

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DE ENCHENTE NA BACIA HIDROGRÁFICA MIRIM-SÃO GONÇALO: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA E METODOLÓGICA

FELÍCIO CASSALHO¹; MARCELLE MARTINS VARGAS²; MAÍRA MARTIM DE MOURA³; LEO FERNANDES AVILA⁴; SAMUEL BESKOW⁵

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

²Discente UFPel/Engenharia Hídrica – marcellevarg@gmail.com

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

⁴Bolsista de Pós-Doutorado da CAPES na UFPel/PPG Recursos Hídricos – avilalf@gmail.com

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

1. INTRODUÇÃO

Estimativas adequadas das vazões de enchente, associadas a tempos de retorno pré-definidos, são necessárias para o projeto de obras de engenharia hídrica, tais como pontes, barragens e vertedouros, bem como para a gestão de cheias em bacias hidrográficas. Valores superestimados de vazão máxima podem elevar os custos de construção; por outro lado, subestimativas de tais valores podem resultar no mau dimensionamento de estruturas hidráulicas (GREHYS, 1996). Dados de vazão são geralmente obtidos, a partir do monitoramento fluviométrico na seção de interesse. Entretanto, a baixa densidade de estações fluviométricas em operação no país, associada à baixa cobertura temporal, especialmente em bacias hidrográficas de pequeno e médio porte, dificultam as análises, levando à utilização de métodos para a estimativa de variáveis hidrológicas (BESKOW et al., 2014). Nesse contexto, a regionalização é uma alternativa para minimizar limitações impostas pela carência ou ausência de informações de vazão na seção de controle de interesse para estudos de vazões de enchente.

A regionalização hidrológica é tradicionalmente descrita como um método para obtenção de estimativas da variável hidrológica de interesse, para regiões onde a série histórica é inexistente ou com extensão inadequada. Esta estimativa é feita com base em uma função regional, a qual é dependente de pelo menos uma variável explicativa (TUCCI, 2002). As funções regionais, as quais devem ser aplicadas a áreas hidrológicamente homogêneas, podem ser utilizadas tanto em seções monitoradas, a fim de agregar informações, quanto em locais não monitorados, para a estimativa de eventos extremos como, por exemplo, vazão de projeto (BURN, 1997).

O objetivo deste estudo foi desenvolver uma ferramenta *via* função regional para estimativa de vazões de enchente na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo e avaliar sua capacidade preditiva com vistas à gestão de cheias na região, sendo a metodologia proposta pautada em critérios técnico-científicos considerados do estado-da-arte.

2. METODOLOGIA

Das 85 estações fluviométricas disponíveis no portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) para a otobacia 88, correspondente à bacia Mirim – São Gonçalo, apenas 7 apresentavam dados que atendiam as demandas deste estudo. Para estas séries foi aplicado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (MK) no intuito de verificar a existência de tendências nas séries. A fim de verificar

se a região estudada é hidrológicamente homogênea, foi empregado o teste de heterogeneidade regional pelo teste H, que leva em conta a magnitude dos momentos-L das amostras em relação ao que é esperado para uma região verdadeiramente homogênea (HOSKING; WALLIS, 1993).

Os modelos probabilísticos Normal, Log-Normal com 2 parâmetros (LN-2P), Gumbel para Máximos, Gama, Kappa e Generalized Extreme-Value (GEV) foram ajustados para as séries históricas de vazões máximas. Devido à sua simplicidade, o método dos momentos ainda é amplamente utilizado no cálculo dos parâmetros dos modelos probabilísticos. Entretanto, o método muitas vezes não é satisfatório, especialmente para séries muito curtas e para distribuições de probabilidade com três ou mais parâmetros, o que resulta em estimativas imprecisas dos parâmetros das distribuições de probabilidade (VIVEKANANDAN, 2015). Logo, os parâmetros dos modelos probabilísticos supracitados foram obtidos através do método dos momentos L, o qual possui melhores propriedades estatísticas e resulta em melhor eficácia dos estimadores (KUMAR et al., 2003). Por se tratar de uma série de eventos extremos, faz-se necessário o melhor ajuste nas caudas da distribuição. Assim, o teste de aderência de Anderson-Darling (AD), mais indicado por atribuir maior peso aos extremos das funções acumulativas de probabilidades (HEO et al., 2013), foi usado neste estudo para avaliar o desempenho dos modelos probabilísticos. As análises acima descritas foram realizadas com o auxílio do software “System of Hydrological Data Acquisition and Analysis” (SYHDA).

A curva regional foi determinada segundo o método da curva adimensional. Os valores de Q/Q_{mc} correspondem à série adimensionalizada em função das vazões médias de enchente (Q_{mc}). Q_{mc} , por sua vez, é determinada a partir de uma equação de regressão, relacionando esta com variáveis explicativas, e.g. área, precipitação média anual, comprimento e declividade do talvegue, densidade de drenagem, etc. (TUCCI, 2002). A Equação 1, proposta por TUCCI (2002), representa a função avaliada para expressar a curva adimensional. A função possui parâmetros de ajuste a , b , a' e b' , A é a área (km^2) e TR é o tempo de retorno (anos).

$$Q_R = \frac{Q}{Q_{mc}} \cdot Q_{mc} = [a \cdot \ln(TR) + b] \cdot (a' \cdot A^{b'}) \quad (1)$$

A fim de verificar a capacidade preditiva da função regional gerada, foi realizada a validação cruzada pelo método “leave-one-out”, conforme proposto por CASTELLARIN (2007). Para correlacionar os valores observados, dados pela estimativa dos quantis, com os estimados, obtidos no processo de validação cruzada, foi utilizado o teste de desempenho “c”, onde a precisão é obtida pela correlação “r” e a exatidão pelo índice de Willmott “d” (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à baixa quantidade de estações analisadas e resolução temporal dos dados, foram utilizados períodos com falhas de até 31 dias durante cada ano, resultando em séries que variam entre 9 a 47 anos. As 7 estações consideradas (Figura 1) apresentaram comportamento sem a existência de tendências, segundo o teste de Mann-Kendall, para um nível de significância de 5% (Tabela 1).

A região estudada (Figura 1) pode ser considerada homogênea, visto que para a série de vazões médias anuais o teste H obtido foi de $H = 0,02$ ($H < 1$), devido à baixa dispersão entre os quocientes de momentos-L das estações monitoradas (HOSKING; WALLIS, 1993).

Como pode ser verificado na Tabela 1, o modelo GEV foi o que melhor se ajustou para a maioria dos postos analisados. A boa aplicabilidade do modelo GEV, de parâmetros de forma (κ), de escala (α), e de posição (β), também foi observada por SECKIN ET AL. (2011) quando da análise das vazões máximas na Turquia, onde o modelo se ajustou a 498 das 543 estações fluviométricas consideradas.

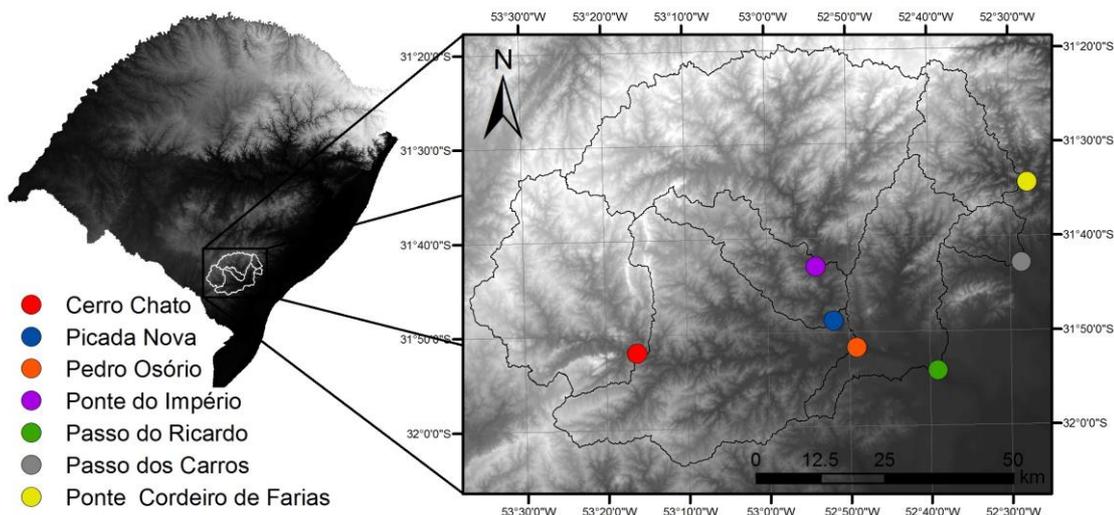


Figura 1. Sub-bacias hidrográficas da bacia Mirim-São Gonçalo avaliadas neste estudo.

Tabela 1.- Sub-bacias hidrográficas consideradas, caracterização e estatísticas das séries históricas

Estação	Área (km ²)	Anos*	MK**	Modelo Prob.***	AD
Cerro Chato	1047,6	27	0,93	Kappa	0,21
Picada Nova	2238,5	9	0,07	Normal	0,45
Pedro Osório	4699,5	12	0,64	GEV	0,13
Ponte do Império	1839,6	9	0,61	GEV	0,41
Passo do Ricardo	5416,3	18	0,20	GEV	0,31
Passo dos Carros	131,2	46	0,13	GEV	0,15
Ponte Cordeiro de Farias	368,6	47	0,80	Kappa	0,18

* Total de anos considerados segundo o critério de consideração das falhas.

** Mann-Kendall para $p > 0,05$.

*** Modelo probabilístico que apresentou melhor ajuste segundo o teste de Anderson-Darling (AD)

Utilizando a área da bacia hidrográfica como variável explicativa, foi possível desenvolver a função Q_{mc} . Os parâmetros a' , igual a 4,957, e b' , igual a 0,696, foram obtidos através da regressão não linear, resultando em uma função com coeficiente de determinação R^2 de 0,99. Para a equação adimensional Q/Q_{mc} , as vazões adimensionalizadas foram correlacionadas com os respectivos tempos de retorno. Foi obtido para esta função parâmetros $a = 0,466$ e $b = 0,551$, com R^2 igual a 0,88. O produto dessas duas equações resultou na função de regionalização pelo método da curva adimensional, conforme descrito por TUCCI (2002). A partir da validação cruzada, considerando tempos de retorno de 2 a 100 anos, foi obtido um índice de confiança c de 0,92 para a situação mais crítica, classificado como "ótimo" (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Vale ressaltar que

maiores tempos de retorno diminuiriam a qualidade das estimativas de vazão máxima, limitando a aplicabilidade do modelo.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que a função regional desenvolvida para a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo: i) apresentou ajuste adequado segundo a estatística utilizada para uma região comprovadamente homogênea; ii) tem capacidade preditiva adequada, tendo sustentação na validação cruzada; e iii) apresenta-se de fácil aplicação, necessitando de apenas uma variável explicativa, sendo facilmente aplicada à projetos práticos de engenharia e para gestão de cheias. Conclui-se também que estudos futuros podem considerar um maior número de variáveis explicativas a fim de aumentar a eficiência dos estimadores de vazão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESKOW, S.; MELLO, C. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, n.7, p. 748 - 754, 2014.
- BURN, D. H. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. **Journal of Hydrology**, v.202, p. 212 - 230, 1997.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.5, n.1, p. 89 - 97, 1997.
- CASTELLARIN, A. Probabilistic envelope curves for design flood estimation at ungauged sites. **Water Resources Research**, v.43, p. 1 - 12, 2007.
- GREHYS. Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v.186, p. 63 - 84, 1996.
- HEO, J.; SHIN, H.; NAM, W.; OM, J.; JEONG, C. Approximation of modified Anderson-Darling test statistics for extreme value distribution with unknown shape parameter. **Journal of Hydrology**, v.499, p. 41 - 49, 2013.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. Some statistics Useful in regional frequency analysis. **Water Resources Research**, v.29, n.2, p. 271 - 281, 1993.
- KUMAR, R.; CHATTERJEE, C.; KUMAR, S.; LOHANI, A. K.; SINGH, R. D. Development of regional flood frequency relationships using L-moments for Middle Ganga Plains Subzone 1 (f) of India. **Water Resources Research**, v.17, p. 243 - 257, 2003.
- SECKIN, N.; HAKTANIR, T.; YURTAL, R. Flood frequency analysis of Turkey using L-moments method. **Hydrological Processes**, v.25, n.22, p. 3499 - 3505, 2011.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2002. 4v.
- VIVEKANANDAN, N. Flood frequency analysis using method of moments and L-moments of probability distributions. **Cogent Engineering**, v.2, p. 1 - 10, 2015.