência decrescente, mas não significativa; o que não impede dizer, que os EPI no período chuvoso estão diminuindo em frequência, mas não em intensidade.

Para o período chuvoso, os EPI e EPF apresentam resultados inversos na tendência (Z_{MK}) e na correlação (Tau), isto é, verifica-se uma tendência crescente com valor médio de 1,30 no EPF e decrescente no EPI com valor médio de -1,33. No que se refere a Tau, nota-se valor positivo no EPF e negativo no EPI. De maneira

que, há um aumento de EPF no período chuvoso e redução no período menos chuvoso, o contrário ocorre no EPI (Tabela 1). Possivelmente isso ocorre pelo fato de cada extremo ocorrer em diferentes períodos associados aos sistemas que estão atuando naquele momento, favorecendo a formação de nuvens precipitantes.

Em termos gerais, pode-se dizer que as tendências para o EPI revelam ser estatisticamente significante ao nível de 5% nos meses de junho, julho, agosto, outubro e novembro no período menos chuvoso. Ressalta-se que há um aumento na tendência da precipitação nos três primeiros meses e redução nos dois últimos meses (Tabela Uma justificativa para esta tendência 1). significativa é que esses meses representam os extremos menos chuvosos, período no qual a precipitação ocorre com menor intensidade, mas continua. Com relação ao período chuvoso, apenas o mês de dezembro apresenta significância ao nível de 5% com tendência decrescente, possivelmente por ser o inicio do verão. Os demais meses mostram tendência decrescente com exceção do mês de maio, mas estes, não apresentam significância, ou seja, esta diminuindo a precipitação de forma lenta.

Verifica-se que o EPF possui tendência decrescente em todos os meses para o período menos chuvoso, com significância estatística nos meses de outubro a novembro. No período chuvoso, nota-se que nos meses de junho a agosto apresentaram valores estatisticamente significativos ao nível de 5% com tendência observar a intensidade crescente. Ao precipitação (Prec), é possível dizer que o EPF no período menos chuvoso apresenta em todos os meses uma redução no acumulado da chuva, ficando em média com uma redução de 0,90 mm/ano. Enquanto, que para o período chuvoso um aumento de 0,09 mm/ano. Esta tendência crescente no período chuvoso de EPF é justificada pela predominância de tendência crescente nos meses entre maio e agosto. O EPI, no período menos chuvoso e chuvoso, apresenta redução em sua intensidade, em media 0,16 mm/ano e 0,65

mm/ano, respectivamente. O que sugere dizer que, o período menos chuvoso esta ficando mais seco e o período chuvoso, menos chuvoso. Uma sugestão para justificar este resultado, seria as mudanças climáticas, no globo terrestre, visto que influenciam no clima regional.

Tabela 1. Teste de Mann-Kendall para o período menos chuvoso e chuvoso dos EPF e EPI (1961-2011). Z_{MK} informa se a tendência é crescente ou decrescente; p-valor verifica se é significativo ao nível de 5%; Tau mostra a correlação entre as duas variáveis utilizadas; e o Prec mostra o valor do volume da precipitação.

E PF									
	MENOS CHUVOSO				CHUVOSO				
				Prec					Prec
Mês	Z _{MK}	p-valor	Tau	(mm/ano)	Mês	Z_{MK}	p-valor	Tau	(mm/ano)
SET	-1,10	0,2722	-0,1070	-0,0969	MAR	-0,97	0,3296	-0,0943	-0,4782
OUT	-3,50	0,0005	-0,3390	-0,9165	ABR	-1,19	0,2324	-0,1150	-0,4781
NOV	-3,39	0,0007	-0,3280	-1,2030	MAI	0,37	0,7147	0,0354	0,2811
DEZ	-3,39	0,0007	-0,3280	-1,5680	JUN	2,9	0,0037	0,2820	0,5325
JAN	-1,73	0,0836	-0,1670	-1,1220	JUL	1,99	0,0463	0,1940	0,2487
FEV	-1,08	0,2798	-0,1050	-0,5109	AGO	4,68	0,0000	0,4560	0,4452
MÉDIA	-2,37	0,1063	-0,2290	-0,9029	MEDIA	1,30	0,2211	0,1264	0,0919
EPI									
	MENOS CHUVOSO					CHUVOSO			
		Prec					Prec		
Mês	Z_{MK}	p-valor	Tau	(mm/ano)	Mês	Z_{MK}	p-valor	Tau	(mm/ano)
JUN	2,9	0,0037	0,2820	0,5325	JAN	-1,73	0,0836	-0,1670	-1,1220
JUL	1,99	0,0463	0,1940	0,2487	FEV	-1,08	0,2798	-0,1050	-0,5109
AGO	4,68	0,0000	0,4560	0,4452	MAR	-0,97	0,3296	-0,0943	-0,4782
SET	-1,10	0,2722	-0,1070	-0,0969	ABR	-1,19	0,2324	-0,1150	-0,4781
OUT	-3,50	0,0005	-0,3390	-0,9165	MAI	0,37	0,7147	0,0354	0,2811
NOV	-3,39	0,0007	-0,3280	-1,2030	DEZ	-3,39	0,0007	-0,3280	-1,5680
MÉDIA	0,26	0,0539	0,0263	-0,1650	MEDIA	-1,33	0,2735	-0,1290	-0,6460

Discussão

Ao analisar os resultados dos extremos, os EPI foram mais intensos nos meses de novembro a abril e menos intenso nos meses de julho a setembro. Grande parte da variabilidade da precipitação na região SANEB ocorre entre os meses de fevereiro a maio, pelas variações de intensidade e localização dos ramos ascendentes e descendentes das células de Hadley e Walker sobre os Oceanos Pacifico e Atlântico Tropicais (Marengo, 1992; Nobre e Shukla, 1996; Uvo, 1998). Marengo et al. (2010) também encontraram um aumento na precipitação para os meses de outono e uma redução durante o inverno, ou seja, maiores registros em março, abril e maio e menores registros em junho, julho e agosto. Em relação ao EPF serem bem distribuídos, possivelmente, deve estar associado a eventos de escala local, tais como sistemas de convecção e brisas, que atuam em escala de horas.

Ao analisar os períodos de cada evento (Figura 3), é possível observar que o número de EPF ficou com valores próximos ao EPI do período chuvoso. Fato possivelmente favorecido pela convergência de umidade transportada pelos ventos alísios, o aquecimento da superfície e o tipo de orografia no SANEB, fatores que favorecem a convecção local. Lembrando que neste período os ventos alísios estão enfraquecidos, o que sugere pouco transporte de umidade do oceano para o continente.

Para a variabilidade climática de cada evento nos diferentes períodos (Figura 4) e acumulados de precipitação (Figura 5) observa-se uma grande variabilidade interanual, característica natural de uma região semiárida, com ocorrência de alguns anos extremamente secos e outros

extremamente chuvosos. Situação que pode estar relacionada com a presença dos eventos El Niño e La Niña, segundo estudos de Grimm e Tedeschi (2009); Rodrigues et al. (2011); Oliveira et al. (2014), estes eventos têm atuação direta sobre a região do NEB, e, consequentemente na região do SANEB no período chuvoso de EPI.

Tanto os El Niño/Oscilação Sul (ENOS) como a anomalia das temperaturas da superfície do mar (TSM) do Atlântico tropical (AT) são fatores importantes que modulam a precipitação do SANEB. Isso tem motivado diversas pesquisas sobre as relações entre as TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e a precipitação do NEB (Pezzi e Cavalcanti, 2001; Giannini, et al., 2004; Andreoli et al., 2004; Kayano e Andreoli, 2004; Ambrizzi et al., 2004; Souza et al., 2004). Independente do ENOS, a influência do AT na variabilidade de precipitação é mais marcante para a variabilidade de TSM do AT sul quando comparada com a do AT norte.

Em anos de El Niño os eventos tendem a reduzir a precipitação, enquanto em anos de La Niña tendem a aumentar a precipitação. Nos resultados obtidos, há presença de picos com menores quantidades de eventos, e que estes, estão associados à ocorrência forte de El Niño, como visto nos anos de 1972 com 65 eventos, 1983 com 106 eventos, 1990 com 115 eventos e 1993 com 109 eventos no EPI no período chuvoso (Figura 4). Resultado em conformidade com os obtidos nos estudos de Hastenrath e Heller (1977); Nobre e Shukla (1996); Silva Dias e Marengo (1999) que observaram secas sevaras nestes anos de El Niño no NEB.

Nos anos de atuação de La Niña, é possível observar que os eventos de EPI seguem a mesma tendência crescente no número total de eventos. Em destaque têm-se os anos de 1964 com 36 eventos e 1985 com 179 eventos, que apesar do evento La Niña apresentar classificação de moderado e fraco, os mesmos tiveram os maiores acumulados de chuva no valor de 1.401 mm e 1.029 mm, respectivamente. Segundo Grimm e Tedeschi (2009) os episódios de ENOS favorecem a frequência de eventos extremos em parte do NEB. Com a presença de episódios de El Niño, há diminuição significativa destes eventos no mês de março, e com atuação de La Niña há aumento significativo no mês de abril, ou seja, existe maior aumento de eventos extremos durante La Niña que diminuição durante El Niño. A La Niña influencia na frequência de eventos extremos na estação chuvosa da parte norte do NEB, no período de outono, principalmente nos meses de abril e maio. Este resultado está de acordo com os

obtidos nesta pesquisa, em que os maiores acumulados de chuva ocorrem no outono.

Outra resposta interessante nesses extremos é a tendência positiva no extremo menos chuvoso (EPF), tanto, na estação menos chuvosa, como chuvosa, e na variabilidade interanual; essa questão pode estar associada à tendência de aquecimento das TSM no Atlântico Norte. Em outras palavras, há a presença de dipolos desfavoráveis à precipitação no SANEB (Servain et al., 2014). Tedeschi et al (2014) verificaram que anomalias atmosféricas mensais ou sazonais associadas a um tipo de episódio ENOS são muito semelhantes (diferentes) para as anomalias atmosféricas associadas com a precipitação extrema em uma determinada região.

Em relação aos acumulados, observa-se que no período menos chuvoso de EPI as chuvas tenderam a diminuir 1 mm/ano, e no período chuvoso uma redução de 3,9 mm/ano. Segundo Pereira (2014) o SANEB teve vários núcleos com tendência negativa de até 3 mm/ano no estado da Bahia, e 1 mm/ano no oeste dos estados de Pernambuco e Paraíba para os períodos menos chuvosos. Para o período chuvoso foi verificado uma tendência negativa bastante acentuada de 5 mm/ano, no sul do estado do Ceará e 3 mm/ano no estado da Bahia. Tais tendências negativas dos núcleos de precipitação, de um modo geral, podem significar o aumento dos períodos sem chuvas ao longo dos anos, tanto no período chuvoso quanto no período menos chuvoso, o que foi observado também nesse estudo.

O El Niño que influenciou o alto registro de EPF no ano de 1979 pode ser justificado pelas anomalias das TSM do Atlântico Sul, que favorece precipitações acima da média histórica para região SANEB, visto que com atuação do El Niño o favorecimento é de seca. Portanto, nem todos El Niño produzem secas no nordeste ou chuvas no sul do Brasil. Kane (2001) estima que 40% dos eventos El Niño não produzem seca na citada região. Por isso Nóbrega e Santiago, (2014) ressalta a importância de se analisar as anomalias tanto no Oceano Pacífico quanto no Atlântico, uma vez, que nem sempre a atuação do El Niño reflete em períodos secos no SANEB, seja por conta da intensidade do evento ou porque o dipolo do Atlântico exerceu maior influência.

Finalmente, com relação à tendência positiva encontrada no EPI para o período menos chuvoso (Tabela 1), é possível associar a possíveis mudanças climáticas no Brasil. Alguns estudos mostram tendência positiva para regiões sul e sudeste do Brasil (Teixeira e Satyamurty, 2011), assim como, para região do NEB (Oliveira *et al.*, 2014). Nos EPF foram verificadas tendências

crescentes com significância de 5% nos meses de junho a agosto e decrescente nos meses de outubro a dezembro, que representa o período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente. Essa tendência significativamente decrescente também foi observada por Silva (2004), a qual sugeriu que a variabilidade climática da região do NEB está relacionada com as mudanças climáticas que atingem não apenas o SANEB, mas também a área litorânea. Oliveira et al (2014) verificou tendência positiva nos EPF no período de inverno e primavera; aqui nesse estudo, foi encontrado para o EPF tendência positiva no inverno porém na primavera, tendência negativa, possivelmente esse resultado se deve, as características da região.

Outro sistema capaz de influenciar nessas tendências aqui obtidas são os ENOS. Preconizase que essas tendências negativas da precipitação períodos, para ambos os podem correlacionadas com a variação dos sistemas atmosféricos de grande escala ENOS atuantes sobre a região, definindo os regimes de precipitação pluvial sobre boa parte do SANEB. De acordo com informações do centro de previsão do clima - CPC (2008), entre 1988 e 2006 ocorreram cinco eventos de El Niño e três eventos La Niña, ambos de intensidade forte (Silva et al, 2010). Sabe-se que na atuação do evento El Niño as temperaturas médias globais aumentam e na atuação de La Niña diminuem. possivelmente explica essa tendência decrescente na intensidade da precipitação obtida nesses resultados, devido a maior ocorrência de El Niño, consequentemente maiores períodos sem chuvas.

Possivelmente alguns sistemas de grande escala, escala sinótica e mesoescala, também são capazes de influenciar a instabilidade atmosférica, favorecendo a precipitação na região SANEB. Em grande escala, tem-se a circulação geral da atmosfera que parece determinar a semiaridez do SANEB; os eventos El Niño e La Niña que alteram a dinâmica dos sistemas atmosféricos no Brasil. Por isso, durante a atuação do evento La Niña, espera-se chuvas acima da média no SANEB, e abaixo da média no Sul do Brasil; e com o El Niño ocorre o inverso (CUNHA, 1999; BORSATO, et al., 2012). Em escala sinótica têmse a Zona de Convergência Intertropical, a Zona de Convergência do Atlântico Sul, o Sistema Frontal, o Distúrbio Ondulatório de Leste, e o Vórtice Ciclônico em Altos Níveis; e mesoescala observam-se o Complexo Convectivo Mesoescala, a Linha de Instabilidade e o (Yamazaki, 1975; Moura e Shukla, 1981; Kousky e Gan, 1981; Satyamurti e Rao, 1988; Cohen, 1989). Todos esses sistemas influenciam na atividade convectiva da região em estudo.

Conclusões

As tendências significativas foram encontradas nos dois períodos, para os dois tipos de eventos EPF e EPI em meses diferentes. A intensidade da precipitação nos EPF e EPI tiveram significância estatística de 5% nos meses de junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro.

Predominância de tendência negativa para o período chuvoso do EPI, com destaque o mês de dezembro com tendência significativa decrescente no volume da precipitação de 1,57 mm/ano. No período menos chuvoso do EPI os três primeiros meses (junho, julho e agosto) apresentaram uma tendência crescente e os outros três meses (setembro, outubro e novembro) uma tendência decrescente. No entanto, nem todas as tendências apresentaram significância estatística.

Importância de se estudar a variabilidade da precipitação no SANEB, visto que esta região está propicia a sofrer graves impactos socioeconômicos, como na agricultura, na sociedade como um todo, devida a escassez de água, propiciando assim maior desertificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a ANA e INMET pela disponibilidade dos dados pluviométricos e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo auxilio financeiro a primeira autora.

Referências

Ambrizzi, t.; Souza, S.S.; Pulwarty, R.S., 2004. The Hadley and walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: The Hadley Circulation: Present, Past and Future, Diaz H.F. and Bradley R.S. (Eds.). Kluwer Publishers, Chapter 7, p. 203-235.

Andreoli, R.V.; Kayano, M.T.; Guedes, R.L.; Oyama, M.D.; Alves, M.A.S., 2004. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. Revista Brasileira em Meteorologista 19, 337-344

Adamowski, K., Bougadis, J., 2003. Detection of trends in annual extreme rainfall. Hydrological Processes 17, 3547-3560. DOI: 10.1002 / hyp.1353.

Alves, J. M. B, Repelli, C. A., 1992. The rainfall variability over Northeast Brazil region and El Niño/southern oscillation (ENSO) events. Revista Brasileira de Meteorologia 7, 583–592.

BRASIL - Ministério da Integração Nacional - MIN., 2005. Nova delimitação da Região

- semiárida do Brasil. Portaria n $^{\circ}$ 89, publicada sem DOU em 17 de março de 2005.
- Borsato, V. A., Hiera, M. D., Marcon, L. S., 2012. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a dinâmica atmosférica para o noroeste do Paraná. Revista Brasileira de Climatologia 11,104-118.
- Cohen, J. C. P; Dias, M. A. F. S.; Nobre, C. A., 1989. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. Climanálise Boletim de Monitoramento e Análise Climática 4, 34-40.
- Cunha, G. R. da., 1999. El Niño: oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no Sul do Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia 7, 277-284
- Fechine, J. A. L.; Galvíncio, J. D., 2010. Aplicação do teste de Mann-Kendall na análise de tendência climáticas em anos de El Niño na bacia hidrográfica do Rio Belém. Amazônia e o Clima Global 1, 1-5.
- Ferreira et al., 2015. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do rio Tietê. Revista HOLOS: DOI: 10.15628/ holos. 2015.1455.
- Fu, G.B., Yu, et al., 2013. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961–2009. Journal of Hydrology 487, 48–59.
- Giannini, A.; Saravanan, R.; Chang, P., 2004. The preconditioning role of Tropical Atlantic Variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. Clim. Dyn. .22, 839-855, doi: 10.1007/s00382-004-0420-2.
- Grimm, A.M. e Tedeschi, R.G., 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. Journal of Climate 22, 1589-1609.
- Hastenrath, S.; Heller, L., 1977. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 103, 77-92.
- IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 pp., 2007.
- Kayano, M.T.; Andreoli R.V., 2001. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies.J. Geophys. Res. 109, n.C11011, doi: 10.1029/2004JC002429, 2004.

- Kane, R.P. 2001. Limited effectivenes of El Niños in causing doughts in ne Brazil and the prominet role of Atlantic parameters, Revista Brasileira de Geofísica 19. Disponivel: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2001000200010
- Kendall, M. G., 1975. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, p.120.
- Kousky V.E, Chu P.S., 1978. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. Journal of Meteorological Society 56, 457 465.
- Kousky, V.E.; Ferreira, N.J., 1981. Interdiurnal surface pressure variation in Brazil: Their spatial distribution, origins and effects. Monthly Weather Review 109, 1999-2008.
- Lima, K. C.; Satyamurty, P.; Fernández, J. P., 2010. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. Theoretical and Applied Climatology 101, 121 135.
- Magalhães A.R et al., 1987. The climatology of droughts and droughts prediction. In: The Effects of Climatic Variations on Agriculture in Northeast Brazil. Chapter 2, p 29 48.
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica 13, 245-259.
- Marengo, J., 1992. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. International Journal of Climate 12, 853-863.
- Marengo, J. A., 2011. Tomasella, J.; Alves, L. M.; Soares, W. R.; Rodriguez, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. Geophysical Research Letters 38, L12703. DOI:10.1029/2011GL047436
- Moura, A. D.; Shukla, J., 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. Atmospheric Science Letters 38, 2653-2675.
- Molion L. C. B.; Bernardo, S. O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia 17, 1-10.
- Moscati, M. C. L.; Gan, M. A., 2007. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. International Journal of Climatology 27, 493-512.
- Nobre, P.; Shukla, J., 1996. Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the tropical over the tropical Atlantic and South America. Journal of Climate 9, 2464-2479.
- Oliveira, P. T.; Santos e Silva, C. M.; Lima, K. C., 2012. Trend of Rain in Northeast Brazil, in: Martín, O. E.; Roberts, T. M. Rainfall:

- Behavior, Forecasting and Distribution. New York, USA: ed. Nova Science Publishers.
- Oliveira, P. T.; Santos e Silva, C. M.; Lima, K. C., 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. Atmospheric Science Letters 15, 172-177.
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. Washington, USA: Weather Bureau Res,. 45, 58p.
- Pereira. E. R. R., 2014. Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Meteorologia), Campina Grande PB, Universidade Federal de Campina Grande.
- Pezzi, L.P.; Cavalcanti, I.F.A., 2001. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. Clim Dyn. 17, 205-212.
- Ramos, R.P.L., 1975. Precipitation characteristic in the Northeast Brazil dry region. Journal of Geophysical Research 80, 1665 1678.
- Rodrigues, R.R., R.J. Haarsma, E.J.D. Campos e T. Ambrizzi, 2011. The impacts of inter-El Nino variability on the Tropical Atlantic and Northeast Brazil climate. Journal of Climate 24, 3402-3422.
- Santos, D. S.; Silva, V. P. R., 2010. Sousa, F. A. S.; Silva, R. A. Estudos de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14, 492–500.
- Santos, E. B.; Lucio, P. S., 2014. Santos e Silva, C. M. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. Atmospheric Science Letters. Disponivel: DOI: 10.1002/asl2.535.
- Satyamurti, P.; Rao, V. B., 1988. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climanálise.3, 31-35.
- Silva, V. P. R., 2004. On climate variability in Northeast of Brazil. Journal of Arid Environments 58, .574-596.
- Silva Dias, P.L.; Marengo, J.A., 1999. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A.C.R.; BRAGA, B.; TUNDIZI, J.G. Águas doces no Brasil. São Paulo: Ed. Escrituras. Cap.3, p.75-115.
- Silva et al., 2010. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. Revista

- Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14, 501–509.
- Silva, W. L., et al., 2015. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. Revista Brasileira de Meteorologia 30, 181 194.
- Sinha, T.; Cherkauer, K. A., 2008. Time series analysis of soil freeze and thaw processes in Indiana. Journal of Hydrometeorology 9, 936 950.
- Song et al., 2015. Recent changes in extreme precipitation and drought over the Songhua River Basin, China, during 1960–2013. Elsevier Atmospheric Research 157, 137–152.
- Souza, E.B.; Ambrizzi, T.; Coelho, C.A.S., 2004. Two episodes with reversed impacts on the regional precipitation of the northeastern South America. Meteorologica 29, 5-16.
- Teixeira, M. S; Satyamurty, P., 2011. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960–2004. Journal of climate 24, 1913-1921.
- Tedeschi, R. G. et al., 2014. Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. International Journal of Climatology. Disponível: DOI: 10.1002 / joc.4106.
- Uvo, C., 1998. Influence of Sea Surface Temperature on Rainfall and Runoff in Northeastern South America: Analysis and Modelling. Phd. Diss. Department of Water Resources Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 120 p.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology 259, 254–271.
- Yue, S.; Hashino, M., 2003. Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan. Journal of the American Water Resources Association 39, 587-596.
- Xu, Z.; Liu, Z.; FU, G. Chen, Y., 2010. Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years. Journal of Arid Environments, Amsterdam. Disponível: DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.08.014