

ESTUDO DE TENDÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA BACIA DO RIO GUAMÁ NO PERÍODO DE 30 ANOS

CARLOS EDUARDO AGUIAR DE SOUZA COSTA¹; ANTÔNIO JORGE SILVA ARAÚJO JUNIOR²; ARTUR SALES DE ABREU VIEIRA³; THIAGO RODRIGUES DE MATOS⁴; HEITOR CAPELA SANJAD⁵; BRENDA GONÇALVES PITEIRA CARVALHO⁶ E IRLANE QUARESMA DA SILVA⁷

1. Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestrando em Eng. Civil, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, eduardoaguiarsc@hotmail.com, (91)98142-1296;
2. Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestrando em Eng. Civil, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, ajorgejunior@live.com, (91)98045-5555;
3. Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Bolsista do Núcleo de Estudos e Pesquisas do Nordeste – NEPEN, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, a-sales@hotmail.com, (91)98228-7541;
4. Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, thiago.esamb@hotmail.com, (91)99814-6698;
5. Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, hsanjad@hotmail.com, (91)98206-4846;
6. Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, brendapiteira@gmail.com, (91)98433-8344;
7. Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, R. Augusto Corrêa, Nº1, Guamá, Belém/PA, 66075-110, irlanequaresma@yahoo.com.br, (91)98122-0963.

RESUMO

Este trabalho considerou a Bacia hidrográfica do Rio Guamá, que é responsável por 75 % da água consumida em Belém, capital do estado do Pará. Diante da importância da área para o desenvolvimento da região, e a falta de trabalhos semelhantes na área, mostram-se necessários estudos que permitam um acompanhamento hídrico na região. Foram selecionadas estações pluviométricas com continuidade da série temporal, além de seu comprimento, sempre igual ou superior a 30 anos, com esses critérios foram selecionadas 14 estações de um total de 52 existentes na área, segundo o Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas - HidroWeb. Foi aplicado o teste de Mann-Kendall para verificar a presença de uma tendência crescente ou decrescente e, em seguida, estimou-se a inclinação e magnitude de uma tendência linear com o método não paramétrico de Sem. Observou-se a alta variabilidade de precipitação na região hidrográfica do Rio Guamá, apresentando médias anuais de 1820,4 mm até 3041 mm. Verificou-se também duas tendências positivas significativas e apenas uma negativa onde percebe-se que a inclinação destas tendências calculadas pela inclinação de Sen, os valores não se distanciaram muito, mantendo os padrões negativos e positivos.

Palavras-chave: Pluviométrica, Tendência, Bacia Hidrográfica

Tema: Sistemas hídricos sustentáveis (6)

1. INTRODUÇÃO

A Bacia em foco neste artigo é responsável por 75 % da água consumida em Belém, capital do estado (COSANPA, 2015). Além de favorecer diversos municípios do Pará, com abastecimento hídrico por seus afluentes a empreendimentos de agricultura, pecuária, pesca e mineração, tornando-se fundamental na continuidade de atividades que promovem o crescimento econômico do estado.

De acordo com Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM), a Bacia Hidrográfica do rio Guamá está localizada na região Costa Atlântica-Nordeste do estado do Pará, com a capacidade de drenar uma área de 87.389,54 km², que equivale a 7 % do estado, e navegabilidade viável nos últimos 160 km do rio Guamá. Os principais afluentes da bacia destacam-se os rios Acará, Capim e Moju.

Um estudo semelhante e tomado de base para a elaboração deste artigo foi realizado na região Costa Atlântica-Nordeste do estado do Pará, especificamente na Bacia do Rio Capim, onde a caracterização da paisagem a partir do comportamento hidrológico permitiu alcançar orientações de diversas finalidades, desde o planejamento territorial a temas mais voltados a avaliação de ecossistemas (DA MOTTA, V. HUGO; DE LIMA, M. M. ALINE, 2012).

Devido ao custo e a dificuldade na obtenção de medidas em áreas de difícil acesso e as condições climáticas da Amazônia, têm sido largamente utilizados modelos matemáticos para prever as consequências climatológicas e hidrológicas de interferências humanas, como exemplo o desmatamento (PAIVA, E. M, 1995).

Diante da importância desta Bacia Hidrográfica, e a falta de trabalhos semelhantes na área, mostram-se necessários estudos que permitam um acompanhamento hídrico na região em questão. Portanto, o trabalho objetiva apresentar resultados da análise de estatísticas de estações pluviométricas da bacia do rio Guamá, sendo utilizados dados pluviométricos, no período mínimo de 30 anos, disponíveis na Bacia do Rio Guamá, fornecidos pelo HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas.

Com as tendências encontradas torna-se possível avaliar e por em questão as suas causas ao longo da série histórica, levantando questões como o tipo de influência antrópica na região, e observando como atividades humanas interferem positivamente ou negativamente no comportamento natural da bacia hidrográfica, ou se as causas são originadas apenas de fatores de ordem natural cíclica.

2. METODOLOGIA

Este trabalho considerou a sub-bacia do Rio Guamá, correspondente a sub-bacia 31 do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas - HidroWeb. A área está localizada no nordeste do estado do Pará, abrangendo também pequena parte do estado do Maranhão, e possui área aproximada de 180 000 km².

Para seleção das estações pluviométricas, o critério utilizado foi a continuidade da série temporal, além de seu comprimento, sempre igual ou superior a 30 anos, com período de falhas contínuas inferior a 3 meses e distribuídas na sub-bacia hidrográfica de estudo. Com esses critérios foram selecionadas 14 estações de um total de 52 existentes. Na figura

01 é possível observar a localização da área de estudo e as estações utilizadas, e no quadro 01 são apresentadas as informações das mesmas.

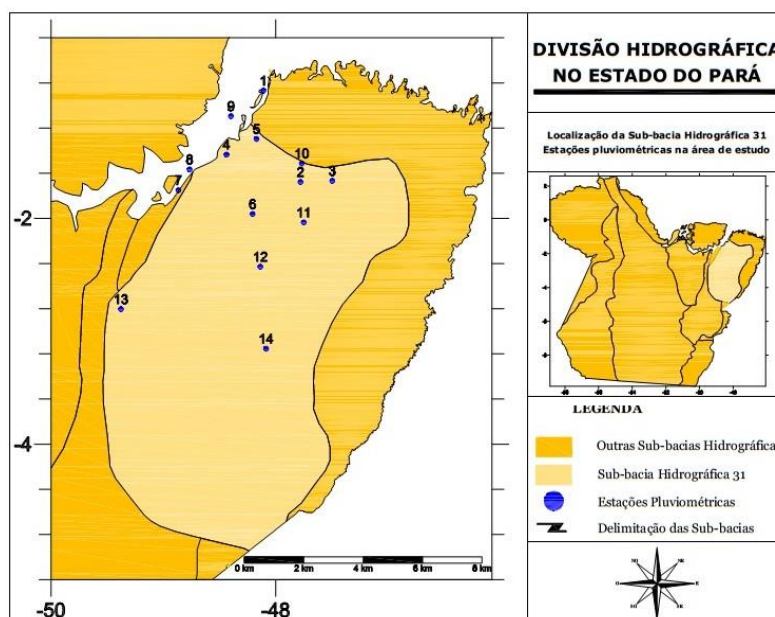


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

Quadro 1. Informações das estações pluviométricas utilizadas

Nº	Cod. Estação	Município	Prec. Média Anual (mm)	Lat.	Long.
1	48006	Vigia	2713,32	-0:52:5	-48:6:37
2	147008	São Domingos do Capim	2274,09	-1:40:39	-47:46:12
3	147011	Irituia	2461,41	-1:40:2	-47:29:47
4	148002	Belém	3041,00	-1:26:6	-48:26:16
5	148003	Santa Isabel do Pará	2964,61	-1:17:47	-48:10:15
6	148009	Acará	2573,08	-1:57:40	-48:12:23
7	148010	Abaetetuba	2583,39	-1:45:1	-48:52:1
8	148011	Barcarena	2077,23	-1:33:56	-48:46:1
9	148012	Belém	3026,50	-1:5:39	-48:23:55
10	247000	São Domingos do Capim	2391,43	-2:30:46	-47:46:5
11	247003	Aurora do Pará	2417,83	-2:2:8	-47:45:2
12	248003	Tomé-açu	2623,43	-2:25:42	-48:8:14
13	249002	Maju	2394,36	-2:48:16	-49:22:40
14	348001	São Domingos do Capim	1820,4	-3:9:16	-48:5:9

Visando a detecção de tendências e/ou mudanças climáticas de precipitação foram considerados dados totais anuais utilizando os testes não paramétricos de Mann-Kendall (Sneyers, 1975) e de Sen (1968) além da regressão linear. Foi utilizada a metodologia proposta por Gilbert (1987), onde é aplicado o teste de Mann-Kendall e verifica-se a presença de uma tendência crescente ou decrescente e, em seguida, estima-se a inclinação

e magnitude da uma tendência linear com o método não paramétrico de Sen (1968), na qual a inclinação das tendências pode ser obtida a partir do cálculo das inclinações estimadas.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall, originalmente criado por Mann (1945) e reformulado por Kendall (1948), consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial, contando o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado (OLIVEIRA, 2011).

O método descreve a tendência de uma série temporal de dados, sendo apropriado para casos em que a tendência possa ser assumida como monotônica e, portanto, não apresentando qualquer ciclo sazonal ou outra tendência nos dados. Segundo Goossens e Berger (1986) o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças em séries temporais de chuva. A determinação do teste estatístico de Mann-Kendall é determinado da seguinte forma:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0 & , \text{ se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (3)$$

O nível de significância (α) utilizado para os cálculos de Mann-Kendall foi de 0,05, o que significa que há uma probabilidade de 5% de se cometer um erro ao rejeitar a hipótese nula. A significância estatística foi realizada pelo teste pvalor, a hipótese nula não é rejeitada se o valor de p for maior ou igual a α , se o valor p for menor do que α , a hipótese nula é rejeitada. Foram realizados dois testes, no primeiro a hipótese alternativa (H_a) é a existência de tendência crescente, e no segundo é a existência de tendência decrescente, sendo assim, foram calculados dois valores de 'p'.

O método não-paramétrico de Sen (SEN, 1968) utiliza um modelo linear para estimar a inclinação da tendência e da variância dos resíduos sendo constante no tempo, possibilitando encontrar a magnitude da tendência. Neste método são permitidos valores em falta e os dados não precisam obedecer a uma distribuição específica qualquer. O valor calculado no método de Mann-Kendall pode desviar-se muito do verdadeiro valor da inclinação se existirem "outliers" nos dados, já o método de Sen não é muito afetado por erros de um dado único. O método de Sen é determinado por:

$$f(t) = Qt - B \quad (4)$$

Onde Q é a inclinação e B é uma constante.

Para obter a estimativa de inclinação Q, primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (5)$$

Onde $j > k$.

Se existem n valores x_j na série temporal, obtêm-se $N = n(n-1)/2$ estimativas de inclinação Q_i . Assim a inclinação estimada pelo método de Sen é a mediana destes valores N de Q_i . Os valores N de Q_i são classificados do menor para o maior, e a estimativa Sen é:

$$Q = Q_{\left[\frac{N+1}{2}\right]}, \quad \text{se } N \text{ é ímpar} \quad (6)$$

ou

$$Q = \frac{1}{2} \left(Q_{\left[\frac{N}{2}\right]} + Q_{\left[\frac{N+2}{2}\right]} \right), \quad \text{se } N \text{ é par} \quad (7)$$

Salmi et al. (2002) apresenta descrição detalhada para o cálculo do teste estatístico Z de Mann-Kendall, e estimativa de inclinação Q e da constante B pelo método Sen.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se a alta variabilidade de precipitação na região hidrográfica do Rio Guamá, apresentando médias anuais de 1820,4 mm até 3041 mm, representada na Figura 02. Utilizando o teste de Mann Kendall verificou-se duas tendência positiva significativa e apenas uma negativa onde percebe-se que a inclinação destas tendências calculadas pela inclinação de Sen, os valores não se distanciaram muito, mantendo os padrões negativos e positivos. A análise de regressão linear foi verificada apenas para as estações que apresentaram tendência. No quadro 02 pode ser verificado os principais resultados referentes a estes testes.

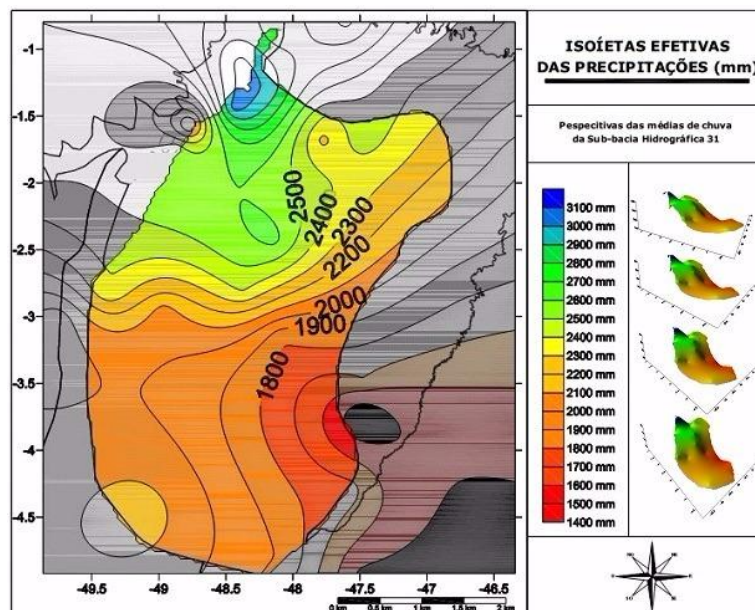


Figura 2. Mapa de Isoietas das precipitações

Quadro 2. Testes estatísticos para as 14 estações pluviométricas de estudo

Nº	Nº de meses	z	p-valor +	p-valor -	Tendência de Mann-Kendall	Inclinação de Sen	R²
1	372	-0,81583	0,79270	0,20730		-6,61	0,0054
2	444	-1,24249	0,89297	0,10703		-6,83	0,0324
3	384	-2,74058	0,99693	0,00307	Negativa	-26,90	0,2833
4	576	4,18627	0,00001	0,99999	Positiva	16,77	0,2955
5	504	-1,56058	0,94069	0,05931		-9,40	0,0573
6	408	3,37997	0,00036	0,99964	Positiva	33,24	0,2951
7	408	1,12666	0,12994	0,87006		9,89	0,0361
8	408	-0,08895	0,53544	0,46456		-1,58	0,0380
9	384	-0,95677	0,83066	0,16934		-7,71	0,0698
10	504	-1,60393	0,94564	0,05436		-10,41	0,0698
11	384	-1,39480	0,91846	0,08154		-15,10950	0,03810
12	371	0,23795	0,40596	0,59404		5,67330	0,00020
13	408	0,65228	0,25711	0,74289		4,99400	0,00110
14	380	-0,60001	0,72575	0,27425		-5,77060	0,01670

Observa-se que o Z para as estações que apresentaram tendência deram valores acima de 1, diferente das outras estações. O p-valor foi testado para positivos e negativos, nota-se que nas que apresentaram tendência positiva, o p-valor negativo foi mais próximo de 1 e para a que se apresentou tendência negativa, o p-valor positivo que foi próximo a 1.

Olhando para os resultados de inclinação de Sen, pode-se perceber que os maiores valores de inclinação, também foram as que apresentaram tendência, comprovando a efetividade do teste de Mann-Kendall. O coeficiente de determinação calculado nas estações 3, 4 e 6 foram os mais significativos, também comprovando a eficiência do teste de tendência utilizado.

As estações 3, 4 e 6 que apresentaram tendência ficam respectivamente em Irituia, Belém e Acará. Sendo que 4 e 6 que apresentaram tendências positivas, estão relativamente próximas, o que pode evidenciar que na área está ocorrendo alguma interferência meteorológica ou mesmo antrópica, que pode estar causando este aumento de pluviosidade com o passar dos anos.

A figura 03 apresenta os gráficos gerados através da regressão linear realizada, pode-se perceber claramente o comportamento nas três estações que apresentaram tendência.

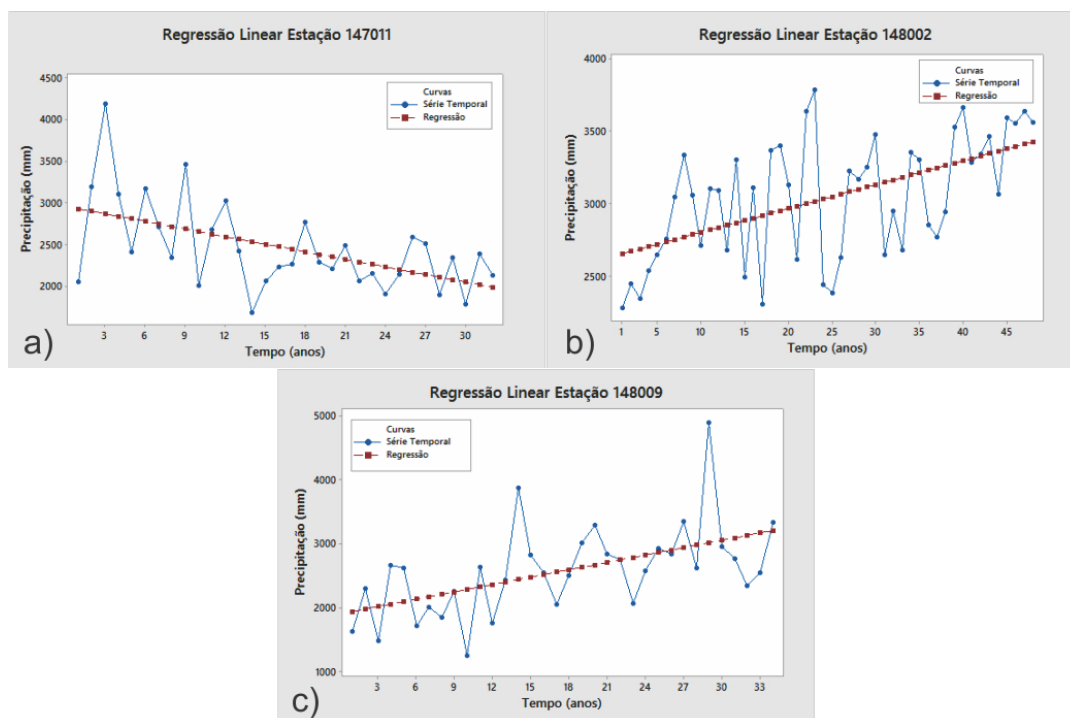


Figura 3. Série temporal das estações pluviométricas (a) 3, (b) 4 e (c) 6, que apresentaram tendência

No primeiro gráfico por exemplo, é perceptível que com o passar dos anos, o regime pluviométrico vem diminuindo, no caso apresentando uma tendência negativa evidenciada pela reta decrescente. Nos outros dois já percebemos o oposto, os gráficos de regressão comprovam o que o método demonstrou também para as outras duas estações com tendência positiva, observa-se as retas crescentes.

Estes resultados deixam claros que não há uma descontinuidade e nem mudanças significativas nas séries meteorológicas, visto que os valores das estatísticas não definiram resultados tão discrepantes. Porém torna-se necessário a verificação de interferências antrópicas ou até mesmo meteorológicas, para verificar a região em que as tendências foram verificadas.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho é de caráter observacional, onde foram utilizados os testes de Mann-Kendall e as estimativas de tendência através da inclinação da tendência linear através do método de Sen. Não há uma descontinuidade e nem mudanças significativas nas séries meteorológicas, visto que os valores das estatísticas não definiram resultados tão discrepantes. Foram detectada três tendências dos dados pluviométricos ao aplicar os testes, e evidencia-se a falta de dados mais concretos para afirmar com absoluta certeza o motivo pelo qual as tendências existem, podendo ser em decorrência da urbanização e desmatamento, assim como, pode ser um fator de ordem natural cíclico, sendo necessário levar em consideração outros sistemas meteorológicos climáticos como o El Niño e La Niña e a Zona de Convergência Intertropical em análises futuras com os testes não-paramétricos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 31 julho 2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (COSANPA). Disponível em <<http://www.cosanpa.pa.gov.br>>. Acesso em 20 Agosto de 2015.

DA MOTTA, V. HUGO; DE LIMA, M. M. ALINE (2012), **O comportamento hidrológico da Bacia do Rio Capim-Pará e sua influência como condicionante da paisagem**. Revista Brasileira de Geografia Física. v 01, p. 127-142.

GILBERT, R. O., 1987, **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring: Van Nostrand**. Reinhold Co., New York, 320 p.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin. 1975. 272p

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrika**, Chicago, v.13, n.3, p.245-259, maio/jun. 1945.

OLIVEIRA, G. S. **Conseqüências climáticas da substituição gradual da floresta tropical amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem**. 2008. 417 p. (INPE-15263-TDI/1346). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

PAIVA, E. M. et al. (1995), **Análise de Tendência de Precipitação da Amazônia**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 10, n. (1/2), p. 37-41.

SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE (2011). **Pará 30 Graus**. Disponível em: <<http://www.para30graus.pa.gov.br/hidrico11.htm>>. Acesso em 20 Agosto de 2015.

SEN, P. K. 1968. **Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau**, J. Am. Stat. Assoc., 63, 1379-1389.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975. 192 p. (OMM Note Technique, 143).