



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## ANÁLISE DA TENDÊNCIA CLIMÁTICA NAS SÉRIES TEMPORAIS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO DE TUCURUÍ-PARÁ

Roberta Everllyn Pereira Ribeiro <sup>1</sup>, Pâmela Lorena Ribeiro Ávila<sup>2</sup>, José Ivaldo Barbosa de Brito<sup>3</sup>  
Elder Guedes do Santos<sup>4</sup>, Leandro Fontes de Sousa<sup>5</sup>

Mestranda em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (CNPq), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: [robertaeverllyn@hotmail.com](mailto:robertaeverllyn@hotmail.com) Autor correspondente.

<sup>2</sup> Mestranda em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (CNPq), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: [panloly@hotmail.com](mailto:panloly@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professor Doutor da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas (UACA/DCA), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: [ivaldo@dca.ufcg.edu.br](mailto:ivaldo@dca.ufcg.edu.br).

<sup>4</sup> Mestrando em Meteorologia Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (CNPq), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: [elder.ufcg@gmail.com](mailto:elder.ufcg@gmail.com);

<sup>5</sup> Mestrando em Meteorologia Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (CNPq), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: [l.f.sousa@hotmail.com](mailto:l.f.sousa@hotmail.com)

Artigo recebido em 09/10/2014 e aceito em 27/12/2014

### RESUMO

Este trabalho tem por objetivo fornecer um breve conhecimento das análises climatológicas da temperatura e precipitação do município de Tucuruí-PA. Abordando pontos como a tendência anual da temperatura e precipitação, e a correlação entre as oscilações interanual e interdecadal dos oceanos atlântico e pacífico sobre a precipitação sazonal de Tucuruí a partir de uma série de mais de 40 anos de dados. Os resultados mostraram que as menores temperaturas médias do ar ocorrem em fevereiro, as temperaturas médias do ar mais elevadas ocorreram no mês de outubro, a temperatura máxima do ar aumenta continuamente de fevereiro a outubro, decrescendo em novembro. Quando se fala na análise da tendência observou-se que apenas as séries de temperaturas médias e mínimas apresentaram uma tendência positiva significativa. Há correlação com significância estatística apenas entre a precipitação das estações outono, inverno e primavera com o índice ODP. Observou-se uma dependência oscilatória entre as chuvas de verão e a OMA; uma dependência quadrática das chuvas de verão e ODP; correlação negativa entre as chuvas de outono e o IME; e correlação negativa entre as chuvas de outono e de inverno com a ODP.

Palavras- chave: temperatura, precipitação, oscilações interanuais

## TREND ANALYSIS OF THE CLIMATE IN TIME SERIES OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION OF PARA-TUCURUÍ

### ABSTRACT

This work aims to provide a brief knowledge of the climatological analyzes of temperature and precipitation in the municipality of Tucuruí-PA. Addressing points such as the annual trend of temperature and precipitation, and the correlation between the interannual and interdecadal oscillations of the Atlantic and Pacific oceans on seasonal rainfall Tucuruí from a series of more than 40 years of data. The results showed that the lowest average temperatures occur in February, the average temperatures of the air were higher in October, the maximum air temperature increases continuously from February to October, decreasing in November. When referring to the trend analysis revealed that only the series of medium and minimum temperatures showed a significant positive trend. There are only statistically significant correlation between rainfall seasons of autumn, winter and spring with the ODP. Observed oscillatory dependence between summer rainfall and OMA; a quadratic dependence of summer rains and ODP; negative correlation between the autumn rains and the IME; and negative correlation between the rains of autumn and winter with the ODP.

Keywords: temperature, precipitation, interannual oscillations

## Introdução

As chuvas, bem como a falta delas estão relacionadas com fenômenos meteorológicos pertencentes a várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global (El Niño e La Niña) a condições locais (chuvas localizadas). Assim como, a precipitação, outros parâmetros meteorológicos também estão relacionados com eventos de meso e grandes escalas, podendo ser influenciados por fenômenos do tipo El Niño e La Niña, que estão ligados a mudanças oceânicas e atmosféricas na região equatorial do oceano Pacífico Tropical.

As irregularidades climáticas não são somente a falta ou o excesso de algum elemento meteorológico, mas implica também na distribuição temporal. As perturbações termodinâmicas ocorridas na atmosfera afetam os padrões climáticos de cada região e, conseqüentemente, as atividades ali desenvolvidas (FERREIRA, 2002).

Estudos sobre a climatologia de um local ou região tratam de caracterizar o estado médio da atmosfera em um determinado espaço de tempo. Porém, as mudanças antropogênicas, quer sejam no manuseio da terra ou na emissão de gases poluentes, vem causando severas modificações no atual estado do clima, e tem sido alvo de vários estudos sobre aquecimento global, mudanças climáticas e cenários futuros, através do uso de modelos de circulação geral de grande escala (NOBRE et al., 1991).

A tendência climática é entendida como uma alteração suave do clima, com acréscimo ou decréscimo nos valores médios das variáveis analisadas, no período de registro. Yevjevich (1972) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas. Oscilação climática é a flutuação na qual a variável tende a mover-se gradualmente e de forma suave entre sucessivos máximos e mínimos (RODRIGUES, 2007). Enquanto, tendência climática é uma mudança climática caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios no período de registro.

A Região Norte do Brasil é a maior do país em área, cobrindo 45,27% (IBGE, 2010) do território nacional, nela está localizado um importante ecossistema para o planeta: a Amazônia, além de pequenas faixas de mangue no litoral, alguns pontos de cerrado e também alguns pontos de matas galerias. Estão situados também os dois maiores Estados do Brasil em superfície, o Amazonas e o Pará.

As chuvas da Região Norte apresentam máximos pluviométricos no primeiro semestre do ano. O sistema atmosférico de maior contribuição é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ao longo do ano outros sistemas atuam na Região: convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, circulação de brisa; linhas de instabilidade; ondas de leste; cavado do nordeste do Brasil; vórtices ciclônicos dos altos níveis troposférico

tropicais (VCAN); alta pressão subtropical do Atlântico Sul; frentes; Alta da Bolívia (REBOITA et al., 2010).

Os rios da Região Norte são de planície, embora haja muitos outros que oferecem grande possibilidade de aproveitamento hidrelétrico. Existem várias usinas hidrelétricas na Região, sendo, atualmente, a usina hidrelétrica de Tucuruí a maior e mais importante. A usina hidrelétrica de Tucuruí é responsável por 87% do abastecimento de energia no Estado do Pará, 99% no Estado do Maranhão e 65% no Estado do Tocantins (Picanço, 2002).

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em nível mundial e, afetando, assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

Uma medida da intensidade do El Niño é o Índice Multivariado do El Niño Oscilação Sul (IME), que pode ser descrito como o índice numérico que integra a ação de diferentes fatores que caracterizam o fenômeno e que oscila entre valores positivos para a fase quente, o El Niño, e negativo para a fase fria, a La Niña, e que considera, na sua composição, as seguintes variáveis: pressão ao nível do mar, as componentes zonal e meridional do vento em superfície, a temperatura da superfície do mar, a temperatura do ar em superfície e um indicador de nebulosidade (LAY & AIELLO, 2001). Outra medida bastante usada para descrever a magnitude dos eventos ENOS é a anomalia de TSM em uma área compreendida entre as latitudes de 5°S e 5°N e as longitudes de 170°W e 120°W, denominada de NINO 3.4

Na segunda metade da década de 1990, foi identificada outra oscilação na temperatura do Oceano Pacífico, diferente em escala espacial e temporal do ENOS (Mantua et al., 1997) – com duração de 20 a 30 anos, ou seja, muito superior a do ENOS – e, por isso, foi denominada de Oscilação Decenal do Pacífico (ODP). Assim, estudos posteriores vieram a caracterizar as fases quentes e frias no Oceano Pacífico como ODP. Na fase fria, ocorrem anomalias negativas da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Tropical e positivas no Pacífico Extratropical, nos dois hemisférios, enquanto, na fase quente, as alterações da TSM são opostas, com anomalias positivas no Pacífico Tropical e negativas nas duas regiões Extratropicais do Pacífico (MANTUA et al., 1997). Durante o século 20, foi identificada uma fase fria (1947–1976) que separou duas fases quentes (1925–1946 e 1977–1998) da ODP (MANTUA, 2002). O período anterior a 1925 não está bem definido quanto à ODP (Mantua, 2002), e o período após 1998 ainda é curto para ser caracterizado quanto à ODP, mas há uma expectativa crescente de que possa ser uma nova fase fria (MOLION, 2004).

A Oscilação do Atlântico Norte - OAN se constitui num modo, de grande escala, de variabilidade climática natural com impactos no tempo, no clima e

no ambiente marinho (e em sistemas biológicos), na região do Oceano Atlântico Norte e nos continentes próximos. Ela é responsável por flutuações climáticas interanuais, de grande amplitude, e é conhecida como um fenômeno atmosférico há pelo menos 200 anos (ÁVILA, 2013).

O índice OAN é considerado positivo quando a Alta Pressão dos Açores e a Baixa Pressão da Islândia mostram-se mais intensas do que o usual. Quanto mais intensas essas variáveis, mais positivo o índice se apresenta. Já o OAN é negativo no momento em que as referidas pressões estão pouco intensas, ou seja, quando a Baixa Pressão da Islândia e a Alta Pressão dos Açores estão mais fracas do que o normal. Ressalta-se que índice positivo de OAN pode levar a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) a posiciona-se mais para o sul, em relação o seu posicionamento médio, o que pode proporcionar anomalias positivas de precipitação na Região Norte e no norte da Região Nordeste (SANTOS et al, 2013).

A TSM do Atlântico Norte mostra, desde o início das observações instrumentais, um ciclo de 65-75 anos (amplitude de  $\sim 0,4^{\circ}\text{C}$ ), com fases aparentemente quentes entre 1860-1880 e 1930-1960 e fases frias entre 1905-1925 e 1965-1990, (SCHLESINGER & RAMANKUTTY, 1994). Esta flutuação cíclica de baixa frequência da TSM do Oceano Atlântico Norte foi denominada por Enfield et al (2001) de Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA). Aparentemente, a OMA modula a intensidade e frequência de furacões, secas no Nordeste brasileiro e no Sahel, as teleconexões do ENSO e pode até mesmo estar contribuindo para o aquecimento global constatado nos últimos anos (KERR, 2000 E 2005; ENFIELD ET AL., 2001).

Dessa forma, a fim de se aprofundar os estudos sobre a região de Tucuruí-PA, este trabalho tem o objetivo entender a variabilidade temporal dos dados mensais, em séries de precipitação, temperaturas máxima, mínima e média do ar no período de 1972-2012, investigando sobre possível tendência climática a partir do teste não paramétrico de Mann-kendall. Também é feita a análise climatológica da precipitação para analisar o comportamento sazonal desta em relação aos índices de OMA, IME, OAN, NINO 3.4 e ODP

## Material e Métodos

### Descrição da área de estudo

O município de Tucuruí situa-se no centro-leste do Pará a 280 Km de Belém em linha reta. Possui as seguintes coordenadas geográficas:  $3^{\circ} 43' 00''$  de latitude sul,  $49^{\circ} 43' 00''$  de longitude oeste, com uma altitude de 41 m. Limita-se ao norte com o município de Baião, ao sul com o município de Novo Repartimento, a leste com o município de Breu Branco e a oeste com o município de Pacajá, com uma área total de 2095,5 Km<sup>2</sup>.

O município apresenta cobertura vegetal primitiva, principalmente nas reservas florestais das fazendas. Sendo estas vegetações típicas da região Amazônia,

com a presença de ambrofila densa, existindo espécies vegetais de alto valor comercial, que vem sendo gradualmente substituída por pastagens e áreas de cultivo.

### Material

Os dados meteorológicos utilizados na presente pesquisa foram valores mensais de precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média do ar no período de 1972-2012, fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a cidade de Tucuruí – PA. Foram utilizados também dados ODP obtido no site [www.washington.edu/pdo](http://www.washington.edu/pdo), OAN e NINO 3.4 obtidos no NOAA Climate Prediction Center (CPC), IME obtida no site [www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/mei](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/mei) e OMA obtida no site [www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.sm.data](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.sm.data). Todos no período de 1972 a 2011.

### Descrição do Método utilizado

A partir dos dados meteorológicos (sessão 2.2) foram calculadas as médias mensais para cada variável, a fim de obter seu comportamento ao longo do ano. Foi utilizado o teste de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Sneyers (1975), que considera na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Goossens & Berger (1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

Silveira e Gan (2006) notam que o teste de Mann-Kendall pode ser usado em séries descontínuas com distribuição desconhecida, com a vantagem de usar a magnitude relativa dos valores da série. Assumindo a hipótese nula ( $H_0$ ), ausência de tendência, os dados precisam ser variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuída.

A equação (1) representa a teste de Man-Kendall

$$S = \sum (R_j - R_i) n_{j=i+1} \quad (1)$$

Em que,  $R_j$  e  $R_i$  representam a ordem relativa de cada elemento da série temporal. As diferenças ( $R_j - R_i$ ) recebem valor zero (0) se ( $R_j - R_i$ ) = 0; [-1] se ( $R_j - R_i$ ) > 0 e, por fim, [1] se ( $R_j - R_i$ ) < 0. Supondo  $H_0$  seja verdadeira, o S deve apresentar uma distribuição aproximadamente normal com média zero e variância:

$$\text{Var}(S) = [(n*(n-1) * (2*n + 5)] / 18 \quad (2)$$

Finalmente a estatística de teste Z é dada por:

$$Z = \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \text{ se } S > 0,$$

0 se  $S=0$ ,

$$S^{-1}\sqrt{Var(S)} \text{ se } S < 0 \quad (3)$$

Adotando um nível de significância de 95%,  $H_0$  é rejeitado se  $|Z| > z_{\alpha/2}$ , em que o valor  $z_{\alpha/2} = 1,96$  é obtido da tabela normal padrão. O sinal da estatística  $Z$  indicará se a tendência é positiva ( $Z > 0$ ) ou negativa ( $Z < 0$ ).

A partir dos dados de precipitação e dos dados da OMA, IME, OAN, NINO 3.4 e ODP foram feitas a climatologia e as séries sazonais da precipitação e das demais variáveis no aplicativo Excel. Estas séries foram correlacionadas fazendo uso da análise de componentes principais no SPSS.

As Componentes Principais (CPs) constituem uma técnica estatística multivariada alternativamente chamada de Funções Ortogonais Empíricas (FOE) bastante utilizada em Meteorologia e Oceanografia (Wilks, 1995). O objetivo das CPs é reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, preservando a sua variância total, o que permite identificar padrões e processos associados às variáveis observadas. Assim sendo, as CPs são obtidas através de combinações lineares das variáveis originais utilizadas, o que conduz a maior parte da informação para as primeiras componentes.

Seja a matriz  $F$  ( $P \times N$ ) constituída de  $P$  estações e  $N$  número de observações em cada uma das estações. Os elementos da matriz  $F$  são normalizados com média zero e variância um. A normalização dos desvios garante que cada ponto de observação dentro da área de estudo tem a mesma importância na determinação dos padrões espaciais.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_{p1} & f_{p2} & \dots & f_{pn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Cada linha da matriz  $F$  representa uma estação  $P$  e as colunas representam as observações na estação  $P$  no decorrer do tempo. Neste estudo  $P=77$  estações e  $N=48$  componentes médias horárias anuais (24 valores médios horários de cada componente), ou seja, cada linha descreve a série temporal de observações em cada estação.

A matriz de correlação  $R$  é obtida a partir da matriz  $F$  das variáveis padronizadas pelos desvios padrões, sendo dada por:

$$R = \frac{1}{N-1} F^T F \quad (5)$$

Sendo  $R$  uma matriz simétrica positiva de dimensão ( $P \times P$ ), ela é diagonalizável por uma matriz  $E$  de mudança de base, denominada de autovetores. A

matriz diagonal  $E$  cujos elementos diagonais são os autovalores de  $R$  é obtida por:

$$D = E^{-1} R E \quad (6)$$

Devido à ortogonalidade dos autovetores, a inversa de  $E$  ( $E^{-1}$ ) é igual a sua transposta ( $E^T$ ). Assim, as componentes principais  $U_1, U_2, \dots, U_b$  são obtidas pela combinação linear entre a matriz transposta dos autovetores de ( $E^T$ ) e a matriz de observações  $F$ . Assim sendo,  $U$  é dada por:

$$U = E^T F \quad (7)$$

ou

$$F = E U \quad (8)$$

Cada linha de  $U$  é uma componente principal (CP) que são as séries temporais associadas aos autovetores. Cada componente principal  $U_1, U_2, \dots, U_P$  tem uma porção da variância total dos dados em ordem decrescente dos autovetores mais significativos  $ip$  em  $E$ . Logo,

$$U_p = \sum_{i=1}^p e_{ip} F_p \quad (9)$$

na qual  $F_p$  é a matriz original normalizada e  $ip$  é o autovetor. Os valores de  $F$  do  $n$ -ésimo local podem ser estimados pela seguinte expressão:

$$F_p = \sum_{i=1}^p e_{ip} U_p \quad (10)$$

## Resultados e Discussão

A análise dos resultados que é realizada a seguir mostra a contribuição deste estudo para um melhor entendimento da climatologia e de sua variabilidade em Tucuuruí.

### Análise Climatológica e do Teste de Mann-Kendall

As Figuras 1a e 1b mostram, respectivamente, a variação sazonal da temperatura média e a sua tendência no tempo para o período de 1972 a 2012. A análise da temperatura média mensal mostra que o trimestre mais quente é setembro-outubro-novembro (SON), ou seja, na primavera. Estes valores médios mensais mais elevados estão diretamente relacionados ao período de estiagem da região. Por outro lado as menores temperaturas médias mensais ocorrem de janeiro a abril, final do verão e início do outono, que corresponde ao período mais chuvoso em Tucuuruí, ou seja, a diminuição da temperatura média mensal nesse

período do ano está associada ao aumento da nebulosidade. Ao analisar a tendência de longo prazo, Figura 1b, verifica-se que ela apresenta uma acentuada inclinação positiva, principalmente, nos primeiros anos da série indicando assim uma tendência crescente nos valores anuais da temperatura média da região.

Observa-se que durante o período analisado, 40 anos, a temperatura média aumentou aproximadamente 1,8°C. Portanto, um valor relativamente elevado, porém antes de emitir qualquer conclusão é salutar analisar as tendências das temperaturas máxima e mínima.

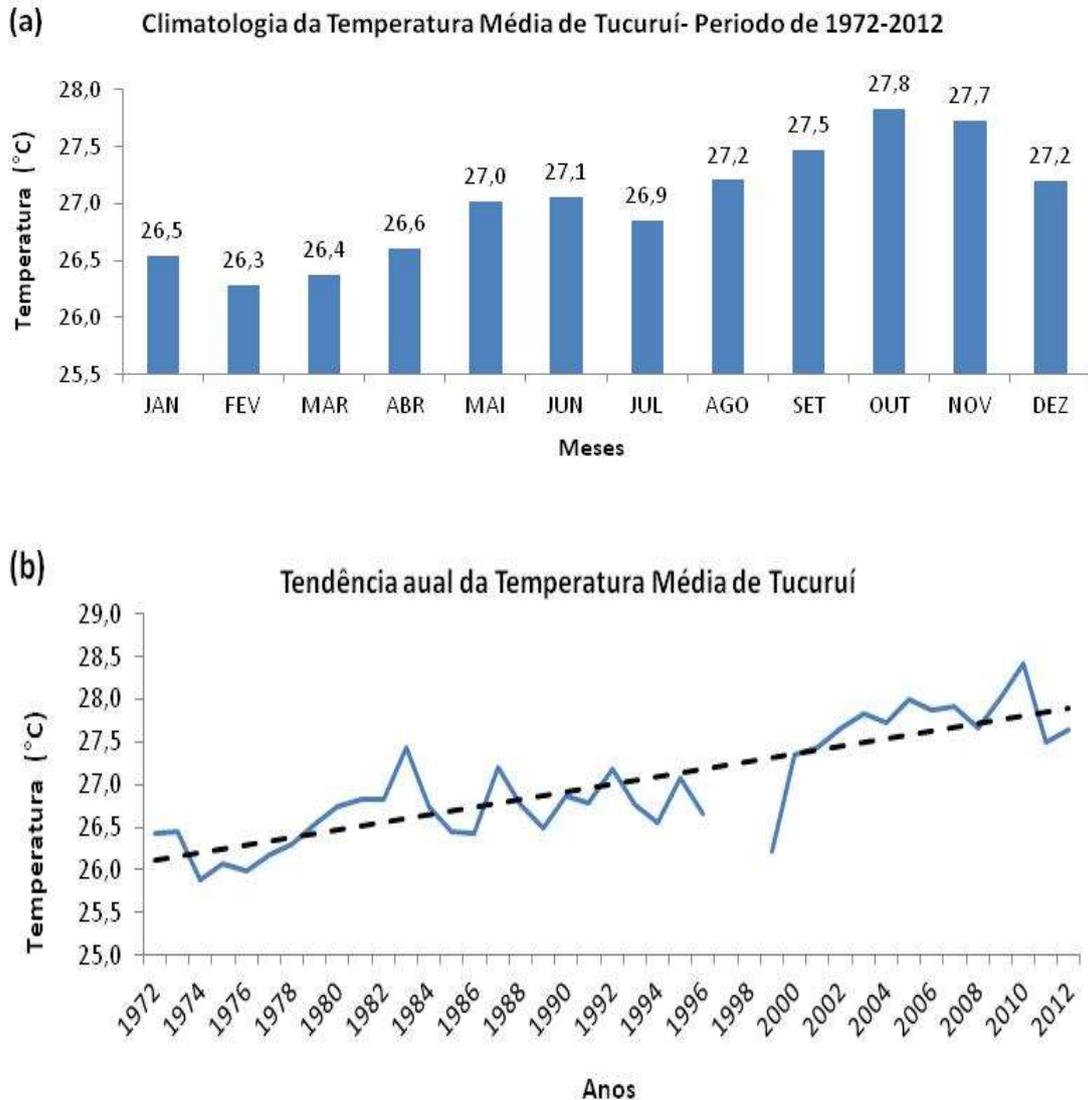


Figura 1 - Análise da temperatura média mensal (1a) e da tendência da temperatura para o período de 1972 – 2012 (1b) para o município de Tucuruí-Pa.

As Figuras 2a e 2b apresentam a temperatura máxima média mensal e a variabilidade interanual temperatura máxima no período 1972-2012, respectivamente. Observa-se que os máximos valores da temperatura máxima média mensal ocorrem no trimestre de agosto-setembro-outubro (ASO) com valores de 33,9°C, 33,9°C e 33,8°C, respectivamente. Enquanto, os menores verificam-se de janeiro a março

(Figura 2a), coincidente com a temperatura média mensal (Figura 1a). Na análise da variabilidade interanual da temperatura máxima observou-se tendência positiva, ou seja, de aumento ao longo do tempo, porém com coeficiente angular de regressão não significativo estatisticamente, indicando assim uma tendência estacionária da série.

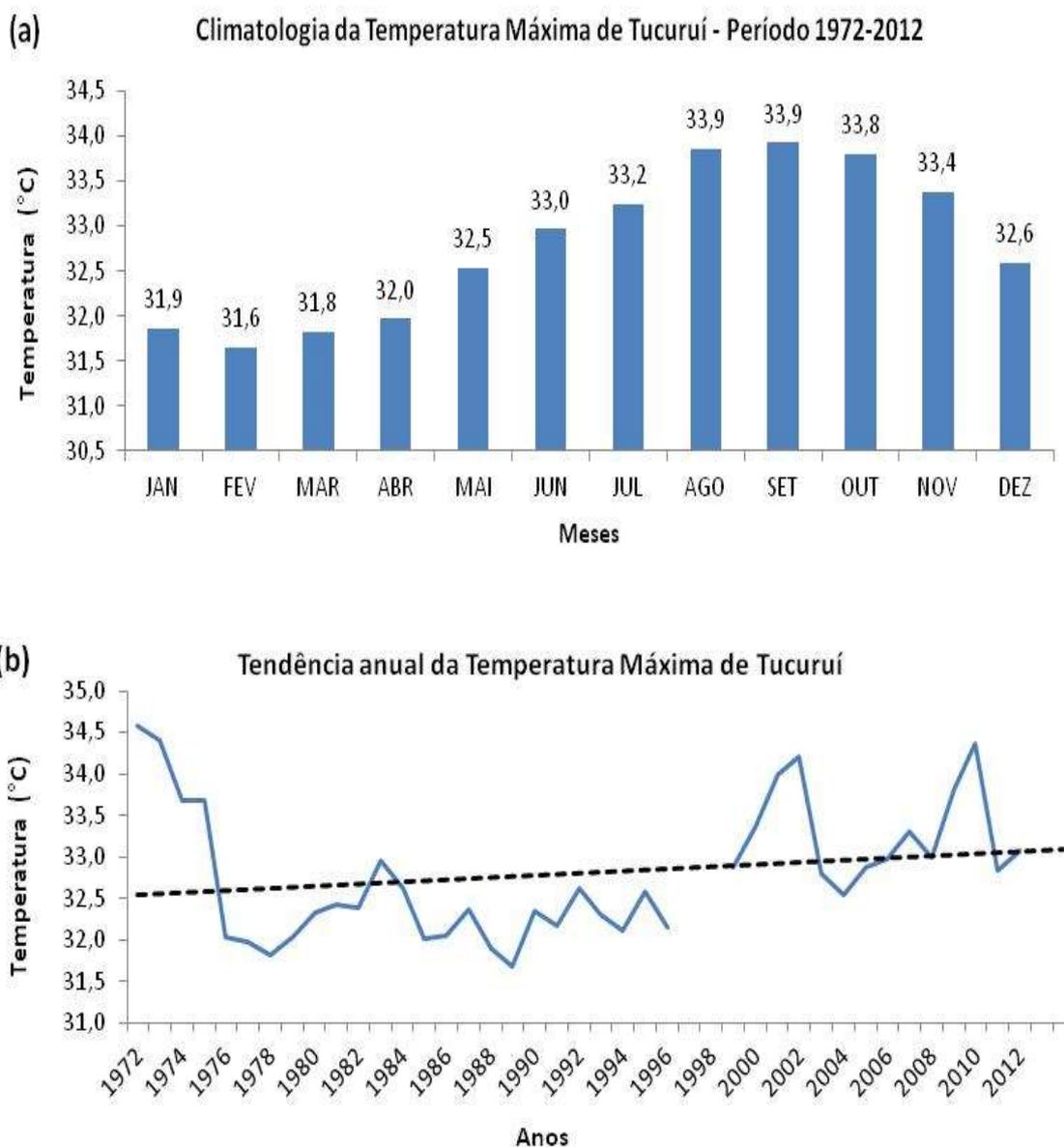


Figura 2 - Análise da variação temporal da temperatura máxima mensal (2a) e análise da tendência da temperatura máxima para o período de 1972 – 2012 (2b) para o município de Tucuuruí-Pa.

As Figuras 3a e 3b mostram os valores médios mensais da temperatura mínima e a variabilidade interanual da temperatura mínima do ar no período de 1972 a 2012, respectivamente. Observa-se que os menores valores médios mensais ocorrem de junho a agosto, no inverno, em virtude da pouca nebulosidade presente neste período favorecendo assim a perda de energia por radiação para o espaço. Os maiores valores médios mensais da temperatura mínima são verificados de outubro a dezembro, final da primavera início do verão, devido ao aumento da umidade do ar, que absorve a radiação de onda longa emitida da superfície. Quando

se faz uma análise da tendência da temperatura mínima em Tucuuruí, verifica-se que ela apresenta uma acentuada variação positiva, com um aumento de 2,85°C, ao longo da série de 1972 a 2012. Este aumento da temperatura mínima do ar em Tucuuruí está relacionado com feitos locais, como, por exemplo, o largo da Usina Hidrelétrica, como de grande escala, gases de efeito estufa, bem como efeitos naturais, oscilações decenais.

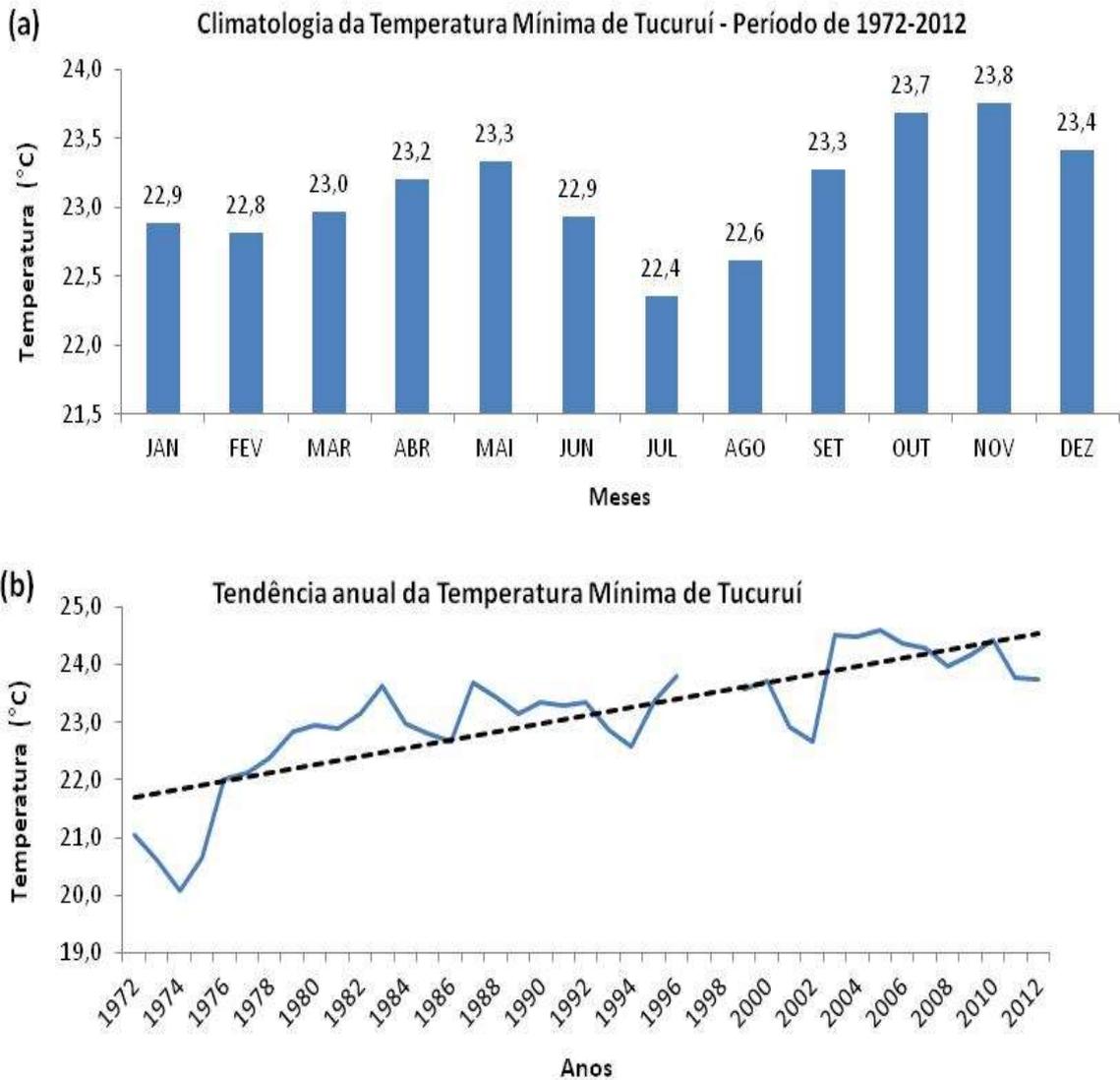


Figura 3 - Análise da variação temporal da temperatura mínima mensal (3a) e análise da tendência da temperatura mínima para o período de 1972 – 2012 (3b) para o município de Tucuruí-Pa.

As Figuras 4a e 4b apresentam a precipitação total média mensal e a variabilidade interanual da precipitação no período de 1972 a 2012, respectivamente. Observa-se que o trimestre mais chuvoso em Tucuruí é fevereiro-março-abril com um total médio no trimestre de 1234 mm. O semestre chuvoso é de dezembro maio com um total médio de 2014 mm, que representa mais de 84% do total médio anual. Por outro lado, o trimestre mais seco é julho-agosto-setembro, com um total de 110 mm, enquanto, o semestre seco

vai de junho a novembro, com um total médio no período de 375 mm, ou seja, menos de 16% do total anual. A variabilidade interanual apresentou uma tendência de aumento, porém

o coeficiente de regressão linear não apresentou significância estatística. Portanto, não é possível afirmar categoricamente que a precipitação total anual em Tucuruí aumentou ao longo do período analisado. É possível descrever que a série de precipitação ficou estacionária ao longo do período analisado.

Os testes de Mann-Kendall para verificação de tendência das temperaturas média, máxima e mínima e precipitação são apresentados Tabela 1. Observa-se, a partir do teste Mann-Kendall, que as temperaturas média e mínima apresentaram tendências positivas.

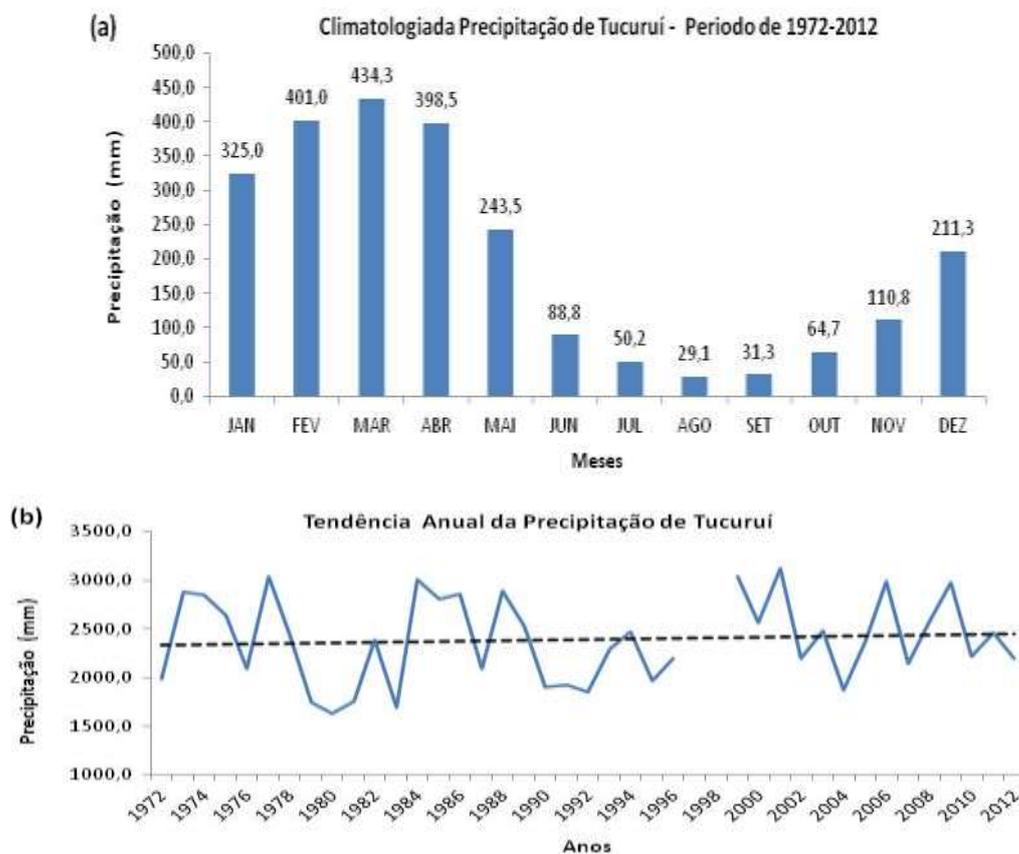


Figura 4 - Análise da variação temporal da precipitação mensal (4a) e análise da tendência da precipitação para o período de 1972 – 2012 (4b) para o município de Tucuruí-Pa.

estatisticamente significativas, com valor de  $Z_{\text{calculado}}$  4,74 e 4,67, respectivamente. Enquanto, a temperatura máxima e precipitação mostraram tendências positivas, mas sem significância estatística, com valor de  $Z_{\text{calculado}}$  1,66 e 0,29, respectivamente. Portanto, não é possível afirmar que a precipitação e a temperatura máxima, em Tucuruí,

tenham aumentado no período 1972-2014. Por outro lado, é salutar observar que tanto a temperatura mínima quanto a máxima apresentaram tendência de aumento, porém o da mínima foi mais acentuado. Este resultado concorda com os obtidos por Santos et al (2011) para o estado de Utah no Estados Unidos da América.

**Tabela 1-** Resultados das análises do teste de Mann Kendall para o período de 1972- 2012 para Tucuruí-Pa, onde os resultados da tendência é dado: Tendência significativamente positiva (+S), Tendência de estacionaridade (NS).

Variável Analisada	Teste de Mann Kendall	Tendência ( $\alpha= 5\%$ )
Temperatura Média Anual (°C)	<b>4,74</b>	<b>+S</b>
Temperatura Média Máxima Anual (°C)	<b>1,66</b>	<b>NS</b>
Temperatura Média Mínima Anual (°C)	<b>4,67</b>	<b>+S</b>
Precipitação (mm)	<b>0,29</b>	<b>NS</b>

#### Análises das correlações sazonais

Após análise climatológica da precipitação verificou-se a relação entre a precipitação sazonal (verão – DJF; outono – MAM; inverno – JJA e

primavera – SON) e os índices de OMA, IME, OAN, NINO 3.4 e ODP. Portanto, foram calculados os coeficientes de correlação entre as chuvas sazonais e os índices, cujo resultado é apresentado na Tabela 2. Ressalta-se que a correlação é estatisticamente

significativa para coeficiente de correlação superior a 0,32 ou inferior a -0,32. Logo, observa-se correlação com significância estatística apenas entre a precipitação das estações outono, inverno e primavera e o índice ODP, ou seja, a uma correlação negativa entre as chuvas da estação menos chuvosa e o ODP e entre as

chuvas de outono e ODP. Isto mostra que em período de ODP negativa verifica-se uma distribuição mais homogênea das chuvas ao longo das estações do ano em Tucuruí.

**Tabela 2-** Matriz de correlação entre a precipitação sazonal de Tucuruí - PA com os Campos de AMO, IME, OAN, NINO 3.4 e ODP.

**Correlation Matrix<sup>a</sup>**

	DJF	MAM	JJA	SON	OMA	IME	NAO	NNO 3.4	ODP
Correlation DJF	1,000	-,001	,094	,094	,003	-,018	,019	-,171	,012
MAM		1,000	,408	,408	,105	-,299	-,206	-,272	-,353
JJA			1,000	1,000	-,038	-,305	,109	-,245	-,383
SON				1,000	-,038	-,305	,109	-,245	-,383
OMA					1,000	-,112	-,368	,041	-,039
MEI						1,000	,092	,903	,481
NAO							1,000	-,004	,137
NNO_3.4								1,000	,327
ODP									1,000

a. Determinant = ,000

b. This matrix is not positive definite.

Assim como observado na matriz de correlação (Tabela 2), o gráfico de dispersão, representado pela Figura 5, mostra detalhadamente o comportamento dispersivo da precipitação sazonal em relação a cada evento de grande escala apresentados. Observa-se uma dependência oscilatória entre as chuvas de verão e a OMA e uma dependência quadrática das chuvas de verão e ODP. Verifica-se uma

correlação negativa entre as chuvas de outono e o IME, porém este tipo de correlação não foi verificado no cálculo dos coeficientes de correlação. Também é verificado correlação negativa entre as chuvas de outono e de inverno com a ODP. Este resultado concorda com os valores obtidos através dos coeficientes de correlação.

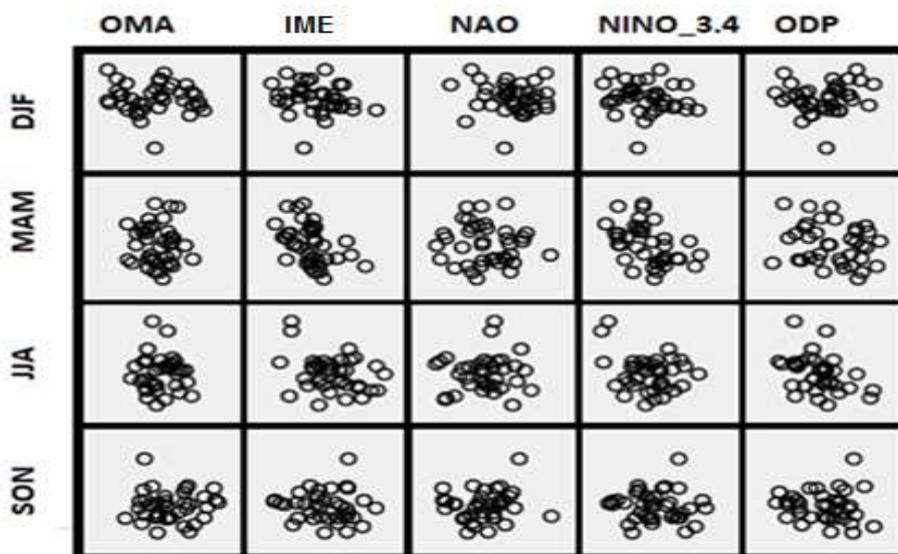


Figura 5- Gráfico de dispersão relacionando a precipitação sazonal de Tucuruí- PA com os campos de AMO, IME, OAN, NINO 3.4 e ODP para o período de 1972 a 2011.

## Conclusões

O teste não paramétrico de Mann-kendall utilizado no presente artigo permitiu uma análise mais abrangente sobre os comportamentos das séries climáticas de temperaturas, fornecendo subsídios para conclusões mais contundentes sobre as anomalias apresentadas em alguns parâmetros climáticos. Diante deste contexto, os resultados indicaram tendência crescente positiva nas séries de temperatura mínima do ar. Para a temperatura máxima não identificou nenhuma tendência significativa. O teste não paramétrico de Mann-kendall utilizado no presente artigo permitiu uma análise mais abrangente sobre os comportamentos das séries climáticas de temperaturas, fornecendo subsídios para conclusões mais contundentes sobre as anomalias apresentadas em alguns parâmetros climáticos. Diante deste contexto, os resultados indicaram tendência crescente positiva nas séries de temperatura mínima do ar. Para a temperatura máxima não identificou nenhuma tendência significativa.

Na análise das correlações sazonais verificou que há correlação com significância estatística apenas

entre a precipitação das estações outono, inverno e primavera, e o índice ODP. Na fase fria da ODP há uma tendência de uma distribuição mais homogênea de precipitação ao longo do ano. No gráfico de dispersão observou-se uma dependência oscilatória entre as chuvas de verão e a OMA, uma dependência quadrática das chuvas de verão e ODP, correlação negativa entre as chuvas de outono e o IME, e correlação negativa entre as chuvas de outono e de inverno com a ODP, concordando com os valores obtidos através dos coeficientes de correlação.

## Agradecimentos

A primeira e segunda autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos. O quarto e quinto autores agradecem Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes) pela concessão de bolsa de estudos.

## Referências

- Ávila, P.L.R.; Brito, J. I. B.; Figueira, W.S. 2013. Análise da relação entre a precipitação sazonal de Campina Grande e as oscilações interanuais e interdecadal dos oceanos atlântico e pacífico. In: Workshop Internacional sobre Água NO Semiárido Brasileiro, 1. Anais... Campina Grande-PB, p. 1-5.
- Ferreira, D.B.; Lima, E. C.; Oliveira, M. C. F.; LUZ, M. S. F. 2002. Variação espacial da temperatura e precipitação e sua associação aos Eventos de El niño e La niña em Tucuruí-Pa. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7. Anais... Foz do Iguaçu.
- IBGE: Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>.
- Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Climate*, n.4, p. 957-987.
- Picanço, J.M.M.; Sousa, A.J.; Assunção, J.L. 2002. Experiência da Eletronorte na Manutenção Autônoma Executada pelos Operadores na Usina Hidrelétrica de Tucuruí. In: Simpósio de Especialistas em Operação de CENTRAIS Hidrelétricas, 3, Foz do Iguaçu-PR. 2002. Anais. Foz do Iguaçu, p.1-10.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P. da; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista brasileira de meteorologia*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204.
- Rodrigues, R.A.; Santos, R.S. 2007. Estudo de tendência climática na série temporal de precipitação pluviométrica em Araguari (MG). *Revista de Geografia. Acadêmica*, v.1 n.1, p. 20-27.
- Santos, C. A. C.; Neale, C. M. U.; Ramana Rao, T. V.; Silva, B. B. 2011. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. *International Journal of Climatology*, v. 31, p. 1813-1822.
- Santos, D. C.; Medeiros, R. M.; Brito, J.I.B. 2013. Análise de índices de precipitação na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 1336-1355.
- Wilks, D.S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, San Diego, p. 467.
- Yevjevich, V. 1972. *Probability and statistics in hydrology*. Fort Collins: Water Resources Publication, p. 276.