

**Modelagem Hidrológica de larga escala com abordagem inercial****Large scale Hydrological modeling with inercial approach**

DOI:10.34117/bjdv6n2-094

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 10/02/2020

**Hugo Koji Suekame**

Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Avenida Costa e Silva s/n. Cidade Universitária – Campo Grande (MS), Brasil.

E-mail: hugo.koji@gmail.com

**Luiz Felipe Sant'Anna Commar**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Avenida Costa e Silva s/n. Cidade Universitária – Campo Grande (MS), Brasil.

E-mail: luizcommar@gmail.com

**Fábio Veríssimo Gonçalves**

Doutor em Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico - IST, Lisboa/Portugal

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Avenida Costa e Silva s/n. Cidade Universitária – Campo Grande (MS), Brasil.

E-mail: fabio.goncalves@ufms.br

**Glauber Altrão Carvalho**

Doutor em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Avenida Costa e Silva s/n. Cidade Universitária – Campo Grande (MS), Brasil.

E-mail: Glauber.altrao@gmail.com

**Marcelo Campos**

Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Avenida Costa e Silva s/n. Cidade Universitária – Campo Grande (MS), Brasil.

E-mail: marcelo.campos@ufms.br

**Rodrigo Bahia Pereira**

Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Endereço: Avenida Costa e Silva s/n. Cidade Universitária – Campo Grande (MS), Brasil.

E-mail: rodrigoeamb@gmail.com

**RESUMO**

Compreender o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas de grande escala é complexo além da constante falta de dados. Por outro lado, os modelos hidrológicos utilizam processos simples para representar os eventos do ciclo hidrológico de grandes áreas. Uma ferramenta que vem auxiliando o desenvolvimento de modelos hidrológicos em larga escala é o uso de SIG (Sistema de Informação Geográfica), uma ferramenta que auxilia na análise do solo e na cobertura de relevo, para que você possa entender melhor os processos das bacias de grande escala. Para tanto, foi aplicado o modelo MGB-IPH (modelo de Grandes Bacias desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Hidráulica da UFRGS) que é um modelo distribuído e possui abordagem utilizando informações sobre o modelo de elevação digital da área e duas formas de roteamento de fluxos, os cálculos modelo de Muskin-Cunge e o inercial. Este trabalho tem como objetivo comparar os resultados da simulação hidrológica do modelo Muskin-Cunge e Inercial no BAT (Bacia do Alto Taquari). Os resultados indicam que o modelo inercial tem desempenho semelhante ou superior ao modelo de Muskin-Cunge, nos casos em que há uma falta significativa de dados de fluxo observados, não se pode afirmar. Assim, concluiu-se a efetividade da calibração realizada, possibilitando o uso dos resultados obtidos para futuros estudos na região. Também foi entendido que os resultados podem ser melhorados por estudos subsequentes.

**Palavras-chaves** – Pantanal; Previsão de vazão; MGB-IPH**ABSTRACT**

Understand the hydrological behavior of large-scale basins is complex beyond the constant lack of data. On the other hand, the hydrological models use very simple processes to represent the events of the hydrological cycle of large areas. A tool that comes assisting the development of large-scale hydrological models is the use of GIS (geographic information System), a tool that assists in the analysis of soil, and relief coverage, so that if you can get a more complete understanding on the processes of large-scale basins. So it was applied the model MGB-IPH (Large Basins model developed by Hydraulic Research Institute of UFRGS) that it is a distributed model and has an approach using information about the digital elevation model of the area and two forms of flows routing, the calculations model of Muskin-Cunge and the Inertial. This work has the objective to compare the results of hydrological simulation Muskin-Cunge model and Inertial in the BAT (Basin of the Upper Taquari). The results indicate that the inertial model has a performance similar or superior to the Muskin-Cunge model, in cases where there is a significant lack of observed flow data, it could not to be stated. Thus, it was

conclude the effectiveness of the calibration performs, making possible the use of the results obtained for future studies in the region. It was also been understood that the results can be improved by subsequent studies.

**Keywords** – Pantanal, Flow forecast, MGB-IPH

## 1 INTRODUÇÃO

O rio Taquari é afluente do alto curso do rio Paraguai e um dos principais rios do Pantanal do Estado do Mato Grosso do Sul. A bacia do Alto Taquari apresenta predisposição natural às perdas de solo, associada com o incremento das práticas agropecuária, como consequência, a intensificação dos processos erosivos. Em decorrência do aporte de sedimentos provenientes da alta bacia, o rio Taquari no seu baixo curso, encontra-se assoreado, causando com isso a inundação de uma vasta área durante a maior parte do ano.

As ações de manejo da bacia e as tomadas de decisões sobre o planejamento de seus recursos hídricos necessitam de respostas sobre diferentes aspectos do comportamento hidrológico da bacia, porém, na região de estudo esbarra na carência de dados climáticos de impactos ambientais antrópicos.

Entender os processos hidrológicos de maneira adequada pode ser considerado um passo estratégico em bacias de grande dimensão, tais estudos já foram realizados em diversas regiões como a bacia do rio Araguaia (Pontes *et al.* 2017), a bacia do Rio Piracicaba (Meller *et al.* 2012) Bacias Amazônicas (Getirana *et al.* 2010), com essa consideração o uso de modelos hidrológicos auxiliam em tais estudos principalmente quando existem falta de dados, o que é recorrente na região da Bacia do Alto Paraguai (BAP), mais especificamente na Bacia Do Alto Taquari (BAT).

Progressivamente a aplicação dos modelos hidrológicos vem sendo feito juntamente a softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim aumentando a representação física das bacias e agregando informações muito uteis ao processo de simulação (Fan *et al.* 2015c).

Com essa perspectiva a realização de estudos hidrológicos sobre a região da BAT, que possui uma vasta extensão territorial e poucos dados de vazão, é de extrema importância para possibilitar projeções de futuros cenários na região.

O presente estudo tem por objetivo comparar a eficiência entre os métodos de cálculo por Muskin-Cunge e modelo Inercial. Para tal fim, foi necessário realizar o processo de calibração do modelo MGB-IPH.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Taquari-MS, especificamente a Bacia do Alto Taquari (BAT), localiza-se na região do Planalto, como parte integrante da Bacia do Alto Paraguai (BAP), aproximadamente entre os paralelos 17° e 20° Sul, e os meridianos 53° e 55° Oeste. Com uma área de 27.672,4 km<sup>2</sup>.

A bacia possui uma cobertura de florestas e cerrados, hoje é composta em sua maior parte por pecuária e agricultura (Collischonn, Tucci, 2001).

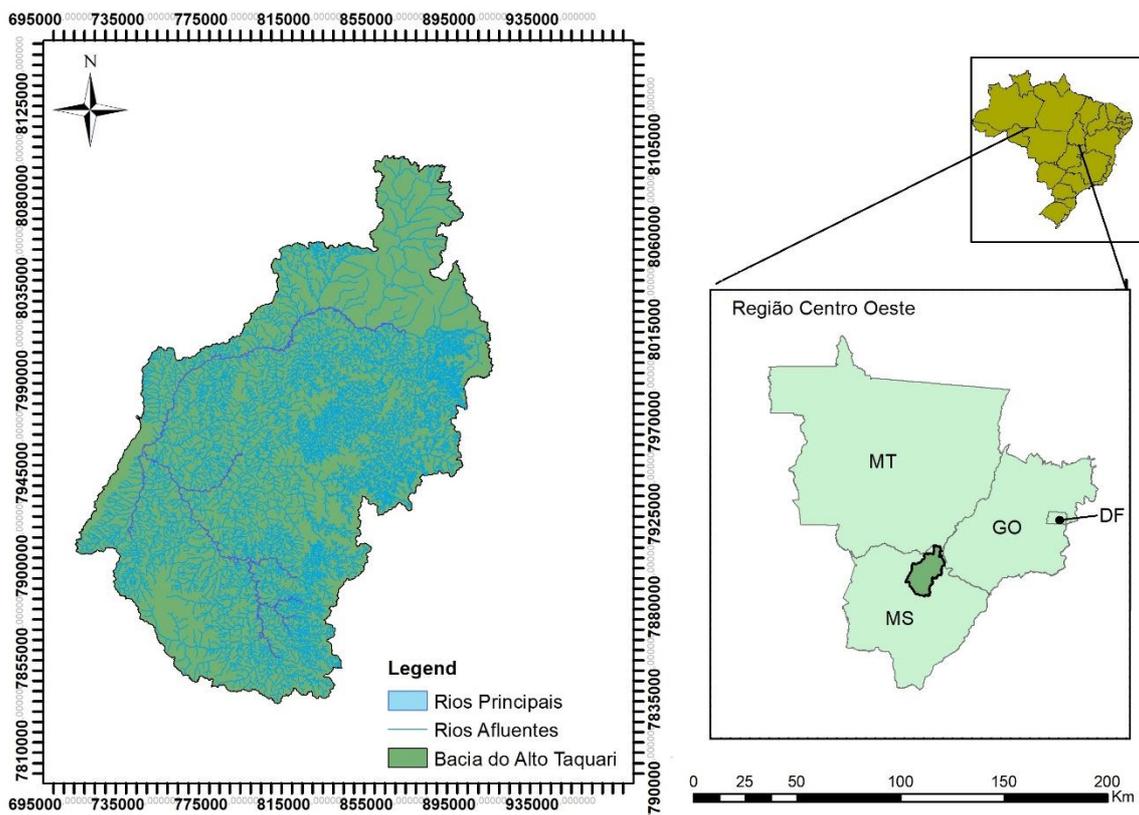


Figura 1 - Localização da Bacia do Alto Taquari

## 2.2 MODELO MGB-IPH

Foi utilizado o modelo MGB-IPH (Modelo Hidrológico de Grandes Bacias), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, sendo um modelo distribuído que foi desenvolvido para simular a transformação de chuva em vazão em grandes bacias (Collischonn *et al.* 2007). Modelo em que são utilizadas equações físicas e conceituais para representar o ciclo hidrológico no continente (Pontes *et al.* 2015).

O módulo atual de trabalho divide-se a bacia hidrográfica em partes menores, denominadas mini bacias (Fan, Collischonn; 2014), além desta divisão também divide-se a bacia em Unidades de Resposta Hidrológicas (URH), conforme Figura 2, que é obtida a partir dos solos da região junto ao uso e ocupação presentes na área, estas áreas possuem características comportamentais semelhantes no quesito de hidrologia. (Pontes *et al.* 2015).

Com cada URH definida torna-se possível o cálculo de balanço de energia, que inclui evapotranspiração que é estimada pela equação de Penman-Monteith, a propagação de vazão das redes de drenagem foram calculadas pelo método de Muskin-Cunge e pela aproximação inercial das equações de Saint-Venant a descrição das equações seus detalhamentos estão descritos em Collischonn *et al.* (2007), Fan *et al.* (2014b) e Pontes *et al.* (2015).

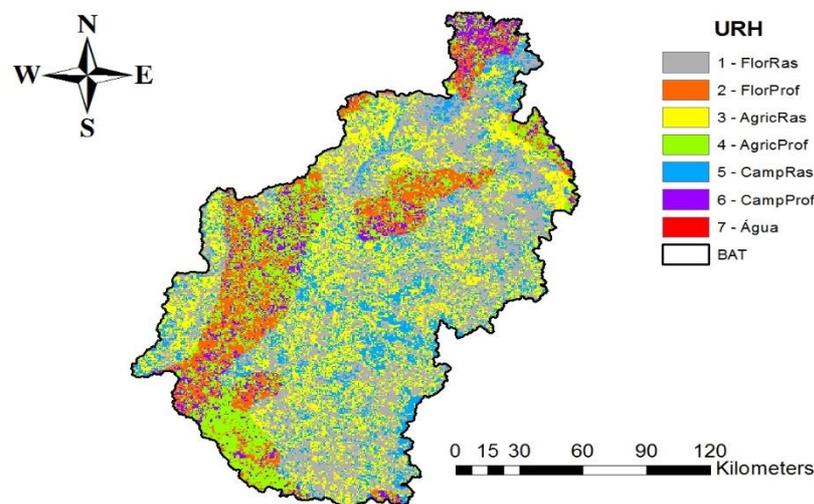


Figura 2 - Unidades de Resposta Hidrológica (URH) (Adaptado; Fan; *et al.* 2015a)

Também são necessários dados de clima, vazão e pluviosidade, pois serão utilizados como entrada no processo de cálculo do modelo (Fan, Collischonn; 2014). As estações fluviométricas encontram-se Tabela 1, obtidas através da base de dados da Agência Nacional

de Águas (ANA, 2018), os dados de chuva foram obtidos pelo MERGE, que são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018). Os dados de clima foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018).

Tabela 1 - Identificação dos postos fluviométricos.

| <b>Estação</b>        | <b>ID da Estação</b> | <b>Rio</b>   |
|-----------------------|----------------------|--------------|
| Coxim                 | 66870000             | Taquari      |
| Pedro Gomes           | 66845000             | Taquari      |
| Contravertente        | 66850000             | Jauru        |
| Próxima de Rio Verde  | 66865000             | Taquarizinho |
| Confluência Rio Jauru | 66849000             | Coxim        |

### 2.3 AJUSTE E CALIBRAÇÃO DO MODELO

O processo de ajuste do modelo foi baseado na técnica descrita por Jardim *et al.* (2017). Em um primeiro momento o modelo foi aquecido, isto é, avaliou-se a sensibilidade dos parâmetros de entrada para o modelo levando em consideração o valor de NS (Mello *et al.* 2008), fatores esses que obtidos em levantamentos realizados por Collischonn *et al.* (2001), EMBRAPA (2001), WWF (2017). Após o primeiro resultado foi realizado o processo de calibração automática, para os parâmetros calibráveis.

### 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.

Resultados calculado foram comparados com os observados, através de técnicas estáticas usadas em estudos hidrológicos. Coeficiente Nash-Sutcliffe (NS) (Nash, Sutcliffe, 1970), coeficiente do erro relativo do volume total ( $\Delta V$ ), coeficiente de determinação (CD) e coeficiente de massa residual (CRM) (Loague, Green, 1991), indicados respectivamente pelas equações 1,2,3,4.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ci} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{om})^2} \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ci} - \sum_{i=1}^n Q_{oi}}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} \quad (2)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{om})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{ci} - Q_{om})^2} \quad (3)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{oi} - \sum_{i=1}^n Q_{ci}}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} \quad (4)$$

Onde  $Q_{ci}$  é a vazão calculada,  $Q_{oi}$  é a vazão observada e  $Q_{om}$  é a vazão média observada, todos os valores dentro do tempo observado e com número de intervalos indicados por  $n$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** observa-se uma discrepância significativa para as simulações dos parâmetros iniciais, em contrapartida após ajuste obteve-se uma curva mais representativa.

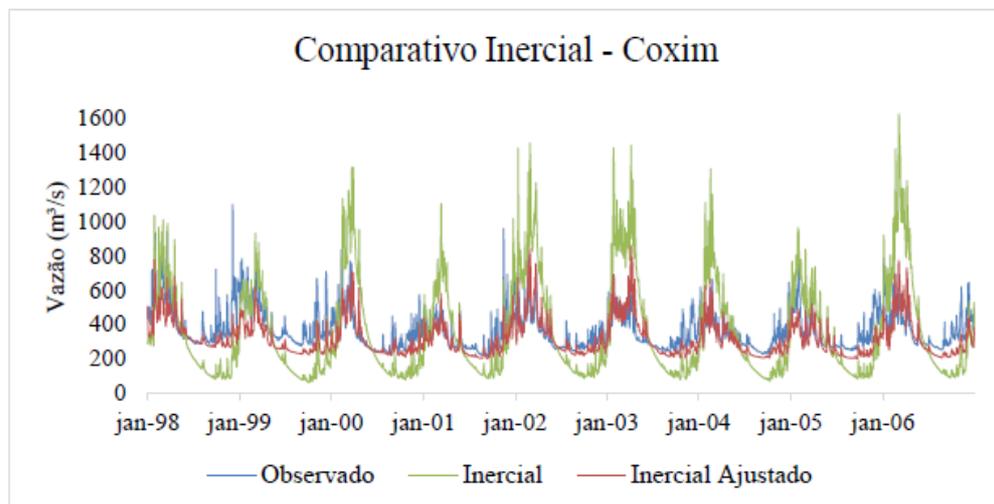


Figura 4 Comparativo das simulações para ajuste.

Através da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** observou-se que nas estações Contravertente e Confluência Rio Jauru os valores obtidos pela simulação de Muskin-Cunge e Inercial, são bastantes semelhantes, porém observa-se que os picos não coincidem com o observado. Os resultados do MGB para Coxim e Pedro Gomes mostram os picos de cheias mais representativos quando comparamos ambas as simulações com os dados observados.

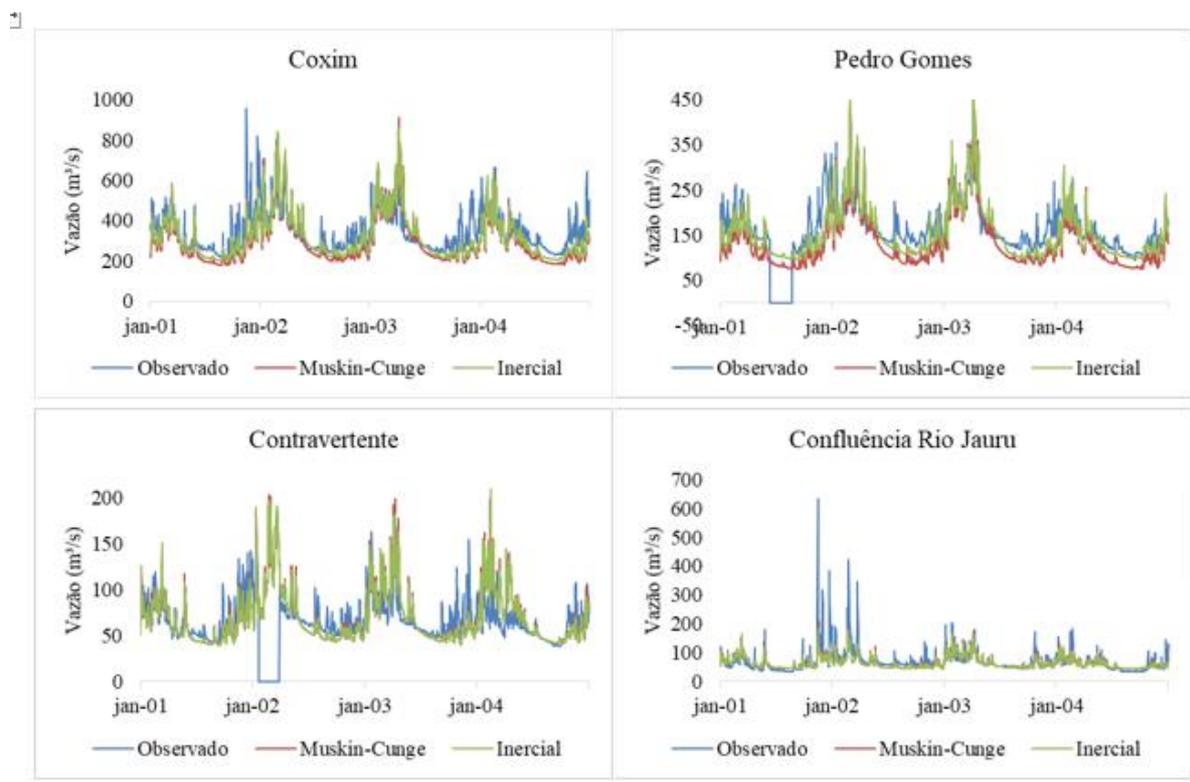


Figura 5 - Hidrogramas das estações fluviométricas na BAT

O melhor valor para o fator Nash-Sutcliffe (NS) foi para a estação de Pedro gomes (Tabela 2), segundo Moriasi *et al.* (2007) valores acima de 0,50 são satisfatórios.

Tabela 2 - Desempenho estatístico do modelo, comparando os métodos MC e Inercial. Melhores resultados destacados em negrito.

| Estação               | NS              |                | $\Delta V$ (%) |                | CD             |               | CRM            |               |
|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|                       | MC              | Inercial       | MC             | Inercial       | MC             | Inercial      | MC             | Inercial      |
| Coxim                 | 0.1918          | <b>0.3747</b>  | -0.1752        | <b>-0.1292</b> | 0.8001         | <b>0.9599</b> | 0.1752         | <b>0.1292</b> |
| Pedro Gomes           | 0.1390          | <b>0.4246</b>  | -0.1979        | <b>-0.0968</b> | 0.7257         | <b>0.9951</b> | 0.1979         | <b>0.0968</b> |
| Contravertente        | -0.2123         | <b>-0.2119</b> | <b>0.0292</b>  | 0.0297         | 0.9226         | <b>0.9336</b> | <b>-0.0292</b> | -0.0297       |
| Próxima de Rio Verde  | <b>-69.2976</b> | -69.3608       | -0.0633        | <b>-0.0632</b> | <b>71.2109</b> | 71.6342       | 0.0633         | <b>0.0632</b> |
| Confluência Rio Jauru | 0.3378          | <b>0.3419</b>  | -0.0304        | <b>-0.0297</b> | <b>3.4534</b>  | 3.5799        | 0.0304         | <b>0.0297</b> |

O erro relativo do volume total ( $\Delta V$ ) mostrou-se bom para todas as estações sempre próximo de zero, também podemos observar na Tabela 2 para  $\Delta V$  que os métodos MC e

Inercial não diferem representativamente entre si, e quando comparados com o calculado para a mesma região por Collischonn e Tucci (2001), na ocasião foram encontrados os valores de 2,4 e -1,3 para as localidades de Perto de Pedro Gomes e Coxim respectivamente, obteve-se um melhor resultado para esse teste de desempenho.

O cálculo de eficiência também pode ser observado no coeficiente de determinação (CD), neste item o modelo mostra-se representativo com todos os valores simulados próximos ao ideal que é 1, principalmente para as estações de Pedro Gomes e Coxim, exibem alta eficiência no cálculo.

No caso do coeficiente de massa residual (CRM) foram obtidos ótimos resultados para todas as estações calibradas durante as simulações. Assim assinalando que o modelo não possui tendência de superestimar ou subestimar os valores calculados em relação aos observados. Característica esta que pode ser averiguada pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** nos picos do hidrogramas.

#### 4 CONCLUSÃO

Tem-se como conclusão no presente estudo que o modelo inercial apresenta uma qualidade de resultados análoga ou superior ao modelo MC, exceto os casos onde se tem uma grande falta de dados. Nesses casos o modelo MC mostrou-se melhor, porém com baixo desempenho. Pode-se considerar o modelo como representativo para a área da BAT, visto que os hidrogramas da simulação inercial são bastante similares aos hidrogramas construído com os dados observados para o mesmo período da calibração e os cálculos estatísticos. O que permite a utilização dos valores obtidos em futuros estudos na região.

É importante salientar que a região é escassa de dados de vazão e clima para o processo de construção da simulação hidrológica, o que gera problemas na avaliação do modelo, assim caso obtenha-se uma maior base de dados para o processo de entrada no modelo, é provável que se obtenha um melhor resultado.

#### REFERÊNCIAS

COLLISCHON, W. ALLASIA, D. SILVA, B. C. TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. Hydrological Sciences Journal, 52:5. 2007, 878-895, DOI: 10.1623/hysj.52.5.878.

- COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M., 2001. Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), Porto Alegre, Brasil.
- FAN F. M., BUARQUE D. C., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN W. 2015a Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro de 2015, Brasília-DF. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. PAP019919.
- FAN, F. M. PONTES, P. R. M. PAIVA, R. C. D. 2014b. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial da equações de Saint-Venant. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos – v, 19, n.4, p. 137 – 147.
- FAN, F.M., FLEISCHMANN, A.S., COLLISCHONN, W., AMES, D.P., RIGO, D., 2015c. Large-scale analytical water quality model coupled with GIS for simulation of point sourced pollutant discharges. Environ. Model. Softw. v 64, p. 58 – 71. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.012>.
- GETIRANA, A. C. V. BONNET, M.-P. ROTUNNO FILHO, O. C. COLLISCHONN, W. GUYOT, J.-L. SEYLER, F. MANSUR, W. J. 2010. Hydrological modelling and water balance of the Negro River basin: evaluation based on *in situ* and spatial altimetry data. Hydrol. Process. 24, 3219–3236. DOI: 10.1002/hyp.7747.
- IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.
- JARDIM, P F.; FLEISCHMANN, A. S.; PELINSON, D.; OLIVEIRA, A. M.; SIQUEIRA, V. A.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Manual de Exemplo de Aplicação do Modelo MGB-IPH 2017 utilizando o IPH-Hydro Tools. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2017. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/mgb-iph-2017/>.
- LOAGUE, K. GREEN, R. E. Statistical and graphical methods fo evaluating solute transport models: Overview and application. 1991. Journal of Contaminant Hydrology, 7 (1991) 51-73.
- MELLER, A. BRAVO, J. M. COLLISCHONN, W. 2012. Assimilação de Dados de Vazão na Previsão de Cheias em Tempo Real com o Modelo Hidrológico MGB-IPH. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos – v, 17, n.3, p. 209 – 224.
- MELLO, C. R. VIOLA, M. R. NORTON, L. D. SILVA, A. M. WEIMAR, F. A. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian head water basin. Catena, v.75, p.235-247, 2008.

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. ASABE - Vol. 50(3). P. 885–900. ISSN 0001–2351.

NASH J. E, SUTCLIFFE J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I – a discussion of principles. Journal of Hydrology 10: 282–290. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6

PONTES, P. R. M. FAN, F. M. FLEISCHMANN, A. S. PAIVA, R. C. D. BUARQUE, D. C. SIQUEIRA, V. A. JARDIM, P, F. SORRIBAS, M. V. COLLISCHONN, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. Environmental Modelling & Software 94 (2017) 1e20 <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.029>

PONTES, P.R. M. COLLISCHONN, W. FAN, F. M. PAIVA, R. C. D. BUARQUE, D. C. 2015. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos – v, 20, n.4, p. 888 – 904.

WWF- BRASIL. UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO, FUNDAÇÃO TUIUIÚ. BRASÍLIA, 2017. Relatório técnico: Monitoramento da Cobertura Vegetal e Uso do Solo da Bacia do Alto Paraguai – 2016.