

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DE ESTACIONARIEDADE PARA O ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS EM 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 mudanças climáticas, sendo que a adaptação e minimização dos impactos inerentes passam pelo estudo da magnitude e frequência de suas ocorrências. Neste contexto, a presente pesquisa visa contribuir para a análise de estacionariedade no contexto de chuvas intensas no município de Belo Horizonte, que demonstra estar sendo afetado por tempestades cada vez mais frequentes. As tendências das séries temporais foram avaliadas pelo teste de mudanças graduais *Mann-Kendall* e pelos testes de mudanças abruptas *Distribution-Free CUSUM* e *Rank Sum*. Para quantificar as eventuais tendências observadas e modelar a distribuição estatística dos dados, utilizou-se a distribuição GEV, sendo que caso não-estacionário os parâmetros da distribuição GEV variam com o tempo. Foram detectadas diferentes tendências para as durações de chuva analisadas. Considerando durações iguais ou inferiores a 1 hora as tendências observadas apontam para um aumento na intensidade desses eventos, a partir do ano de 2000. Conclui-se, então, que para as durações inferiores a 1 hora a distribuição GEV com tendência linear no parâmetro de posição a partir do ano de 2000 apresenta os melhores ajustes. Os resultados são indicativos de que o pressuposto de estacionariedade não é verificado em Belo Horizonte.

Palavras-Chave – Não-estacionariedade, extremos, inundações.

ANALYSIS OF STATIONARITY FOR THE INTENSE RAINS STUDY IN BELO HORIZONTE

ABSTRACT– Extreme climatic events have emerged as one of the main manifestations of climate change, being that adaptation and minimization of inherent impacts are performed by the study of magnitude and frequency of their occurrences. In this context, the present research aims to contribute to the analysis of stationarity in the context of intense rains in the city of Belo Horizonte, which shows is being affected by increasingly frequent storms. Time series trends were evaluated by Mann-Kendall gradual change test and by abrupt changes test of Distribution-Free CUSUM and Rank Sum. In order to quantify any observed trends and to model statistical distribution of data, GEV distribution was used, and in non-stationary case the parameters of the GEV distribution varied over time. Different trends were detected for rainfall durations analyzed. Considering durations of 1 hour or less, the observed trends point to an increase in the intensity of these events, starting from the year 2000. It is concluded, then, that for the durations less than 1 hour the GEV distribution with linear trend in the parameter of position since the year 2000 presents the best adjustments. The results are indicative that the assumption of stationarity is not verified in Belo Horizonte.

Keywords – Non-stationarity, extremes, floods.

^{1*}Eng^a Agrícola e Ambiental, Prof^a. Dr^a. UFOP - Depto. Engenharia Urbana, CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: aline.nunes@ufop.edu.br

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

O crescimento das aglomerações urbanas a partir do século XIX evidenciou os problemas resultantes da precariedade da infraestrutura de controle da presença de águas nas cidades (SILVEIRA, 1998). Em paralelo, a partir da segunda metade do século XX ocorreu, em escala mundial, a intensificação da concentração da população em áreas urbanas, a qual deverá superar 60% no ano 2025, segundo IAURIF (1997). No Brasil, este fenômeno não é diferente, sendo que a população urbana já supera 84%, segundo dados censitários do IBGE (2010).

Tendo em vista a expressiva concentração das populações em grandes áreas urbanas, a questão da vulnerabilidade das cidades em face da possível não-estacionariedade das condições hidroclimatológicas precisa ser trabalhada, tanto em função da possível indução de ocorrência de tempestades pela urbanização como também de mudanças climáticas de cunho global. 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.

Nesse sentido, 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. A análise de tendências em eventos de chuvas intensas nos Estados Unidos, por exemplo, revelou uma sobreposição de áreas que sofreram umidade excessiva com áreas experimentando tendências de aumento na frequência de dias com precipitação superior a 50,8 milímetros (KARL et al., 1996). Na Europa, mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos, como ondas de calor, chuvas torrenciais e tempestades de vento se tornam, cada vez mais, motivo de preocupação (BENISTON et al., 2007).

Os eventos extremos recentes no Brasil, no que se refere a cheias e grandes magnitudes de precipitação, ocorreram na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011, nos estados do Sul ao final de 2008 e 2015, nos estados do Nordeste em 2009, e na cidade de Teresina no início de abril deste ano (2019). É importante enfatizar os recorrentes alagamentos e inundações, como consequências de chuvas de alta intensidade (concentradas em curtos espaços de tempo), que vem ocorrendo em grandes cidades. Os exemplos mais recentes aconteceram no ano de 2019 na Região Metropolitana de São Paulo, no Rio de Janeiro e em Belo Horizonte, causando numerosas vítimas fatais, além do desalojamento de muitas famílias, prejuízos econômicos e materiais.

Sendo assim, diante desse cenário de incertezas quanto aos impactos causados pelas eventuais mudanças climáticas em séries hidrológicas, o presente trabalho visa contribuir para a análise de estacionariedade no contexto de chuvas intensas no município de Belo Horizonte – MG, que demonstra estar sendo afetado por tempestades cada vez mais frequentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, sendo sua escolha fundamentada no fato de que grande parte do município está sendo afetada, direta ou indiretamente, pelas consequências relacionadas a chuvas intensas e, também, pela ausência de estudos relacionados à tendência de ocorrência de chuvas intensas, principalmente no que se refere a eventos subdiários, na região.

A cidade de Belo Horizonte, que se enquadra na bacia hidrográfica do rio das Velhas, afluente do rio São Francisco, está localizada na região central do Estado de Minas Gerais, abrangendo uma população de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes (IBGE, 2015) em uma área de 331 km². A capital mineira é a quinta cidade com maior produto interno bruto (PIB) do Brasil, com 1,3% do PIB nacional, atrás de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília e Curitiba.

Aquisição dos dados de precipitação subdiária

Considerando que o estudo foi realizado para o cenário de chuvas intensas, o foco foi estabelecido em séries históricas de precipitações subdiárias. Estabeleceu-se que as séries deveriam contar com, pelo menos, 50 anos de registros e com poucas falhas, uma vez que valores subdiários de precipitação são de difícil preenchimento de falhas. Dessa forma, foram avaliados os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), sendo apenas a série histórica do INMET apta às análises posteriores.

As informações pluviográficas da estação do INMET (código 83587) foram fornecidas em meio físico, ou seja, em forma de pluviogramas, optando-se pela digitalização dos mesmos por meio de fotografias. Na Figura 1 é apresentada a fotografia de um pluviograma que representa o padrão dos dados acessados e na Figura 2 é apresentada a localização da estação, que se encontra em uma altitude de 916 m.

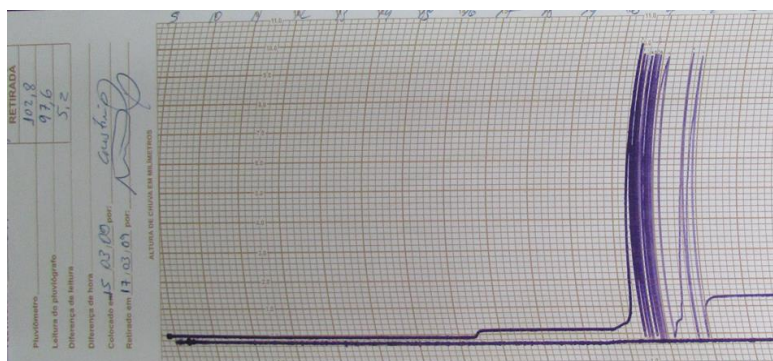


Figura 1 - Fragmento do pluviograma do dia 16/03/2009
Fonte: INMET, 2016

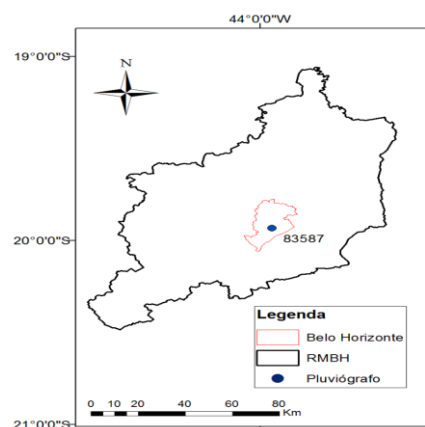


Figura 2 – Localização da estação pluviográfica do INMET

Análise preliminar dos dados de precipitação subdiária

Para a estação do INMET citada, foram selecionados os diagramas de chuvas consideradas “intensas”, a partir dos limites estabelecidos por Pfafstetter (1957) e Wilken (1978). Cada diagrama selecionado foi analisado com o objetivo de se obter as maiores inclinações por ano hidrológico para as diferentes durações a serem consideradas no estudo (10, 15, 30 e 45 minutos, e 1, 2, 3, 4, 8, 14 e 24 horas).

Foram realizadas as leituras dos pluviogramas dos anos de 1996 a 2015, sendo então montadas as séries temporais de intensidades pluviométricas máximas, por ano hidrológico (a consideração do ano hidrológico garante que os eventos sejam independentes), para todas as durações em estudo. Para complementação da série histórica foram utilizadas as intensidades máximas registradas no estudo de Pinheiro e Naghettini (1998), dos anos de 1956 a 1995.

Vale ressaltar que dos anos de 1956 a 1980 não há registros das intensidades máximas para as durações de 8, 14 e 24 horas. Dessa forma, foi realizada uma análise preliminar de média móvel de 10 anos, a fim de verificar o comportamento dessas durações ao longo dos anos, comparando-as às demais durações em estudo. Para tal, foram calculadas 50 médias móveis, sendo a primeira de 1956 a 1965 e a última de 2005 a 2014. De acordo com Grayson *et al.* (1996), a média móvel é uma das técnicas mais simples e comumente usada no estudo de tendências.

Análise e Modelagem de Tendências nas Séries de Máximos Anuais de Precipitação Subdiária da estação do INMET (83587)

As tendências das séries temporais foram avaliadas, de acordo com Kundzewicz e Robson (2004), pelo teste de mudanças graduais *Mann-Kendall* e pelos testes de mudanças abruptas, descritos em Chiew e Siriwardena (2005), *Distribution-Free CUSUM* e *Rank Sum* (detectam a alteração da mediana em dois períodos), sendo todos os testes não paramétricos. Os testes foram realizados com o auxílio do software TREND e o nível de significância considerado nos testes foi de 5%.

Para quantificar as eventuais tendências observadas e modelar a distribuição estatística dos dados, utilizou-se a distribuição GEV, em sintonia com a Teoria dos Valores Extremos (COLES, 2001), conforme a equação 1.

$$G(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left(1 + \xi \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right\} & \text{se } \xi \neq 0, \text{ para } 1 + \xi \frac{x-\mu}{\sigma} > 0, \\ \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right\} & \text{se } \xi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

onde μ , σ e ξ são os parâmetros de posição, escala e forma, respectivamente, e x a precipitação máxima anual.

No caso não-estacionário, os parâmetros da distribuição GEV variam com o tempo (anos). O parâmetro de posição foi assumido como sendo uma função $\mu(t)$, enquanto os parâmetros de escala e forma foram constantes. Testou-se, então, três modelos para $\mu(t)$: o modelo estacionário [$\mu(t) = \mu_0$]; uma tendência linear monotônica, apresentada na equação 2; e uma tendência linear a partir do ano t_0 , apresentada na equação 3.

Tendência linear monotônica:

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t \quad (2)$$

Tendência linear a partir do ano t_0 :

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu_0, & t \leq t_0 \\ \mu_0 + \mu_1(t - t_0), & t \geq t_0 \end{cases} \quad (3)$$

Considerando que as séries consistem no período de 1956 a 2015 e que as décadas de 80 e 90 representam um período de forte expansão urbana para a RMBH, foram considerados anos a partir de 1982 como possíveis anos de mudança (t_0). Todos os modelos foram ajustados pela máxima verossimilhança (COLES, 2001) e os cálculos e ajustes foram desenvolvidos em ambiente R.

Em primeiro lugar, foi selecionado qual dos modelos se ajusta melhor aos dados, sendo a primeira evidência obtida comparando-se o log-verossimilhança dos diferentes modelos para cada duração. Considerando que o objetivo é maximizar o log-verossimilhança, o maior valor indica o melhor ajuste.

Considerando a hipótese de seleção de um modelo não-estacionário como o melhor ajuste para as séries históricas, utiliza-se, ainda, o critério Akaike Information (AIC, [AKAIKE, 1974]) para verificar se o modelo não-estacionário selecionado, para cada série, deveria de fato ser preferido ao modelo estacionário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise preliminar dos dados de precipitação subdiária

Considerando a análise preliminar de média móvel de 10 anos, observa-se na Figura 3 que as médias móveis de intensidades de chuva máximas registradas para as durações de 10 min a 1 hora apresentam, além de tendências de crescimento, oscilações nítidas ao longo do tempo, o que não ocorre com as durações de 2 a 24 horas. Além disso, um comportamento notório para as chuvas de menor duração são os períodos com tendências definidas (variações cíclicas), sendo estas ora positivas, ora negativas (Figura 4).

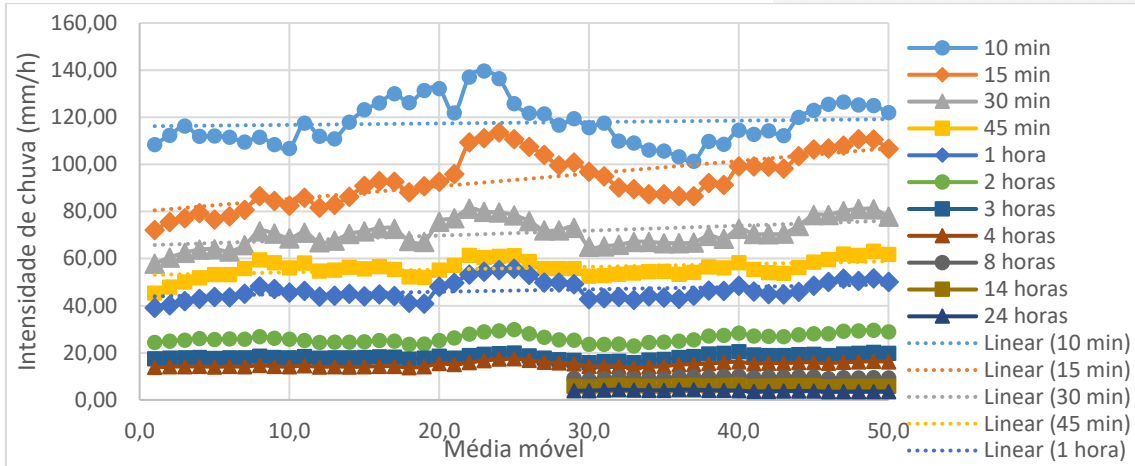


Figura 3 – Análise de média móvel de 10 anos para as intensidades máximas registradas, considerando todas as durações de chuva

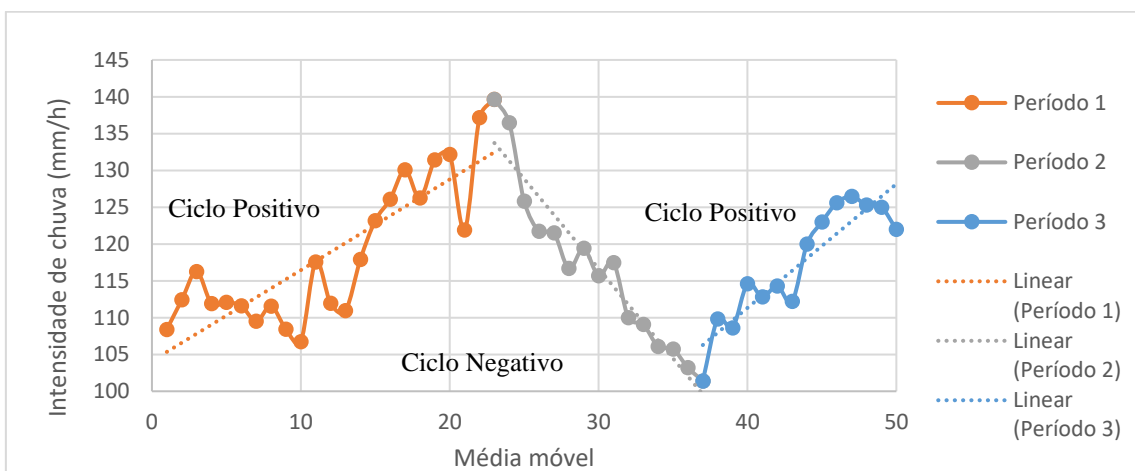


Figura 4 – Períodos com diferentes tendências definidas (variações cíclicas), considerando a média móvel de 10 anos para as intensidades máximas registradas para a duração de 10 min

Dessa forma, embora possa ser pensado que as variações cíclicas ao longo das séries caracterizem a inexistência de tendências, estas podem representar períodos críticos para uma determinada região, tanto por escassez, quanto por cheias e, por isso, não podem ser ignoradas. Nesse sentido, procedeu-se para a análise de tendências por meio de testes estatísticos, a fim de se definir um ano de mudança que caracterize o ciclo atual (ciclo positivo), além de quantificar as eventuais tendências identificadas. Para tal, serão analisadas as séries de 10 min a 4 horas (séries completas), buscando verificar a significância das análises realizadas.

Análise e Modelagem de Tendências nas Séries de Máximos Anuais de Precipitação Subdiária da estação do INMET (83587)

No que se refere à análise de tendências, que foram avaliadas pelo teste de mudanças graduais *Mann-Kendall* e pelos testes de mudanças abruptas *Distribution-Free CUSUM* e *Rank Sum*, os resultados são apresentados na Tabela 1 (S + significa tendência positiva significativa, enquanto NS significa tendência não significativa).

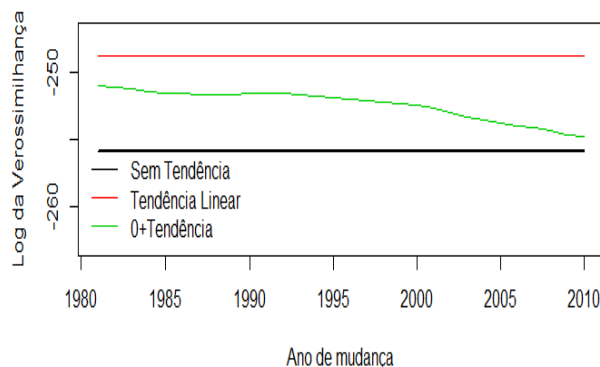
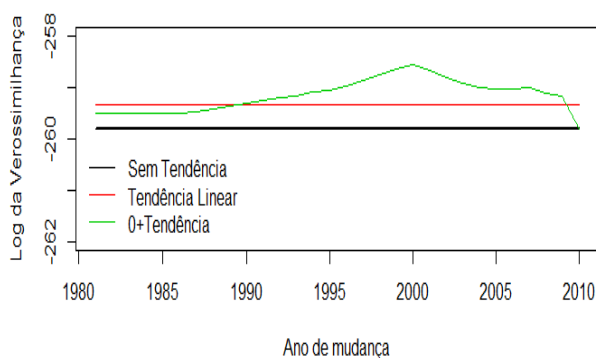
Observa-se que foram detectadas tendências positivas significativas para o teste de mudanças abruptas *Rank Sum*, que indicaram o ano de 2000 como sendo o ano de mudança de todas as séries com durações inferiores a 1 hora. Para o teste de mudanças abruptas *CUSUM* foram detectadas tendência positivas apenas para as séries com durações de 10 e 15 min, identificando ainda diferentes anos de mudança. Adicionalmente, o teste de Mann-Kendall apontou tendências positivas monotônicas para as séries com durações de 15 min a 1 hora.

Tabela 1 - Análise de tendência para as séries de precipitação subdiária

| Estação 83587 (Durações) | Mann-Kendall | CUSUM | Rank Sum |
|--------------------------|--------------|-----------|-----------|
| 10 min | NS | S+ (2011) | S+ (2000) |
| 15 min | S+ | S+ (1980) | S+ (2000) |
| 30 min | S+ | NS | S+ (2000) |
| 45 min | S+ | NS | S+ (2000) |
| 1 h | S+ | NS | S+ (2000) |
| 2 h | NS | NS | NS |
| 3 h | NS | NS | NS |
| 4 h | NS | NS | NS |
| 8 h | NS | NS | NS |
| 14 h | NS | NS | NS |
| 24 h | NS | NS | NS |

Nesse sentido, é possível concluir que a existência de tendências está associada às séries com durações inferiores a 1 hora e a tendência que é comum a todas as séries inicia-se no ano de 2000, fato que pode estar associado ao ciclo positivo indicado na Figura 4.

Dessa forma, a fim de quantificar as tendências observadas e modelar a distribuição estatística dos dados, a Figura 5 representa o log-verossimilhança dos modelos em função do ano de mudança (considerando que os modelos estacionário e linear não têm ano de mudança, os mesmos são representados com linhas horizontais). Dessa forma, a linha preta representa o modelo sem tendência, a linha vermelha a tendência linear contínua e a linha verde a tendência linear a partir de um certo ano (t_0).



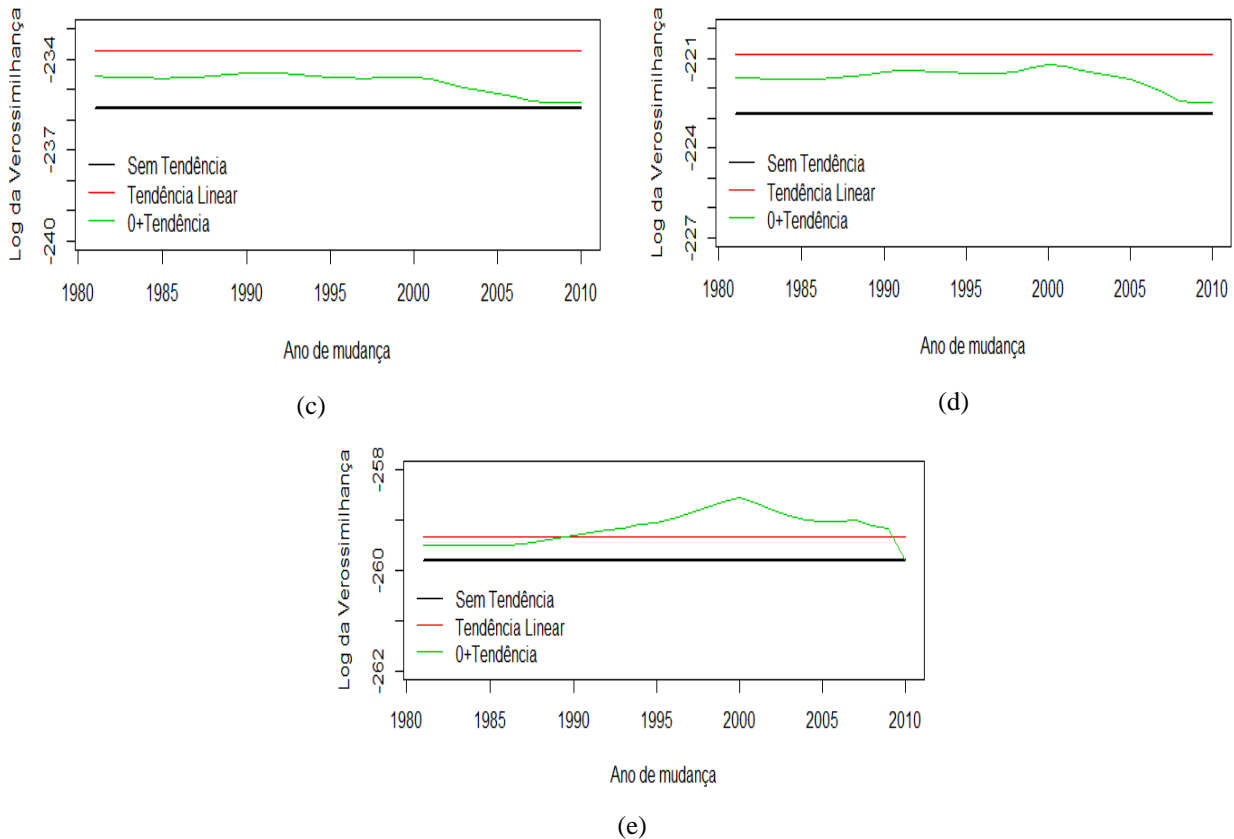


Figura 5 – Log-verossimilhança para os três modelos não-estacionários em relação ao ano de mudança para as séries de precipitações máximas com durações de 10 (a), 15 (b), 30 (c), 45 (d) e 60 (e) min

Observa-se que para as diferentes durações os modelos com tendência linear e tendência linear a partir de um certo ano (t_0) para $\mu(t)$ apresentam os melhores ajustes. Vale ressaltar que, de forma geral, o ano de 2000 representa os melhores ajustes para o modelo com tendência a partir de um certo ano. Nesse contexto, optou-se por analisar os resultados obtidos na etapa de identificação de tendências e compará-los aos resultados obtidos nesta etapa. Dessa forma, verifica-se que o modelo estacionário deve, de fato, ser desconsiderado e que o modelo que indica uma tendência a partir do ano de 2000 é o que melhor se adequa a todas as durações.

Uma vez selecionado o modelo não-estacionário com o melhor ajuste para as séries históricas, foi ainda utilizado o critério AIC, conforme descrito na metodologia, para verificar se o modelo não-estacionário selecionado, para cada série, deveria de fato ser preferido ao modelo estacionário. Foram, então, analisadas as séries de intensidades máximas anuais, para as diferentes durações, que apresentaram preferência para o modelo GEV com tendência linear para o parâmetro $\mu(t)$ a partir de 2000, considerando o critério AIC, e a magnitude destas tendências (em % de aumento).

Observou-se que as intensidades de precipitação para as diferentes durações apresentaram aumentos, a partir do ano de 2000, que variaram de 15 a 30%, caracterizando eventos pluviométricos para os quais os sistemas de drenagem da cidade podem não estar preparados, uma vez que foram

dimensionados à partir de equações IDF ajustadas para o município sob a hipótese de estacionariedade.

Nesse contexto, a próxima etapa desta pesquisa consiste na proposta de relações IDF para situações de não-estacionariedade dos dados, que se aplica nesse estudo às séries de intensidades máximas anuais de precipitação para as durações de 10, 15, 30, 45 minutos e 1 hora. Para tal, deve ser considerado o modelo GEV com os parâmetros σ (escala) e ξ (forma) constantes e o parâmetro μ (posição) variando conforme a equação 4:

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu_0, & t \leq 2000 \\ \mu_0 + \mu_1(t - 2000), & t \geq 2000 \end{cases} \quad (4)$$

Dessa forma, são apresentados na Tabela 2 os parâmetros da distribuição, que permitem o cálculo do parâmetro de posição para cada ano.

Tabela 2 - Parâmetros da distribuição GEV não estacionária ajustada

| Parâmetros | 10min | 15min | 30min | 45min | 60 min |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| μ_0 | 101,34 | 78,64 | 59,92 | 48,23 | 39,00 |
| μ_1 | 1,46 | 2,00 | 0,75 | 0,87 | 0,67 |
| σ | 23,38 | 19,71 | 14,68 | 12,79 | 9,86 |
| ξ | -0,058 | -0,098 | -0,006 | -0,191 | -0,016 |

CONCLUSÕES

Foram detectadas diferentes tendências para as durações de chuva analisadas na estação pluviográfica localizada no município de Belo Horizonte. Considerando durações iguais ou inferiores a 1 hora as tendências observadas apontam para um aumento na intensidade desses eventos, que são os mais críticos para os sistemas de drenagem urbana, a partir do ano de 2000. Para as demais durações não foram detectadas tendências significativas.

Considerando o objetivo de identificar e quantificar as tendências observadas e incorporá-las na análise de tendência, conclui-se que para as durações inferiores a 1 hora a distribuição GEV com tendência linear no parâmetro de posição - $\mu(t)$ - a partir do ano de 2000 apresenta os melhores ajustes.

Ressalta-se, então, a necessidade de revisões periódicas das equações IDF, enfatizando ainda a importância de obtenção de dados contínuos e de qualidade para se dispor de observações hidrológicas de longo prazo que auxiliem na avaliação de como a mudança da atmosfera está alterando os processos hidrológicos. A não-estacionariedade associada às séries históricas implica em revisões ainda mais importantes, uma vez que o conceito de tempo de retorno, comumente relacionado às IDF's, não é igualmente aplicável à análise não-estacionária.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, ao CNPq, à FAPEMIG e às Universidades Federais de Minas Gerais (UFMG) e Ouro Preto (UFOP) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. (1974). "A new look at the statistical model identification". *Automatic Control, IEEE Transactions on*, v. 19(6), p. 716–723.
- 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, p. 1-22.
- BENISTON, M.; STEPHENSON, D. B.; CHRISTENSEN, O. B.; FERRO, C. A. T.; FREI, C.; GOYETTE, S.; HALSNAES, K.; HOLT, T.; JYLHA, K.; et al. (2007). "Future extreme events in European climate: an exploration of regional model projections". *Climatic Change*, v. 81, p. 71-95.
- CHIEW, F.; SIRIWARDENA, L. (2005). "Trend user guide". Australia: CRC for catchment hydrology. 29 p. Disponível em: <<http://www.toolkit.net.au/tools/TREND/documentation>>. Acesso em: 11 mar 2019.
- COLES, S. (2001). "An introduction to statistical modeling of extreme values". Springer Series in Statistics. Springer-Verlag, London.
- GRAYSON, R. B.; ARGENT, R. M.; NATHAN, R. J.; MCMAHON, T. A.; MEIN, R. (1996). Hydrological Recipes. "Estimation techniques in Australian Hydrology". Australia: Cooperative Research Center for Catchment Hydrology, p. 125
- 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, p.1326 -1350.
- IAURIF. (1997). "L'eau, la ville et l'urbanisme". *Cahiers de l'IAURIF*, v. 116, 204 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Censo Demográfico 2010". Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=310620>. Acesso em 10 abr 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Cidades: Belo Horizonte, 2015". Disponível em: <Cidades: Belo Horizonte>. Acesso em: 10 abr 2019.
- KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; QUAYLE, R. G. (1996). "Indices of climate change for the United States". *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.77, n.2, p. 279-291.
- KUNDZEWICZ, Z. W.; ROBSON, A. J. (2004). "Change detection in hydrological records - a review of the methodology". *Hydrological Sciences Journal*, v. 49, n. 1, p. 7-19. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>.
- PFAFSTETTER, O. (1957). "Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas"; DNOS. 420p.
- PINHEIRO, M. M. G. e NAGHETTINI, M. (1998). "Análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n. 4, p.73-87.
- SILVEIRA, A.L.L. (1998). "Hidrologia Urbana no Brasil", in: BRAGA, B.; TUCCI, C.E.M.; TOZZI, M., Drenagem Urbana - Gerenciamento, Simulação, Controle, ABRH Publicações nº 3, Editora da Universidade, Porto Alegre.
- WILKEN, P.S. (1978). "Engenharia de drenagem superficial". São Paulo: CETESB 477p.