

REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO MÍNIMA DE REFERÊNCIA Q₉₅ PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

CARINA KRÜGER BORK¹; MYLENA FEITOSA TORMAM²; MAÍRA MARTIM DE MOURA³; SAMUEL BESKOW⁴; HUGO ALEXANDRE SOARES GUEDES⁵

¹Discente UFPEL/PPG Recursos Hídricos – borkcarina@gmail.com

²Discente UFPEL/Engenharia Civil – tormam.mylena@gmail.com

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

⁴Docente UFPEL/Engenharia Hídrica – samuelbeskow@gmail.com

⁵Docente UFPEL/Engenharia Civil – hugo.hydro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos é uma necessidade premente e que tem o objetivo de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais por água em níveis sustentáveis de modo a permitir, sem conflitos, a convivência de seus usos atuais e futuros (CUPAK, 2017). A outorga é um ato administrativo no qual o poder público promove a harmonização entre os múltiplos usos, garantindo a todos os usuários o acesso aos recursos hídricos, conforme a disponibilidade de cada bacia hidrográfica. No Estado do Rio Grande do Sul, o órgão de administração que tem competência de emissão de outorga é o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), vinculado à Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMA).

O decreto nº 37.033/1996, no Art. 7º, estabelece que os valores referentes aos parâmetros técnicos necessários para nortear os processos de outorgas deverão ser estabelecidos pelos respectivos Planos de Bacias Hidrográficas aprovados pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (RIO GRANDE DO SUL, 1996). Entretanto, quando não estiver definido o plano de uma determinada bacia o DRH estabelecerá a vazão de referência utilizada nos processos de outorga, oscilando entre as vazões Q₉₀ e Q₉₅, que representam a vazão de permanência em 90% ou 95% do tempo, respectivamente, sendo esta última, mais restritiva. Para quantificar essas vazões dispõe-se de dados das estações fluviométricas, embora as mesmas se localizem em seções específicas da hidrografia, e muitas vezes indisponíveis na área de interesse.

Neste contexto, faz o uso da regionalização de vazões que é um processo de transferência de informações hidrológicas dentro de uma determinada região considerada hidrologicamente homogênea, com a finalidade de suprir a carência de dados em locais com limitada ou nenhuma informação (RAZAVI; COULIBALY, 2017). ELESBON et al. (2015) e LEMOS; MAGALHÃES (2015) afirmam que a regionalização de vazões é uma metodologia relevante, uma vez que reproduz e prevê os comportamentos hídricos da realidade complexa, podendo, assim, ser utilizada para indicar as vazões de referência em uma determinada bacia. ELESBON et al. (2015) destacam a utilização de técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento com o emprego de diferentes algoritmos para definir as regiões com características semelhantes.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial da análise de agrupamento, empregando a Distância Euclidiana em conjunto com o algoritmo de Ward, para a regionalização hidrológica da vazão mínima Q₉₅ no Estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Para este trabalho, foram utilizadas 100 séries históricas de vazões adquiridas junto ao portal HidroWeb, na plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA), tomando como critério de seleção uma extensão de, no mínimo, 10 anos de dados (CUPAK, 2017) e, anos com, no máximo, 31 dias de falha. Para identificação de tendências nas séries, foi aplicado o teste de Mann-Kendall ao nível de 5% de significância (ZHANG et al. 2015). Posteriormente, as séries de vazões mínimas (m^3/s) foram estabelecidas a partir da curva de permanência pelo quantil Q_{95} , o qual indica a vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado na delimitação das bacias hidrográficas foi obtido no banco de dados TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros (POLIDORI; HAGE; VALERIANO, 2014). Após a delimitação das bacias hidrográficas, foram extraídas as seguintes variáveis independentes: área (A em km^2), perímetro (P em km), centroide (x e y em km) e declividade (D em %). Seguindo recomendações de ELESBON et al. (2015), adicionou-se a precipitação total anual (p em mm), utilizando o mesmo critério das séries de vazões, totalizando 365 séries de precipitação, para aplicação do método dos polígonos de Thiessen.

A análise de agrupamento foi construída empregando a distância euclidiana de dissimilaridade com todas as variáveis normalizadas (A, P, x, y, D, p e Q_{95}) e o algoritmo Ward de agrupamento, o qual identifica a menor variância entre os grupos, reunindo elementos cuja soma dos quadrados entre eles é mínima ou que o erro desta soma seja mínimo (FARSADNIA et al. 2014). Para cada agrupamento formado, foi empregado a medida de heterogeneidade (H), baseada nos momentos-L e desenvolvida por HOSKING; WALLIS (1993), cujo objetivo é avaliar a homogeneidade dos grupos, segundo as classificações: homogêneo ($H < 1$), possivelmente heterogêneo ($1 < H < 2$) e heterogêneo ($H > 2$). Posteriormente, para cada região homogênea, foi ajustado um modelo de regressão potencial visando relacionar a variável dependente (Q_{95}) com as variáveis independentes (A, P, D e p).

Para avaliar a qualidade dos modelos ajustados empregou-se o índice de desempenho “c”, proposto por CAMARGO; SENTELHAS (1997), o logaritmo do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe ($C_{NS \log}$), o coeficiente de determinação ajustado (R^2_a) e o erro médio absoluto (EMA). A utilização do valor logaritimizado do C_{NS} foi adotada seguindo recomendações de RAZAVI; COULIBALY (2017), que afirmam que a forma do C_{NS} logaritimizado é melhor para refletir a precisão de modelos de vazões baixas, enquanto o C_{NS} é indicado para representar a precisão da vazões altas. As etapas de importação, manuseio e elaboração das séries hidrológicas, bem como o teste H, foram realizadas no software “System of Hydrological Data Acquisition and Analysis” (SYHDA), e as demais, no software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o dendrograma formado pela distância euclidiana juntamente com o algoritmo Ward, aplicou-se o critério de inércia entre saltos para o ponto de corte, seguindo indicações de MELO JÚNIOR et al. (2006), com a provável formação de 5 regiões possivelmente homogêneas indicadas na Figura 1. Contudo, as regiões I e II formadas apresentavam bacias em localizações diferentes, não havendo uma continuidade física na região. Desta forma, seguindo indicações de FARSADNIA et al. (2014), foi realizado um realocamento dessas estações fluviométricas para obter melhor coerência dos resultados, os autores também destacam que o algoritmo Ward é o que apresenta a visão mais realística na formação dos agrupamentos, corroborando com os resultados de MELO JÚNIOR et al. (2006).

Após o cálculo da medida de heterogeneidade H, a região IV foi classificada como heterogênea (H = 36,49). A fim de aprimorar a configuração, foram removidas as estações 85460000, 85470000, 88750000, 88850000 e 76742000, até que a região formada fosse considerada homogênea. Durante o ajuste dos modelos de regressão foram observados valores não usuais nos coeficientes obtidos em virtude dos valores do centróide, latitudes (x) e longitude (y) serem consideravelmente maiores que os das demais variáveis empregadas. Optou-se, então, pela eliminação das variáveis independentes latitude e longitude, e foram obtidas as novas equações de regressão para as regiões homogêneas delineadas (Tabela 1).

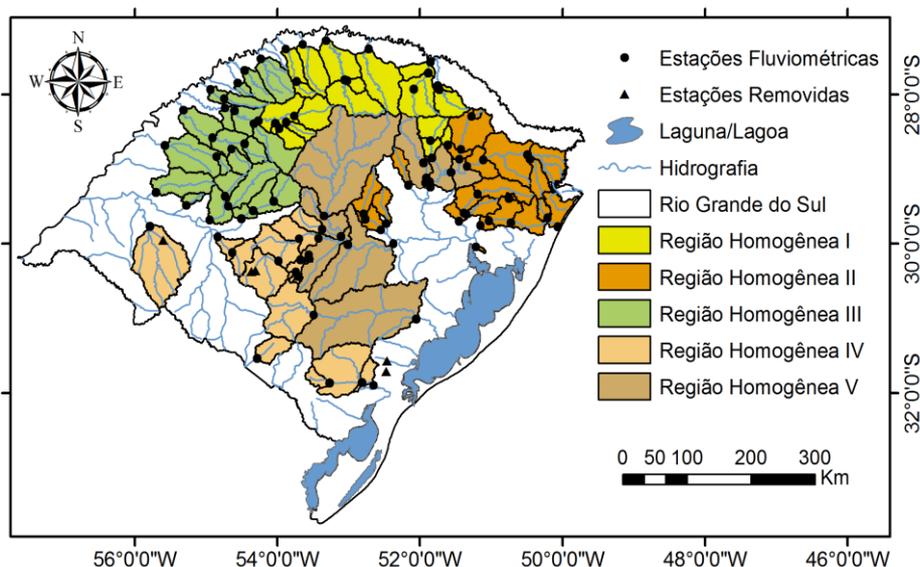


Figura 1. Regiões homogêneas para o Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 1. Características estatísticas das regiões homogêneas delimitadas

Região	n*	Equação Q_{95}^{**}	H	R_a^2	c	CNS log	EMA (m ³ /s)
I	24	$1,80 \cdot 10^{-4} \cdot (P^{2,505} \cdot D^{-1,403})$	-0,2437	0,83	0,86	0,83	2,44
II	23	$1,18 \cdot 10^{+12} \cdot (P^{1,866} \cdot p^{-5,023})$	-0,0919	0,81	0,67	0,83	2,52
III	22	$2,79 \cdot 10^{-3} \cdot (A^{0,971})$	-0,2349	0,61	0,65	0,63	4,12
IV	18	$6,92 \cdot 10^{-6} \cdot (A^{0,984} \cdot D^{2,395})$	0,949	0,62	0,72	0,67	0,98
V	8	$8,24 \cdot 10^{-24} \cdot (D^{-1,198} \cdot p^{8,163})$	-0,1827	0,81	0,84	0,86	16,78

*n = número de estações fluviométricas após a exclusão; ** Q_{95} = (m³/s).

Conforme classificação proposta por CAMARGO; SENTELHAS (1997), as regiões homogêneas obtidas possuem ajuste entre mediano ($0,61 < c < 0,65$) e ótimo ($c > 0,85$). Para identificar a qualidade dos modelos a partir dos valores de CNS log adotou-se a classificação de MOTOVILOV et al. (1999), na qual, para $CNS \geq 0,36$ o modelo é considerado aceitável. É possível observar que todos os modelos foram considerados aceitáveis, e estão em consonância com os obtidos para o índice de desempenho "c". Quanto ao erro médio absoluto (EMA), para todas as regiões o erro foi relativamente baixo, exceto para a região V. Contudo, o erro maior nesta região é aceitável, uma vez que, nela se concentram as maiores bacias e consequentemente os maiores valores de Q_{95} .

4. CONCLUSÕES

A análise estatística multivariada por intermédio do algoritmo Ward, possibilitou de forma satisfatória a delimitação de 5 regiões homogêneas. Ressaltando a importância da verificação pela medida de heterogeneidade, além de, auxiliar na estimativa das variáveis independentes que melhor descrevem o comportamento da Q_{95} em cada uma das regiões. Os modelos ajustados para a Q_{95} nas regiões homogêneas obtiveram estatísticas adequadas, podendo assim, ser empregados para a melhor gestão dos recursos hídricos e processos de outorga no Estado do Rio Grande do Sul.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- CUPAK, A. Initial results of nonhierarchical cluster methods use for low flow grouping. **Journal of Ecological Engineering**, v.18, n.2, p. 44 – 50, 2017.
- ELESBON, A. A. A.; SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; RIBEIRO, C. B. M. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.5, p.838-851, 2015.
- FARSADNIA, F.; KAMROOD, R.; NIA, A. M.; MODARRES, R.; BRAY, M.T.; HAN, D.; SADATINEJAD, J. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. **Journal of Hydrology**, v. 509, p. 387 – 397, 2014.
- 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.
- LEMOES, R. S.; MAGALHÃES, A. P. JR. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço**, v.2, n. 2, p. 4-12, 2015.
- MELO JÚNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n. 2, p. 408 – 416, 2006.
- MOTOVILOV, Y. G.; GOTTSCHALK, L. ENGELAND, K. RODHE, A. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 98-99, n. 1-4, p. 257-277, 1999.
- POLIDORI, L.; HAGE, M. EL; VALERIANO, M. DE M. Validação de modelos digitais de elevação sem dados de referência: Aplicação ao MDT Topodata no Brasil. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.20, n.2, p. 467-479, 2014.
- RAZARI, T.; COULIBALY, P. An evaluation of regionalization and watershed classification schemes for continuous daily streamflow prediction in ungauged watersheds. **Canadian Water Resources Journal**, v. 42, n. 1, p. 2-20, 2017.
- RIO GRANDE DO SUL. Decreto no 37.033, de 21 de novembro de 1996, regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos arts. 29, 30 e 31 da Lei n o 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, em 22 de novembro de 1996. Disponível em: < <http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/> > Acesso em: set. 2016.
- ZHANG, Q.; QI, T.; SINGH, V.P.; CHEN, Y. D.; XIAO, M. Regional frequency analysis of droughts in China: A multivariate perspective. **Water Resources Management**, v. 29, n. 6, p. 1767 – 1787, 2015.