

ANÁLISE DE CONSTANTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVA DIÁRIA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DAIANA NIESWALD MINKS¹; TAMARA LEITZKE CALDEIRA²; MARCELLE MARTINS VARGAS¹; EVERTON PINTO DA LUZ¹; LAURA KERSTNER¹; SAMUEL BESKOW³

¹ Discente da UFPel/Engenharia Hídrica - daiana.nieswald@hotmail.com; marcellevarg@gmail.com; enghevertonluz@gmail.com; laurakers@hotmail.com;

² Discente da UFPel/PPG Recursos Hídricos - tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

³ Docente da UFPel/Engenharia Hídrica - samuelbeskow@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A hidrologia, no que se refere à gestão de enchentes e inundações, bem como à estimativa de vazões máximas de projeto e suas aplicações, é fortemente dependente da análise de chuvas intensas (CALDEIRA et al. 2015). Uma das alternativas para estimar a vazão máxima de projeto, quando não se dispõe de monitoramento na seção de controle de interesse, é o emprego de equações que relacionam Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da chuva, que comumente são ajustadas através da análise probabilística de dados pluviográficos ou pluviométricos, sendo os últimos referentes à precipitação máxima diária anual (P_{MDA}) desagregada para durações inferiores à diária.

Segundo MELLO; SILVA (2013), o emprego de séries pluviográficas é mais indicado para modelagem de chuvas intensas, visto que permitem melhor caracterizar intensidades de chuva associadas a diferentes durações. Contudo, dados desse tipo são bastante escassos no Brasil, tendo o projetista que lançar mão da técnica de desagregação de chuva diária. Dentre os métodos utilizados para desagregação de chuva diária, o Método das Relações de Durações (MRD) se destaca por ser simples e fornecer resultados satisfatórios na obtenção de alturas de chuva para diferentes durações inferiores à diária. O MRD visa estimar a lâmina de P_{MDA} através de constantes de desagregação, sendo que as desenvolvidas por CETESB (1979) são as mais empregadas no Brasil para tal finalidade.

Considerando a grande aplicabilidade no Brasil de curvas IDF obtidas pela metodologia MRD, no tocante ao dimensionamento de obras hidráulicas, torna-se relevante analisar a representatividade das constantes de desagregação na região de interesse. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência de diferentes constantes de desagregação, especificamente aquelas desenvolvidas por CETESB (1979), DAMÉ et al. (2010) e BACK et al. (2012), na estimativa de intensidades de chuva a partir de curvas IDF derivadas de dados pluviométricos, observados no estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

A análise proposta neste estudo foi fundamentada nas equações IDF desenvolvidas por DENARDIN et al. (1980), GOULART et al. (1992) e BEMFICA et al. (2000), ajustadas a partir de dados de monitoramento pluviográfico em diferentes localidades do Rio Grande do Sul.

Para desenvolver equações a partir de dados pluviométricos, nas mesmas localidades contempladas pelos referidos autores, foram empregados dados de chuva total diária, obtidos junto à Agência Nacional de Águas. Esses dados permitiram computar séries de P_{MDA} , as quais foram ajustadas às funções

densidade de probabilidades (FDP) de Gumbel, Log-Normal a 2 parâmetros (LN-2P), Generalizada de Valores Extremos (GEV), seguindo metodologia apresentada em MELLO; SILVA (2013), e Kappa a 4 parâmetros (K-4P), de HOSKING (1994). Os parâmetros das referidas FDP's foram estimados através do método dos Momentos-L, seguindo recomendações de BESKOW et al. (2015).

A análise de aderência dos modelos probabilísticos às séries de P_{MDA} foi pautada no teste de aderência de Anderson-Darling (AD) (D'AGOSTINO; STEPHENS, 1986), sob a hipótese nula de que os dados amostrais seguem a FDP testada ao nível de significância de 5%.

Após a definição da FDP mais adequada para representar cada série histórica, foram estimados os respectivos valores de P_{MDA} para diferentes Tempos de Retorno (TR). Posteriormente, aplicou-se o MRD para desagregação de precipitação diária, considerando as constantes propostas por CETESB (1979), DAMÉ et al. (2010) e BACK et al. (2012).

No ambiente do software Statistical Analysis System (SAS) foi ajustado o seguinte modelo matemático para representar a curva IDF de cada um dos três conjuntos de dados resultantes:

$$i = \frac{a \cdot TR^b}{(t+c)^d} \quad (1)$$

em que i é a intensidade de chuva (mm.h^{-1}), TR é o tempo de retorno (anos), t é a duração (min) e a , b , c e d são coeficientes ajustados para cada local.

A influência das constantes de desagregação foi analisada para diferentes cenários, sendo esses definidos para os TR's de 10, 50 e 100 anos e para as durações de 30, 60 e 360 minutos. A medida estatística empregada neste estudo foi o Erro Padrão da Estimativa (EPE), que tem sido comumente empregado em trabalhos nesta temática (GOULART et al., 1992; TEODORO et al., 2014):

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((I_{\text{pluviográficos}} - I_{\text{pluviométricos}}) / I_{\text{pluviográficos}})^2}{n}} \quad (2)$$

em que $I_{\text{pluviográficos}}$ é a intensidade de chuva (mm.h^{-1}) estimada por equações IDF derivadas de dados pluviográficos, $I_{\text{pluviométricos}}$ é a intensidade de chuva (mm.h^{-1}) estimada por equações IDF ajustadas por dados pluviométricos, sendo por constantes de CETESB (1979), DAMÉ et al. (2010) ou BACK et al. (2012) e n é o número de durações analisadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do teste de aderência para as FDP's ajustadas aos dados de P_{MDA} permitiu constatar que 5 séries foram melhor representadas pela distribuição K-4P, outras 5 se adequaram melhor à GEV, 4 à Gumbel e apenas 1 à LN-2P.

Analisando as equações IDF desenvolvidas neste estudo (Tabela 1), observa-se que existe variabilidade nos coeficientes, especialmente em relação à a e b , quando compara-se diferentes localidades e as mesmas constantes de desagregação. A variabilidade constatada dá indícios de que as intensidades de chuva são bastante divergentes ao longo do estado. Observa-se ainda que o ajuste do modelo matemático considerado resultou em valores idênticos para os coeficientes c e d , para diferentes localidades e mesmas constantes de desagregação. Para uma mesma localidade (Tabela 1), também se pode verificar um comportamento padrão, em que a , c e d apresentam valores inferiores quando estimados pelo MRD com constantes de BACK et al. (2012), enquanto que b mostrou-se invariável com as constantes de desagregação.

Tabela 1. Equações IDF ajustadas a partir de dados pluviométricos

Local	Código ANA	Melhor FDP	IDF ajustada a partir da desagregação de chuva diária empregando as constantes de		
			CETESB (1979)	DAMÉ et al. (2010)	BACK et al. (2012)
Alegrete	02955001	Kappa	$i = \frac{1231,90 \cdot TR^{0,06}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1419,80 \cdot TR^{0,06}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{902,30 \cdot TR^{0,06}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Bagé	03154001	GEV	$i = \frac{740,40 \cdot TR^{0,26}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{853,50 \cdot TR^{0,26}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{542,30 \cdot TR^{0,26}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Caxias do Sul	02951008	GEV	$i = \frac{720,80 \cdot TR^{0,17}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{830,90 \cdot TR^{0,17}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{527,90 \cdot TR^{0,17}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Cruz Alta	02853005	Kappa	$i = \frac{998,30 \cdot TR^{0,12}}{(t + 9,80)^{0,72}}$	$i = \frac{1150,70 \cdot TR^{0,12}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{731,20 \cdot TR^{0,12}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Encruzilhada do Sul	03052005	Kappa	$i = \frac{1010,50 \cdot TR^{0,11}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1164,90 \cdot TR^{0,11}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{740,20 \cdot TR^{0,11}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Iraí	02753003	Kappa	$i = \frac{1026,10 \cdot TR^{0,11}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1182,70 \cdot TR^{0,11}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{751,60 \cdot TR^{0,11}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Passo Fundo	02852020	Gumbel	$i = \frac{881,20 \cdot TR^{0,13}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1015,80 \cdot TR^{0,13}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{645,50 \cdot TR^{0,13}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Pelotas	03152014	Kappa	$i = \frac{878,50 \cdot TR^{0,12}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1012,50 \cdot TR^{0,12}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{643,50 \cdot TR^{0,12}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Porto Alegre	03051011	Gumbel	$i = \frac{765,00 \cdot TR^{0,14}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{881,70 \cdot TR^{0,14}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{560,30 \cdot TR^{0,14}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Rio Grande	03252002	GEV	$i = \frac{857,20 \cdot TR^{0,12}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{988,00 \cdot TR^{0,12}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{627,90 \cdot TR^{0,12}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Santa Maria	02953017	GEV	$i = \frac{1017,30 \cdot TR^{0,18}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1172,60 \cdot TR^{0,18}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{745,1 \cdot TR^{0,18}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Santa Vitória do Palmar	03353007	GEV	$i = \frac{729,80 \cdot TR^{0,26}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{841,30 \cdot TR^{0,26}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{534,60 \cdot TR^{0,26}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
São Luiz Gonzaga	02854011	Gumbel	$i = \frac{1014,30 \cdot TR^{0,11}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1169,10 \cdot TR^{0,11}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{742,90 \cdot TR^{0,11}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Uruguaiana	02957001	LN-2P	$i = \frac{1100,10 \cdot TR^{0,15}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1268,10 \cdot TR^{0,15}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{805,80 \cdot TR^{0,15}}{(t + 8,00)^{0,69}}$
Viamão	03050006	Gumbel	$i = \frac{870,30 \cdot TR^{0,13}}{(t + 9,79)^{0,72}}$	$i = \frac{1003,30 \cdot TR^{0,13}}{(t + 15,24)^{0,75}}$	$i = \frac{637,50 \cdot TR^{0,13}}{(t + 8,00)^{0,69}}$

Baseando-se nos valores de EPE encontrados neste estudo, verificou-se que as constantes de desagregação de DAMÉ et al. (2010) geraram resultados mais satisfatórios para o município de Pelotas. Esta constatação era esperada e pode ser atribuída ao fato de que tais constantes foram desenvolvidas a partir de uma série histórica pluviográfica da mesma localidade.

No entanto, de uma forma geral, constatou-se que as equações IDF ajustadas a partir de desagregação de chuva diária empregando as constantes de CETESB (1979) resultaram em valores médios de EPE inferiores para 60,8% dos cenários, seguido pelas constantes de BACK et al. (2012) e de DAMÉ et al. (2010), que culminaram em melhores ajustes para 31,4% e 14,30%, respectivamente. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que as constantes de CETESB (1979) foram desenvolvidas com base em uma quantidade superior de postos pluviográficos quando comparadas às constantes de DAMÉ et al. (2010) e BACK et al. (2012). Além disso, 14 das 98 estações pluviográficas empregadas no estudo de CETESB (1979) estavam localizadas no estado do Rio Grande do Sul, podendo, por esse motivo, terem sido mais representativas.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que: i) os coeficientes a e b das equações IDF ajustadas com base em dados pluviométricos apresentaram variação substancial entre as localidades, para o mesmo conjunto de constantes de desagregação; ii) as constantes de desagregação influenciaram no ajuste dos coeficientes das curvas IDF, visto que esses apresentaram valores variáveis de a , c e d para uma mesma localidade; iii) de uma forma geral, as constantes da CETESB (1979) resultaram em intensidades de chuva, para diferentes cenários, mais próximas daquelas obtidas através das equações IDF ajustadas por dados pluviográficos;

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACK, A.J.; OLIVEIRA, J.L.R.; HEN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação de chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p. 391 – 398, 2012.
- BEMFICA, D.C.; GOLDENF/UM, J.A.; SILVEIRA, A.L.L. da. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.4 p. 5-16, 2000.
- BESKOW, S.; CALDEIRA, T.L.; MELLO, C.R. de; FARIA, L.C.; GUEDES, H.A.S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.4, p.123-133, 2015.
- CALDEIRA, T.L.; BESKOW, S.; MELLO, C.R. de; FARIA, L. C.; SOUZA, M.R. de; GUEDES, H.A.S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p. 197-203, 2015.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem Urbana – Manual de Projeto**. CETESB São Paulo – SP, 464 p, 1979.
- DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S.; ROSSKOFF, J.L. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p. 46-54, 2010.
- D'AGOSTINO, R.B.; STEPHENS, M. A. **Goodness-of-fit Thechnniques**. Marcel Dekker New York – USA, 1986.
- DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L.; WÜNSCHE, W.A.; WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil. Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1980.
- GOULART, J.P.; MAESTRINI, A.P.; NEBEL, A.L. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7, p. 543-552, 1992.
- HOSKING, J.R.M. The four-parameter Kappa distribution. **IBM Journal of Research and Development**, v. 38, n.3, 1994.
- MELLO, C.R.M.; SILVA, A.M. Hidrologia: **Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. UFLA Lavras – MG, 455 p, 2013.
- TEODORO, P.E.; NEIVOCK, M.P.; MARQUES, J.R.F.; FLORES, A.M.F.; RODRIGUES, C.C.B. (2014). Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana, MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil** v.9, n.2, p. 1-9, 2014.