

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **AValiação de vazões de referência estimadas a partir de modelagem hidrológica continental**

*Larissa de Castro Ribeiro<sup>1</sup>; Julio Vitorino de Andrade Neto<sup>2</sup>; Thainá Lessa Cavalcante<sup>3</sup>;  
Rodrigo Cauduro Dias de Paiva<sup>4</sup> & Vinícius Alencar Siqueira<sup>5</sup>*

#### **RESUMO**

O conhecimento das vazões de referência, apesar de essencial para a gestão dos recursos hídricos, ainda é dificultado pela falta de dados em muitas bacias hidrográficas. Modelos hidrológicos de grande escala oferecem alternativas para preencher essa lacuna de informações, porém seus resultados precisam ser avaliados. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de simulação do modelo MGB-IPH em escala continental para representação de vazões mínimas e máximas. Foram utilizados 19 anos de dados de 499 postos fluviométricos da América do Sul, associados geograficamente às minibacias correspondentes definidas no modelo. Após tratamento dos dados, foram traçadas as curvas de permanência e determinaram-se as vazões de referência. Esses valores foram comparados através do cálculo do Erro Relativo, sendo elaborados mapas de distribuição espacial, gráficos boxplot e gráficos percentuais para análise. Apesar de não ser possível observar uma tendência de comportamento espacial do erro em escala continental, nota-se que o modelo tende a superestimar as vazões mais do que subestimá-las, e quando subestima o faz em menor magnitude. Verificou-se que as estimativas do modelo tendem a apresentar menores erros percentuais nos cálculos de vazões de referência em trechos com maiores áreas de drenagem, tendo melhor resultado para as vazões máximas.

#### **ABSTRACT**

Despite being essential for the water resources management, reference streamflow values are still unknown in many watersheds due to lack of data. Large scale hydrological models offer alternatives to solve this problem; their results nonetheless must be assessed. In this regard, the aim of this paper was to evaluate the simulation accuracy of MGB-IPH model in continental scale for maximum and minimum flow rates. 19 years of data from 499 fluviometric stations on South America, geographically associated to their respective watershed defined on the model, were used. After data analysis, the permanence curves were drawn and the reference flow rates were determined. These values were then compared using relative error. Spatial distribution maps, boxplot and percentage graphs were used for analysis. Even though it was not possible to observe a continental spatial tendency in the results, one could say that the model tends to overestimate the streamflow more often than underestimate it and when it does underestimate it; it is in a smaller extent. The percentage errors of the reference streamflow tend to be minor as the drainage areas increase, getting better results for maximum flow.

**Palavras-Chave** – MGB, vazão, continental.

- 1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS: Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, larissa.ribeirocr@gmail.com
- 2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS: Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, julio.vitorinoan@gmail.com
- 3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS: Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, thaina\_lessa@hotmail.com
- 4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS: Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, rodrigodpaiva@gmail.com
- 5) Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS: Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, vinicius.siqueira@ufrgs.br

## INTRODUÇÃO

As vazões mínimas de referência, como a  $Q_{90}$ , são utilizadas como critério no gerenciamento de outorga do uso da água por órgãos gestores como a ANA, ADASA (Distrito Federal), SEMA (Mato Grosso), Águas Paraná (Paraná) e SEMARH (Alagoas), segundo o levantamento apresentado por Lisboa (2014), visando amenizar prováveis situações críticas de abastecimento em épocas de escassez hídrica. Seu valor pode ser estimado através da vazão com permanência de 90%, ou seja, aquela igualada ou superada em 90% do tempo, de acordo com a série histórica (Câmara, 2003). Da mesma forma que a  $Q_{90}$ , a vazão máxima de referência  $Q_{10}$  é estimada através da vazão superada ou igualada em 10% do tempo.

No entanto, a realização dessas estimativas e outras informações importantes para um eficiente gerenciamento e gestão dos recursos hídricos requer dados, que muitas vezes não estão disponíveis ou são de difícil acesso. Essa baixa ou inexistente quantidade de dados, além de outros fatores, dificulta, então, a execução de estudos que permitam conhecer melhor o comportamento hidrológico de regiões e, conseqüentemente, o planejamento e processo de tomada de decisão. Nessas áreas, como alternativa, pode ser utilizada a metodologia de regionalização de vazões para estimar vazões de referência. O método consiste na transferência de informações entre regiões com mesmo comportamento hidrológico, porém existem limitações na representação em escala continental (Tucci, 2002).

Em bacias hidrográficas transfronteiriças essa dificuldade é ainda potencializada pela falta de compartilhamento de dados e informações, quando existem, que auxilie os tomadores de decisão em escala mais ampla (Siqueira *et al.*, 2018). Uma alternativa que pode ser utilizada para a obtenção de vazões de referência em locais sem dados são os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão. Tais modelos são ferramentas que representam matematicamente os processos do ciclo hidrológico terrestre, permitindo simular o balanço hídrico no solo, a geração de escoamento e as vazões ao longo da rede drenagem. Alguns destes modelos, por exemplo, vêm sendo aplicados em escalas continentais a globais (Bierkens, 2015; Donnelly *et al.*, 2016; Siqueira *et al.*, 2018) devido a constantes avanços em produtos de sensoriamento remoto, os quais fornecem informações de entrada para estes modelos com boa consistência espacial e temporal. Embora a abrangência de um modelo de escala continental seja bastante atrativa para obter vazões de referência de forma simples, torna-se importante conhecer os erros associados às estimativas e as limitações de sua aplicação.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar a acurácia de simulação realizada utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH em escala continental, apresentada por Siqueira *et al.*

(2018), para representação de vazões mínimas ( $Q_{90}$ ) e máximas ( $Q_{10}$ ), através de análise estatística utilizando como parâmetro de comparação dados observados de vazão in situ.

## METODOLOGIA

A execução do presente trabalho foi realizada seguindo as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 1, descritas nos itens a seguir.

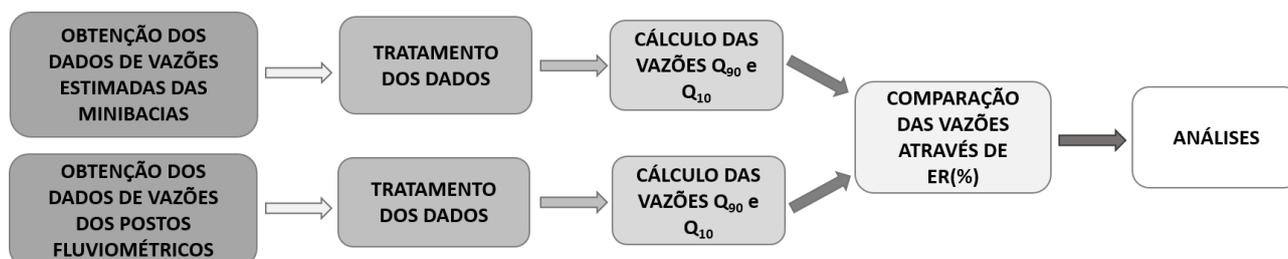


Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada

### Obtenção e tratamento dos dados

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as séries de 19 anos (compreendidos entre 1991 a 2009) de vazões diárias estimadas para a América do Sul, apresentadas por Siqueira *et al.* (2018)<sup>1</sup>, e dados de vazões observadas in situ para o mesmo período.

As séries simuladas foram obtidas a partir de um modelo hidrológico-hidrodinâmico continental, desenvolvido para a América do Sul, utilizando o modelo MGB - Modelo hidrológico de Grandes Bacias - acoplado a um modelo de propagação inercial (Siqueira *et al.*, 2018). O MGB é um modelo hidrológico conceitual e semi-distribuído desenvolvido para grandes bacias tropicais, em que a bacia hidrográfica é discretizada em minibacias para modelagem. Da mesma forma que considerado no trabalho de Siqueira *et al.* (2018), o primeiro ano de simulação disponibilizado (1990) foi descartado, pois o modelo precisa de um período de aquecimento, podendo gerar maiores incertezas nesse período. Conforme apresentado pelos autores, as séries geradas foram consideradas satisfatórias em termos de Nash-Sutcliffe e eficiência de Kling-Gupta, principalmente em grandes rios e áreas úmidas.

Para escolha dos postos fluviométricos, inicialmente foram identificados aqueles que coincidem geograficamente com as minibacias definidas pelo modelo utilizado por Siqueira *et al.* (2018). Em seguida, para critério de análise, foram descartados os postos que possuem mais de 30% de falhas na série histórica do período, resultando ao final em 499 postos fluviométricos, apresentados na Figura 2. Na Tabela 1 é apresentada a quantidade de postos de acordo com a fonte

<sup>1</sup> Dados disponibilizados no site <https://www.ufrgs.br/hge/south-america-river-discharge-dataset/>. Acesso em abril de 2019.

de dados utilizada. De posse dessas séries, foram, então, verificadas as falhas existentes, sendo descartados os dados correspondentes a elas nas séries simuladas pelo modelo.

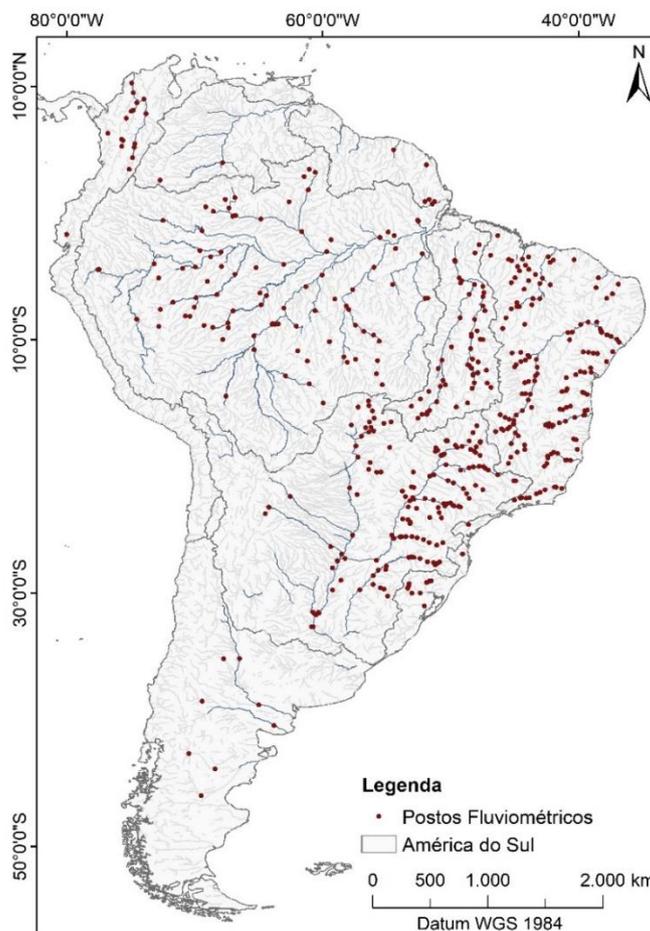


Figura 2 - Área de estudo

Tabela 1 - Base de dados das vazões utilizadas

Fonte de dados	Quantidade de postos
Agência Nacional de Águas - ANA (Brasil): observações in situ	341
Operador Nacional do Serviço Elétrico - ONS (Brasil): Vazões naturalizadas de reservatórios	95
Instituto Nacional del Agua - INA (Argentina)	29
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (Colômbia)	19
Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología - SENAMHI (Peru e Bolívia)	9
ORE-HyBAM (Internacional)	5
Global Runoff Data Center – GRDC (Internacional)	1
<b>Total</b>	<b>499</b>

## Cálculo e análise das vazões de referência

Após realizadas as considerações apresentadas no item anterior, foram traçadas as curvas de permanência para as séries observadas e simuladas e determinou-se as vazões de referência,  $Q_{10}$  e  $Q_{90}$ , as quais foram posteriormente comparadas através do cálculo do Erro Relativo (ER).

O ER é a relação entre a variável X observada (vazões dos postos fluviométricos) e a variável Y estimada (vazões estimadas por Siqueira *et al.*, 2018). De acordo com a formulação apresentada na Equação 1, os resultados indicam uma superestimativa ou subestimativa, quando ER for positivo ou negativo, respectivamente.

$$ER = \frac{(Y - X)}{X} \times 100 \text{ (\%)} \quad (1)$$

Em que:

ER = Erro Relativo;

X = valor observado (vazão de referência do posto fluviométrico);

Y = valor estimado (vazão de referência simulada pelo modelo);

Para melhor visualização e análise dos resultados foram elaborados mapas com a distribuição espacial do ER, gráficos boxplot e gráficos percentuais de Erro Relativo Absoluto para as vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{10}$ . Os gráficos boxplot elaborados em escala logarítmica (para melhor visualização da dispersão do erro) relacionam o Erro Relativo Absoluto com a área de drenagem dos postos, divididos em cinco classes com dimensões de 100 elementos cada, variando de 1.000 a 4.700.000 km<sup>2</sup>, como ilustra a Tabela 2. Por sua vez, os gráficos percentuais descrevem a ocorrência percentual dos erros absolutos de determinadas magnitudes.

Tabela 2 - Divisão das classes dos dados em relação à área de drenagem

Grupo de classe	Área de drenagem representada (km <sup>2</sup> )
G1	1.000 - 15.500
G2	15.501 - 28.000
G3	28.001 - 50.500
G4	50.501 - 160.000
G5	160.000 – 4.700.000

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comparando-se as vazões de referência para cada uma das 499 séries de dados observados com as correspondentes simuladas foram obtidas variações do erro relativo. Analisando-as espacialmente, conforme observado na Figura 3, podem-se fazer algumas observações: há um indicativo de tendência à superestimativas na região da bacia hidrográfica do rio Paraná e subestimativas na bacia do Atlântico Leste. Tais comportamentos podem estar associados à existência de grandes atividades agrícolas que necessitam de captação de água para irrigação na primeira bacia, enquanto que no segundo caso são localizados na bacia numerosos reservatórios, havendo a retenção de água na região, em que o modelo utilizado (MGB) ainda não possui módulo para representar essas estruturas e suas influências no regime hidrológico. No entanto, não fora possível identificar, em primeira análise, uma tendência do comportamento espacial do erro em escala continental.

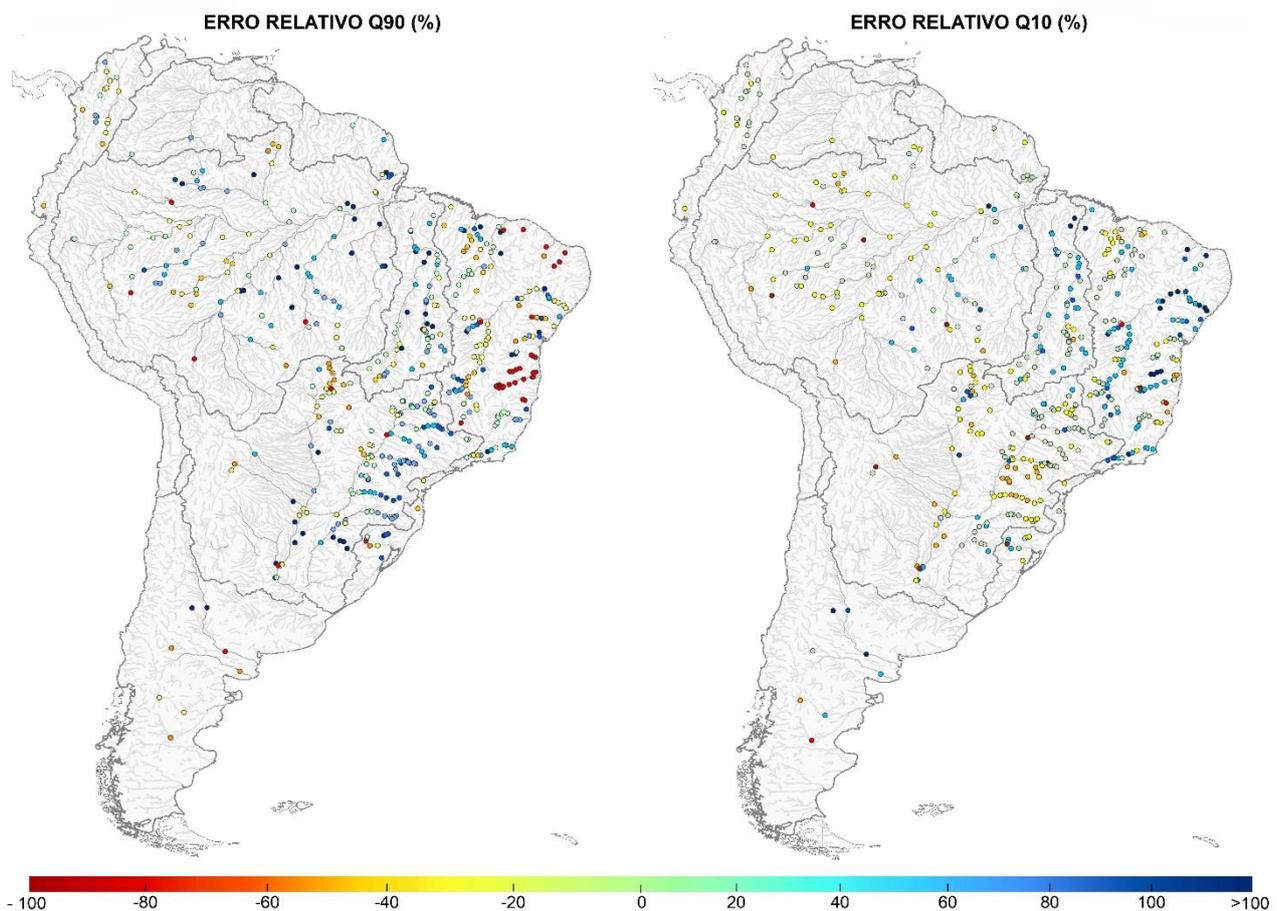


Figura 3 – Distribuição espacial do Erro Relativo (%) das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{10}$  na América do Sul

Destaca-se que em postos onde a vazão de referência é muito baixa, erros maiores são esperados. Se a vazão é muito próxima de zero, por exemplo, um pequeno desvio pode levar a um percentual demasiadamente alto. Ainda, há o fato de que no modelo foi utilizada uma calibração

manual simplificada (Siqueira *et al.*, 2018), não sendo detalhada posto a posto fluviométrico devido às incertezas das bases de dados utilizadas, que geralmente são mais grosseiras para aplicações em escala continental a global. Além disso, o modelo foi elaborado para com seu desempenho voltado não apenas pra vazão, mas também para outras variáveis do balanço hídrico.

Quando analisada a relação entre as áreas de drenagem e os erros relativos obtidos nas estimativas das vazões de referência  $Q_{90}$  e  $Q_{10}$ , conforme pode-se observar nos gráficos apresentados nas Figura 4 e Figura 5, respectivamente, em ambos os casos há uma tendência à diminuição dos erros encontrados em bacias maiores e também na dispersão desses resultados, principalmente nos grupos de área 3 e 4 (Tabela 2). No grupo 5, entretanto, há um aumento com relação aos dois grupos anteriores, mas ainda inferior aos grupos de menores áreas (G1 e G2). Observa-se também que o modelo tende a superestimar mais que subestimar as vazões, e quando subestima o faz em menor magnitude que as superestimativas, para  $Q_{90}$  e  $Q_{10}$ .

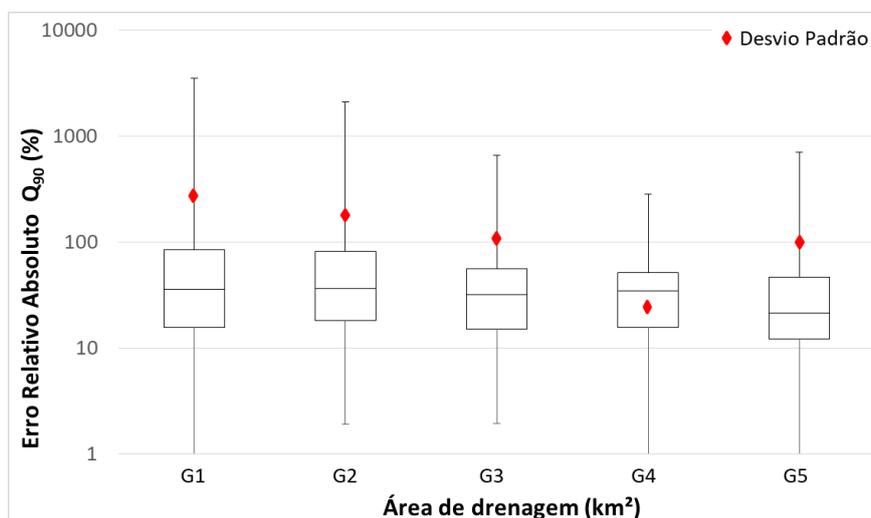


Figura 4 - Boxplot do Erro Relativo da vazão  $Q_{90}$  em relação à área de drenagem

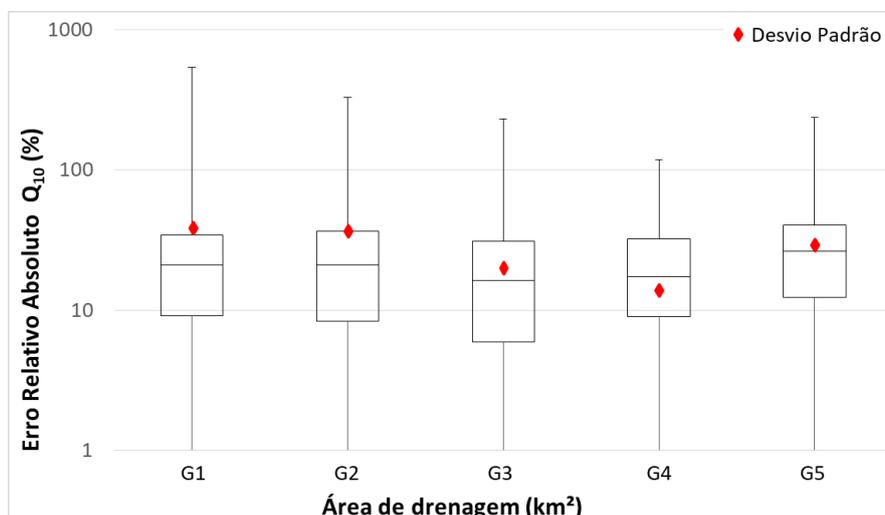


Figura 5 - Boxplot do Erro Relativo da vazão  $Q_{10}$  em relação à área de drenagem

Ainda em relação aos gráficos boxplot apresentados nas figuras, de forma geral, comparando-se os gráficos referentes às vazões mínimas ( $Q_{90}$ ) e máximas ( $Q_{10}$ ) e assumindo que as vazões dos postos utilizados como referência são precisos, verifica-se também que o modelo representa melhor vazões de maiores magnitudes (máximas).

Através dos gráficos representados nas Figura 6 e 7, observa-se a porcentagem dos dados que correspondem a uma determinada faixa de erro. Para a relação do erro da vazão  $Q_{90}$  (Figura 6) temos que 50% dos dados apresentam um erro relativo absoluto menor que 31% e 90% dos dados possuem um erro menor que 100%. Tendo em vista que os erros de medições de vazões em postos fluviométricos pelo método da curva-chave, que é o mais utilizado, possuem um valor médio de aproximadamente 20%, segundo o estudo de revisão apresentado por Domeneghetti (2012) apud. Pelletier (1987), portanto o erro de 31% apresentado na metade dos pontos analisados é de grandeza aceitável.

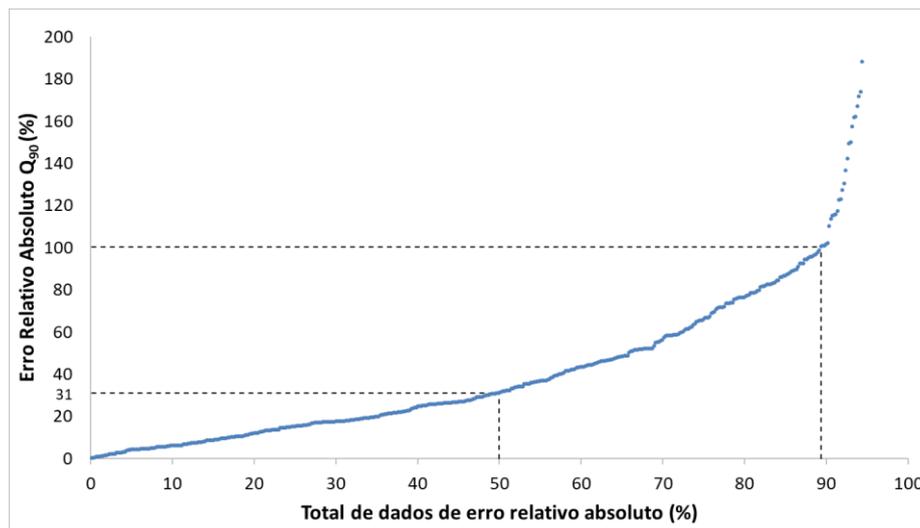


Figura 6 – Relação do erro Relativo Absoluto com o total de dados da  $Q_{90}$  analisados

Já na relação do erro da vazão  $Q_{10}$  (Figura 7) temos que metade dos dados analisados possuem erro menor que 20%, sendo expressivamente menores que os apresentados na  $Q_{90}$  e mais próximos do erro comum de medições de vazão pelo método curva-chave. Cerca de 95% dos dados possuem erro menor que 100%, também se apresentando mais satisfatórios que os da  $Q_{90}$ .

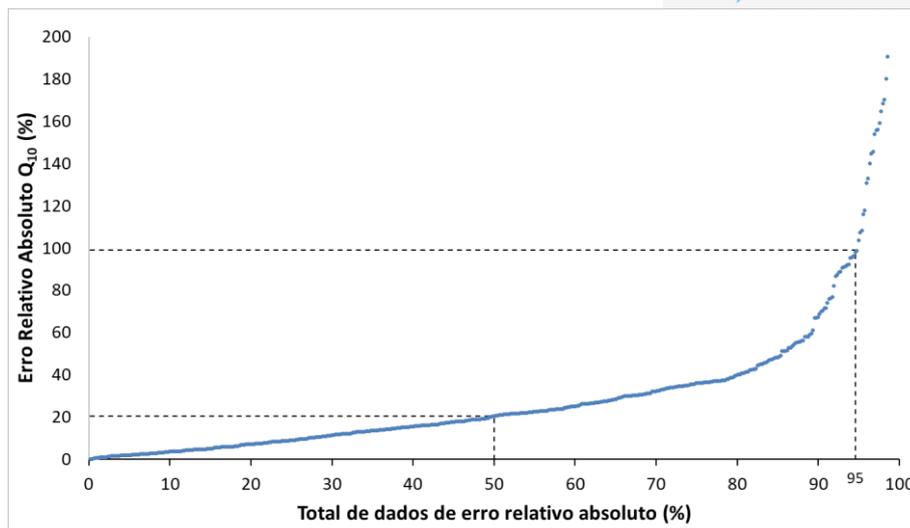


Figura 7 - Relação do erro Relativo Absoluto com o total de dados da  $Q_{10}$  analisados

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com os apresentados por Silva *et al.* (2009) e Pereira *et al.* (2017), estes fazendo o uso da metodologia da regionalização de vazões utilizando a área de drenagem como uma das variáveis mais significativas na representação, pode-se observar que os resultados de erro percentuais da  $Q_{90}$  do modelo e do método de regionalização se assemelham, apesar da escala do modelo MGB (continental). Foram encontrados resultados próximos aos dos autores citados anteriormente, estes apresentando erro relativo médio de 26,8% e 21,5% nas estimativas da  $Q_{90}$  na bacia do Rio São Francisco e Bacia do Rio Uruguai, respectivamente, enquanto que metade dos dados neste trabalho utilizados apresentaram erro relativo absoluto inferior a 31%.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se que, de forma geral, as estimativas do MGB em escala continental tende a apresentar menores erros percentuais nos cálculos de vazões de referência ( $Q_{90}$  e  $Q_{10}$ ) em trechos com maiores áreas de drenagem. Tem-se ainda uma melhora nos resultados apresentados nas vazões máximas em relação às mínimas, onde metade das  $Q_{90}$  e  $Q_{10}$  estimadas apresentaram erros inferiores a 31% e 20%, respectivamente. Não fora possível identificar em primeira análise uma tendência do comportamento espacial do erro em escala continental, porém o erro pode estar associado a uma calibração simplificada dada as limitações das bases de dados utilizadas no modelo, dificuldade em resolver processos hidrológicos em regiões mais áridas, além de outros fatores como a falta de um módulo de representação de reservatórios.

Apesar do desempenho razoável, recomenda-se realizar maiores investigações sobre o erro apresentado pelo modelo MGB afim de obter estimativas mais acuradas, podendo ser mais

profundamente analisado, por exemplo, para as diferentes regiões climáticas da América do Sul e índice de aridez do solo. Também se sugere melhorias em sua calibração, assim como melhorar estas estimativas através da assimilação de dados de vazão observada no modelo hidrológico, conforme já aplicado com sucesso em estudos recentes com o MGB (Wongchuig *et al.*, 2019).

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS e ao grupo de pesquisa HGE (Hidrologia em Grande Escala).

## REFERÊNCIAS

- BIERKENS, M. F. P. (2015). *Global hydrology 2015: state, trends, and directions*. Water Resources Research, 51, pp. 4923–4947. DOI: 10.1002/2015WR017173.
- CAMARA, A. C. F. C. (2003). *Análise da vazão máxima autorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. UFRGS, Porto Alegre - RS. 219 p.
- DOMENEGHETTI, A.; CASTELLARIN, A.; BRATH, A. (2012). *Assessing rating-curve uncertainty and its effects on hydraulic model calibration*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 16, n. 4, p. 1191-1202.
- DONNELLY, C.; ANDERSSON, J. C. M.; ARHEIMER, B. (2016). *Using flow signatures and catchment similarities to evaluate the E-HYPE multi-basin model across Europe*. Hydrological Sciences Journal, 61:2, pp. 255-273. DOI: 10.1080/02626667.2015.1027710.
- LISBOA, L. (2014). *Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na bacia do Rio Piracicaba*. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. UFV, Viçosa - MG. 109 p.
- PELLETIER, M. P. (1987). *Uncertainties in the determination of river discharge: a literature review*, Can. J. Civil Eng., 15, pp. 834–850.
- PEREIRA, L. A. *et al.* (2015). “Regionalização de vazões de permanência: estudo aplicado na região hidrográfica do Uruguai” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Nov. 2015. Disponível em: <[http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-1014\\_regionalizacao-de-vazoes-de-permanencia-estudo-aplicado-na-regiao-hidrografica-do-uruguai](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-1014_regionalizacao-de-vazoes-de-permanencia-estudo-aplicado-na-regiao-hidrografica-do-uruguai)>. Acesso em: 04 maio 2019.
- SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. (2009). *Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do Rio São Francisco*. Revista engenharia na agricultura - reveng, Viçosa, MG, v. 17, n. 5, pp. 392-403. ISSN 2175-6813. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/article/view/150/125>>. Acesso em: 04 maio 2019.
- SIQUEIRA, V. A. *et al.* (2018). *Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America*. Hydrology and Earth System Sciences. Göttingen: Copernicus. Vol. 22, n. 9 (set. 2018), pp. 4815-4842.
- TUCCI, C. E. M. (2002). *Regionalização de vazões*. Editora da Universidade/UFRGS. 256 p.
- WONGCHUIG, S. C. *et al.* (2019). *Hydrological reanalysis across the 20th century: a case study of the Amazon Basin*. Journal of Hydrology, 570, pp. 755-773.