



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

ANÁLISE DA NÃO-ESTACIONARIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO - PERNAMBUCO

*João H. P. de B. Salgueiro¹; Suzana Maria Gico Lima Montenegro²; Eber José de Andrade Pinto³;
Bernardo Barbosa da Silva⁴; Werônica Meira de Souza⁵ & Leidjane Maria Maciel de Oliveira⁶*

Resumo – Alterações nos extremos pluviométricos dos regimes pluviais estão sendo observadas em várias localidades. As chuvas intensas e os períodos de longas estiagens se alternam para caracterizar um novo cenário nas bacias hidrográficas. Estudos específicos vêm atribuindo tais ocorrências às possíveis modificações nos climas. Este artigo analisou a não-estacionaridade estatística da série de precipitação no município de Vitória de Santo Antão - Pernambuco, através da aplicação de testes estatísticos de tendência e construção de gráficos de frequências relativas acumuladas, com a finalidade de conhecer a magnitude e a frequência com que os episódios extremos vêm ocorrendo. Os resultados indicaram fortes evidências de aumento da tendência e da frequência desses eventos extremos na área estudada.

Palavras-Chave – Mudança climática, extremo pluviométrico, tendência pluviométrica.

ANALYSIS OF PRECIPITATION NON-STATIONARY IN THE VITORIA DE SANTO ANTÃO CITY - PE

Abstract – Changes in the extremes events of rainfall patterns are being observed in various places. Heavy rains and periods of long droughts alternate to feature a new scenario in watersheds. Specific studies have attributed such occurrences to possible climate changes. This paper analyzed the non-stationarity statistics of rainfall series in Vitória de Santo Antão, Pernambuco, by applying Trend statistical and analysis of cumulative relative frequencies, in order to investigate the magnitude and the frequency with which extreme rainfall events has occurred. The results showed strong evidence of increases in the trend, and of the frequency of these extreme events in the study area.

Keywords – Climate change, extreme precipitation, rainfall trend.

1-Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil-CPRM e Doutorando da UFPE, Av. Sul, 2291, Afogados, Recife-PE, CEP 50770-011, Fone: 81-33161400, e-mail: joão.salgueiro@cprm.gov.br;

2-Professora do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-540, Fone: 81-21268709, e-mail: suzanam@ufpe.br;

3-Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil-CPRM e Professor da UFMG, Av. Brasil 1731, Funcionários, Belo Horizonte-MG, CEP 30140-002, Fone: 31-38780307, e-mail: eber.andrade@cprm.gov.br;

4-Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-540, Fone: 81-21267764, e-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com;

5-Professora Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Unidade de Garanhuns, Av. Bom Pastor s/n, Boa Vista, Garanhuns-PE, CEP 55296-901, Fone: 87-3764-5551 e-mail: weronicameira@gmail.com;

6-Professora da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Centro Acadêmico do Agreste (CAA) – Núcleo de Tecnologia (NT), Rodovia BR 104, km 59, Nova Caruaru, Caruaru-PE, CEP 55002-970, Fone: 81- 2126-7771 e-mail: leidjaneoliveira@hotmail.com.



1. INTRODUÇÃO

Atualmente grande parte das pesquisas hidrometeorológicas tem sido direcionada à variabilidade e mudança climáticas. Não obstante, pela sua forte relação com o aumento da frequência e magnitude dos desastres naturais, como as chuvas intensas e as longas estiagens. Farias & Nóbrega (2010) afirmaram que os eventos extremos, como secas severas ou grandes enchentes, podem causar grandes transtornos à população, seja com inundações nos grandes centros urbanos, como também com estiagens prolongadas na zona rural.

Tais considerações têm sido divulgadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC em seus Relatórios de Atividades. Sobre as alterações hidrológicas, O IPCC-2013 previu que as alterações no ciclo hidrológico em resposta ao aquecimento no Século XXI não serão uniformes. O contraste na precipitação entre regiões úmidas e secas aumentará e, eventos de precipitação extrema máxima sobre a maior parte das regiões tropicais úmidas, provavelmente se tornarão mais intensos e mais frequentes.

Naghattini e Pinto (2007) justificaram que quando certas propriedades estatísticas de uma série hidrológica não se alteram ao longo do tempo, a série é dita estacionária. Alexandre *et al* (2010) reiteraram que os sistemas de recursos hídricos geralmente são projetados a partir da suposição de que a sequência de dados hidrológicos, vazão ou precipitação, seja estatisticamente estacionária, ou que as características estatísticas essenciais dos processos hidrológicos, tais como suas medidas de posição e variabilidade, permanecem constantes ao longo do tempo. Entretanto, tal suposição pode não ser verificada quando são considerados aspectos como antrópicos e/ou naturais.

Em Pernambuco, Farias & Nóbrega (2010) apontaram tendência de aumento da precipitação em quase todo o estado. Entretanto, Santos *et al.* (2014) encontraram redução da precipitação na bacia do Una. A mesma redução foi observada também nas bacias do Brígida e Pajeú, no Sertão, e na bacia do Capibaribe, no Agreste, segundo Assis *et al.* (2012) e Assis & Sobral (2012), respectivamente. Em Recife, Souza & Azevedo (2012) detectaram aumento das chuvas intensas. Em Vitória de Santo Antão, Santos *et al.* (2012) detectaram crescimento da precipitação, inclusive de eventos extremamente chuvosos.

Considerando as alterações constatadas no ciclo hidrológico, este trabalho tem por finalidade avaliar a não-estacionaridade estatística da precipitação no município de Vitória de Santo Antão – Pernambuco - Brasil, especificamente da tendência e da frequência de eventos extremos. Espera-se que os resultados possam colaborar com o planejamento e gerenciamento dos recursos hídrico nesse município, tanto no excesso como na escassez desse recurso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O município de Vitória de Santo Antão, com área de 335,942 km² e população 134.871 habitantes, está localizado na Microrregião de mesmo nome, pertencente à Mesorregião da Mata Pernambucana. Como limite municipal, têm-se ao norte (Glória do Goitá e Chã de Alegria), ao sul (Primavera e Escada), ao oeste (Pombos) e ao leste (Cabo de Santo Agostinho, Moreno e São Lourenço da Mata). A Figura 1 apresenta a localização do município de Vitória de Santo Antão - Pernambuco (CONDEPE/FIDEM, 2015).



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

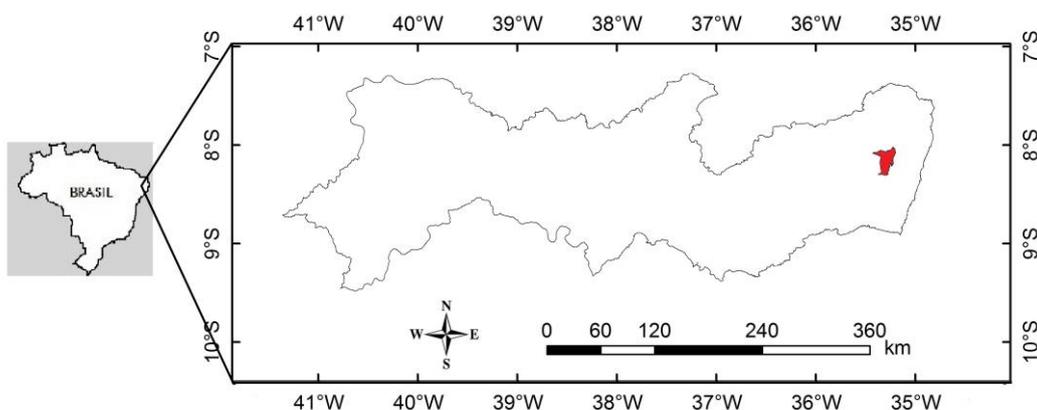


Figura 1 - Localização do Município de Vitória de Santo Antão – Pernambuco - Brasil

Do ponto de vista climatológico, compartilha as áreas submetidas aos climas úmido, úmido-subúmido e seco-subúmido, cujas temperaturas médias variam entre 25 a 26°C. Essa divisão climática permite a existência de floresta (Mata Atlântica) e Caatinga (SECTMA, 2006). A Figura 2 apresenta o hietograma das precipitações média, máxima e mínima ao longo do ano civil.

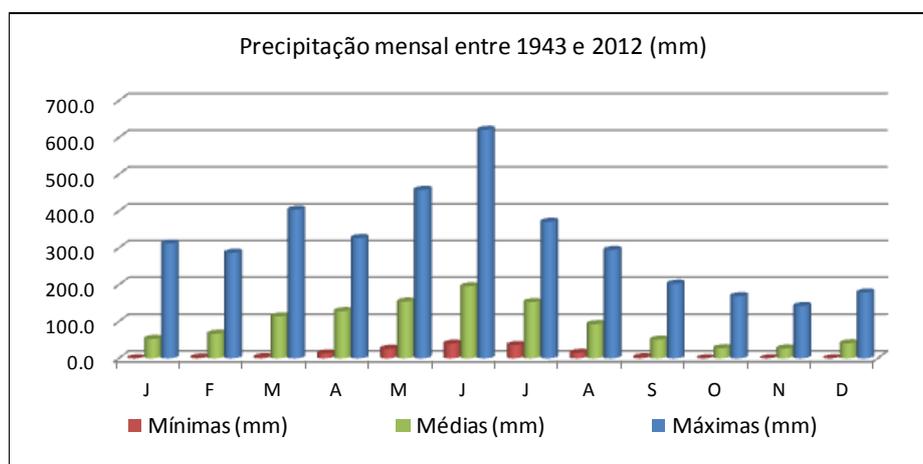


Figura 2 – Precipitações mensais em Vitória de Santo Antão – Pernambuco - Brasil

Sob o aspecto hidrográfico, o PERH-PE (1998) afirma que 61% pertencem à Unidade de Planejamento hídrico – UP 2 (Bacia do Capibaribe); 12,4% à UP3 (Bacia do Ipojuca) e 26,6% à UP15. A malha hidrográfica destaca o rio Tapacurá, importante afluente do Capibaribe, cujo reservatório ajuda na contenção de cheias e abastece parte da Região Metropolitana do Recife – RMR. Encontram-se também o rio Natuba, Pacas, Gameleira, entre outros tributários, e a nascente do rio Pirapama, considerado um dos mais importantes da bacia litorânea do rio Jaboatão. Sobre o aspecto geomorfológico, Duarte *et al.* (2007) explicaram que existe a presença de colinas e cristas, que vão cedendo espaço à maiores elevações à medida que vai se aproximando do Planalto da Borborema.

Verificadas as séries pluviométricas de diferentes bancos de dados com operação em Vitória de Santo Antão, buscou-se inicialmente as séries com longos períodos de observação e poucas falhas, e, sobretudo, com suficiente confiabilidade nas instituições operadoras. Foi então



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

selecionada a série pertencente ao banco da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, administrada em conjunto com o Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP.

O período foi fixado em 70 anos de observação (1943-2012). Por conta das variabilidades climáticas Robson *et al.* (2000) sugeriram que para determinação de tendências em séries temporais de chuva, pelo menos 50 anos de registros fossem necessários e não mais 30, limitado às normais climatológicas. A Tabela 1 resume as características principais da estação pluviométrica selecionada. Para determinação da série de Precipitação Diária Máxima Anual – PDMA foi extraído de cada ano de precipitação diária, o registro da maior precipitação acumulada de 24 horas.

Tabela 1 - Características da estação pluviométrica de Vitória de Santo Antão - PE em operação

Estação	Código	UF	Latitude	Longitude	Altitude
Vitória de Santo Antão	65	PE	8° 07' 25"S	35° 16' 55"O	137,0 m

A análise estatística e exploratória dos dados da PDMA teve início com as avaliações das medidas centrais e dispersivas, associadas à detecção de eventuais outliers (pontos atípicos). Para verificação dos outlier foi usado o critério da Amplitude Inter-quartis (AIQ). Para verificação da existência de tendência, utilizou-se a série anual consistida pelos métodos de Regressão linear e Dupla-massa, o qual permitiu a construção do gráfico da variabilidade pluviométrica interanual e sua respectiva linha de tendência no Excel. Foi também construído o histograma da distribuição de frequência e o gráfico Box Plot, ambos utilizando o software Action, produzido por Estatcamp – Consultoria Estatística (<http://www.estatcamp.com.br>).

Para detecção de tendência na PDMA foram usados os testes estatísticos de Mann-Kendall, Spearman's Rho e Regressão linear, detalhados em Robson *et al.* (2000) e Chiew & Siriwardena (2005), os quais foram aplicados com o software Trend. O *Trend Change Detection Software*, produto da *Cooperative Research Center for Catchment Hydrology - CRCCH*, é usado para detecção de tendências, mudanças abruptas e aleatoriedades, segundo as hipóteses contidas nos testes estatísticos (<http://www.toolkit.net.au/Tools/TREND>).

Segundo Chiew & Siriwardena (2005) os testes estatísticos definem uma hipótese nula “ h_0 ” que pressupõe a não existência de tendência em uma série de dados, e uma hipótese alternativa “ h_1 ”, para a existência de tendência crescente ou decrescente. Se o valor da estatística de teste é maior do que o valor crítico, “ h_0 ” é rejeitada. Nesse processo, poderão ocorrer dois tipos de erros: O erro tipo I, quando “ h_0 ” é incorretamente rejeitado, e tipo II, quando “ h_0 ” é aceita sendo e “ h_1 ” verdadeira.

O nível de significância estatística (α) é, portanto, a probabilidade de que o valor crítico ultrapasse a estatística de teste em (α) assumindo que não há tendência na série. Conforme Robson *et al.* (2000), a interpretação do nível de significância pode ser:

- $\alpha > 0,10$ significa pouca evidência contra a hipótese nula “ h_0 ”;
- $0,05 < \alpha < 0,10$ significa possível evidência contra a hipótese nula “ h_0 ”;
- $0,01 < \alpha < 0,05$ significa forte evidência contra a hipótese nula “ h_0 ”;
- $\alpha < 0,01$ significa muito forte evidência contra a hipótese nula “ h_0 ”.



Para avaliação da alteração na frequência da PDMA foi construído o diagrama de frequência relativa acumulada. Para isso, utilizaram-se três classes seriais: (a) Os 70 anos da série de PDMA completa; (b) Os 30 anos iniciais; e (c) Os 30 anos finais. Os primeiros foram denominados “Período completo”, os segundos “Primeiro período” e os terceiros “Último período”. Ao serem grafados, delinearão entre os quantis pluviométricos e as probabilidades de excedência e não excedência, posições suficientes para permitir as conclusões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram detectados seis pontos atípicos (outliers), possivelmente confirmando ocorrências de chuvas intensas. O sumário das estatísticas descritivas e outliers estão detalhados na Tabela 2. Os gráficos das Figuras 3 e 4 confirmaram os outliers, e mostraram uma média menor que a mediana. Observa-se assimetria positiva e quantis atípicos acima de 134,2 mm. Na Figura 5, o gráfico da variabilidade interanual e linha de tendência indica existência de tendência crescente.

Tabela 2 – Sumário das estatísticas descritivas e análises de outlier na série de PDMA

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Média	72,9 mm	3º Quartil	85,1 mm
Mediana	66,1 mm	Amplitude (AIQ)	32,7 mm
Desvio padrão	32,4 mm	Limite superior	134,2 mm
Variância	1047,2 mm	Limite inferior	3,2 mm
Curtose	0,58	<i>Outlier</i> superior	158,0 mm
Assimetria	0,99	<i>Outlier</i> superior	155,0 mm
Variação	0,44	<i>Outlier</i> superior	155,0 mm
Máximo	158,00 mm	<i>Outlier</i> superior	146,0 mm
Mínimo	14,0 mm	<i>Outlier</i> superior	141 mm
Amplitude	144,0 mm	<i>Outlier</i> superior	140 mm
1º quartil	52,4 mm	<i>Outlier</i> inferior	-

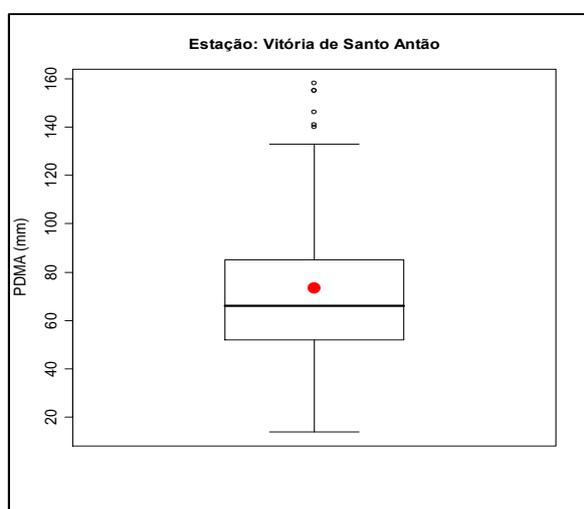


Figura 3 - Análise da distribuição de Frequência

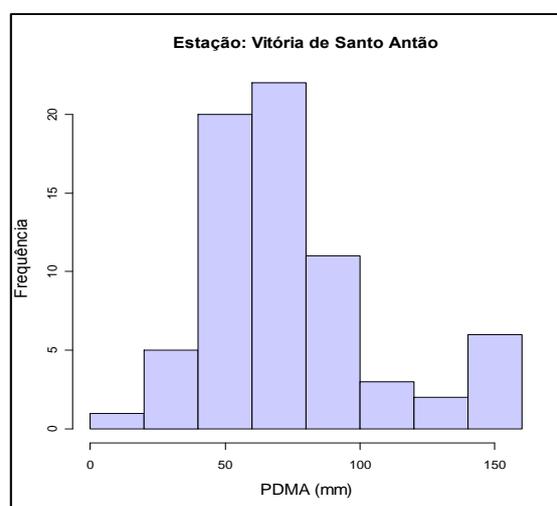


Figura 4 - Análise dos parâmetros estatísticos



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

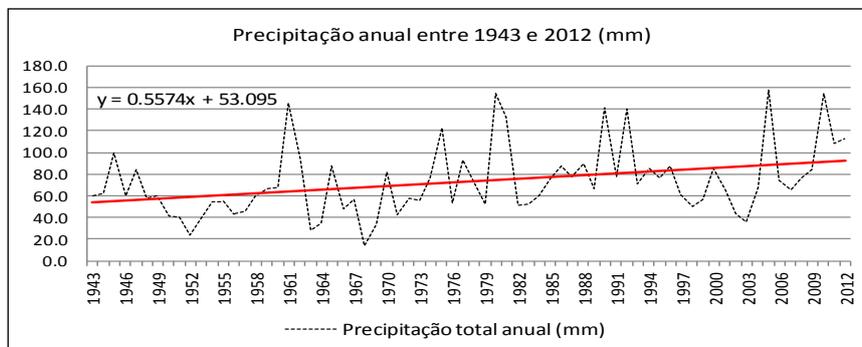


Figura 5 – Análise da variabilidade interanual e linha de tendência da série de PDMA

Na análise de tendência os testes indicaram tendências positivas com muito fortes evidências contra a hipótese nula “ h_0 ”, ao nível de 1% de significância em todos os métodos testados. Os resultados extraídos dos blocos de saída do software Trend são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos testes estatísticos aplicados à PDMA

Métodos	Estatística de teste	Valores críticos tabelados			Resultados
		$\alpha=0,10$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$	
Mann-Kendall	2.991	1.645	1.96	2.576	Positiva ($\alpha=1\%$)
Spearman's Rho	3.206	1.645	1.96	2.576	Positiva ($\alpha=1\%$)
Regressão linear	3.086	1.669	1.997	2.654	Positiva ($\alpha=1\%$)

Na análise de frequência (Figura 6) os resultados das frequências relativas acumuladas constatarem aumento da PDMA, tanto para os pequenos quantis responsáveis pelos anos secos, como para os altos quantis, que chegam próximo de 160 mm, confirmando as chuvas intensas nos anos chuvosos.

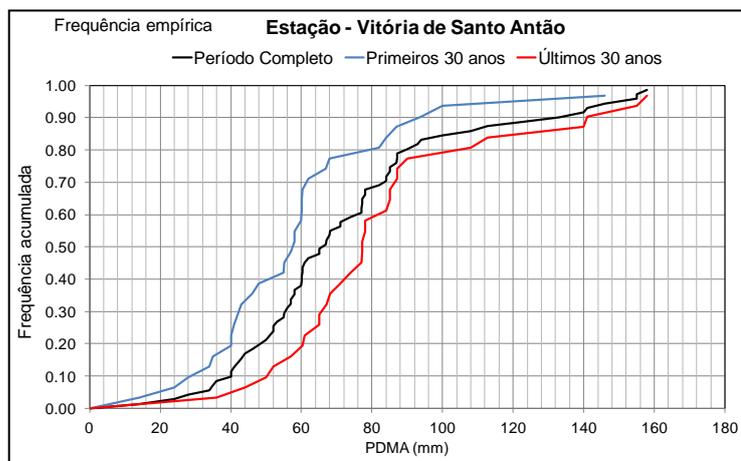


Figura 6 – Diagrama da frequência relativa acumulada da PDMA

Os resultados correspondem às previsões do IPCC e estão de acordo com Farias & Nóbrega (2010), Souza & Azevedo (2012) e Santos *et al.* (2012).



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

4 - CONCLUSÕES

Fortes evidências de aumento da tendência da PDMA em Vitória de Santo Antão-PE.

Os últimos 30 anos da série apresentaram maior frequência de PDMA mais elevada.

Aumento das ocorrências de extremos da PDMA em Vitória de Santo Antão em todos os valores diários precipitados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM, à Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, à Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC; ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, ao projeto REHIDRO 1830/FINEP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelas bolsas de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, G. R.; BAPTISTA, M. B. & NAGHUTTINI, M. (2010). Estudo para identificação de tendência do regime pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v15. P115-126.
- ASSIS, J. M. O. & SOBRAL, M. G. M. (2012). Análise de Detecção de Tendências no Padrão Pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, p.320-331.
- ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M. C. M. & SOUZA, W. M. (2012). Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.3, pp. 630-645.
- CHIEW, F. & SIRIWARDENA, L. (2005). Trend/Change Detection Software - User Guide. *CRC for Catchment Hydrology*. Austrália.
- CONDEPE/FIDEM (2015). Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Disponível em: http://www2.transparencia.pe.gov.br/c/document_library/get_file?plid=98754&f, acesso em 5/05/2015.
- DUARTE, C. C.; GALVÍNIO, J. D.; CORRÊA, A. C. B. & ARAÚJO, M. S. B. (2007). Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá-PE. *Revista de Geografia*, UFPE, Recife-PE.
- FARIAS, R. F. L. & NÓBREGA, R. S. (2010). Tendência Espacial e Temporal da Precipitação Pluviométrica em Pernambuco - *Mudanças climáticas e Impactos ambientais*. Org. Galvínio, J. D. Ed. Universitária, UFPE, Recife-PE, Capítulo 15, pp. 251-264.
- IPCC (2001, 2007, 2013). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press. Cambridge - Inglaterra.
- IBGE (2015). Censo demográfico de 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>, acesso em 03/10/2013.
- NAGUETTINI, M. & PINTO, E. J. A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM-Serviço geológico do Brasil, Belo Horizonte-BH, 561p.
- PERH-PE (1998). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco*. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco Recife-PE.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

- SECTMA (2006). *Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco*. Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. Recife-PE.
- ROBSON, A.; BÁRDOSSY, A.; JONES, D. & KUNDZEWICZ, Z. W. (2000). Métodos Estatísticos para Testes de Mudanças, Detecting Trend and other Change Hydrological Data. *World Climate Program - Water*, Cap. 5, WCDMP-45, WMO, Genebra, Suíça.
- SANTOS, S. M. S.; ASSIS, J. M. O. & SOUZA, W. M. (2014). Tendência de Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Una, Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, pp. 243-257.
- SANTOS, P. F. C.; FARIAS, R. F. L.. & NÓBREGA, R. S. (2012). Análise das tendências de precipitação para o município de Vitória de Santo Antão. *In IV Workshop de Mudanças climáticas e Recursos Hídricos do estado de Pernambuco e I Workshop Internacional sobre Mudanças climáticas e Bio diversidade*. ITEP/UFPE, Recife-PE.
- SOUZA, W. M. & AZEVEDO, P. V. (2012) Índice de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, pp. 320-331.