

## IV-302 - ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ATRAVÉS DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS NÃO PARAMÉTRICOS PARA O MUNICÍPIO DE MONTE DO CARMO/TO

### **Gabrielle Souto da Rocha** <sup>(1)</sup>

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA), especialista em Segurança do Trabalho (Faci Devry), mestranda em Engenharia Civil no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia hídrica.

### **Lindemberg Lima Fernandes** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Mestre em Geofísica (UFPA) e Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (UFPA). Docente do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará - Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental – FAESA. Tutor do Programa de Educação Tutorial - Secretaria de Educação Superior- MEC, PET Engenharia Sanitária e Ambiental.

### **Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira** <sup>(3)</sup>

Engenheira Civil pela Faculdade Ideal. Mestre em Geotecnia pela Universidade de Brasília (UnB). Professora Assistente A do Instituto de Geociências e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA).

### **Maria de Nazaré Alves da Silva** <sup>(4)</sup>

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA), especialista em Gestão Ambiental (NUMA/UFA), mestre em Engenharia Civil, doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia Hídrica. Professora da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

### **Daniel Alvino Mesquita** <sup>(5)</sup>

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA), especialista em Segurança do Trabalho (UFPA), mestrando em Engenharia Civil no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia hídrica. Professor Substituto do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Augusto Correa, nº 01 - Guamá, Belém-PA, Brasil. CEP: 66.075-110 - e-mail: gabrielle.soutorocha@hotmail.com

## RESUMO

No meio técnico científico, diversos estudos tem sido realizados com o objetivo de identificar as tendências climáticas e quais os principais fatores que contribuem nas variações de comportamento, destacando-se os eventos de secas ou de precipitações intensas. Este trabalho tem como objetivo contribuir com os estudos a cerca do comportamento das precipitações em escala regional, analisando 31 anos de dados da estação pluviométrica Porto Gilândia (Código ANA – 01047002), utilizando análise estatística descritiva e teste não paramétricos de Mann-Kendall, Spearman e o Estimador Sen Slope para verificar a ocorrência de tendência na série de chuva (média anual), assim como, avaliar as alterações associadas ao El Niño e La Niña no regime pluviométrico, para uma estação pluviométrica no município de Monte do Carmo, localizado no Estado do Tocantins. Os resultados obtidos indicaram tendência negativa ao longo dos anos, além de apresentar significativa correlação com os fenômenos climáticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Precipitação, Tendência, Estatística, Monte do Carmo.

## INTRODUÇÃO

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 (RIBEIRO *et al*, 2014). A precipitação está entre as variáveis climáticas de grande relevância e averiguar seu comportamento em escala regional é altamente significativo. Para Raimundo *et. al*. (2014), um amplo estudo de tendências das precipitações, principalmente as severas e extremas, é de suma importância para fins de planejamento urbano e implementação de medidas para conter e/ou amenizar seus efeitos.

Variações na precipitação anual e sazonal podem ocorrer devido à mudança da frequência dos eventos de precipitação ou na intensidade da precipitação por evento (SCOFIELD, 2014). Em diversas regiões do País tem-se verificado estudos para análise das tendências de precipitação e quais os resultados obtidos através das séries temporais. Salviano (2016) analisou as tendências temporais da precipitação e da temperatura média no Brasil, por meio do método Contextual Mann-Kendall (CMK), utilizando dados espacialmente distribuídos elaborados pelo Climatic Research Unit (CRU), entre os anos 1961 e 2011. Nos resultados verificaram-se tendências não significativas em mais de 70% do território brasileiro em todos os meses na precipitação, porém a temperatura média apresentou tendência positiva significativa em grande parte do Brasil ao longo de todo ano.

A bacia amazônica tem experimentado crescente aumento nas mudanças de uso e ocupação do solo ao longo dos anos e, suas possíveis consequências no clima regional e global têm motivado uma série de experimentos (SANTOS, 2016). O regime pluviométrico de várias regiões da Amazônia vem sofrendo alterações devido ao aumento dos eventos extremos de precipitação, tanto devido a períodos prolongados com e sem chuva, quanto ao aumento dos eventos com precipitações intensas (SANTOS, 2015). A ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, particularmente na Amazônia, exercem diferentes impactos na precipitação da região, segundo FOLEY *et. al.* (2002), durante a ocorrência do El Niño com intensidade moderada e forte ou muito forte verificou-se a diminuição da precipitação na região. Neste trabalho, o objetivo foi verificar a dinâmica temporal da região para o município de Monte do Carmo, tendo como base de dados a série histórica da estação pluviométrica de Porto Gilândia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Monte do Carmo está localizado na região central do Estado de Tocantins, distante a 89 km de Palmas, capital do Estado. O município possui área de 3.616,674 km<sup>2</sup> e apresenta população de 6.716 habitantes (IBGE, 2016). Monte do Carmo limita-se ao Norte com os municípios de Palmas, Santa Tereza do Tocantins e Porto Nacional; ao Sul, com Silvanópolis; a Leste, Ponte Alta do Tocantins e, a Oeste, com Porto Nacional. O clima caracteriza-se como C2wA'á''- Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica, precipitação pluviométrica média anual em torno de 1700mm e temperatura do ar média anual de 26 a 27°C, de acordo com o Método de Thornthwaite.

Os dados de precipitação utilizados foram selecionados de duas estações pluviométricas da rede da Agência Nacional de Águas - ANA, localizadas na região central do estado de Tocantins. Ambas as estações estão inseridas na bacia do rio Tocantins. A Tabela 1 apresenta as informações das estações selecionadas, contendo o número de identificação, as coordenadas geográficas e os anos de registro, obtidos através do Hidroweb. A estação Porto Gilândia (Código 01047002), localizada no município de Monte do Carmo, será a estação alvo e objeto de estudo para os testes de tendência. A estação Miracema do Tocantins (Código 00948000), localizada no Município de Miracema do Tocantins, foi utilizada para correção das falhas existentes na estação alvo, através do modelo de regressão linear simples.

**Tabela 1 - Coordenadas geográficas, altitude e período analisado das estações pluviométricas.**

Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período observado
Porto Gilândia	10° 45' 19''	47° 45' 53''	220	1976 - 2006
Miracema do Tocantins	09° 33' 51''	48° 23' 15''	210	1976 - 2006

## PRIMEIRA ETAPA: CORREÇÃO DE FALHAS E APLICAÇÃO DE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Para o preenchimento das falhas existentes na estação alvo, utilizou-se o método de preenchimento de falha pela regressão linear simples. Para a análise dos dados da série histórica, aplicou-se a estatística descritiva, para obtenção da média, mediana, média móvel, valores máximos e mínimos, desvio padrão e variância. Os resultados obtidos permitiram a obtenção de gráfico box plot, que avalia a simetria dos dados e a sua dispersão, através dos valores mínimos, máximos, mediana e quartis, e da variação da precipitação ao longo dos anos. Os valores obtidos da média móvel foram utilizados na correlação com os fenômenos El Niño e La Niña.

A análise de tendência para a precipitação foi realizada utilizando-se os métodos não paramétricos de Mann-Kendal, Spearman e Sen's. Para os testes de Mann Kendal e Spearman foi considerado o nível de significância de 5%. Para a organização dos dados e análise dos métodos estatísticos foram utilizados os softwares Bioestat 5.0 e o Microsoft Excel, com a ferramenta XLSTAT

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Realizou-se o preenchimento de falhas de dados da estação Porto Gilândia utilizando a regressão linear simples, analisando o gráfico de dispersão, de modo que foi gerada a equação de regressão e seu respectivo Coeficiente de Pearson, conforme Figura 1 e Tabela 2. Com base nos resultados da regressão linear, foi possível observar que o resultado apresentou valores significantes e confirmando a correlação entre as variáveis a uma associação linear positiva.

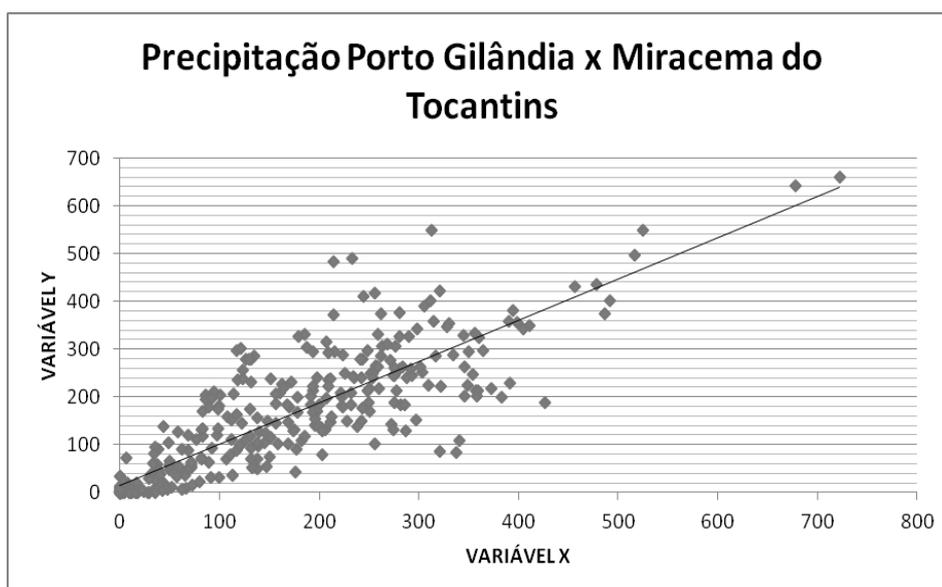


Figura 1 – Gráfico de dispersão das precipitações das estações Porto Gilândia e Miracema do Tocantins.

Tabela 2 - Equação linear para preenchimento de falhas e Coeficiente de Pearson.

Equação de regressão	r	r <sup>2</sup>
Y=0,8623 X + 15,139	0,8642	0,7468

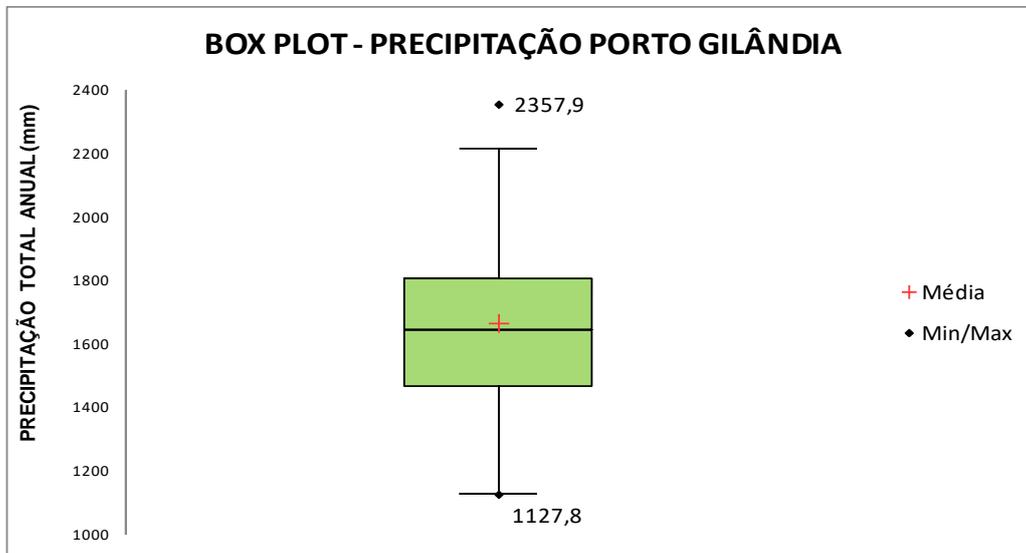
Após o ajuste das falhas na estação Porto Gilândia, aplicou-se a estatística descritiva para a obtenção de valores visando substanciar os métodos serem testados na análise de tendência, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da estatística descritiva para a estação Porto Gilândia.

Estatística	Estação Porto Gilândia
Nº de observações	31
Mínimo	1127,800
Máximo	2357,900
Amplitude	1230,100
1º Quartil	1469,850
Mediana	1645,000
3º Quartil	1807,600
Média	1667,724
Variância (n)	74152,232
Desvio-padrão (n)	272,309

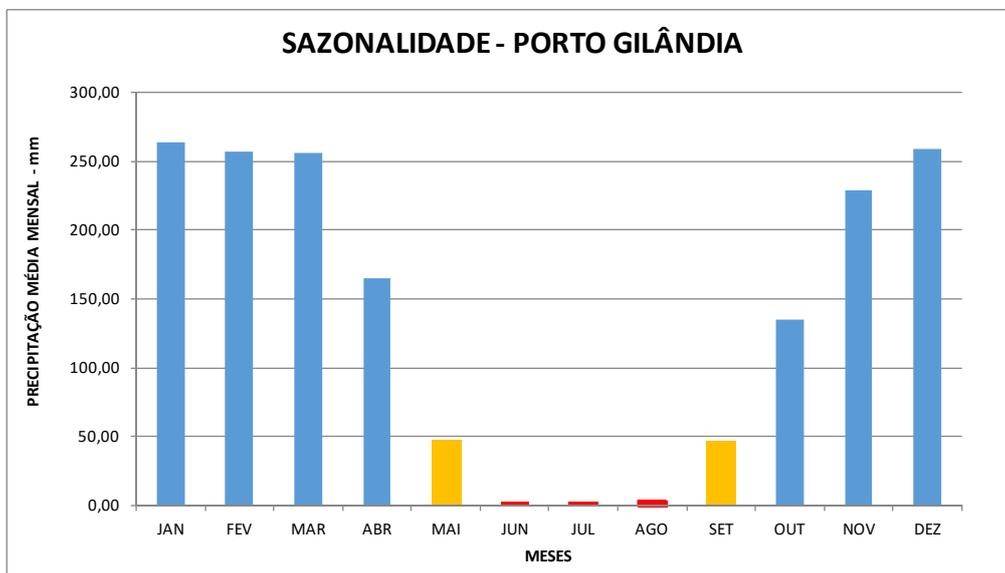
Na Figura 2, foi possível analisar por meio dos resultados estatísticos obtidos que os valores da média e mediana estão próximos, e 50% dos resultados encontram-se abaixo do valor da mediana de 1645,00. O valor

máximo observado de 2357,90 configura como valor atípico. Verificou-se que o ano com maior precipitação correspondeu ao ano de 1980, enquanto que o ano que apresentou menor precipitação foi o de 1998.



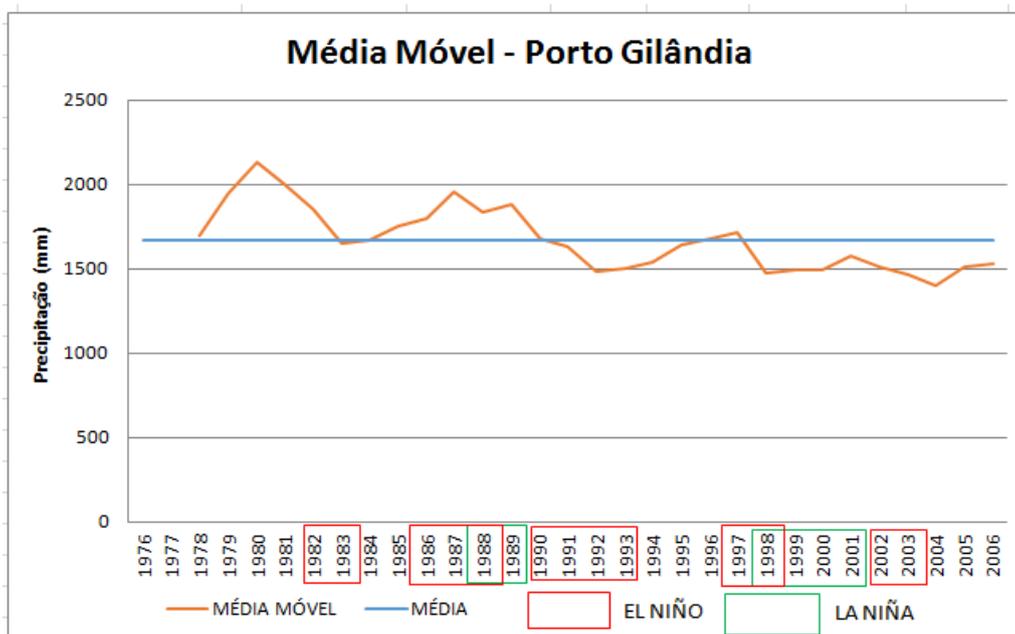
**Figura 2 – Gráfico Box Plot para precipitação da estação Porto Gilândia.**

Foram utilizados os dados de precipitação média mensal da série para analisar a sazonalidade a fim de se obter aplicação adequada dos testes de tendência. Conforme verificado na Figura 3, observam-se duas estações bem definidas: uma estação chuvosa, que se inicia em outubro até abril, e uma estação de seca, que se inicia em maio e corresponde até o mês de setembro, apresentando os menores valores de precipitação nos meses de maio a julho.



**Figura 3 – Gráfico das precipitações médias mensais da estação Porto Gilândia.**

Conforme Figura 4, observou-se o comportamento da média móvel de um período de 3 em 3 anos, correlacionando-a com a análise dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña. Para análise da variação das precipitações durante a ocorrência destes eventos, levou-se em consideração os níveis de intensidade moderado e forte. Deste modo, visualizou-se que a precipitação apresenta um comportamento cíclico dentro de uma amplitude ao longo dos anos, e nos anos de ocorrência de El Niño com forte intensidade, houve diminuição significativa da precipitação. Nos anos de ocorrência de La Niña com intensidade forte, tem-se o aumento das precipitações, no entanto, esse aumento não se mostra tão significativo.



**Figura 4 – Gráfico da média móvel das precipitações totais anuais.**

## SEGUNDA ETAPA: ESTATÍSTICA NÃO PARAMÉTRICAS

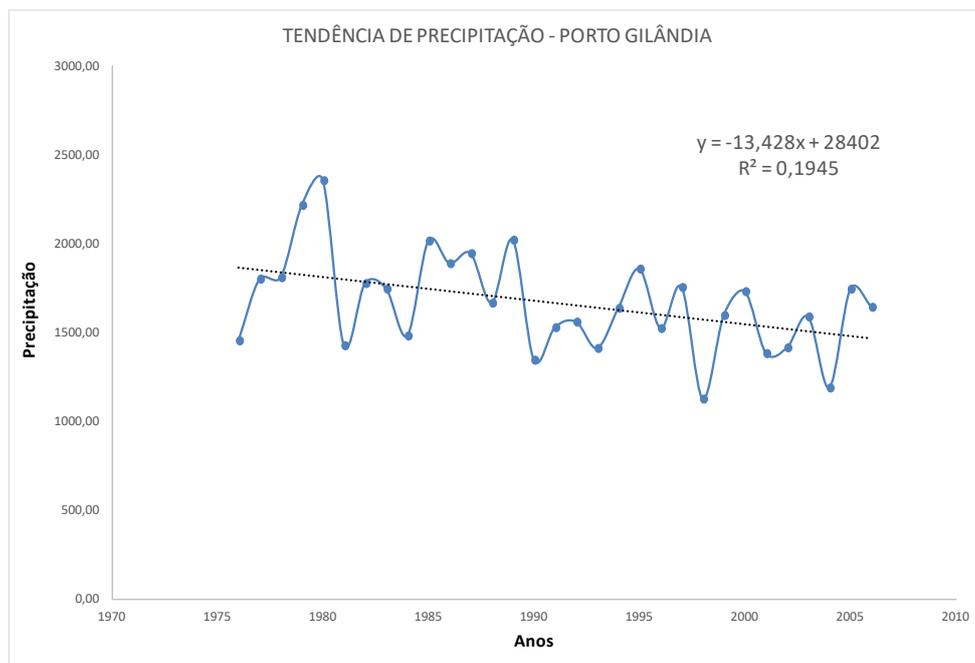
Após a análise descritiva dos dados e verificação da sazonalidade da série histórica, aplicaram-se os testes não paramétricos para averiguação de tendência para a precipitação. Os dados obtidos encontram-se na Tabela 4.

**Tabela4 – Resultados dos testes não paramétricos.**

Mann Kendal	Spearman	Sen
Zmk = - 2,14	Tcal = - 2,50	- 11,65
	Tcrít = - 2,27	
Rejeita-se H0	Rejeita-se H0	

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

No teste de Mann Kendall e Spearman foi rejeitada a hipótese nula H0, com nível de significância de 5% para a série analisada. Também foi verificado na análise do teste de Spearman a confirmação de que se o  $|t_{calc}|$  for igual ou maior que o  $t_{crít}$  a correlação é estatisticamente significativa. Deste modo, observa-se que a precipitação está diminuindo ao longo dos anos, o que também pode ser confirmado através do valor de Sen, que indica a diminuição da lamina d'água em 11,65 mm/ano. Tal averiguação é possível ser verificada na Figura 5, que apresenta gráfico gerado após a obtenção dos resultados dos testes não paramétricos, em que se evidencia a tendência de diminuição das chuvas.



**Figura 5 – Gráfico de tendência da precipitação.**

## CONCLUSÕES

A análise dos dados de precipitação anual média para os 31 anos de observações (1976 – 2006) mostrou a divisão do período chuvoso e do período menos chuvoso para a área de estudo. Os meses com menores volumes de precipitação pluviométrica no estado do Tocantins, de maio a setembro, foram os que apresentaram mais anomalias negativas em relação à média histórica.

Considerando os cálculos estatísticos descritivos e os testes aplicados foi possível observar que a precipitação verificada da estação Porto Gilândia apresenta tendência negativa ao longo dos anos, além de apresentar significativa correlação com os fenômenos climáticos ENOS. No entanto, a distribuição espacial da precipitação não depende somente dos efeitos provocados pelos mecanismos climáticos, mas também dos sistemas meteorológicos regionais e locais. Deste modo, demais estudos avaliando diferentes variáveis, como temperatura, umidade e uso e ocupação do solo podem contribuir e ser utilizados como ferramentas para análise do comportamento climatológico, com ênfase na precipitação pluviométrica, auxiliando o planejamento e zoneamento da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2016.
2. FOLEY, J. A., BOTTA, A., COE, M. T. e COSTA, M. H. 2002. El Niño Southern Oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazônia. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4): 1132.
3. IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <[www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php](http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php)>. Acesso em: 12 ago. 2016.
4. Marcuzzo, F.F.N.; Oliveira, N. de L.; Pinto Filho, R. de F.; Faria, T.G.. Chuvas na região Centro-Oeste e no Estado do Tocantins: análise histórica e tendência futura. *Boletim de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 19-30, 2012.
5. PINHEIRO, A.; GRACIANO, R.L.G.; SEVERO, D.L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.
6. RAIMUNDO, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; MOLION, L. C. B. Tendências Das Classes De Precipitação Na Região Metropolitana De São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.3, 397 - 408, 2014.

7. RIBEIRO, R.E.P.; ÁVILA, P.L.R.; BRITO, J.I.B.; SANTOS, E.G.; SOUSA, L.F. Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí-Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.07, p.798-807, 2014.
8. SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D. E PELLEGRINO, G. Q.. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, 64-73, 2016.
9. SANTOS, C. A. C.DOS; MELO, M. M. M. S.; BRITO, J. I. B. Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, 1-10, 2016.
10. SANTOS, E.L; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*. V. 08, N. 04, 1041-1052, 2015.
11. SCOFIELD, G. B.; ANGELIS, C. F.; JR, W. C. S. Estudo das Tendências do Total de Precipitação e do Número de Dias Chuvosos no Litoral Norte de São Paulo. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 19, n.3 –Jul/Set 2014, 19-3.