

Analysis of fluviometric trends in the hydrographic region of Calha Norte - PA

Lígini R. R. de Almeida^{*}, Francisco Carlos Lira Pessoa^{**}, Diego L. Crispim^{***}, David Figueiredo Ferreira Filho^{****}

^{*}Estudante de Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Pará – UFPA. E-mail: liginialmeida@yahoo.com.br

^{**}Professor Dr. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará – PPGEC/UFPA. E-mail: fclpessoa@ufpa.br

^{***}Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará – PPGEC/UFPA. E-mail: dlimacrispim@gmail.com

^{****}Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará – PPGEC/UFPA. E-mail: davydferreira@gmail.com (autor correspondente)

Received 28 April 2019; accepted 14 May 2019

Abstract

The diagnosis of the flows in a river basin is of great relevance for the knowledge of the modifications undergone in a given period, which is possible from a data collection of the historical series measured through the fluviométricas stations installed in a region. The present study had as its purpose to analyze the occurrence of flow trends in the hydrographic region of Calha Norte, in the state of Pará, using the non-parametric Mann-Kendall method and the Sen Slope indicator. The pluviometric and fluviometric data were limited in the period (1981 to 2007) due to their availability of the historical series, matching them, so that one could see the contribution of rain in the flow behavior. Information from 6 fluviometric stations and 6 corresponding rainfall stations, obtained from the National Water Resources Information System - SNIRH, from the National Water Agency - ANA (Hidroweb) were used. Thus, of the fluviometric stations analyzed in the hydrographic region of Calha Norte - PA, 5 presented tendencies to a significance of 5%, being the stations located in the municipalities of Monte Alegre, Óbidos, Almeirim and Oriximiná. Only the E.F2 station, located in the municipality of Alenquer, did not present a significant trend. On the correlation with rainfall stations, it was verified the existence of influences of the volume of precipitation in the described period, being noticed isolated peaks of flow, demonstrating abnormal behaviors, with influence of other variables, whether of natural order or not, what could be related to anthropic activities or critical climatic events occurring in the municipalities studied.

Keywords: hydrographic basin, Mann-Kendall, flow rate.

Análise de tendências fluviométricas na região hidrográfica da Calha Norte – PA

Resumo

O diagnóstico das vazões em uma bacia hidrográfica é de suma relevância para o conhecimento das modificações sofridas em um determinado período, o que é possível a partir de um levantamento de dados das séries históricas medidas por intermédio das estações fluviométricas instaladas em uma região. O presente estudo teve como propósito analisar a ocorrência de tendências de vazão na região hidrográfica da Calha Norte, no estado do Pará, por meio do método não-paramétrico de Mann-Kendall e do indicador Sen Slope. Os dados pluviométricos e fluviométricos foram limitados no período (1981 a 2007) em virtude de sua disponibilidade da série histórica, igualando-os, para que se pudesse enxergar a contribuição da chuva no comportamento das vazões. Foram utilizadas informações de 6 estações fluviométricas e 6 estações pluviométricas correspondentes, obtidas no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, da Agência Nacional de Águas – ANA (Hidroweb). Assim, das estações fluviométricas analisadas na região hidrográfica da Calha Norte – PA, 5 apresentaram tendências para uma significância de 5%, sendo elas as estações localizadas nos municípios de Monte Alegre, Óbidos, Almeirim e Oriximiná. Somente a estação E.F2, localizada no município de Alenquer, não apresentou tendência significativa. Sobre a correlação com estações pluviométricas, comprovou-se a existência de influências do volume de precipitação no período descrito, notando-se picos isolados de vazão, demonstrando comportamentos anormais, com influência de outras variáveis, seja de ordem natural ou não, o que poderia ser relacionado as atividades antrópicas ou eventos climáticos críticos, ocorridos nos municípios estudados.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, Mann-Kendall, vazão.

1. Introdução

Atualmente, a escassez de água no mundo é um problema real, inclusive em países onde existe

uma malha hidrográfica bastante densa, como o Brasil. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006), mesmo este sendo privilegiado em termos de disponibilidade hídrica, (12% das reservas

mundiais), apresenta situações contrastantes de abundância e escassez, que exige dos governos, dos usuários e da sociedade civil, cuidados especiais e planejamento da gestão de sua utilização.

Para Tucci (1993), a ação do homem no planejamento e desenvolvimento da ocupação do espaço na Terra, requer cada vez mais uma visão ampla sobre as necessidades da população, os recursos terrestres e aquáticos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais da bacia, para racionalmente compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados.

De acordo com Souza et al. (2012), nos últimos anos, o manejo e a preservação de bacias hidrográficas tornaram-se temas relevantes, visto que as consequências da falta de conservação e proteção das fontes de água podem ocasionar contaminação da água subterrânea por: organismos patogênicos, maior concentração de metais pesados, carga orgânica (demanda bioquímica de oxigênio) e nitratos nos corpos d'água, conduzindo a um quadro de degradação ambiental.

Ferreira et al. (2013), relacionam o gerenciamento deficiente dos recursos hídricos à inexistência de dados hidrológicos, o que prejudica as atividades de saneamento, irrigação, abastecimento público e geração de energia elétrica entre outras, da mesma maneira que dificulta a quantificação das vazões mínimas de referência.

Realidade essa vivida pela região Amazônica, onde encontram-se poucas informações a respeito das variáveis hidrológicas, seja por seu vasto território, o que dificulta a implantação de postos de monitoramento, ou pela falta de políticas públicas voltadas ao manejo desse recurso natural (Marengo e Nobre, 2005).

Uma das maneiras de se estimar e entender a ocorrência de transformações em determinados cenários, delimitados por uma bacia, é a verificação e diagnóstico do comportamento das vazões dessa área. Segundo Costa et al. (2012), a vazão possui um comportamento aleatório, bem como todas as outras variáveis utilizadas para a caracterização de processos hidrológicos, e necessita de séries históricas confiáveis e consistentes para uma adequada avaliação do seu comportamento.

As alterações no regime fluviométrico de uma bacia hidrográfica podem envolver eventos naturais ou influência de atividades antrópicas. (Marengo, 2010). Em regiões com características naturais preservadas, é comum que não se tenha modificações expressivas ao longo do tempo. Porém, o conjunto de ocorrências de forma intensa e desordenada, sejam de ordem natural (pluviosidade, eventos climáticos críticos) ou resultante da intervenção do homem (atividades econômicas industriais, mineração, desmatamento, pecuária e etc.), pode revelar

tendências estatisticamente significativas em variáveis ambientais (Naghetini e Pinto, 2007; Nobre et al., 2011).

O estudo de tendências em séries de vazões de uma revela o seu comportamento ao longo do tempo. As tendências são inclinações nos valores de dada variável hidrológica, usando como parâmetros os níveis de significância estatísticas, podendo revelar um acréscimo ou decréscimo em seus volumes no decorrer dos anos, ou mesmo atestar a hipótese de uma distribuição homogênea nesses dados, o que revelaria a ausência de tendências significativas (Silveira et al., 2017).

O teste de Mann-Kendall é um dos principais métodos não-paramétricos mais indicados e aplicados para variáveis que envolvam processos estocásticos, como nos casos das vazões e das precipitações (Marengo e Alves, 2005; Ferreira et al., 2013; Silveira et al., 2017).

Silveira et al. (2017) avaliaram a tendência de uma série histórica de precipitação pluviométrica da estação Abunã, localizado em Porto Velho- RO, e as influências dos eventos climáticos El Niño e La Niña nessa região. Aplicaram o teste estatístico de Mann-Kendall, e concluíram uma tendência de crescimento da precipitação, caracterizando o comportamento hidrológico típico da região amazônica e influência dos eventos La Niña.

Ferreira et al. (2013) realizaram análises estatísticas para identificar possíveis ocorrências de tendências em séries anuais de temperatura média do ar, precipitação pluviométrica e vazão de rios, em 5 localidades pertencentes a bacia hidrográfica do rio Tietê – SP. Utilizaram o teste não-paramétrico de Mann-Kendall, assim como outros. Comprovaram a existência de tendências significativas, levando a verificação de possíveis correlações devido aos impactos causados pelas construções de barragens, desmatamentos e o aumento populacional.

Marengo e Alves (2005) realizaram estudos das sistemáticas tendências negativas detectadas nas séries históricas de vazões e cotas do rio Paraíba do Sul desde 1920. Com uma análise estatística em séries pluviométricas e fluviométricas, revelou-se tendências negativas nas vazões, entretanto, nas séries de precipitação foram identificados em alguns pontos que a tendência fora ligeiramente positiva. Assim, através de uma análise de auto regressão destas séries hidrológicas, observou-se alta correlação entre as vazões em vários anos consecutivos, sugerindo que a regularização de uso da água para abastecimento, geração de energia, e desvio de rios para usos na agricultura podem ser os responsáveis pelas quedas sistemáticas nas vazões, e não uma mudança climática do regime de chuva na bacia.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a ocorrência de tendências

fluviométricas na região da Calha Norte, no estado do Pará, através do método estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall e do estimador de declive Sen Slope, relacionando as alterações das vazões dessa bacia a dados de estações pluviométricas da mesma região, visando entender o comportamento hidrológico da região e auxiliar na tomada de decisões acerca do planejamento hídrico.

2. Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

A região hidrográfica da Calha Norte (Figura 1), localizada no estado do Pará foi a área de realização do presente estudo. Analisou-se dados de seis estações fluviométricas representativas e por

intermédio de suas séries históricas é possível diagnosticar a existência ou não de tendências de vazões nesta região.

A região da Calha Norte faz parte da mesorregião do baixo amazonas e encontra-se ao norte do rio Amazonas, possuindo 28 milhões de hectares, distribuídos entre nove municípios: Alenquer, Almeirim, Curuá, Faro, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Prainha e Terra Santa, com uma população de 320.558 habitantes (IBGE, 2010). Esta área corresponde a 22,1% do estado, sendo constituída pelas bacias dos rios Nhamundá, Trombetas, Cuminapanema, Maecurú, Parú e Jarí. Também apresenta uma subdivisão hidrográfica, existindo três sub-regiões com a mesma denominação das suas respectivas bacias. (SEMA, 2013).

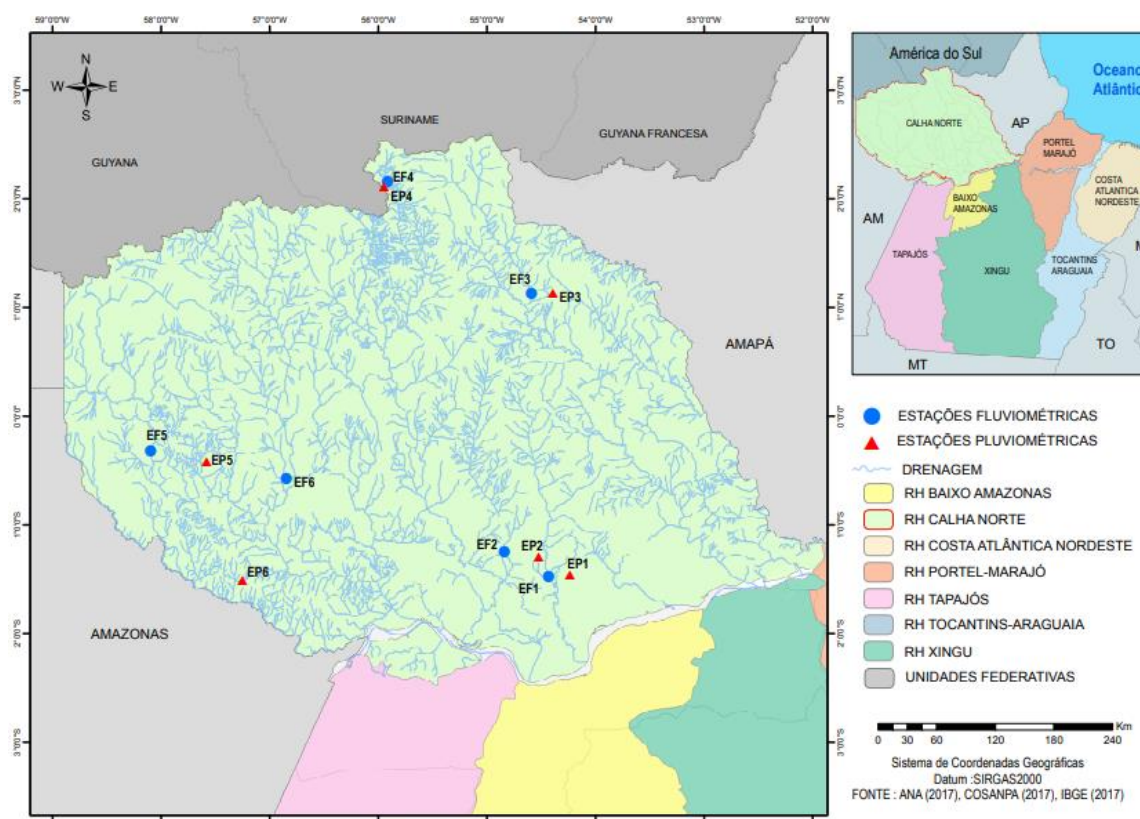


Figura 1 - Estado do Pará e sua divisão hidrográfica com destaque para a região hidrográfica da Calha Norte e as estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no presente estudo e seus respectivos códigos. Fonte: Autor (2019).

A divisão das regiões hidrográficas no estado do Pará se deu através da Política de Recursos Hídricos – Lei nº6.381/2001. Dentre as regiões hidrográficas do Pará, a Calha Norte é a que apresenta maior estado de preservação e baixa densidade demográfica, com uma vegetação densa, ocupando quase toda sua área.

Apresenta na maioria de sua extensão, floresta de terra firme, com áreas pontuais de antropismo, porém a maior concentração desses pontos está às margens dos rios, o que supõem possíveis

interferências significativas ao longo do tempo. Bem como floresta de transição, savana e vegetação pioneira. A área exibe unidades de conservação como: 3 reservas biológicas, 3 florestas estaduais, 2 florestas nacionais e 1 estação ecológica. Também, destacam-se as áreas especiais (terras indígenas e quilombos).

De acordo com a classificação climática pelo método de Köppen, a maior parte da região apresenta clima de monções, moderadamente chuvoso, pouco chuvoso e moderadamente seco, com tudo, têm-se

manchas com clima de savana e tropical equatorial. A temperatura varia de 25 a 27 °C anualmente. A umidade relativa do ar encontra-se de 75 a 85%.

A maioria dos municípios apresentam populações que ficam a faixa de 30 a 50 mil habitantes e baixa densidade populacional, com menos de 5 hab/km², com destaque para Santarém, com cerca de 294.580 habitantes e 10 hab/km². A maioria da população está situada das áreas urbanas, com destaque para Oriximiná, Santarém e Juruti.

Em relação à cobertura e uso da terra, a região da Calha Norte é majoritariamente coberta por área de floresta, porém, indica porções consideráveis de uso da terra para a pecuária, extrativismo vegetal em floresta, agricultura e também áreas pontuais de mineração e indústria.

Dados utilizados no estudo

Das 33 estações fluviométricas identificadas na região hidrográfica da Calha Norte, foram utilizadas apenas seis (Figura 1), que apresentaram séries históricas com maior número de informações,

as outras, apresentaram séries muito curtas ou inexistentes, o que aumentaria o nível de incerteza nos resultados.

Foram utilizadas também, dados de seis estações pluviométricas (Figura 1) correspondentes às já citadas, para posterior comparação dos resultados e verificação de influência da precipitação no regime das vazões obtidos.

Todos os dados foram extraídos da plataforma HydroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019). Essas informações fazem parte do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), instrumento de gestão previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (PNRH).

Nas Tabelas 1 e 2, respectivamente, são descritas as estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no estudo, contendo o nome, o código, o município e o rio em que estão instaladas, a área de drenagem e suas latitude e longitude. As estações fluviométricas foram identificadas como “E.F” e as pluviométricas de “E.P”.

Tabela 1 - Estações fluviométricas da região hidrográfica da Calha Norte – PA utilizadas na análise de tendências significativas.

ID	Nome	Código	Município	Rio	Área (km ²)	Latitude	Longitude
E.F1	Arapari	18200000	Monte Alegre	Maicuru	12400	-1.4644	-54.235
E.F2	Boca do Inferno	17090000	Alenquer	Curuá	19800	-1.3011	-54.5222
E.F3	Apalai	18280000	Almerim	Paru de Este	7230	1.1315	-54.3925
E.F4	Tirios	16700000	Óbidos	Cumuna-Uiri	819	2.1323	-55.5723
E.F5	Aldeia Wai-Wai	16480000	Oriximiná	Mapuera	21600	-0.4141	-57.5829
E.F6	Garganta	16430000	Oriximiná	Trombetas	39000	-0.5952	-57.0235

Tabela 2 - Estações pluviométricas da região hidrográfica Calha Norte – PA utilizadas na investigação das possíveis alterações no regime fluviométrico na região.

ID	Nome	Código	Município	Rio	Latitude	Longitude
E.P1	Arapari	154000	Monte Alegre	Maicuru	-1.4625	-54.2350
E.P2	Boca do Inferno	154001	Alenquer	Curuá	-1.3000	-54.5217
E.P3	Apalai	815400	Almerim	Paru de Este	1.1313	-54.3922
E.P4	Kuxare	8156001	Óbidos	Cumuna-Uiri	2.1331	-55.5657
E.P5	Aldeia Wai-Wai	57000	Oriximiná	Mapuera	-0.4143	-57.5827
E.P6	Cach. da Porteira - Conj. 1	157000	Oriximiná	Trombetas	-151500	-57.2490

Os dados pluviométricos e fluviométricos foram limitados no período (1981 a 2007) em virtude de sua disponibilidade da série histórica, igualando-os, para que se pudesse enxergar a contribuição da chuva

no comportamento das vazões. Foram detectadas falhas em algumas estações, porém a carência de informações hidrológicas na região impossibilitou a aplicação dos métodos de preenchimento de falhas.

Métodos não-paramétricos de Mann-Kendall e estimador Sen's Slope (Sen)

Para a avaliação das tendências de séries históricas foi utilizado o método estatístico não-paramétrico tradicional Mann – Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Este método permite detectar a existência de tendências em séries de dados ambientais, climáticos e hidrológicos. É um dos testes mais utilizados no campo da hidrologia, por não necessitar o conhecimento prévio sobre a distribuição dos dados, isto é, a normalidade da série, o que viabiliza seu uso na respectiva região.

O método considera que 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). É um teste de hipóteses, em que os resultados obtidos iram rejeitar ou não a hipótese nula, que atesta dados provenientes de populações independentes que são distribuídos de forma idênticos. A aceitação da hipótese alternativa confirma que os dados seguem uma tendência monotônica.

Com base na análise da estatística Z é tomada a decisão de aceitar ou rejeitar H_0 , quer dizer, pode-se confirmar a hipótese alternativa (de existência de tendência nos dados). O sinal da estatística Z indica se a tendência é crescente ($Z > 0$) ou decrescente ($Z < 0$), utilizando-se o nível de significância de $\alpha = 5\%$ para o teste.

Se a probabilidade de p do teste de Mann-Kendall for menor que o nível α ($p < \alpha$), uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante. Para amostras onde não há tendências, o valor de Z é próximo de zero (Mann, 1945; Kendall, 1975; Delgado et al., 2012; Ferrari et al., 2012).

O teste foi aplicado por meio do *software* XLSTAT, em que após a inserção dos dados de vazão das respectivas estações fluviométricas, o mesmo calculou a análise de Mann-Kendall, gerando o valor da estatística “S”, a variância da série (Var(S)), o p-valor, com a significância de $= 5\%$, assim como, a inclinação da tendência (Sen Slope) e seu intervalo de confiança.

A equação 1 define a estatística “S” calculada por meio do teste de Mann-Kendall.

$$S = \sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \quad (1)$$

Em que, R_j e R_i representam a ordem relativa de cada elemento da série temporal. As diferenças de $(R_j - R_i)$ recebem valor (0) se $(R_j - R_i) = 0$, valor -1 se $(R_j - R_i) < 0$ e $1 (R_j - R_i) > 0$.

Sob a hipótese nula H_0 de ausência de tendência, “S”, apresenta uma distribuição aproximadamente normal com média zero e variância (dispersão estatística, indicam o quão longe em geral os seus valores se encontram do valor esperado) dada pela equação 2.

$$Var(S) = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2n + 5)}{18} \quad (2)$$

A estatística do teste Z é dada pelas equações 3:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

A aceitação da hipótese nula ou da existência da hipótese alternativa (tendência significativa) é dada por intermédio do valor da estatística Z . Se o valor de Z for maior que 1,96, rejeita-se a hipótese nula, e o resultado da estatística Z é positivo, admitindo-se uma tendência significativa de acréscimo. Porém, quando o valor de Z é menor que 1,96, a tendência é não significativa de acréscimo. Quando o valor de Z for negativo e menor que -1,96, apontará uma tendência significativa de decréscimo, em contrapartida, se o valor for maior que -1,96, então será indicada uma tendência não significativa de decréscimo. Quando Z for igual a 0, não existe tendência na série.

As estatísticas Z são utilizadas para testar a presença de uma tendência estatisticamente significativa em comparação com a probabilidade tolerável. Neste estudo o nível de significância padrão é definido como 0,05. Se uma tendência linear está presente em uma série temporal, então a inclinação verdadeira (variação por unidade de tempo) pode ser estimada utilizando-se um teste não-paramétrico desenvolvido por Sen (1968). A estimativa da inclinação de N pares de dados é computada pela equação 4:

$$Q_i = X_j - X_k - k \quad \text{para } i=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

Em que X_j e X_k são valores dos dados no tempo j e k ($j > k$) respectivamente, sendo que a mediana dos N valores de Q_i é o estimador da inclinação de Sen. Quando N é ímpar, o estimador de Sen é calculado pela equação 5; se for par, será calculado pela equação 6:

$$Q_{med.} = Q[N + 1/2] \quad (5)$$

$$Q_{med.} = 12(Q[N/2] + QN + 2/2) \quad (6)$$

O teste de $Q_{med.}$ é realizado por intermédio de um teste bilateral a nível de $100(1-\alpha)\%$ de intervalo de confiança dado pela equação (7):

$$IC\alpha = Z1 - \alpha/2 \sqrt{Var_{[rs]}} \quad (7)$$

Sendo $Var_{[rs]}$ definida na equação (12), com $Z1-\alpha/2$ sendo determinado por meio da tabela da distribuição normal padrão, bem como calculados os limites inferior e superior do intervalo de confiança.

3. Resultados e discussão

A vazão de uma bacia hidrográfica apresenta grande variabilidade ao longo do tempo, e para que seja possível analisar essas mudanças de forma mais clara é necessário dispor de valores estatísticos que evidencie seu comportamento (Costa et al., 2012). A Tabela 3 exibe informações das vazões máximas, mínimas e médias das estações fluviométricas utilizadas, calculadas por meio de planilhas eletrônicas.

Tabela 3 - Estatística descritiva das estações fluviométricas analisadas.

ID	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)	$Q_{m\acute{i}n}$ (m ³ /s)	$Q_{m\acute{e}d}$ (m ³ /s)	DP
E,F1	1242,6	0,44	120,87	64,979
E,F2	1510,67	0,43	143,97	87,52
E,F3	814,29	0,07	127,13	58,473
E,F4	3263,09	59,89	877,1	320,544
E,F5	2403,5	3,07	518,23	218,813
E,F6	5930,8	39,3	1330,35	510,958

Tabela 4 - Resultados obtidos na aplicação do teste de Mann-Kendall e estimador Sen para as estações fluviométricas.

ID	amostras	Z	p-Valor	Sen (m ³ /s.ano)	Resposta
E.F1	12794	-3,59	<0,005	0,00019	S-
E.F2	12503	- 1,08	>0,005	-0,00012	NS
E.F3	8801	13,78	<0,005	0,015	S+
E.F4	8951	23,08	<0,005	0,00078	S+
E.F5	5458	8,31	<0,005	0,02	S+
E.F6	6426	5,83	<0,005	0,021	S+

S-: Significativa negativa; S+: significativa positiva; NS: Não significativa. Nível de significância de 95%.

Os resultados alcançados por meio do teste de Mann-Kendall indicaram uma diminuição nos valores

De acordo com Nascimento Júnior et al. (2013) a análise e a descrição dos fenômenos meteorológico-climáticos é efetuada por meio de dados numéricos, que prescindem da utilização de técnicas estatísticas (distribuição de frequência, medidas de tendência central, de dispersão, de variabilidade, dentre outras), e por meio de correlação entre as variáveis (Naghettini e Pinto, 2007).

Em relação a estatística descritiva dos dados das estações fluviométricas, encontram-se variações expressivas nos valores máximos e mínimos, a exemplo de 0,07 m³/s (Vazão mínima) e 5.938,8 m³/s (vazão máxima), nas estações E.F3 e E.F5, respectivamente, o que expressa uma sazonalidade marcante da região

Os resultados obtidos pelo teste de Mann-Kendall, atestando a existência de tendências nas vazões ou a aceitação da hipótese nula, estão descritos na Tabela 4. Foram descritos os valores contendo o número de observações, o p-valor, a inclinação do Sen, a estatística Z, assim como a resposta sobre a existência ou não de tendência significativas, sendo positivas ou negativas.

de vazão das estações E.F1 e E.F2 ($Z = - 3,59$ e $- 1,08$, respectivamente). Por outro lado, as estações

E.F3, E.F4, E.F5 e E.F6 apresentaram tendências positivas em suas vazões ($Z= 13,78, 23,08, 8,31$ e $5,83$, respectivamente).

Somente a estação E.F2 não apresentou significância estatística das tendências de vazões, uma vez que o p -valor igual a $0,279$ é maior que $0,05$. Todas as outras estações apresentaram tendências significativas ao nível estabelecido pelo método (95%), com valores de p -valor $> 0,05$.

Para uma possível correlação das tendências atestadas por meio dos resultados apresentados na Tabela 4, fez-se uso da comparação de valores diários de precipitações, por meio de séries históricas contidas em estações pluviométricas na região da Calha Norte. Foram utilizadas as estações pluviométricas mais próximas das estações fluviométricas. As estações E.P4 e E.P6 foram as que mais se distanciaram deste objetivo, porém, fez-se uso delas por serem as que apresentavam maior amostragem.

Nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados os gráficos que relacionam as variáveis hidrológicas vazão diária (m^3/s) e precipitação diária (mm). Foi traçada uma linha de tendência do tipo linear em cada uma das séries de vazões diárias.

Observa-se na Figura 3, um período de 34 anos para os dados de chuva (Cód. 154000) e vazão (Cód. 18200000). É possível notar a existente influência dos volumes de precipitação no comportamento das vazões do rio Maicuru, uma vez que as duas estações se encontram instaladas na mesma seção do rio, no município de Monte Alegre. Porém, os dados de vazão apresentaram picos independentes quando comparados com os da chuva na região, podendo os mesmos, estarem relacionados a outras atividades realizadas no município (Costa et al., 2012). Apesar dos picos perceptíveis, de acordo com o método aplicado na verificação das tendências, esta estação apresenta um decréscimo de $0,00019 m^3/s.ano$ em sua vazão.

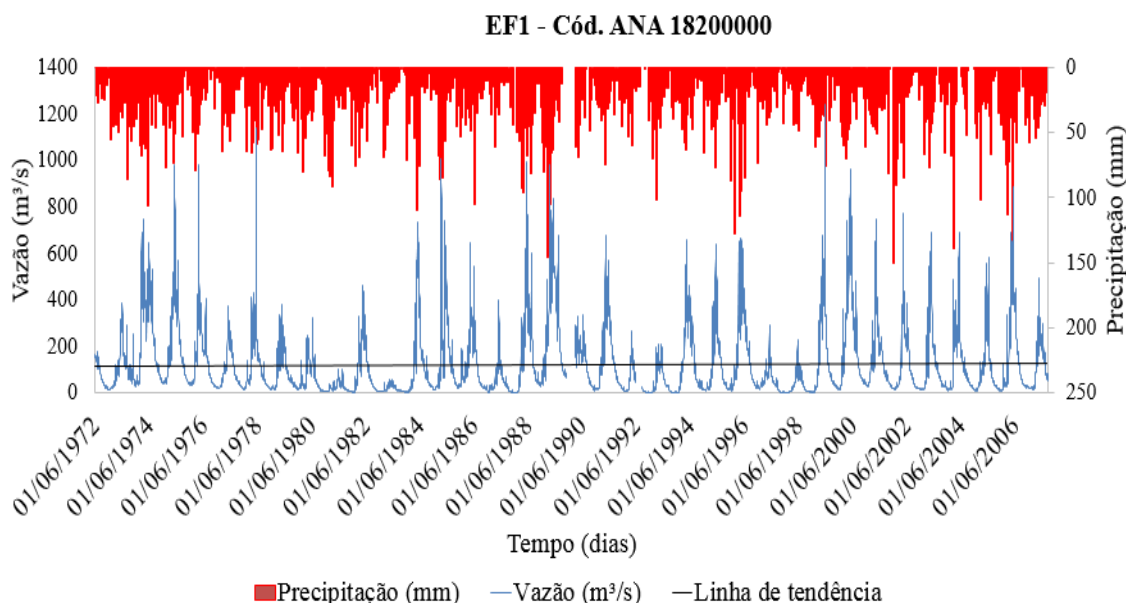


Figura 3 - Distribuição temporal dos volumes de vazão e precipitação das estações E.F1 e E.P1, respectivamente e a linha de tendência obtida nos dados fluviométricos.

Na Figura 4, que traz as estações de E.F2 (Cód. 17090000) e E.P2 (Cód. 154001), de chuva e vazão, respectivamente, no intervalo de tempo de 34 anos, podemos ver que houveram eventos críticos de chuva, onde a vazão se manteve baixa, podendo citar aproximadamente os anos de 1991 a 1995. Contudo, é perceptível a relação entre as duas variáveis no restante dos anos, já que estas se encontram em estações na mesma localidade (município de Alenquer, no rio Curuá). As distribuições nos valores de vazão foram constantes, mostrando sazonalidade e atestado a inexistência de tendência, confirmação da

hipótese nula, pelo teste de MK.

A Figura 5 apresenta o comportamento das variáveis das estações E.F3 (16480000) e E.P3 (815400), no período de 20 anos, porém com falhas nas duas estações que coincidem, entre os anos de 1990 a 1994. Observa-se claramente que as séries se equivalem, apresentando comportamento similar ao longo dos anos. Na análise de tendência, atestou-se a significativa tendência de acréscimo na estação fluviométrica de $0,015 m^3/s.ano$. As estações encontram-se no município de Almeirim – PA.

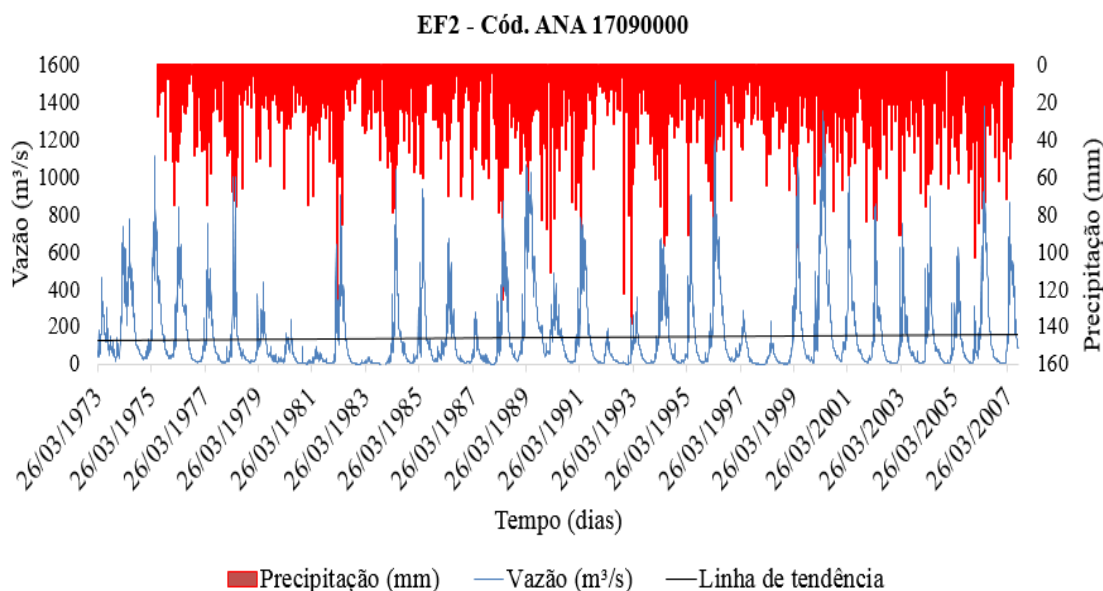


Figura 4 - Distribuição temporal dos volumes de vazão e precipitação das estações E.F2 e E.P2, respectivamente, e a linha de tendência obtida nos dados fluviométricos.

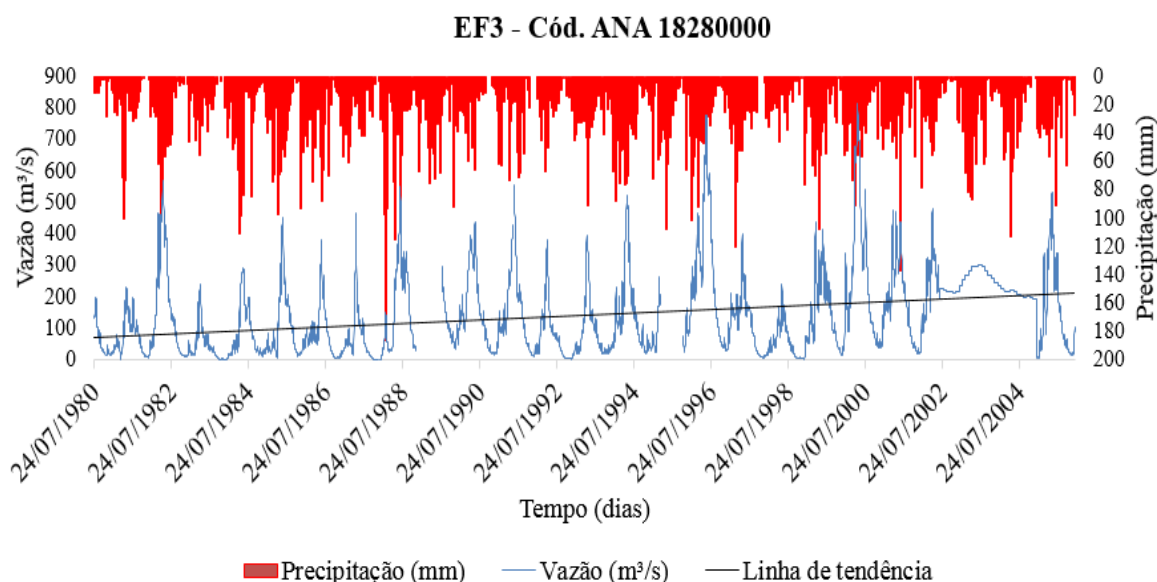


Figura 5 - Distribuição temporal dos volumes de vazão e precipitação das estações E.F3 e E.P3, respectivamente, e a linha de tendência obtida nos dados fluviométricos.

Nota-se que o hidrograma da Figura 6 apresenta carência de dados de chuva na estação E.P4 (Cód. 8156001), não sendo possível analisar os primeiros anos correspondentes aos dados de vazão da estação E.F4 (Cód. 16700000), que apresenta dados no período de 1979 a 2006, com falhas nos anos de 1988 e 1992. No período que as variáveis se correspondem atesta-se a influência direta dos volumes de precipitação nos de vazão, contudo, atenta-se para um volume de chuva bem mais acentuado, remetendo a períodos de chuvas intensas nos anos de 2000 a 2005.

A estação fluviométrica apresentou tendência

significativamente positiva, com o acréscimo de $0,00078 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ano}$, sendo o menor valor entre as estações estudadas.

Analisando a Figura 7, verifica-se a similaridade nos picos de chuva e vazão, assim como na ausência de dados no mesmo período para as duas estações E.F5 (Cód. 16480000) e E.P5 (Cód. 57000), entre os anos de 1990 a 1994. Observa-se claramente que as séries se equivalem, apresentando comportamento similar ao longo dos anos.

Observou-se uma significativa tendência de acréscimo na estação fluviométrica de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ano}$, (maior valor das S+).

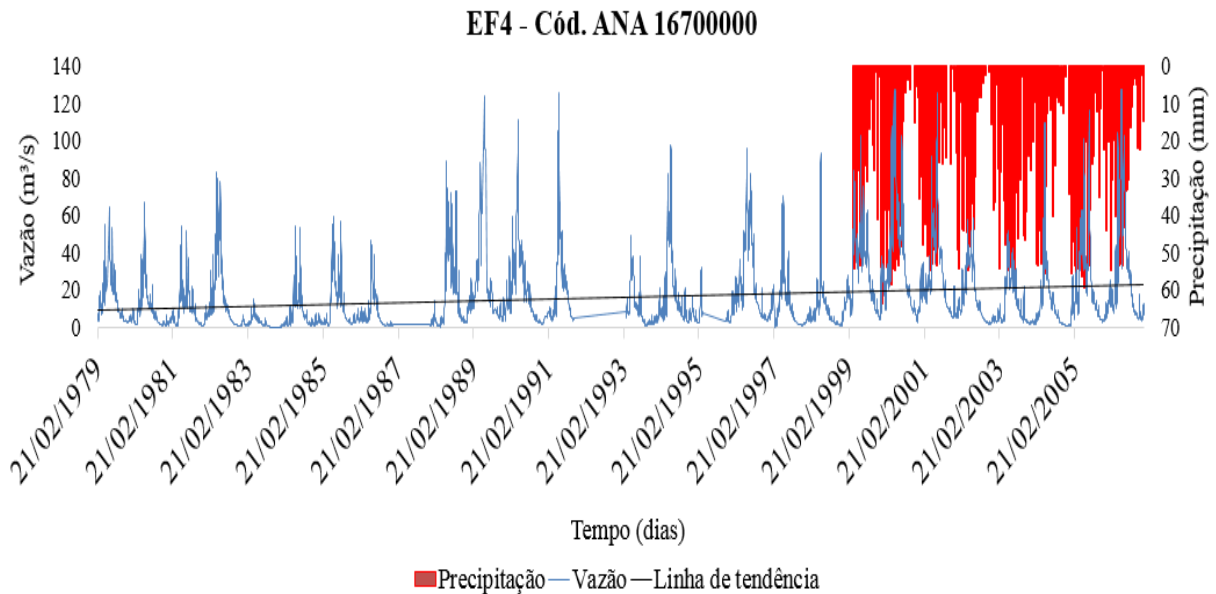


Figura 6 - Distribuição temporal dos volumes de vazão e precipitação das estações E.F4 e E.P4, respectivamente, e a linha de tendência obtida nos dados fluviométricos.

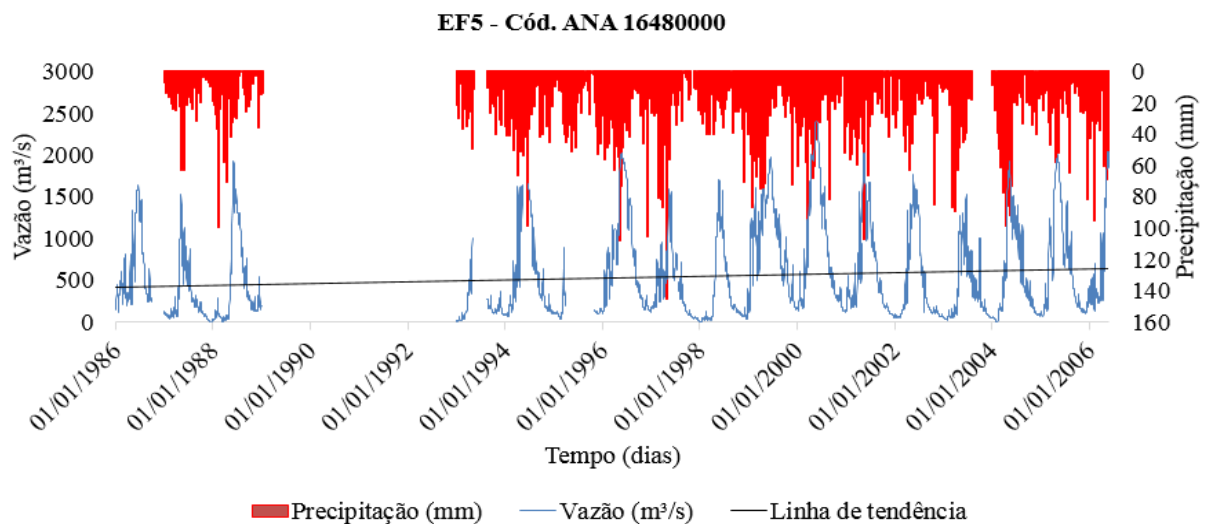


Figura 7 - Distribuição temporal dos volumes de vazão e precipitação das estações E.F5 e E.P5, respectivamente, e a linha de tendência obtida nos dados fluviométricos.

O último par de estações analisado - E.F6 (Cód. 16430000) e E.P6 (157000) - apresentado na Figura 8, está instalado no município de Oriximiná, assim como as estações E.F5 e E.P5, retratando falhas no mesmo período dessas estações, entre os anos de 1990 a 1994, o que sugere uma ausência no monitoramento de estações hidrológicas no município nesses anos.

A série histórica fluviométrica revelou tendência significativamente positiva de 0,021 m³/s.ano, como pode ser observado na linha de tendência traçada nos dados dispostos no hidrograma abaixo.

As estações analisadas tiveram como objetivo apresentar resultados acerca do comportamento das vazões e possíveis tendências ocorrentes, que representassem a região hidrográfica da Calha Norte – PA, porém dos 9 municípios constituintes dessa dada região, apenas 5 apresentaram estações com series históricas consistentes, foram eles: Monte alegre, Óbidos, Almeirim e Oriximiná, com uma representatividade de 55,55% da amostra total, podendo esta relacionadas a uma vegetação densa e a presença de bastantes áreas de conservação (Costa et al., 2012).

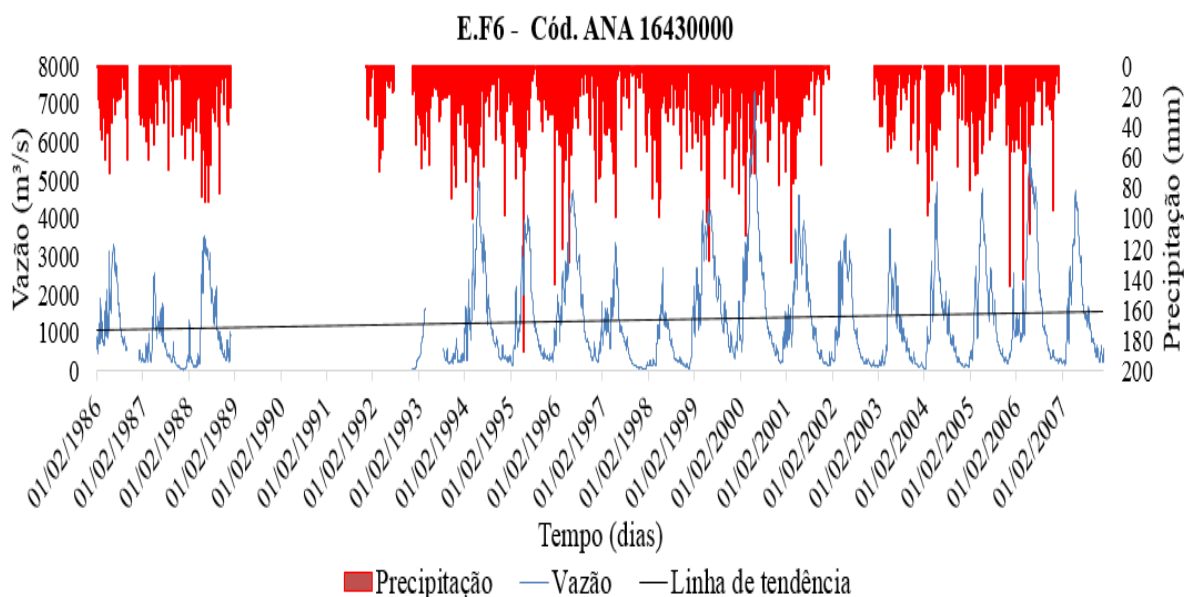


Figura 8 - Distribuição temporal dos volumes de vazão e precipitação das estações E.F6 e E.P6, respectivamente, e a linha de tendência obtida nos dados fluviométricos.

Estudos feitos por Santos, Lucio e Silva (2015) sugerem que as tendências negativas em algumas regiões da Amazônia podem estar relacionadas ao “arco do desmatamento”, passando pelo leste do Pará. Esta área tem influenciado significativamente o ciclo hidrológico destas regiões.

Com relação a área de drenagem dos rios, mostrada na Tabela 1, pode-se verificar que em sua maioria são rios extensos, com valores acima de 1.000 km², salvo a estação E.F4, localizada no município de Alenquer, pela qual apresenta menor média no volume da vazão no período analisado, fato esse que pode estar intimamente ligado à sua área.

4. Conclusões

Feito a redução de 36 anos de dados para 26, foi possível relacionar a contribuição dos regimes pluviométricos para o entendimento do comportamento das vazões e suas tendências.

Assim, das seis estações fluviométricas analisadas na região hidrográfica da Calha Norte – PA, sendo elas as estações localizadas nos municípios de Monte Alegre, Óbidos, Almeirim e Oriximiná. Somente a estação localizada no município de Alenquer, não apresentou tendência significativa.

Das cinco estações que rejeitaram a hipótese nula H_0 , a estação E.F1 foi a única com tendência de significância negativa, com diminuição de 0,00019 m³/s.ano).

Sobre a correlação com estações pluviométricas, localizadas na mesma região das estações analisadas, comprovou-se a existência de influências do volume de precipitação no período descrito. Porém, nos histogramas revelados pelas Figuras

3,4,5,6 e 8, nota-se picos isolados de vazão, demonstrando comportamentos anormais, com influência de outras variáveis, seja de ordem natural ou não. O que poderia ser relacionado as atividades antrópicas ou eventos climáticos críticos, ocorridos nos municípios estudados.

A vazão, como sendo uma variável hidrológica, é também estocástica, o que dificulta a afirmação acerca do que a influencia, de maneira a aumentar ou diminuir seu fluxo em determinadas bacias hidrográficas.

As sub-bacias da região hidrográfica da Calha Norte – PA, apesar de apresentar um maior grau de conservação e preservação, quando comparada com as demais bacias do estado do Pará, vem sofrendo alterações no comportamento da vazão ao longo dos anos, modificações essas reveladas pelos resultados do teste não-paramétrico de Mann-Kendall.

Portanto, cabe aos pesquisadores, órgãos ambientais e ao governo, um maior cuidado e interesse voltados a estudos, pesquisas, formação de uma base de dados hidrológicos mais representativa, assim como uma gestão integrada, da sociedade civil, governo e a iniciativa privada (grandes empresas que fazem uso dos corpos hídricos dessa região).

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas, 2019. Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb.
- Costa M., Pires G., 2010. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the Duration of the dry season in the arc of deforestation. *International Journal of Climatology* 30, 1970-1979.

- Costa, A.S., Cariello, B.L., Blanco, C.J.C., Pessoa, F.C.L., 2012. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 413-422.
- Delgado, R.C., Rodrigues, R.deÁ., Faria, A.L.L., Pessôa, C.S., 2012. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 25, 69-80.
- Ferrari, A.L., Vecchia, F.A.S., Colabone, R.O., 2012. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. *Revista Brasileira de Climatologia* 10, 30-46.
- Ferreira, B.A.A., Almeida, J.O.R., Leão, P.R.C., Silva, N.P.G., 2013. Gestão de riscos em projetos: uma análise comparativa da Norma ISO 31000 e o Guia PMBOK®, 2012. *Revista Gestão e Projetos* 4, 46-72.
- Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London.
- Mann, H.B., 1945. Non parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259.
- Marengo, J.A., 2010. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil, in: FBDS (Org.), *Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil*, pp. 5-19.
- Marengo, J., Alves, L.M., 2005. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia* 20, 215-226.
- Marengo, J., Nobre, C., 2005. Lições do Catarina e do Katrina: as mudanças do clima e os fenômenos extremos. *Ciência Hoje* 37, 22-27.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2006. Programa Nacional de Capacitação de gestores ambientais: licenciamento ambiental/Ministério do Meio Ambiente. MMA, Brasília.
- Naghetini, M., Pinto, E.J.A., 2007. Correlação e regressão. *Hidrologia e Estatística. Serviço Geológico do Brasil – CPRM.*, Belo Horizonte.
- Nobre, C., Young, A.F., Saldiva, P.H.N., Marengo, J.A., Nobre, A.D., Ogura, A.T., Thomaz, O., Obregon, G., Moreira da Silva, G.C., Valverde, M., Silveira, A.C., Rodrigues, G.O., 2011. Vulnerability of Brazilian Megacities to Climate Change: the São Paulo Metropolitan Region (RMSP). *Climate Change in Brazil: economic, social and regulatory aspects*. IPEA, Brasilia, pp. 197-219.
- Santos, E.B., Lucio, P.S., Silva, C.M.S., 2015. Análise de tendência de precipitação diária na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1041-1052.
- SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente, 2013. Resolução SEMA nº 040, de 26 de Agosto.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American statistical association* 63, 1379-1389.
- Silveira, E.M.O., Acerbi-Junior, F.W., Mello, J.M., Bueno, I.T., 2017. Object-based change detection using semivariogram indices derived from NDVI images: The environmental disaster in Mariana, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia* 41, 554-564.
- Souza C., Wofsy S., 2012. The Amazon Basin in Transition. *Nature* 481, 321-328.
- Souza, A.C.M., Silva, M.R.F.da, Dias, N.daS., 2012. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró-RN. *Revista Irriga Ed. Especial*, 280-296.
- Tucci, C.E.M., 1993. *Hidrologia: ciência e aplicação*. EDUSP, Editora da UFRGS, Porto Alegre.