

## MODELAGEM DE CHUVAS INTENSAS NO RIO GRANDE DO SUL: UMA ABORDAGEM COM DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE MULTIPARÂMETROS

ZANDRA ALMEIDA DA CUNHA<sup>1</sup>; TAMARA LEITZKE CALDEIRA<sup>2</sup>; CARLOS ROGÉRIO DE MELLO<sup>3</sup>; DIEGO SEBASTIAN RICCI MORTEO<sup>1</sup>; HUGO ALEXANDRE SOARES GUEDES<sup>4</sup>; SAMUEL BESKOW<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente da UFPel/Engenharia Hídrica – [zcunha.enghidrica@gmail.com](mailto:zcunha.enghidrica@gmail.com); [diegorcp7@hotmail.com](mailto:diegorcp7@hotmail.com)

<sup>2</sup>Discente da UFPel/PPG Recursos Hídricos – [tamaraleitzkecaldeira@gmail.com](mailto:tamaraleitzkecaldeira@gmail.com)

<sup>3</sup>Docente da UFLA/Departamento de Engenharia – [crmello@deg.ufla.edu.br](mailto:crmello@deg.ufla.edu.br)

<sup>4</sup>Docente da UFPel/Centro de Engenharias – [hugo.hydro@gmail.com](mailto:hugo.hydro@gmail.com)

<sup>5</sup>Docente da UFPel/Engenharia Hídrica – [samuelbeskow@gmail.com](mailto:samuelbeskow@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento hidro-climático em bacias hidrográficas possibilita o registro da variabilidade temporal da precipitação e, por conseguinte, a modelagem probabilística de valores extremos, vinculados a chuvas intensas, associados a uma frequência de ocorrência. Para a modelagem de chuvas intensas são empregados dados pluviométricos ou pluviográficos, sendo estes últimos os mais indicados, pois permitem a determinação das intensidades de precipitação associadas a diferentes durações. No entanto, frente à carência destes dados, trabalhos científicos no Brasil têm comumente aplicado dados pluviométricos por meio de séries de precipitação máxima diária anual ( $P_{MDA}$ ) (FRANCO et al. 2014; CALDEIRA et al. 2015; BESKOW et al. 2015).

Existem inúmeros modelos probabilísticos aplicados a variáveis aleatórias contínuas, como a  $P_{MDA}$ . Estudos conduzidos no Brasil geralmente empregam modelos mais simplificados, como a distribuição Log-Normal a 2 e 3 parâmetros, e a de Gumbel (CALDEIRA et al. 2015). No entanto, diversos estudos associados a chuvas intensas têm buscado também avaliar outras distribuições de probabilidade, como a Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Kappa a 4 parâmetros (K-P4) (BLAIN; MESCHIATTI 2014; BESKOW et al. 2015).

Contudo, a variável aleatória contínua pode ser representada por mais de um modelo probabilístico. A escolha do melhor modelo é realizada por testes não paramétricos visando à verificação de aderência pela comparação entre as frequências observadas e teóricas. Em hidrologia, destacam-se os testes de Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Filliben e Anderson-Darling (AD), empregados por FRANCO et al. (2014), BESKOW et al. (2015) e outros.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de distribuições de probabilidades multiparâmetros frente àquelas comumente empregadas em estudos hidrológicos, visando à modelagem de chuvas intensas no estado do Rio Grande do Sul.

### 2. METODOLOGIA

Os dados aplicados neste estudo foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA), através da plataforma HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas, e correspondem a 342 séries históricas de precipitação diária de postos pluviométricos do estado do Rio Grande do Sul.

Estes dados diários permitiram computar séries de  $P_{MDA}$ , as quais foram ajustadas às distribuições de probabilidades Gumbel, Log-Normal a dois parâmetros (LN-2P), GEV, utilizando a metodologia apresentada em MELLO; SILVA (2013) e K-4P (HOSKING, 1994).

A estimativa dos parâmetros das distribuições de probabilidade foi realizada através do método dos Momentos-L, o qual, segundo PARIDA (1999), gera estimativas mais confiáveis, principalmente para pequenas amostras, como aquelas empregadas em hidrologia, além de ser mais robusto, visto que não é influenciado por valores atípicos. A metodologia para o cálculo dos Momentos-L amostrais, bem como para a estimativa dos parâmetros das distribuições GEV e K-P4, seguiu o prescrito no algoritmo desenvolvido por HOSKING (2005). Em relação aos parâmetros das distribuições Gumbel e LN-2P, estes foram estimados seguindo a metodologia descrita em MELLO; SILVA (2013).

A adequação dos modelos probabilísticos às séries de precipitação máxima diária anual foi verificada pelo teste AD sob a hipótese  $H_0$  de que os dados amostrais seguem a distribuição de probabilidades testada ao nível de significância de 5%. O referido teste foi escolhido por atribuir maior peso as caudas das distribuições, conforme relatado por FRANCO et al. (2014), e por ser mais robusto para análise de chuvas intensas (BEN-ZVI, 2009).

A fim de analisar a influência da seleção da distribuição de probabilidades sobre a estimativa da chuva máxima diária anual associada a diferentes tempos de retorno, calculou-se o erro relativo absoluto (ERA) que ocorre quando da estimativa de um quantil através de um modelo probabilístico, em relação ao mesmo quantil estimado pelo modelo que teve o ajuste mais satisfatório.

Foi empregado, em todas as etapas deste estudo, o módulo de modelagem probabilística de séries hidrológicas do software “System of Hydrological Data Acquisition and Analysis” (SYHDA) (BESKOW et al. 2013) que vem sendo desenvolvido no Laboratório de Hidrologia e Modelagem Hidrológica do curso de Graduação em Engenharia Hídrica e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, na Universidade Federal de Pelotas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do teste AD permitiu constatar que, considerando o nível de significância de 5%, a GEV apresentou ajuste satisfatório para 97,08% das séries, enquanto a LN-2P ajustou-se à 88,60%, a Gumbel à 86,55% e a K-4P à 76,90%. Embora seja expressivo o número de séries históricas não adequadas ao modelo probabilístico K-4P, quando o cenário comparativo entre as 4 distribuições foi traçado (Figura 1), constatou-se que este apresentou o ajuste mais satisfatório em 48,24% das verificações, seguido da distribuição GEV, com 36,84% dos menores valores de AD calculados. As distribuições de probabilidade Gumbel e LN-2P apresentaram melhores ajustes apenas em 27 e 17 postos pluviométricos analisados, respectivamente.

Os resultados encontrados neste estudo contrastam com a literatura brasileira acerca de distribuições de probabilidades para séries hidrológicas assintóticas, onde frequentemente emprega-se a distribuição de Gumbel, com parâmetros estimados pelo método dos Momentos e aderência verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. De acordo com BACK (2001), muitos autores assumem a hipótese de que os dados analisados seguem a distribuição de Gumbel sem testá-la ou verificar se outra distribuição gera melhores ajustes.

A análise da influência da seleção da distribuição de probabilidades sobre a estimativa da chuva máxima diária anual associada a diferentes tempos de

retorno permitiu constatar que as séries que melhor se ajustaram a K-4P, ao serem ajustadas as distribuições de Gumbel e LN-2P, tendem, em média, a sub ou superestimar a  $P_{MDA}$  em aproximadamente 11%, quando se associa o tempo de retorno de 100 anos. Destacam-se, também, os expressivos valores de ERA máximos produzidos pela LN-2P, quando da comparação entre os quantis estimados pela K-4P, estando estes associados a uma série de dados que não foi adequada, segundo o teste de AD ao nível de significância de 5%, à distribuição LN-2P.

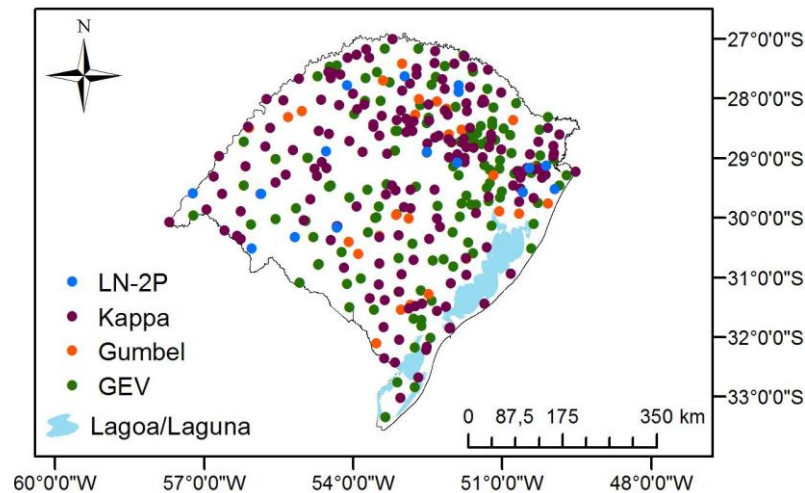


Figura 1. Distribuição de probabilidades mais adequada para cada posto pluviométrico analisado

Os resultados apresentados neste trabalho dão indícios do quão importante é o ajustamento de diversos modelos teóricos de probabilidade, desde os mais simplificados até os multiparâmetros, de modo a buscar aquele que melhor represente a distribuição de frequência dos dados amostrais. Além disso, o emprego de testes de aderência robustos para séries de dados assintóticas evidencia que deve ser analisado, com cautela, o ajustamento dos modelos probabilísticos.

Quando os quantis são estimados por um dado modelo probabilístico, sendo que este não é o mais adequado à série de dados, e posteriormente empregados no ajustamento de equações intensidade-duração-frequência, por exemplo, acarretam em uma soma de erros que advém da má escolha da distribuição de probabilidades e são acrescidos dos erros intrínsecos à metodologia utilizada. Estes fatores podem implicar em estimativas com erros consideráveis da chuva de projeto, refletindo na estrutura hidráulica dimensionada, ocasionando prejuízos financeiros e riscos à vida humana.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste estudo pode-se concluir que as distribuições de probabilidade K-4P, GEV, LN-2P e Gumbel, com parâmetros estimados pelo método dos Momentos-L, foram adequadas para a modelagem de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul, no entanto, K-4P apresentou ajustes mais satisfatórios, seguida da distribuição GEV.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACK, A.J., Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 16 (2). 211-222, 2001.
- BACK, A.J., HEN, A., OLIVEIRA, J.L. R., Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 2127-2134, 2011.
- BEN-ZVI, A. Rainfall intensity-duration-frequency relationships derived from large partial duration series. **Journal of Hydrology**, 367, 104-114, 2009.
- BESKOW, S., CORREA, L.L., MAHL, M., SIMÕES, M.C., CALDEIRA, T.L., NUNES, G.S., HUND, E.L., FARIA, L.C., MELLO, C.R., Desenvolvimento de um sistema computacional de aquisição e análise de dados hidrológicos. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves 17-22, Novembro 2013.
- BESKOW, S.; CALDEIRA, T.L.; MELLO, C.R.; FARIA, L.C.; GUEDES, H.A.S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 4B, 123-133, 2015.
- BLAIN, G. C., MESCHIATTI, M. C., Using multi-parameters distributions to assess the probability of occurrence of extreme rainfall data. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18 (3), 307-313, 2014.
- CALDEIRA, T. L., BESKOW, S., MELLO, C. R., FARIA, L. C., SOUZA, M. R., GUEDES, H. A. S. Modelagem probabilística de eventos extremos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19 (3), 197-203, 2015.
- FRANCO, C.S., MARQUES, R.F.P.V., OLIVEIRA, A.S., OLIVEIRA, L.F.C., Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18 (7), 735-741, 2014.
- HOSKING, J. R. M., The four-parameter Kappa distribution. **IBM Journal of Research and Development**, 38 (3), 251-258, 1994.
- HOSKING, J. R. M., FORTRAN Routines for Use With the Method of L-moments. Version 3.04. Rep. No. RC 20525 (90933). IBM Research Division, T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, 2005.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M., Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. UFLA, Lavras. 2013.
- PARIDA, B. P., Modelling of Indian Summer monsoon rainfall using a four-parameter Kappa distribution. **International Journal of Climatology**, 19, 1389-1398, 1999.
- RAHMAN, M. M., SARKAR, S., NAJAFI, M. R., RAI, R. K., Regional extreme rainfall mapping for Bangladesh using L- moment technique. **Journal of Hydrologic Engineering**, 18,603-615, 2013.
- SANSIGOLO, C. A., Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, 23 (3), 341-346, 2008.
- SANTOS, G. G., FIGUEIREDO, C. C., OLIVEIRA, L. F. C., GRIEBELER, N. P., Intensidade- duração- frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13 (Suppl.), 899-905, 2009.