



## ANÁLISE REGIONAL DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS: UMA AVALIAÇÃO COM BASE NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO GRANDE DO SUL

FELÍCIO CASSALHO<sup>1</sup>; LEROI FLORIANO DE OLIVEIRA<sup>2</sup>; MAÍRA MARTIM DE  
MOURA<sup>3</sup>; MARILTON SANCHOTENE DE AGUIAR<sup>4</sup>; SAMUEL BESKOW<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente UFPel/Engenharia Hídrica – felicioufpel@gmail.com

<sup>2</sup>Discente UFPel/PPG Computação – leroioliveira@gmail.com

<sup>3</sup>Discente UFPel/PPG Recursos Hídricos – martimdemoura@gmail.com

<sup>4</sup>Docente UFPel/Ciência da Computação – marilton@inf.ufpel.edu.br

<sup>5</sup>Docente UFPel/Engenharia Hídrica – samuelbeskow@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

Dentre os desastres naturais, a cheia é considerada um dos mais devastadores (RAHMAN et al., 2013). Isso se dá pelo fato das cheias ocorrerem de maneira inevitável, em com uma dada magnitude e frequência (tempo de retorno TR), em todos os cursos d'água (HUSSAIN; PASHA, 2009). Além de sua importância na remediação de desastres naturais, estimativas adequadas da vazão de projeto (i.e. magnitude e frequência do evento de vazão extrema) são de suma importância em projetos de engenharia de recursos hídricos (e.g. pontes, barragens, bueiros, vertedouros, etc.) (ABIDA; ELLOUZE, 2008).

Entretanto, a precisão das estimativas da vazão de projeto é diretamente dependente do tamanho e da densidade de séries históricas. O Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, carece de monitoramento de vazões (BESKOW et al., 2013). Dessa forma, métodos indiretos para a estimativa da vazão de projeto se fazem necessários, dentre eles, os baseados em conceitos da hidrologia estatística, que se destacam por poderem ser usados em locais monitorados, a fim de melhorar as séries históricas existentes, e em locais sem monitoramento, gerando estimativas da vazão de projeto (MALEKINEZHAD et al., 2011; AYDOGAN et al., 2016).

No Brasil, estudos regionais da frequência de cheias são tradicionalmente realizados com base nos métodos de regionalização dos Valores Seleccionados, dos Parâmetros e da Curva Adimensional, apresentados por TUCCI (2002). Entretanto, a nível internacional, métodos mais robustos, como o do Index-flood baseado no método dos momentos-L, conforme proposto por HOSKING; WALLIS (1997), tem ganhado destaque. Aplicações bem sucedidas desse método são encontradas na Europa (AYDOGAN et al., 2016), Ásia (MALEKINEZHAD et al., 2011) e África (ABIDA; ELLOUZE, 2008). Após uma revisão literária detalhada, nenhum estudo afim foi encontrado para a América do Sul. Um dos maiores desafios da análise regional de frequência de cheias está na determinação de regiões hidrologicamente homogêneas (MALEKINEZHAD et al., 2011). HOSKING; WALLIS (1997) dividem as abordagens para delineamento de regiões em: i) conveniência geográfica, ii) particionamento subjetivo e iii) objetivo, iv) análise de clusters e v) multivariada.

Nesse contexto, o objetivo geral do presente estudo é avaliar o potencial do método do Index-flood, baseado no método dos momentos-L, para a análise regional de frequência de cheias, considerando as regiões hidrológicas propostas pela Agência Nacional de Águas (ANA) para o Estado do Rio Grande do Sul.

### 2. METODOLOGIA

De acordo com HOSKING; WALLIS (1997), o método da Index-flood pode ser organizado em quatro etapas: i) triagem inicial dos dados, ii) verificação do

critério de homogeneidade, iii) identificação da FDP de melhor ajuste regional e iv) estimativa dos parâmetros da distribuição.

Foram usadas as mesmas 113 séries históricas de vazão máxima diária anual usadas por CASSALHO et al. (2017). Estas séries comprovadamente estacionárias em termos de tendências monotônicas segundo o teste não paramétrico de Mann-Kendall, com extensão de, no mínimo, 10 anos, foram submetidas à medida  $D_i$ , utilizada para identificação de séries discordantes.

$$D_i = \frac{1}{3} N(\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \mathbf{A}^{-1}(\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}}) \quad (1)$$

Em que,  $D_i$  é a medida de discordância para a série  $i$ ,  $N$  é o número total de series em uma região,  $\mathbf{u}_i$  é o vetor formado dos coeficientes de variação amostral  $L$ , junto dos coeficientes de simetria e curtose  $L$ ,  $T$  indica a transposição do vetor ou matriz e  $\mathbf{A}$  é a matriz da soma dos quadrados e produtos cruzados.

Segundo a ANA, o Estado do Rio Grande do Sul é dividido nas bacias: Pelotas, Uruguai e do Peixe, Uruguai e Chapecó, Uruguai e da Várzea, Uruguai e Ijuí, Uruguai e Ibicuí, Uruguai e Quaraí, Uruguai e Negro, Jacuí, Taquari, dos Patos e Mirim, com códigos, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 85, 86, 87 e 88, respectivamente. Essas bacias foram submetidas à medida de heterogeneidade  $H$  (Equação 2), proposta por HOSKING; WALLIS (1997). Vale destacar que a identificação da região hidrológicamente homogênea é o procedimento mais importante da Análise Regional de Frequência de Cheia e, por esse motivo, merece maior atenção (HUSSAIN; PASHA, 2009).

$$H = \frac{(V - \mu_V)}{\sigma_V} \quad (2)$$

Em que,  $\mu_V$  e  $\sigma_V$  são média e o desvio padrão das  $N_{sim}$  simulações para uma região constituída de  $N$  séries históricas e  $V$  é o desvio padrão do coeficiente de variação  $L$  ponderado pelo tamanho das séries históricas.

No ajuste da FDP regional foram consideradas as distribuições de 3 parâmetros Generalized Logistic (GLO), Generalized Extreme Values (GEV), Peason tipo 3 (PE3) e Generalized Pareto (GPA). A distribuição de melhor ajuste foi obtida com base na medida de aderência regional  $Z^{DIST}$ :

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4)}{\sigma_4} \quad (3)$$

Em que,  $\tau_4^{DIST}$  é a curtose-L da distribuição em análise,  $t_4^R$  é a curtose amostral  $L$  e  $\sigma_4$  e  $B_4$  são o desvio padrão e o viés de  $t_4^R$ , após  $N$  simulações.

Por fim, a estimativa da vazão de projeto, segundo o método do Index-flood, com base em regiões hidrológicamente homogêneas e definida a partir da FDP de melhor ajuste, pode ser descrita conforme a Equação 4, na qual,  $\hat{Q}_i(F)$  resulta na vazão de projeto associada a uma frequência de não-excedência  $F$  ou ( $F = 1 - 1/TR$ ), para o local  $i$ ,  $\hat{\mu}_i$  é a função responsável em redimensionar os valores de vazão utilizados na construção da função quantil regional  $\hat{q}(F)$ .

$$\hat{Q}_i(F) = \hat{\mu}_i \hat{q}(F) \quad (4)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as regiões hidrológicas definidas pela ANA. A delimitação de uma região hidrológica seja feita a partir de critérios de conveniência geográfica (e.g. regiões hidrológicas da ANA) ou critérios mais complexos (particionamento subjetivo, particionamento objetivo, análise de clusters ou métodos multivariados), nunca é final. Dessa forma, HOSKING; WALLIS (1997) sugerem alternativas para séries identificadas como discordantes ou para regiões hidrológicamente heterogêneas ( $H > 2$ ): i) mover séries entre

regiões, ii) excluir séries da análise, iii) subdividir regiões, iv) unir regiões, v) redefinir grupos e vi) adicionar mais séries. Para facilitar o processamento computacional visando atender o critério de homogeneidade ( $H < 2$ ), um programa computacional em linguagem Python foi desenvolvido de forma que, a cada iteração, as séries discordantes fossem removidas.

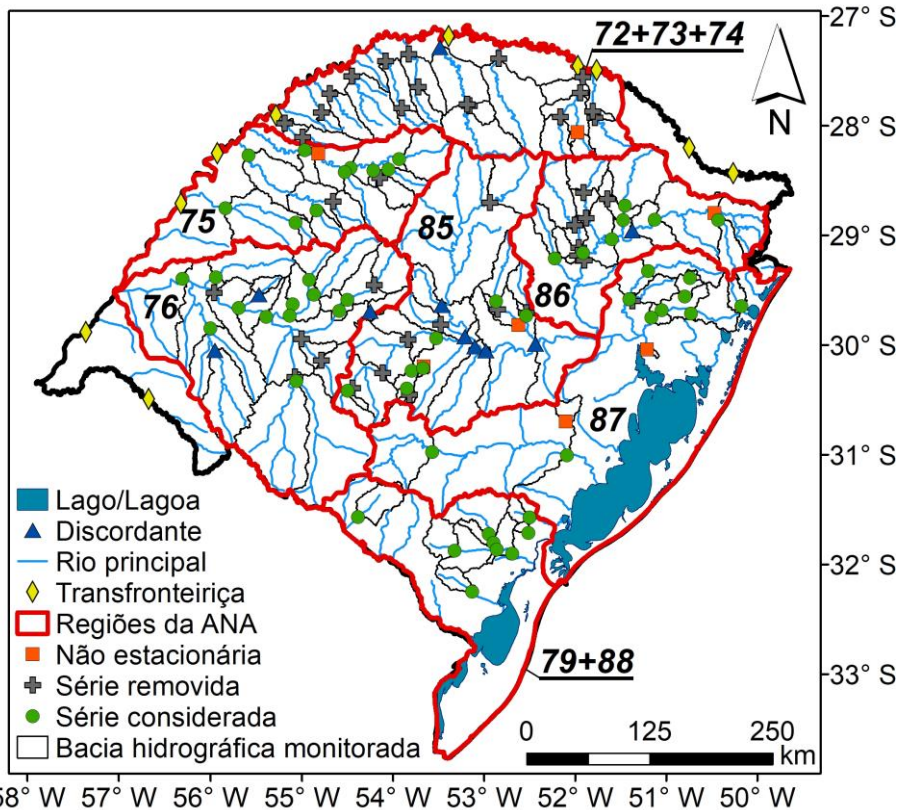


Figura 1 - Séries utilizadas no presente estudo aplicado em bacias hidrográficas situadas no Rio Grande do Sul

As regiões hidrologicamente homogêneas foram ajustadas às FDPs. A FDP de melhor ajuste, segundo a medida  $Z^{DIST}$ , teve seus parâmetros regionais estimados seguindo recomendação de HOSKING; WALLIS (1997). Equações de regressão baseadas em características fisiográficas das bacias analisadas, responsáveis pela redimensionalização das funções quantil regionais, foram desenvolvidas e tiveram o Coeficiente de Determinação  $R_i^2$  e Nash-Sutcliffe  $NSE$  calculados (Tabela 1). Com base na Tabela 1 é possível afirmar que as equações de regressão apresentam resultados ótimos para as estatísticas de precisão.

Tabela 1 - Características regionais das regiões hidrográficas definidas pela ANA

Região	N	H	$Z^{DIST}$	Parâmetros Regionais			$\hat{\mu}_i$	$R_i^2$	NSE
72+73+74	7	5,08	-	-	-	-	-	-	-
75	11	0,96	GLO	$\xi = 0,93$	$\alpha = 0,22$	$k = -0,19$	$6,53 A^{0,59}$	0,57	0,81
76	11	0,66	GEV	$\xi = 0,80$	$\alpha = 0,40$	$k = 0,10$	$8,99 A^{0,57}$	0,83	0,93
85	7	0,67	-	-	-	-	-	-	-
86	7	1,55	PE3	$\mu = 1,00$	$\sigma = 0,52$	$\gamma = 1,03$	$4,26 A^{0,71}$	0,82	0,81
87	10	1,82	GEV	$\xi = 0,86$	$\alpha = 0,38$	$k = 0,24$	$0,85 L^{1,38}$	0,96	0,97
79+88	9	1,23	GEV	$\xi = 0,81$	$\alpha = 0,45$	$k = 0,19$	$1,48 A^{0,84}$	0,89	0,95

Para fins práticos, a vazão de projeto para diferentes TRs pode ser estimada para qualquer local de uma das regiões comprovadamente



hidrológicamente homogêneas aplicando a Equação 4, a partir da qual, a vazão de projeto se dá pelo produto da função quantil regional de melhor ajuste  $\hat{q}(F)$ , considerando os parâmetros apresentados na Tabela 1, e a equação de regressão  $\hat{\mu}_i$ . As funções quantil GLO e GEV são apresentadas nas equações 5 e 6, respectivamente, enquanto a PE3 não possui função quantil matematicamente definida (ver HOSKING; WALLIS, 1997):

$$x^R(F) = \xi^R + \frac{\alpha^R}{k^R} \left\{ 1 - \left[ \frac{(1-F)}{F} \right]^{k^R} \right\} \quad (5)$$

$$x^R(F) = \xi^R + \frac{\alpha^R}{k^R} \left[ 1 - (-\log F)^{k^R} \right] \quad (6)$$

#### 4. CONCLUSÕES

O presente estudo se destaca por ser, provavelmente, a primeira Análise Regional de Frequência de Cheias baseada no método do Index-flood e nos momentos-L na América do Sul. A partir desse método foi possível identificar que 5 do total de 7 regiões do Estado do Rio Grande do Sul atendem os critérios de homogeneidade e, portanto, puderam ser modeladas estatisticamente. Além disso, foi identificado que a área e o comprimento do curso d'água principal são as características fisiográficas que melhor descrevem o comportamento das vazões máximas no Estado. O produto final deste estudo é de grande importância para gestão e engenharia dos recursos hídricos, visto a sua robustez metodológica e facilidade de aplicação para estimativa de vazões de projetos atreladas a diferentes tempos de retorno. Em busca de melhores agrupamentos, estudos futuros podem fazer uso de técnicas mais robustas para o delineamento de regiões hidrológicamente homogêneas (e.g. análise de clusters) em contraponto aos critérios de conveniência geográfica adotados no presente estudo.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIDA, H.; ELLOUZE, M. Probability distribution of flood flows in Tunisia. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.12, p.703-714, 2008.
- AYDOGAN, D.; KANKAL, M.; ONSOY, H. Regional flood frequency analysis for Çoruh Basin of Turkey with L-moments approach. **Journal of Flood Risk Management**, v.9, p.69-86, 2016.
- BESKOW, S.; NORTON, L.D.; MELLO, C.R. Hydrological prediction in a tropical watershed dominated by Oxisols using a distributed hydrological model. **Water Resources Management**, v.27, p.341-363, 2013.
- CASSALHO, F; BESKOW, S.; MELLO, C.R.; MOURA, M.M.; KERSTNER, L.; ÁVILA, L.F. At-site flood frequency analysis coupled with multiparameter probability distributions. **Water Resources Management**, doi: 10.1007/s11269-017-1810-7.
- HOSKING, J.R.M.; WALLIS, J.R. **Regional frequency analysis: an approach based on L-moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- HUSSAIN, Z.; PASHA, G.R. Regional flood frequency analysis of the seven sites of Punjab, Pakistan, using L-moments. **Water Resources Management**, v.23, n.10, p.1917-1933, 2009.
- MALEKINEZHAD, H.; NACHTNEBEL, H.P.; KLIK, A. Regionalization approach for extreme flood analysis using L-moments. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.13, p.1183-1196, 2011.
- RAHMAN, A.S.; RAHMAN, A.; ZAMAN, M.A.; HADDAD, K.; AHSAN, A.; IMTEAZ, M. A study on selection of probability distributions for at-site flood frequency analysis in Australia. **Natural Hazards**, v.69, v.3, p.1803-1813, 2013.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2002. 4v.