



ANÁLISE DE TENDÊNCIA PARA EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Aline de Araújo Nunes^{1*}; *Eber José de Andrade Pinto*²; *Márcio Benedito Baptista*³

Resumo – Eventos climáticos extremos têm emergido como uma das principais manifestações de mudança climática, sendo que a adaptação e minimização dos impactos decorrentes passam pelo estudo da magnitude e frequência de suas ocorrências. A presente pesquisa pretende identificar tendências para eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte, à luz da crescente preocupação com o aumento da sua ocorrência na região. A primeira etapa do trabalho consistiu na busca dos eventos de alagamento ocorridos na região, analisando-se, também, dados de precipitação, correspondentes aos dias de ocorrência dos alagamentos, a fim de estabelecer um limiar indicativo a partir do qual um evento acarreta impactos. Foi realizada a montagem das séries de quinze estações contemplando o número anual de dias chuvosos acima do limiar e aplicados testes estatísticos com objetivo de avaliar a presença de tendências. A pesquisa realizada permitiu o registro de 104 alagamentos e a estimação de um limiar de 40 mm. Verificou-se que três estações apresentaram tendência positiva significativa e nove apresentaram mudança na média ou mediana, indicando que os anos mais recentes apresentam maior quantidade de eventos extremos. Os resultados são indicativos de que o pressuposto de estacionariedade de séries de máximos de precipitação pode estar equivocado.

Palavras-Chave – Não estacionariedade, alagamentos, mudanças climáticas.

TREND ANALYSIS FOR EXTREME EVENTS OF PRECIPITATION IN THE METROPOLITAN REGION OF BELO HORIZONTE

Abstract – Extreme weather events have emerged as a manifestation of climate change. Adaptation and mitigation of the impacts of these events occur through the study of the magnitude and frequency of their occurrence. The present study aims to identify trends in extreme precipitation events in the Metropolitan Region of Belo Horizonte, since there is a growing concern about the potential increase in the occurrence of these events in the region. The first stage of the work consisted of a search of flood events in the region. Rainfall data, corresponding to the days of the occurrence of floods, were analyzed in order to establish an indicative threshold of extreme event. The series of annual number of rainy days above the threshold established, considering fifteen stations, were organized and were applied statistical tests in order to evaluate the presence of trends. The research allowed the registration of 104 floods and the estimation of a 40 mm threshold. It was verified that three rainfall stations showed significant positive trend and nine had change in mean or median, indicating that the most recent years present more extreme events than early years. The results indicate that the stationarity assumption of maximum rainfall series can be wrong.

Keywords – Nonstationarity, floods, climate change.

^{1*}Eng^a Agrícola e Ambiental, Mestre em Engenharia Agrícola, Estudante de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Depto. Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos/UFMG, CEP 31270-901 Belo Horizonte-MG. Correio eletrônico: alinedearaujonunes@gmail.com

² Eng^o Civil, Prof. Dr. UFMG - Depto. Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, CEP 31270-901 Belo Horizonte-MG. Correio eletrônico: eber@ehr.ufmg.br

³ Eng^o Civil, Prof. Dr. UFMG - Depto. Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, CEP 31270-901 Belo Horizonte-MG. Correio eletrônico: marcio.baptista@ehr.ufmg.br



INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos têm emergido como uma das principais manifestações de mudança climática em diversas regiões do mundo. Os eventos extremos são geralmente definidos por valores atipicamente elevados ou baixos considerando um intervalo de observações (IPCC, 2012).

O aquecimento global, processo de aumento da temperatura média do planeta, tem o potencial de causar taxas mais elevadas de evaporação e, conseqüentemente, transportar grandes quantidades de vapor de água para a atmosfera, acelerando, assim, o ciclo hidrológico global (SEMENOV; BENGTTSSON, 2002; LABAT et al., 2004; XU et al., 2006; TRENBERTH *et al.*, 2007).

Uma das conseqüências mais significativas do aquecimento global seria o aumento na magnitude e frequência de eventos extremos de precipitação, provocado pelo aumento dos níveis de umidade da atmosfera e/ou atividades convectivas de grande escala (ROY; BALLING JR., 2004). Esta hipótese foi ainda validada considerando a tendência de aumento da umidade específica a nível mundial desde 1970 (DAI, 2006; WILLETT *et al.*, 2008). Além disso, Frich *et al.* (2002) encontraram uma tendência de diminuição no número de dias secos consecutivos.

Intensos debates relativos a possíveis mudanças climáticas vêm acontecendo, assim como se observa, com frequência, o desenvolvimento de estudos e técnicas diversas com o intuito de evidenciar eventuais tendências na ocorrência de eventos climáticos extremos. Groisman et al. (2005) analisaram em seus estudos a tendência cada vez mais difundida da ocorrência de chuvas intensas em regiões de latitudes médias, seguido por Alexander et al. (2006) que relataram um aumento significativo de eventos extremos de precipitação em uma escala global.

Os eventos extremos recentes no Brasil, no que se refere a cheias e intensa precipitação, ocorreram na Região Serrana do Rio de Janeiro e em Minas Gerais, em 2011, nos estados do Sul ao final de 2008, nos estados do Nordeste em 2009 (LIMA, 2011), além dos recorrentes alagamentos em grandes cidades como São Paulo, Porto Alegre e Belo Horizonte, causando inúmeras vítimas, além do desalojamento de muitas famílias, prejuízos econômicos e materiais e aumento dos casos de doenças de veiculação hídrica.

A expansão e densificação das zonas urbanas, notadamente em regiões metropolitanas, acentua o fenômeno de “ilha de calor”, com a elevação das temperaturas nas cidades, acompanhada do aumento da turbulência e da presença de núcleos de condensação na atmosfera favorecendo a ocorrência de tempestades (SHAW; SHARMA, 2011). De forma complementar, no momento atual restam questões quanto às evidências científicas de mudanças climáticas, assim como são indefinidas, ainda, as suas reais implicações nas águas urbanas.

A vulnerabilidade das cidades em face da possível não estacionariedade das condições hidroclimatológicas precisa ser trabalhada, tanto em função da indução de ocorrência de tempestades pela urbanização como também de possíveis mudanças climáticas. Urge, portanto, a busca de evidências de tendências, com sua quantificação, ensejando o desenvolvimento de ferramentas e estratégias visando o incremento da resiliência das cidades.

Alexandre *et al.* (2010), em estudo feito para a região metropolitana de Belo Horizonte, encontraram uma possível tendência de aumento de precipitação no período mais seco do ano (abril-setembro), em contraposição a uma tendência de diminuição de chuvas no período mais chuvoso (outubro-março), apesar de, tanto o regime anual quanto os totais mensais máximos da região, não apresentarem evidências de mudanças em suas séries.

Queiroz (2013) estudou as tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do estado de Minas Gerais, por meio de índices de precipitação que podem ser empregados



na detecção de mudanças climáticas. Os índices de dias extremamente chuvosos (R99p), número de dias com precipitações superiores a 30 mm (R30mm), quantidade de precipitação máxima em 5 dias (Rx5day) e o índice de intensidade diária (Sdii) apresentaram tendência significativa, predominando a positiva.

Considerando a importância do conhecimento da magnitude e frequência de ocorrência de eventos extremos em grandes centros urbanos, a exemplo da cidade de Belo Horizonte que, aparentemente, demonstra estar sendo afetada por eventos extremos de chuva cada vez mais frequentes, objetivou-se com o presente trabalho analisar os eventos diários de chuva com potencialidade em causar alagamentos na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e, a partir do estabelecimento de um valor de referência, avaliar a existência de tendência nas séries de picos de chuva acima do limiar estabelecido, utilizando testes estatísticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A RMBH, drenada pelos rios das Velhas e Paraopeba, afluentes do rio São Francisco, está localizada entre as latitudes 19°00' e 20°30' sul e longitudes 43°15' e 44°45' oeste, na região central do Estado de Minas Gerais. De acordo com o censo demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a região abrange uma população estimada em cerca de cinco milhões e meio de habitantes, composta por 34 municípios.

Considerando as características climáticas da região, a RMBH está inserida nas classificações de Köppen tipo Cwb - clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado e Cwa — clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. Com relação ao regime de chuvas, pode ser considerada uma região chuvosa, com precipitação média anual em torno de 1500 mm. A distribuição da precipitação durante o ano é bem definida, sendo o período chuvoso definido nos meses de outubro a março. Os volumes precipitados na região são decorrentes, principalmente, da passagem de frentes e da presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Aquisição e análise dos dados de alagamento da RMBH

De acordo com a Secretaria Nacional de Defesa Civil, em publicação da Portaria Conjunta nº 148, de 18 de dezembro de 2013, define-se por alagamento a “Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em áreas rebaixadas atingindo ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas”.

Considerando tal definição, foi realizado um levantamento dos eventos de alagamento ocorridos nos últimos 35 anos na cidade de Belo Horizonte, a fim de relacionar as datas destes eventos com os registros pluviométricos da região para os mesmos dias. Dessa forma, eventos extremos de precipitação foram definidos, nesse trabalho, como precipitações com potencialidade em causar alagamentos na região.

Os eventos de alagamento levantados abrangem o período de 1979 a 2014, respeitando o período mínimo de 30 anos de dados exigido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) a fim de caracterizar o clima de uma determinada região. Constatou-se a ocorrência destes eventos por meio de dados fornecidos pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (Sudcap) e notícias de jornais (Estado de Minas, Folha de São Paulo). A variedade das fontes deve-se ao fato da dificuldade de se obter os casos de alagamento em longo prazo, já que não existe um órgão específico que registre esse tipo de informação.

Aquisição e análise dos dados de precipitação da RMBH

Os dados de precipitação diária da RMBH foram selecionados com o auxílio das bases georreferenciadas da Agência Nacional de Águas (ANA) e das séries hidrológicas disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA - Hidroweb.

Os critérios que nortearam essa seleção dos registros de precipitação total diária para a RMBH foram os seguintes:

- Séries com, pelo menos, 50 anos de registros;
- Uniformidade na distribuição espacial das estações pluviométricas na RMBH.

Foram selecionadas quinze estações pluviométricas (Tabela 1). O mapa com a localização das estações foi construído por meio do *software* ArcGIS, com o auxílio das bases georreferenciadas da ANA (Figura 1). Tendo em vista a necessidade de registros com, pelo menos, 50 anos de dados, não foi possível obter uma cobertura homogênea de estações pluviométricas na região analisada, como pode ser observado, também, na Figura 1. No entanto, acredita-se que as estações selecionadas consigam caracterizar de forma satisfatória o regime de chuvas da RMBH. As séries de precipitação foram consistidas utilizando o Método de Dupla Massa, tal como descrito em Tucci (2001).

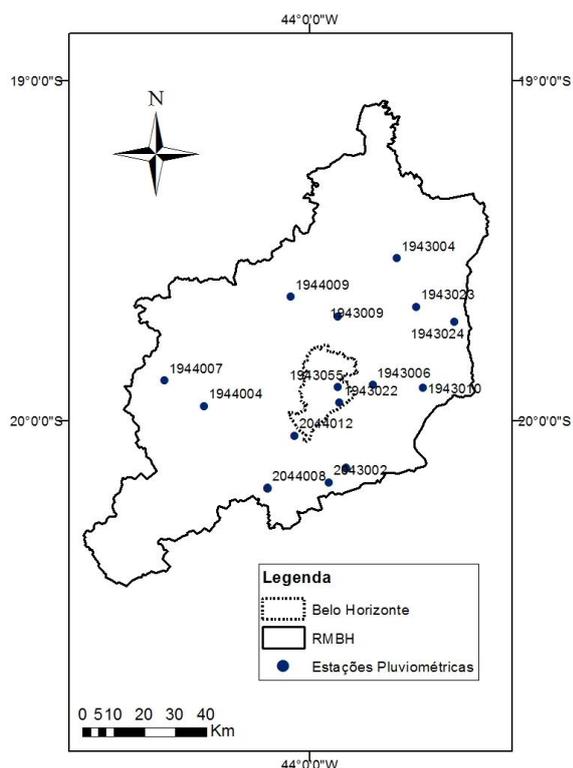


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas selecionadas na RMBH.

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Latitude	Longitude	Período de observação
01943004	19°31'11"	43°44'43"	1/9/1941 a 1/8/2014
01943006	19°53'29"	43°49'19"	1/10/1941 a 1/8/2014
01943009	19°41'14"	43°55'15"	1/5/1941 a 1/10/2014
01943010	19°53'54"	43°39'55"	1/6/1941 a 1/10/2014
01943022	19°57'02"	43°54'10"	1/1/1963 a 1/12/2013
01943023	19°39'50"	43°41'17"	1/2/1942 a 1/10/2014
01943024	19°41'23"	43°35'08"	1/6/1965 a 1/7/2014
01943055	19°54'00"	43°55'00"	1/8/1961 a 1/11/2014
01944004	19°57'20"	44°18'24"	1/3/1941 a 1/9/2014
01944007	19°52'47"	44°25'16"	1/11/1950 a 1/10/2014
01944009	19°38'05"	44°03'09"	1/5/1941 a 1/10/2014
02043002	20°10'45"	43°56'34"	1/1/1941 a 1/9/2014
02043004	20°08'16"	43°53'33"	1/1/1941 a 1/6/2014
02044008	20°11'52"	44°07'15"	1/7/1941 a 1/10/2014
02044012	20°02'34"	44°02'36"	1/1/1945 a 1/10/2014

Para as estações mais próximas ou localizadas na cidade de Belo Horizonte (01943055, 01943022 e 02044012) foram analisadas em suas séries as datas correspondentes aos eventos de alagamento ocorridos na cidade, sendo selecionadas as alturas precipitadas nesses dias. Uma vez obtidos os extremos de precipitação diária, calculou-se a mediana desses valores, a fim de estabelecer um valor limiar médio que indique uma chuva que pode causar alagamentos na cidade, ou seja, uma chuva extrema. Vale ressaltar que o valor limiar a ser estabelecido é apenas um



indicativo de chuva com potencialidade em causar alagamentos na RMBH, uma vez que diversos fatores influenciam na reposta da bacia a um evento chuvoso, como por exemplo: a umidade antecedente do solo, mudanças no uso e ocupação do solo, condições de manutenção dos sistemas de drenagem, entre outros.

Considerando o limiar estabelecido, foi realizada a montagem das séries contemplando o número de dias chuvosos por ano hidrológico acima do limiar. Nesta etapa foram consideradas as quinze estações selecionadas no estudo.

Avaliação da presença de tendência nas séries temporais de precipitação diária acima do limiar

Após a montagem das séries temporais, foram aplicados testes estatísticos, com o objetivo de avaliar a presença de tendência nessas séries. Os testes aplicados foram o de Mann-Kendall, de Spearman's Rho e de Regressão Linear. Os testes de Man-Kendall e de Spearman's Rho são não paramétricos e o de regressão linear é paramétrico. Os testes foram realizados com o uso do software TREND - *Trend/Change Detection*.

Além dos testes de tendência, o TREND possibilita a aplicação de outros testes importantes para a análise. Estão disponíveis três testes para detecção de mudança na média e/ou mediana (Distribution Free CUSUM Test; Cumulative Deviation Test e Worsley Likelihood Ratio Test); dois testes para diferença na média e/ou mediana em dois períodos diferentes (Rank-Sum Test e Student's t test) e quatro testes para aleatoriedade (Median Crossing Test, Turning Points Test, Rank Difference e Autocorrelação). Os níveis de significância considerados nos testes são de 1%, 5% e 10%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa realizada visando contemplar os eventos de alagamentos para a cidade de Belo Horizonte no período analisado (1979 a 2014) permitiu o registro de 104 alagamentos, sendo estes tabeladas em ordem cronológica.

Os dias de ocorrência dos alagamentos foram analisados nas séries históricas de registros pluviométricos diários das estações 01943055, 01943022 e 02044012, buscando um indicativo de precipitação que pode causar alagamentos na cidade. O cálculo da mediana dos valores diários de precipitação encontrados permitiu a estimação de um limiar de 40 mm.

Considerando o limiar estabelecido, foram montadas as séries temporais de número de dias chuvosos acima do limiar de 40 mm, por ano hidrológico (NC40mm). Foram, então, aplicados todos os testes do software TREND às 15 séries. As 3 estações que apresentaram pelo menos uma indicação de presença de tendência significativa estão relacionadas na Tabela 2 .

Tabela 2 – Séries que apresentaram tendência

Código	Mann-Kendall	Spearman's rho	Linear regression
01943009	S+ (0,1)	S+ (0,01)	S+ (0,1)
01943055	NS	S+ (0,05)	NS
01944004	NS	S+ (0,05)	S+ (0,1)

Obs: S+ = tendência positiva significativa; NS = não apresenta tendência positiva significativa



A distribuição espacial de tendência detectada com os testes do TREND é apresentada na Figura 2. As estações que apresentaram tendência positiva estão identificadas com pontos vermelhos e as demais estações, que não apresentaram tendência, com pontos azuis.

Analisando a Figura 2, observa-se que uma das estações que apresentou tendência positiva significativa está localizada na cidade de Belo Horizonte, e a estação posicionada acima desta, também com presença de tendência positiva, localiza-se na cidade de Vespasiano, região bastante industrializada, sendo um indicativo, a priori, do efeito de “ilhas de calor”. Porém, a mesma tendência não foi identificada para as outras estações localizadas em regiões afetadas com o intenso processo de urbanização, assim como a estação 01944004, que também apresentou tendência positiva, não se localiza em uma região com esse perfil.

Os resultados encontrados para os testes de mudanças abruptas encontram-se dispostos na Tabela 3. As séries que apresentaram mudança significativa na média e/ou mediana, sendo os anos mais recentes totalizados com maior valor, estão identificadas com S e, a situação contrária, com S⁻. Observa-se que, diferentemente dos resultados obtidos para os testes de tendência, a maior parte das séries apresentaram mudanças abruptas em, pelo menos, um dos testes realizados, indicando um maior número de eventos de precipitação acima do limiar de 40 mm em anos mais recentes.

A distribuição espacial das estações que apresentaram pelo menos uma indicação de mudança abrupta, identificada com os testes do TREND, é apresentada na Figura 3.

Tabela 3 – Resultados dos testes que identificam mudanças abruptas

Código	Cusum	Cumulative deviation	Worsley likelihood	Rank sum	Student's t
01943004	S (0,01)	NS	NS	NS	NS
01943006	NS	NS	NS	NS	NS
01943009	S (0,01)	NS	NS	S (0,05)	S (0,1)
01943010	NS	NS	NS	NS	NS
01943022	NS	NS	NS	NS	NS
01943023	S (0,01)	NS	NS	NS	NS
01943024	S (0,05)	NS	NS	S (0,1)	NS
01943055	S (0,05)	NS	NS	S(0,1)	NS
01944004	S (0,05)	S (0,01)	S (0,05)	S (0,01)	S (0,01)
01944007	NS	NS	NS	S ⁻ (0,1)	NS
01944009	S (0,01)	NS	NS	NS	NS
02043002	S (0,05)	NS	NS	S (0,05)	NS
02043004	S (0,01)	S ⁻ (0,1)	NS	NS	S ⁻ (0,1)
02044008	NS	NS	NS	NS	NS
02044012	NS	NS	NS	NS	NS

Obs: S = NC40mm em anos mais recentes é significativamente maior; S⁻ = NC40mm em anos mais recentes é significativamente menor; NS = não apresenta mudança significativa

Observa-se na Figura 3 que a distribuição das estações que apresentaram mudanças abruptas em suas séries de NC40mm é relativamente homogênea na RMBH, reforçando a ideia de que o indicativo de aumento de eventos extremos na região, em anos mais recentes, não está relacionado somente com o efeito de “ilhas de calor”. Além disso, as estações mais próximas da cidade de Belo Horizonte não apresentaram mudanças.

Considerando os testes de independência presentes no software TREND, e anteriormente citados no texto, as séries temporais não apresentaram dependência significativa, inferindo maior confiabilidade aos resultados obtidos.

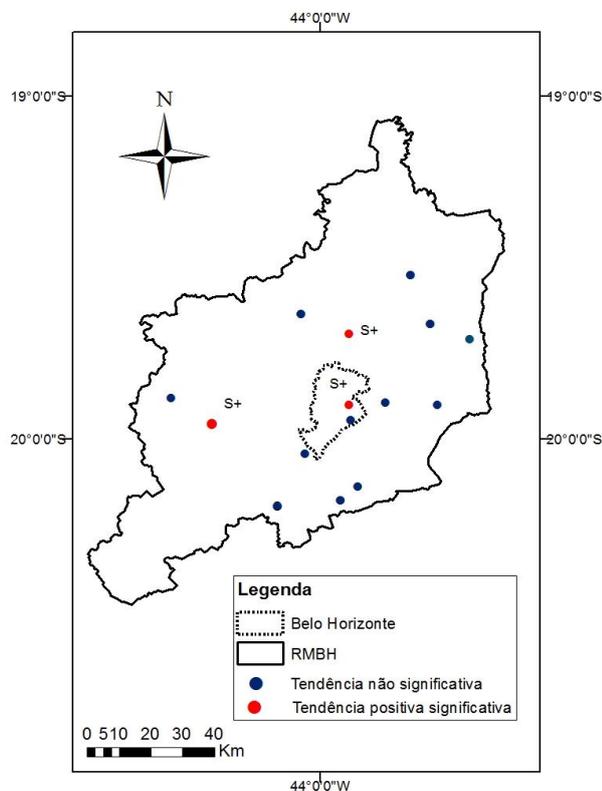


Figura 2 – Estações com tendência positiva significativa.

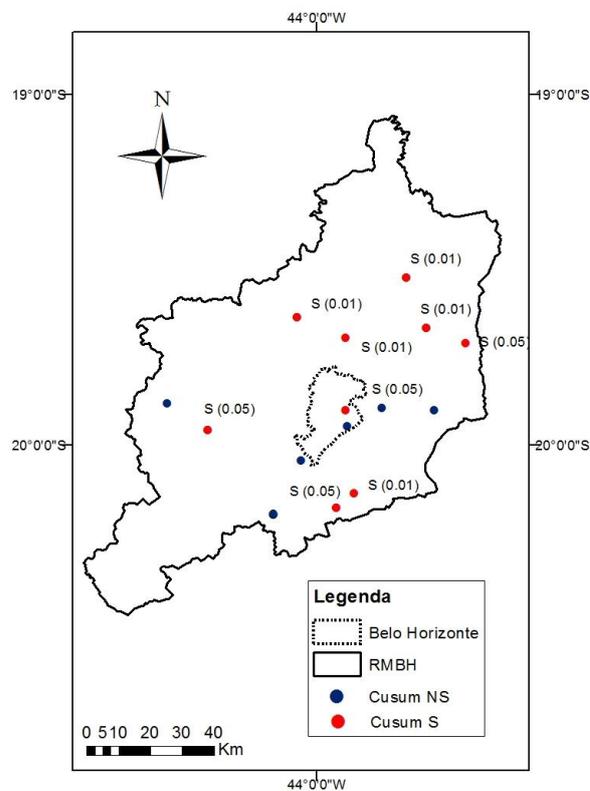


Figura 3 – Distribuição espacial dos resultados do teste Cusum de mudanças abruptas.

CONCLUSÕES

A análise de tendência nas séries temporais de NC40mm apontou uma tendência positiva em três estações da RMBH, sem um padrão espacial muito claro, sendo, então, um resultado inconclusivo a nível regional. Considerando os testes de mudanças abruptas, nove das quinze estações analisadas apresentaram uma maior quantidade de eventos acima do limiar de 40 mm em anos recentes, em pelo menos um dos testes realizados, sendo um indicativo de alteração no padrão de chuvas da região.

Os resultados de presença de tendência e mudanças abruptas são apenas indicativos de possíveis alterações nos padrões climatológicos da região, porém estes apontam que o pressuposto da hipótese de estacionariedade (o futuro será estatisticamente igual ao passado) das séries de NC40mm pode não se confirmar. Informações desta natureza são essenciais nos processos de tomada de decisão dentro da perspectiva de gestão de risco.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –, ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – e a FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos ainda a SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital - pela disponibilização de alguns dados utilizados.



REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v.111, D05109, pp. 1-22. doi:10.1029/2005JD006290.
- ALEXANDRE, G.R.; BAPTISTA, M.B.; NAGHETTINI, M.C. (2010). Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15(2), pp. 115-126.
- DAI, A. (2006). Recent climatology, variability, and trends in global surface humidity. *Journal of Climate*, v.19, pp. 3589-3606. doi: 10.1175/JCLI3816.1.
- FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; et al. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, v.19, pp. 193-212.
- GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D.R.; KARL, T. R.; HEGERL, G.C.; RAZUVAEV, V.N. (2005). Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, v.18, pp.1326-1350.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2012). Summary for policymakers. In: C. B. FIELD, V. BARROS, T. F. STOCKER, D. QIN, D. J. DOKKEN, K. L. EBI, et al. (Eds.). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 3-21.
- LABAT, D.; AERIS, Y. G.; PROBST, J. L.; GUYOT, J. L. (2004). Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*, v.27, pp.631-642.
- LIMA, C.H.R. (2011). Análise estatística da sazonalidade e tendências temporais em eventos de cheia na bacia do Paraná. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió, AL. *Anais... Maceió, AL*, pp. 1-18.
- QUEIROZ, M.A. (2013). *Avaliação de tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte:UFMG.184p. Dissertação de Mestrado.
- ROY, S.S.; BALLING JR.,R.C. (2004). Trends in extreme daily precipitation indices in India. *International Journal of Climatology*, v. 24, pp. 457-466.
- SEMENOV, V.A.; BENGTSSON, L. (2002). Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. *Climate Dynamics*, v.19, pp. 123-140.
- SHAW, R.; SHARMA, A. (2011). Beyond Resilience Mapping. In *Climate and Disaster Resilience in Cities* (Community, Environment and Disaster Risk Management, v. 6) Emerald Group Publishing Limited, pp.281-287.
- TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; et al. (2007). Observations: surface and atmospheric climate change. In SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; et al. (Eds.). *Climate change 2007: The physical science basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007. pp. 235-336.
- TUCCI, C. E. M. (2001). *Hidrologia Ciência e Aplicação*, 2aed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS: ABRH, 943 p.
- WILLET, K. M.; JONES, P. D.; GILLET, N. P.; THORNE, P. W. (2008). Recent changes in surface humidity: development of the HadCRUH dataset. *Journal of Climate*, v.21, pp. 5364-5383.
- XU, Z. X.; ZHANG, L.; RUAN, B. Q. (2006). Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing Region. *Arid Land Geography*, v. 29 (2), pp. 186-193.