



# ESTIMATIVA DA DESCARGA SÓLIDA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO PARA O LAGO GUAÍBA/RS ATRAVÉS DA MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA DE GRANDE ESCALA

*Renata Barão Rossoni<sup>1</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>2</sup>; & Vitória Ache Lopes<sup>3</sup>*

**ABSTRACT** – For improvements in the understand of the hydro-sedimentological processes and to minimize the effects of the sediments associated environmental problems, it is important an integrated approach of watersheds studies. It is very difficult to obtain sediments data in large basins, so hydrological-sediment models are an alternative to assist the management of water resources. The objective of this study is the sediment processes modelling of the Guaíba Lake basin and estimate the suspended solid discharge in the Guaíba Lake. It was used the model MGB-SED, developed from the coupling of a sediment module to the hydrological model MGB-IPH. The equation used by the model for sediment yield is the MUSLE. The model calibration was done to the parameters K and C, and the method was trial and error. The total data used was from 20 flow stations in the basin, and the simulated period was from 2001 to 2010 (calibration step) and from 1990 to 2000 (validation step). The main model evaluation metric was the PBIAS and it presented 13 satisfactory results. The results show that it is possible to use the MGB-SED to model hydro-sedimentological processes in the basin and the suspended solid discharge in the Guaíba Lake calculated was  $4.1 \times 10^6$  t/year.

**Palavras-Chave** – Simulação computacional, MGB SED, MUSLE.

## 1 - INTRODUÇÃO

Sedimentos são as partículas sólidas, derivadas da rocha e solo, que podem ser transportadas pela água ou depositadas no leito fluvial (Carvalho, 2008). Atualmente, com o aumento dos problemas ambientais decorrentes dos processos hidrossedimentológicos, além da necessidade de uma gestão integrada dos recursos hídricos (Bordas e Semmelmann, 2001), existe a necessidade de mais desenvolvimento de estudos nessa área. Os principais efeitos relacionados aos sedimentos são ocasionados pelas etapas de geração, transporte e deposição do ciclo hidrossedimentológico.

Podemos verificar os problemas e os aspectos econômicos que envolvem os sedimentos em diversas bacias hidrográficas do Brasil, como na bacia do Lago Guaíba, no Rio Grande do Sul, que é

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, renata.rossoni@ufrgs.br, 33086414;

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, fernando.fan@ufrgs.br, 33086414

3) Universidade Federal do rio Grande do Sul



o estudo de caso do presente trabalho. Essa é uma região de intensa atividade agropecuária (Andrade Neto *et al.*, 2012), que possui importante papel econômico na bacia, podendo sofrer a influência do ciclo hidrossedimentológico, como a remoção da camada fértil do solo ou o carregamento de poluentes originados de defensivos agrícolas. Além disso, o Rio Jacuí, um dos seus afluentes, é um dos principais fornecedores de areia para a região metropolitana de Porto Alegre e sofre constantemente pelos danos ambientais causados pela atividade econômica, demonstrando a necessidade de mais estudos que abordem essa temática. Ainda, podemos destacar o excesso de sedimentos que dificultam o tratamento da água, causando diversos prejuízos numa região de pressões antrópicas. Assim, devido à importância econômica, social e ambiental dessa bacia e os impactos relacionados aos sedimentos, há uma crescente necessidade de desenvolver estudos que abordem a dinâmica destes processos na região.

Contudo, existe uma escassez de dados sedimentológicos em bacias de grandes escalas, além de que realizar campanhas de amostragem de sedimentos em uma área tão extensa é uma atividade onerosa. Em trabalhos como o de Hartmann, *et al.* (2010), é possível realizar uma estimativa da descarga sólida, no entanto, a metodologia fica limitada a um trecho específico de rio, além de ser necessário recursos de equipamentos, de amostragem e de laboratório. Dessa forma, os modelos matemáticos se destacam nesse aspecto, pois permitem uma avaliação integrada entre os processos, tornando-se ferramentas úteis (Buarque, 2015) na gestão dos recursos hídricos.

Existem diversos modelos hidrológicos que acoplam um módulo de sedimentos, sendo que muitos já foram utilizados em estudos no Brasil. Um dos mais utilizados em simulações de grandes escalas é o modelo SWAT (Arnold, *et al.*, 1998), que pode ser encontrado em diversos trabalhos no Brasil, como em Santos, *et al.* (2015), Zanin e Bonumá (2015), Dantas, *et al.* (2015). Nesse modelo, o aporte de sedimentos é calculado pela MUSLE, já a propagação de sedimentos utiliza a metodologia Muskingum. Essa metodologia, por ser simplificada, é recomendada para bacias com encostas íngremes e solos rasos, não sendo o modelo mais indicado para bacias onde características hidráulicas como efeitos de remanso e planícies de inundação são importantes (Buarque, 2015).

Dessa forma, foi desenvolvido, por Buarque (2015), um módulo de sedimentos acoplado ao modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn, *et al.*, 2007). Esse modelo, além de possuir a metodologia de propagação de vazões Muskingum-Cunge, que é mais simplificada, ainda possui a metodologia de propagação hidrodinâmica e inercial (Pontes, *et al.*, 2015). Assim, é possível simular os processos hidrossedimentológicos com mais precisão em bacias brasileiras, que sofrem frequentemente a influência dos efeitos de remanso e as trocas de água e de sedimentos nas planícies de inundação. É possível encontrar aplicações desse modelo, com resultados satisfatórios, em Buarque, *et al.* (2016) e Fagundes, *et al.* (2017). Assim, o presente trabalho tem como finalidade realizar uma estimativa da descarga de sedimentos finos no Lago Guaíba, além de analisar os



processos de fluxo de sedimentos na bacia, com a utilização do modelo MGB-SED (Modelo de Grandes Bacias – Módulo de Sedimentos).

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 - Área de estudo

A bacia hidrográfica do Lago Guaíba fica localizada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil e é composta por nove sub-bacias. A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

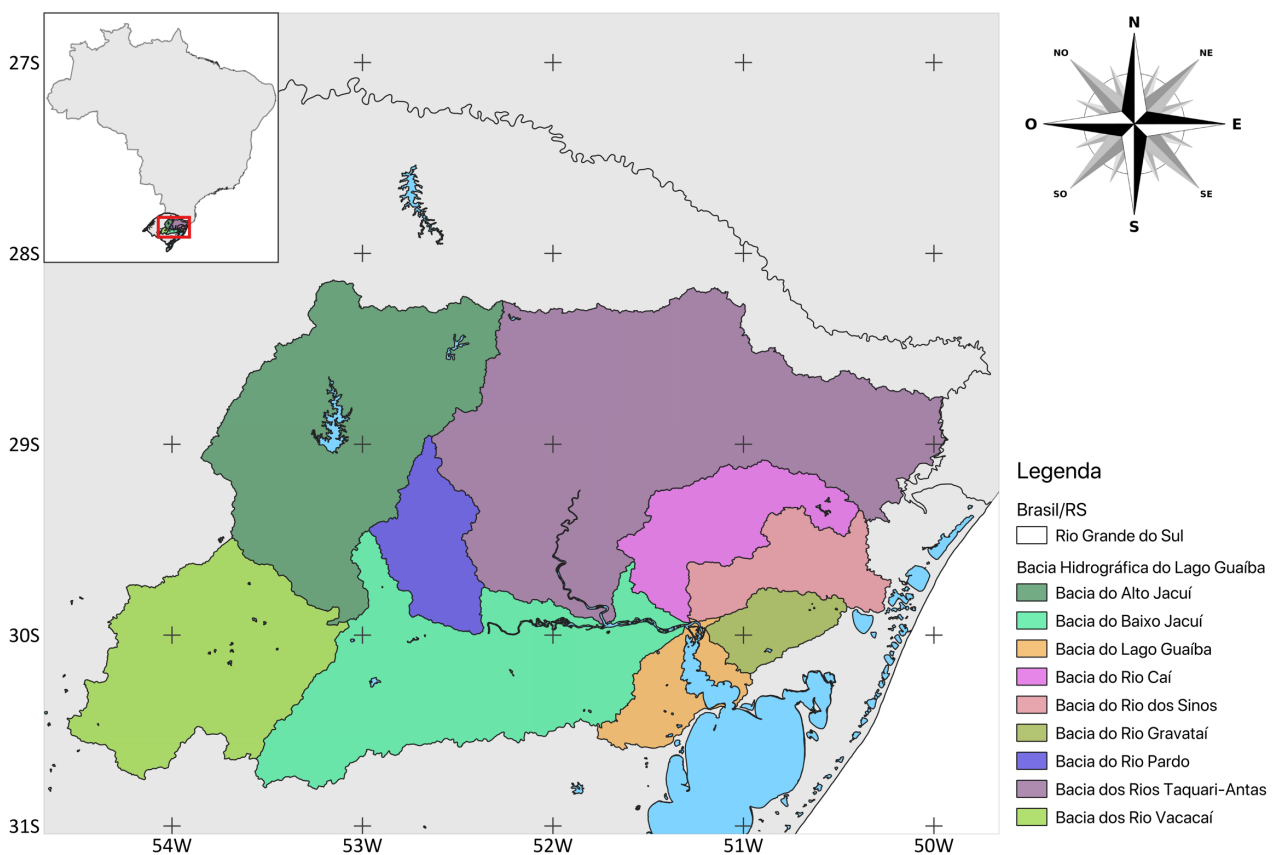


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Lago Guaíba (Fonte: autoria própria).

O Lago Guaíba possui cerca de 50 km de comprimento e 470 km<sup>2</sup> de superfície, sua profundidade média é de 2 m, chegando a 31 m em alguns trechos (Menegat, 1999). O Lago Guaíba recebe aporte de água e sedimentos das bacias do Alto e Baixo Jacuí, Vacacaí-Vacacaí Mirim, Rio Pardo, Taquari-Antas, Rio Caí, Rio Gravataí e Rio dos Sinos. A Figura 1 apresenta a localização da bacia. Na região da bacia hidrográfica, a textura dos solos é predominantemente argilosa a muito argilosa, apresentando algumas regiões com textura média.



## 2.2 - Modelo MGB-SED e parâmetros utilizados

O modelo MGB-SED busca integrar os processos de erosão, desde o desprendimento do material até sua deposição final. Segundo Buarque (2015), a produção de sedimento, medida por minibacia para cada URH, é estimada através da equação MUSLE, que utiliza o volume de escoamento superficial e a taxa de pico de escoamento, a partir do módulo hidrológico MGB-IPH, calibrado previamente por Lopes (2017). A área e o fator topográfico são calculados pelo MDE de entrada do modelo. Segundo Beskow, *et al.* (2009), é utilizado o valor igual a 1,0, para o parâmetro práticas conservacionistas, em casos onde não há práticas conservacionistas na bacia. Para o parâmetro *FG*, manteve-se o valor igual a 1,0, como em Buarque (2015). Dessa forma, os parâmetros utilizados para a calibração do modelo foram o fator de erodibilidade do solo (*K*) e o fator de cobertura e manejo do solo (*C*). Além disso, segundo Buarque (2015), o material fino é transportado em suspensão sem que haja deposição ou erosão dessas partículas no leito do rio. A propagação de vazões e sedimentos nos trechos de rio é calculada a partir da metodologia Muskingum-Cunge.

## 2.3 - Obtenção do banco de dados, calibração e validação do modelo

Os dados utilizados, nesse trabalho, foram coletados do portal “Hidroweb” (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>) da Agência Nacional de Águas (ANA) e referem-se aos valores de concentração, em mg/L, de sedimentos finos (silte e argila) na seção transversal do rio e aos valores de vazão do curso d’água. Ao todo, foram coletados dados de 15 estações fluviométricas. A simulação do modelo foi realizada para um período de 20 anos, sendo a calibração simulada entre os anos de 2001 e 2010 e a validação entre os anos 1990 até 2000.

A calibração seguiu a metodologia manual, por tentativa e erro, comparando os resultados simulados com os dados observados nas estações fluviométricas da ANA. As estimativas iniciais foram escolhidas de modo que estivessem de acordo com as características de textura do solo (parâmetro *K*) e com o uso do solo (parâmetro *C*) e os valores calibrados foram mantidos dentro de faixas aceitáveis de variação destes parâmetros. Já na etapa de validação, os resultados foram analisados para os anos de simulação desse período, porém sem alterar os parâmetros de calibração. Primeiro era realizada uma análise visual dos sedimentogramas, verificando a coerência dos gráficos e, após, era feita uma análise das métricas de desempenho, visando os melhores resultados para as métricas de maior importância.

## 2.4 - Métricas de Desempenho

A verificação do desempenho do modelo foi feita através das métricas: coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe aplicado a logaritmos (NSE LOG) e porcentagem de BIAS (PBIAS). As Equações 1, 2 e 3 apresentam as métricas respectivamente.



$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{média})^2} \right] \quad (1)$$

$$NSE \text{ LOG} = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (\log Q_{sim} - \log Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^N (\log Q_{obs} - \overline{\log Q_{obs}})^2} \right] \quad (2)$$

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \cdot (100)}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad (3)$$

No presente trabalho, baseado nos valores encontrados em Moriasi, *et al.* (2007), foi determinado que, para o NSE e NSE LOG, valores menores que 0,0 são considerados insatisfatórios, valores entre 0,0 e 0,5 são considerados satisfatórios e valores acima de 0,5 são muito satisfatórios. Para a métrica PBIAS, valores maiores ou menores do que 70% são considerados insatisfatórios, valores entre -50 até -70% e 50 até 70% são considerados satisfatórios e valores entre -55 até 55% são considerados muito satisfatórios.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A PBIAS foi utilizada como métrica principal para avaliar o desempenho do modelo hidrossedimentológico da bacia. A Figura 2 apresenta os postos fluviométricos com suas respectivas avaliações de PBIAS. Além disso, apresenta os sedimentogramas dos principais postos fluviométricos, que se encontram mais a jusante nas sub-bacias, isto é, que estão mais próximos da entrada do Lago Guaíba. Dos 15 postos fluviométricos avaliados, 13 apresentaram resultados satisfatórios ou muito satisfatórios e 2 apresentaram resultados insatisfatórios.

Os sedimentogramas acima indicam que o modelo apresenta melhor desempenho para as descargas sólidas menores. Esse padrão é verificado na Figura 3, ao comparar os valores de NSE e NSE LOG. O NSE LOG valoriza vazões mais baixas, sendo menos sensível a cheias e picos extremos, assim, o modelo apresenta 14 resultados satisfatórios/muito satisfatório para NSE LOG, enquanto para NSE apresenta 9 resultados satisfatórios/muito satisfatórios. No período de validação, 4 dos postos fluviométricos não apresentavam dados entre os anos de 1990 até 2000. Dessa forma, 3 postos apresentaram resultados satisfatórios/muito satisfatórios, enquanto 8 postos apresentaram resultados insatisfatórios.

O modelo hidrossedimentológico para a bacia do Lago Guaíba, após calibração e validação, é apresentado na Figura 4. Ele apresenta uma análise espacial integrada da carga média anual de sedimentos em suspensão, simulada pelo modelo. Pode-se observar que a maior parte da bacia transporta anualmente  $0,05 \cdot 10^6$  t/ano, possuindo uma descarga sólida maior nos rios Jacuí e Taquari-Antas. Os rios Jacuí, no seu curso médio, e o Taquari-Antas apresentaram uma descarga sólida entre  $0,8 \cdot 10^6$  t/ano até  $1,5 \cdot 10^6$  t/ano.

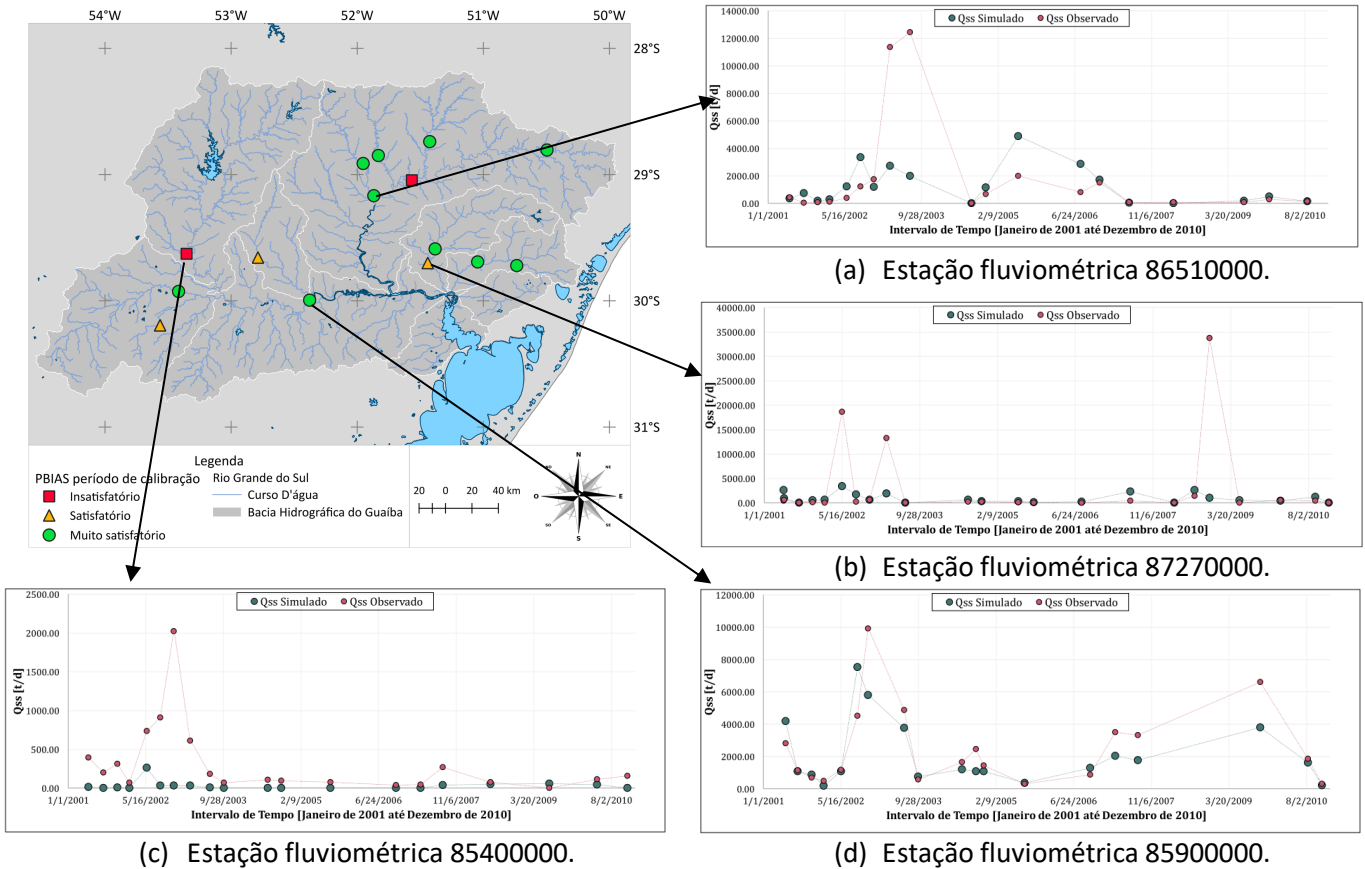


Figura 2 - Análise espacial da PBIAS para descarga sólida na bacia do Lago Guaíba e sedimentogramas dos principais postos fluviométricos (Fonte: autoria própria).

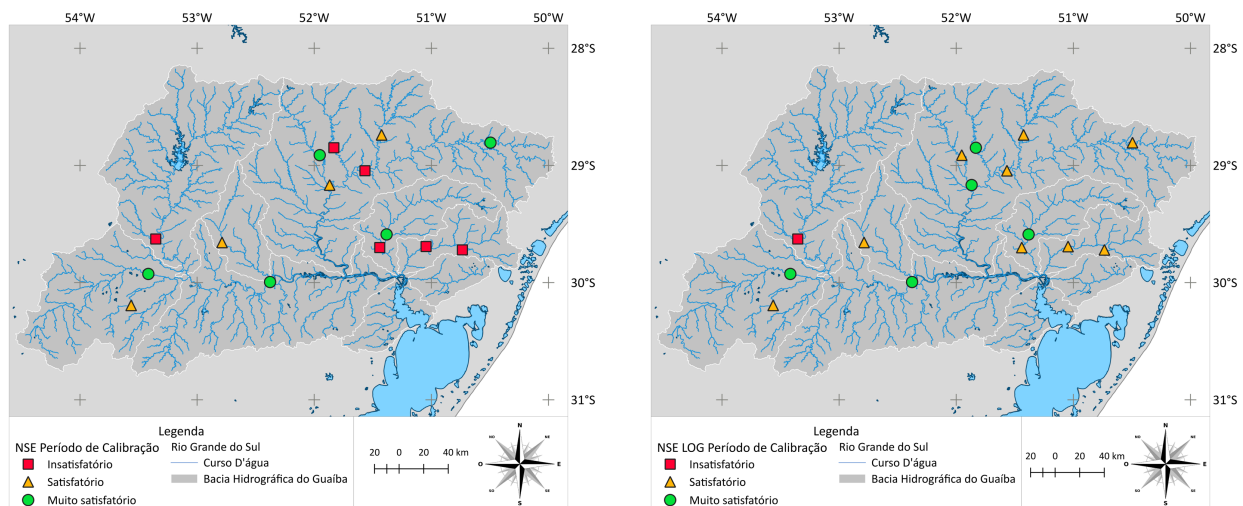


Figura 3 - Análise das métricas de desempenho NSE e NSE LOG para o período de calibração.

No rio Jacuí, próximo do seu delta, foi estimada uma descarga sólida de  $2,8 \cdot 10^6$  t/ano. Esse valor pode ser comparado ao valor encontrado pelo estudo de Hartmann, *et al.* (2010), no qual é





encontrado um valor de aproximadamente  $3,3 \cdot 10^6$  t/ano para a mesma região desse trecho de rio. Para os rios Caí, dos Sinos e Gravataí, o modelo estimou uma descarga sólida anual de aproximadamente  $0,54 \cdot 10^6$  t/ano,  $0,56 \cdot 10^6$  t/ano e  $0,76 \cdot 10^6$  t/ano, respectivamente. Assim, a simulação realizada pelo modelo estimou que a descarga sólida que chega ao Lago Guaíba anualmente é de aproximadamente  $4,1 \cdot 10^6$  t/ano.

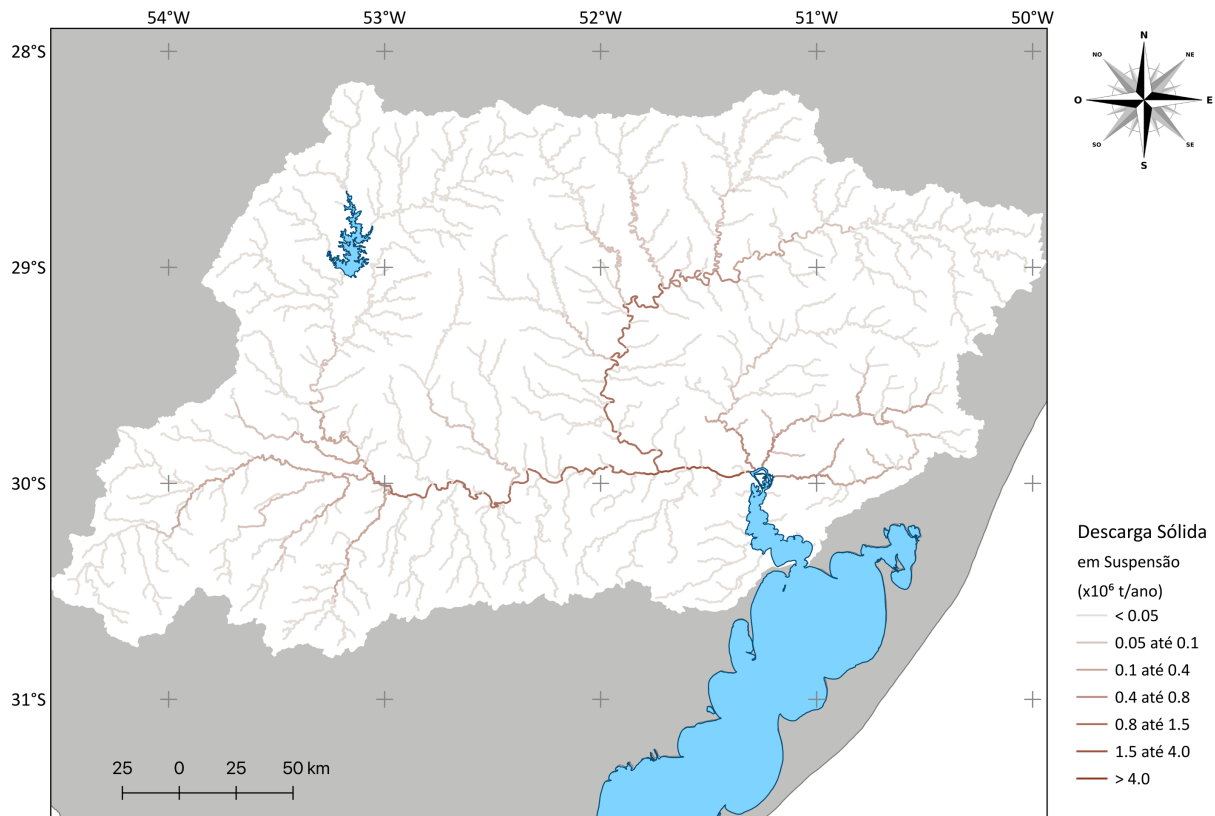


Figura 4 - Modelo de descarga sólida de sedimentos finos para a bacia do Lago Guaíba.

## 4 - CONCLUSÕES

O objetivo geral do trabalho foi analisar os processos hidrossedimentológicos de fluxo de sedimentos finos, além de realizar uma estimativa para a descarga sólida de sedimentos, na bacia do Lago Guaíba. Para isso, foi proposto a utilização do modelo MGB-SED, um módulo de sedimentos acoplado ao modelo hidrológico MGB-IPH. A metodologia escolhida apresentou resultados satisfatórios para a maior parte da bacia, mesmo que a série de dados observados fosse pouco representativa. Além disso, foi possível estimar valores para a descarga sólida do rio Jacuí no Lago Guaíba bem próximos de valores obtidos em estudos anteriores. Ao todo, o modelo simulado estimou uma descarga sólida anual no Lago Guaíba de aproximadamente  $4,1 \cdot 10^6$  t/ano.



**AGRADECIMENTOS** a CAPES-Brasil pelo apoio financeiro parcial a este trabalho.

### BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE NETO, J. S. de; RIGON, L. T.; TOLDO JR, E. E.; SCHETINI, C. A. F. (2012). “*Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal*”. Pesquisas em Geociências, v.39, p.161 - 171.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. (1998). *Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development*. Journal American Water Works Association, v.34, p.73-89.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURTI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. (2009). *Soil prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling*. Catena, v.79, p.49-59.
- BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. (2001). “*Elementos de engenharia de sedimentos*”, in *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Org. por Tucci, C. E. M., ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 915-943.
- BUARQUE, D. C. (2015). *Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do Rio Madeira*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BUARQUE, D. C.; FAN, F. M.; GUYOT, J. L.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. (2016). “*Modelagem computacional da dinâmica de sedimentos em suspensão na bacia do rio Madeira*” in Anais do XII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Porto Velho/RO, Nov 2016.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. Interciência, Rio de Janeiro/RJ.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2007). *The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling*. Hydrological Sciences Journal, v.52, p.878-895.
- DANTAS, J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. M.; VIANA, P. C.G. (2015). *Simulação vazão-erosão usando o modelo SWAT para uma grande bacia da região semiárida da Paraíba*. Geociências, v.34, p.816-827.
- FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. (2017). “*Simulação hidrossedimentológica preliminar na bacia do Rio Doce com modelo MGB-SED*” in Anais do II Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.
- HARTMANN, C.; BULLA, L. A. S.; FELLINI, B. D. (2010). *Uso do ADCP na avaliação do fluxo e transporte de sedimentos o baixo Jacuí, Charqueadas, RS/Brasil*. Gravel, v.8, p.33-44.
- LOPES, V. A. (2017). *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MENEGAT, R. (1999). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Ed. Universidade, Porto Alegre/RS, 228p.
- 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, v.50, p.885-900.
- PONTES, P. R.; 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*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.20, p.888-904.
- SANTOS, J. Y. G.; SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G.; CARVALHO NETO, J. G.; SILVA, A. M. (2015). “*Implicação das alterações no uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco*” in Anais do I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.
- ZANIN, P. R. ; BONUMÁ, N. B. (2015). “*Uso do modelo SWAT para avaliação de alterações fluviais causadas por barragens em bacias embutidas*” in Anais do I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.