



XIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ESTIMATIVA DE VAZÕES MEDIANTE REGIONALIZAÇÃO DE PARÂMETROS DO MODELO IPH II NA BACIA DO RIO IJUÍ-RS

Vitor Souza Viana Silva ¹

RESUMO: Neste estudo, a regionalização de parâmetros foi aplicada mediante o uso do modelo chuva-vazão de base conceitual IPH II, versão WIN_IPH2 nas sub-bacias do rio Ijuí-RS. Esta técnica consiste na calibração dos parâmetros do modelo, e na fixação dos seus valores para utilizar nas demais sub-bacias sem dados de vazões, na premissa da existência de homogeneidade espacial das características físicas entre as bacias, e na busca de uma alternativa para estimar séries de vazões em bacias hidrográficas sem dados fluviométricos. Aplicou-se uma mediana no conjunto de valores dos parâmetros deste modelo obtidos no processo de calibração em 4 sub-bacias do Rio Ijuí, com área de drenagem de 629 km² a 9426 km² a, no período de 1989-1992, e os parâmetros medianos resultantes deste processo foram fixados, com a finalidade de obter séries temporais de vazões de 3 sub-bacias, com áreas de drenagem de 805km² a 5414 km², posteriormente, verificou-se a eficiência do modelo IPH II em termos de vazões para este conjunto de valores medianos de parâmetros regionalizados. O desempenho do modelo foi avaliado pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e o Erro em Volume (ΔV), os quais mostraram bom desempenho do modelo mediante a técnica da regionalização de valores medianos de parâmetros, transferidos para obter vazões em sub-bacias sem dados fluviométricos.

Palavras-Chave – Regionalização de parâmetros, modelo chuva-vazão.

INTRODUÇÃO

As séries temporais de vazões em uma bacia hidrográfica, em certos casos, são inexistentes ou insuficientes, em termos de qualidade e quantidade. Uma alternativa para esta premissa, a qual não se dispõe de medidas fluviométricas, pode ser com uso da técnica da regionalização. Esta técnica consiste na extrapolação de parâmetros, ou de variáveis hidrológicas, de uma bacia hidrográfica para outra (Masih et al. 2010, Silva et al. 2014, Marques et al. 2018).

Na regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão entre escalas de bacias, equivale em fornecer os valores dos parâmetros obtidos do processo de calibração do modelo hidrológico na sub-bacia com dados, para as demais sub-bacias sem dados de vazões. Esta técnica admite a hipótese da existência de uma uniformidade espacial do comportamento das variáveis hidrológicas em toda bacia hidrográfica (Kokkonen et al. 2003, Masih et al. 2010, Silva et al. 2014).

Neste trabalho, a mediana dos valores dos parâmetros do modelo chuva-vazão IPH II, na versão WIN_IPH 2 foram obtidos do processo de calibração em 4 sub-bacias, e estes foram cedidos para simulação das vazões de 3 sub-bacias, com a finalidade de se obter séries de dados fluviométricas para locais sem medições. As séries temporais de vazões resultante, foram posteriormente utilizadas para

1) Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Doutorando em Engenharia Mecânica (Promec/UFRGS), e-mail: vitorsvs83@hotmail.com.



avaliar a eficiência da técnica de regionalização de parâmetros mediante o desempenho do modelo com o uso do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e do erro em volume (ΔV).

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da bacia e dos dados

A bacia do rio Ijuí situa-se na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil), entre as coordenadas 28°00' e 29°00' de latitude Sul e 53°00' e 56°00' de longitude Oeste, possui área de drenagem de 10.703 km², enquanto que as suas sub-bacias apresentam uma faixa de área de drenagem entre 629 a 9426 km² (Figura 1).

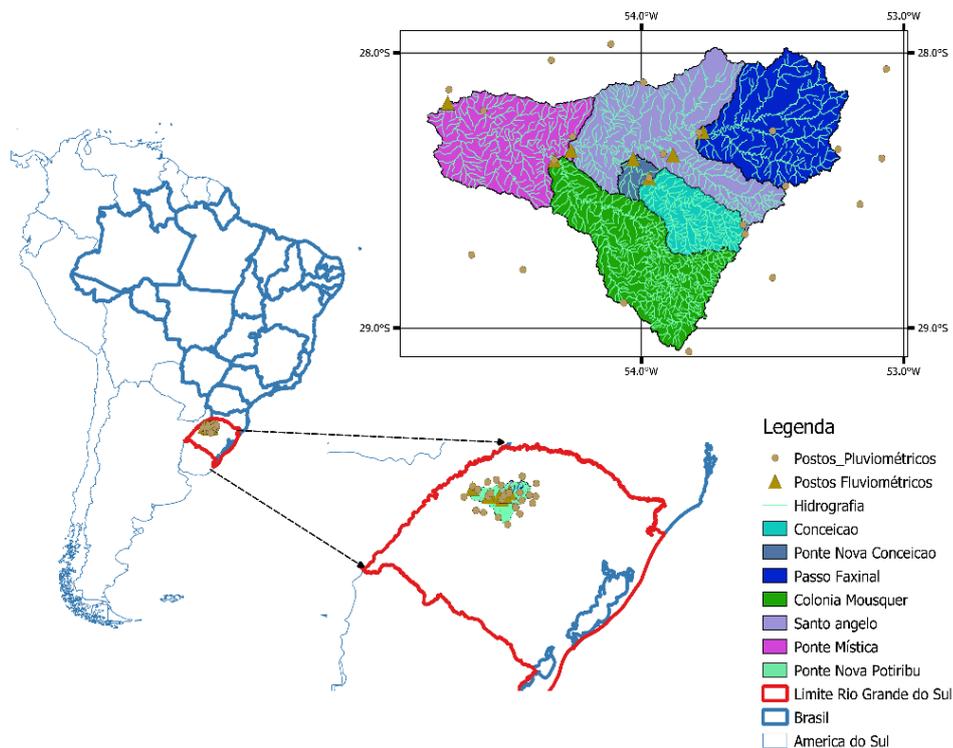


Figura 1 – Localização das sub-bacias do rio Ijuí, dos postos pluviométricos, fluviométricos e da estação climatológica (Marques *et al.* 2018)

A série de vazões utilizada foram no período entre 1989 a 1992 utilizados para calibração e verificação da regionalização de parâmetros do modelo IPH II. Os 6 postos fluviométricos são monitorados pelo sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA). Estes estão representados de forma pontual na mesma Figura 1, e as informações referentes a localização e área de drenagem conforme Silva *et al.* (2013). Definidos como Ponte Mística (9.426 km²), Santo Ângelo (5414 km²), Colônia Mousquer (2331 km²), Ponte Nova Conceição (966 km²), Conceição (805 km²) e Ponte Nova do Potiribu (629 km²)

Utilizou-se a série de chuva diária de 22 postos pluviômetros localizados no interior e nas adjacências da área de drenagem da bacia do rio Ijuí disponíveis no banco de dados da ANA, no período entre 1989 a 1992, para o cálculo da chuva média (Ver a Figura 1). Construiu-se grades regulares para 6 sub-bacias, e a chuva média considerada foi a média dos valores nodais no interior dos limites de cada bacia. Estes valores nodais foram obtidos por interpolação espacial das chuvas nos postos até o nós da grade regular com o método do Vizinheiro Natural utilizando o algoritmo disponível no SURFER 8.0 (Silva *et al.* 2014).



Os dados diários de evapotranspiração foram estimados pela relação de proporcionalidade entre os valores calculados pela equação de Penman-Montheith, com a série de registros diários de um evaporímetro de Piché, obtidos da estação climatológica da INMET, localizada em Cruz Alta (longitude 53°36'00'' e latitude 28°38'00''), conforme Silva *et al.* (2014).

Descrição do modelo hidrológico chuva-vazão

O WIN_IPH 2 é uma versão que possui o modelo IPH II implementado. O IPH II é um modelo que simula o processo de transformação de chuva-vazão com os seguintes algoritmos (Bravo *et al.*, 2007, Silva *et al.* 2014, Marques *et al.* 2018):

- *Perdas por interceptação e por evapotranspiração*: possuem o parâmetro R_{max} , o qual representa a capacidade de armazenamento máximo em um reservatório hipotético de interceptação pela vegetação;
- *Separação de escoamento*: representados pelos parâmetros I_o , I_b e h , que são, respectivamente, as capacidades inicial e mínima de infiltração e o parâmetro de decaimento de infiltração de água no solo, são característicos da equação de infiltração de Horton;
- *Propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos*: é realizado mediante o método de Clark, o qual é uma combinação do histograma tempo-área (HTA) com um modelo de reservatório linear simples. Os parâmetros de propagação do escoamento superficial é o k_{sup} e o parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo é o k_{sub} ;

No modelo, deve-se fornecer os parâmetros referentes as características físicas da bacia como a área de drenagem (A), a porcentagem de área impermeável (AIMP), o coeficiente de forma da bacia (n), e o tempo de concentração (t_c), juntamente com as condições iniciais estimadas, que são a vazão de percolação (Q_p), a vazão subterrânea (Q_{sub}) e a vazão superficial (Q_{sup}). Estes valores são variáveis e estão em função das características da bacia em estudo. A calibração de parâmetros do modelo com a otimização é feito utilizando o algoritmos evolutivos com a função monobjetivo (algoritmo SCE-UA, Duan *et al.*, 1992). No processo de calibração dos parâmetros, outros dados necessários são as séries de chuvas médias na bacia, as estimativas de evapotranspiração e as vazões observadas.

O processo de aplicação da mediana nos valores dos parâmetros do modelo chuva-vazão

O método de regionalização proposto para estimar das séries temporais de vazões nas sub-bacias é a mediana aplicada nos valores dos parâmetros, com uso do modelo hidrológico chuva-vazão WIN_IPH2. A aplicação desta estatística de valor central consiste, primeiramente, na estimativa dos valores dos parâmetros para 4 sub-bacias (R_{max} , I_o , I_b , h , α , k_{sup} , k_{sub}) através do processo de calibração automático, utilizando o algoritmo SCE-UA com a função objetivo NS. Após diversas execuções de calibrações, para evitar o estacionamento em um ótimo local e mais provavelmente chegar a um ótimo global. As 4 sub-bacias do rio Ijuí utilizadas neste procedimento foram Ponte Mística (9.426 km²), Colônia Mousquer (2331 km²), Ponte Nova Conceição (966 km²) e Ponte Nova do Potiribu (629 km²).

A seguir é aplicada a mediana nos 4 conjuntos de parâmetros de sub-bacias. Este conjunto de parâmetros é, então, utilizado para a verificação da capacidade do modelo e a homogeneidade da bacia, com aplicação nas 3 sub-bacias, do Santo Ângelo (5.414 km²), Passo Faxinal (2.003 km²) e Conceição (805 km²). Segundo Silva *et al.* (2013), tendo-se em conta as características particulares de cada uma, representadas pelos parâmetros específicos destas, os quais são a área (A), a porcentagem de área impermeável (AIMP), o coeficiente de forma (n) e o tempo de concentração (t_c). Todas as bacias, neste



estudo, possuem formas que admitem o coeficiente de forma, n , igual a 1,5, que corresponde a uma elipse.

Os tempos de concentração adotados, para cada bacia, seguiram, neste estudo, as recomendações de Sherman (1949) e Silva *et al.* (2014), de um valor entre 12 e 24 horas para bacias com área superior a 2.500 km², e um valor entre 6 e 12 horas para bacias com áreas entre 250 e 2.500 km². As condições iniciais da simulação para a Q_{sub} , Q_p e para Q_{sup} foram atribuídas mediante o método da estimativa por tentativa e erro, ou seja, atribuiu-se valores para as mesmas até resultar um melhor ajuste gráfico (Silva *et al.* 2013).

Avaliação do Desempenho do Modelo

Na proposta de avaliar a eficiência desta técnica de regionalização de parâmetros para estimativa de vazões utilizou-se o coeficiente de Nash-sutcliffe (NS). Este possui a tendência de valorizar as maiores vazões (os picos), por ser baseado no desvio quadrático, o seu valor varia no intervalo de $-\infty$ a 1. Se o valor do coeficiente for igual a 1, evidencia que existiu uma boa correlação entre a série de vazões observadas e calculadas (Equação 1).

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_o - Q_c)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

A complementação da análise estatística da série de vazões na saída do modelo, tendo em conta as limitações do índice de NS, o erro em volume (ΔV), expresso em percentagem. Este permite avaliar a tendência geral que os dados simulados apresentam de subestimar (valores de ΔV positivos) ou superestimar (valores de ΔV negativos) os dados medidos.

$$\Delta V(\%) = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_o - \sum_{i=1}^n Q_c}{\sum_{i=1}^n Q_o} \right) \quad (2)$$

Onde nas Equações 1 e 2, Q_o é a vazão observada, \bar{Q}_o é a vazão média observada, Q_c é a Vazão calculada, \bar{Q}_c é a vazão média calculada, NS é o coeficiente de Nash-Sutcliffe e ΔV é o erro em volume (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtenção dos valores medianos dos parâmetros do modelo nas 4 sub-bacias

Na calibração automática, 10 execuções sucessivas do algoritmo SCE-UA foram aplicadas e o resultado da função objetivo NS e no erro em volume ΔV pode ser visto na tabela 2. As 4 sub-bacias do rio Ijuí no período de calibração entre 02/01/1989 a 31/01/1992.

Tabela 2 – Índices estatísticos de desempenho Nash-sutcliffe NS e erro em volume ΔV , nas 4 sub-bacias.

Parâmetros	Ponte Mística	C. Mosquear	P. Conceição	Potiribu
NS	0,88	0,83	0,6	0,82
ΔV (%)	-1,61	2,00	1,44	1,02



Os valores dos índices estatísticos da tabela 2, possuem os valores dos parâmetros, Rmax, Ks, Ksub, Ib, Io, h e Alfa, correspondentes na tabela 3. Assim como, a mediana destes valores de parâmetros, os quais foram utilizados no processo de regionalização.

Tabela 3 –parâmetros obtidos na calibração utilizando o algoritmo SCE-UA nas 4 sub-bacias.

Parâmetros	Ponte Mística	C. Mosquear	P. Conceição	Potiribu	Mediana
Io (mm h-1)	121,5087	145,8473	80,8127	75,7146	101,1607
Ib (mm h-1)	0,9956	1,244	3,6954	3,4535	2,34875
h (adm)	0,71990931	0,622703791	0,769650281	0,57999	0,671306551
Ksup (h)	5,8698	3,3555	1,9098	2,9377	3,1466
Ksub (h)	20,5105	10,0006	10,0001	31,9962	15,25555
Rmax (h)	6,8727	8,9997	8,9	8,8709	8,88545
Alfa (%)	5,15	0,3603	0,0342	0,6727	0,5165

Estimativa de vazões através da aplicação da mediana nos parâmetros do modelo nas 3 sub-bacias

Após o processo de calibração verificou-se a capacidade do modelo em reproduzir as vazões nas 3 sub-bacias. Os dados de entrada especificados no modelo WIN_IPH2, para cada sub-bacia, foram as séries de precipitações, os valores das áreas de drenagem e as condições iniciais, Qp, Qsub e Qsup. Além dos parâmetros medianos, Io, Ib, h, Ksup, Ksub, Rmax e Alfa, e a série de evapotranspiração. Na tabela 4 são apresentados os valores dos índices estatísticos aplicados para avaliar o desempenho das vazões simuladas com as vazões observadas nas sub-bacias, utilizando a mediana dos parâmetros no período de 02/01/1989 a 31/01/1992, e na figura 2 a representação gráfica destas.

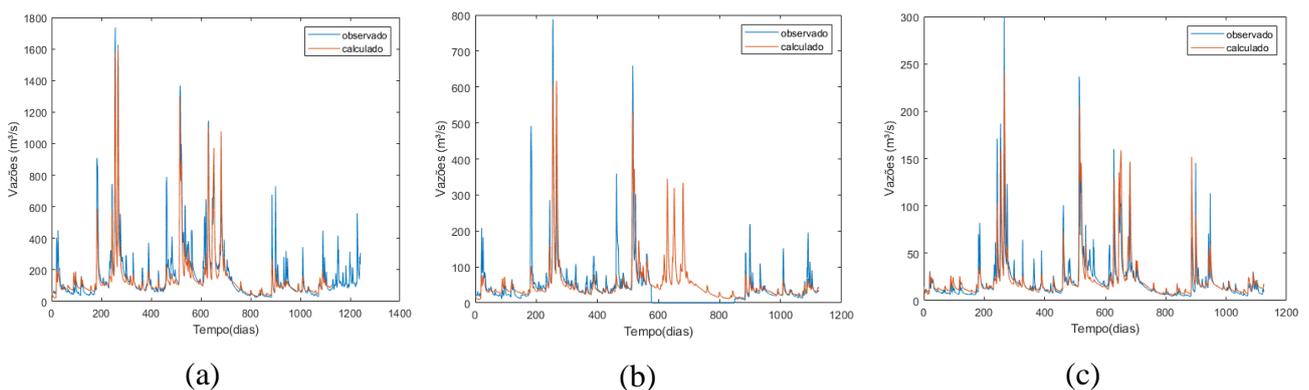


Figura 2 –Vazões estimadas nas 3 sub-bacias do Santo Ângelo (a), Passo Faxinal (b) e Conceição (c).

Tabela 4 – Valores dos índices estatísticos de desempenho com a média global de parâmetros.

Índices Estatísticos	Santo Ângelo (5414 km ²)	Passo Faxinal (2003 km ²)	Conceição (805 km ²)
NS	0,83	0,75	0,65
ΔV (%)	-13,89	-11,35	3,17

No presente estudo, a região analisada é relativamente pequena geograficamente bastante homogênea, conforme Silva Junior et al. (2003), e os resultados da técnica da mediana de parâmetros foram satisfatórios, pois os valores apresentaram intervalos $0,65 \leq NS \leq 0,83$ e $-13,89 \% \leq \Delta V \leq 3,17$



%, estando de acordo com os critérios de Moriasi et al. (2007), as simulações possuíram $NS > 0,5$ e ΔV no intervalo entre -25% e + 25%. Mas, ocorreu também perda de eficiência do modelo com a aplicação da técnica em função da redução da escala das sub-bacias analisadas. Esta perda de eficiência em função escala da bacia também foi encontrado em Silva *et al.* (2013), Silva *et al.* (2014) e em Marques *et al.* (2018).

CONCLUSÕES

A regionalização utilizando a mediana dos parâmetros do modelo aplicado nas 3 sub-bacias de ordem de 805 km² a 5414 Km², apresentou-se adequado e com bom desempenho, o qual resultou em valores de $NS > 0,65$. O bom resultado deste método pode ser em virtude da existência da homogeneidade das sub-bacias. Porém, esta conclusão está condicionada ao uso de um modelo adequado a esta finalidade como foi o caso da versão WIN_IPH2 do modelo IPH II.

REFERÊNCIAS

- BRAVO, J. M.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W. ; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C (2007) . “Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais”. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hidricos, v. 1.
- DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. (1992). “Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models”. Water Resources Research 28(4), pp. 1015-1031.
- KOKKONEN, T.S., JAKEMAN, A.J., YOUNG, P.C., KOIVUSALO, H.J. (2003). “Predicting daily flows in ungauged catchments: model regionalization from catchment descriptors at the Coweeta”, Hydrologic Magette.
- MARQUES, T. G.; CELARO, T. F.; GIACOMELLI, L. V. Z.; PRESTES, A. R.; SILVA, V. S. V. (2018). “Regionalização de parâmetros de um modelo chuva-vazão entre escalas progressivas de sub-bacias” In XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2018, Buenos Aires, Argentina, 2018. pp. 1577 – 1583.
- MASIH, I., UHLENBROOK, S., MASKEY, S., AHMAD, M.D. (2010). “Regionalization of a conceptual rainfall-runoff model based on similarity of the flow duration curve: A case study from the semi-arid Karkheh basin, Iran”, Journal of Hydrology.
- MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL. R. D., VEITH, T. L. (2007). “Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations”. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001–235.
- SILVA, V. S. V., PEDROLLO, O. C., CASTRO, N. M. R., (2013). “Estudo de regionalização por média global de parâmetros de um modelo conceitual hidrológico”. XX simpósio brasileiro de recursos hídricos - ISSN 2318-0358.
- SILVA, V. S. V., PEDROLLO, O. C., CASTRO, N. M. R., (2014), “Estudo de regionalização por transferência de parâmetros do modelo IPH II na bacia do rio Ijuí/RS”. Revista de Gestão de Águas da América Latina, REGA, Vol. 10, no. 2, pp. 65-75.
- SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M. & CASTRO, N. M. R. (2003). “Extrapolação espacial na regionalização de Vazões”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 8, nº 1, pp. 21-27.