

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

MODELAGEM EMPÍRICA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NA LAGOA MIRIM, RS, UTILIZANDO DADOS DO MSI/SENTINEL-2

*Rosiméri da Silva Fraga¹; Hugo Alexandre Soares Guedes²; Cassia Brocca Caballero³
Karen Gularte Peres Mendes⁴; Vitor Souza Martins⁵; Alice César Fassoni-Andrade⁶ & Mozzara
Oliveira da Fonseca⁷*

RESUMO - A degradação da qualidade de água nos corpos hídricos pode ocorrer tanto por ações antropogênicas, como por fatores naturais. A Lagoa Mirim é considerada a segunda maior lagoa do Brasil, possuindo uma grande importância no aspecto econômico, social e ambiental para a região sul. Considerando esses aspectos, é de suma importância verificar a qualidade da água, e o sensoriamento remoto tem se tornado uma alternativa para auxiliar no monitoramento das águas interiores. Este estudo teve como objetivos: 1) desenvolver um modelo capaz de monitorar remotamente os sólidos em suspensão (SS) no norte da Lagoa Mirim, utilizando os dados do sensor MSI/Sentinel-2; 2) estimar os SS a partir de relações empíricas entre as bandas do sensor e os dados de concentração medidos *in situ*; e 3) compreender o padrão espacial de SS no norte da lagoa. Com o uso dos dados MSI/Sentinel-2 e com o modelo empírico gerado foi possível modelar e mapear os sólidos suspensos na Lagoa Mirim. Com os resultados obtidos, conclui-se que a distribuição de SS no norte da lagoa é noroeste-sudeste, sendo influenciado pelo padrão de ventos no período analisado. Com isso, futuramente se almeja identificar as prováveis fontes causadoras de sólidos na lagoa.

ABSTRACT - Degradation of water quality in water bodies can occur both by anthropogenic actions and by natural factors. The Mirim Lagoon is considered the second largest lagoon in Brazil, having a great importance in economic, social and environmental aspects for the southern of the country. Therefore, it is very important to verify its water quality. Remote sensing has become an alternative to assist in the monitoring of inland waters. This study aimed to: 1) develop a model capable of remotely monitoring suspended solids (SS) in the north part of the Mirim Lagoon using the data of the sensor MSI/Sentinel-2; 2) estimate the SS from empirical relations between the sensor bands and the concentration data measured *in situ*; and 3) understand the SS spatial pattern in the north part of the lagoon. Using the MSI/Sentinel-2 data and the empirical model generated it was possible to model and to map the presence of SS in the Mirim Lagoon. We can conclude that the SS distribution in the north part of the lagoon is northwest-southeast, being influenced by wind patterns during the analyzed period. In the future, we expect to identify the probable sources of solids in the lagoon.

Palavras-Chave – águas interiores; lagoa subtropical; sólidos suspensos.

1) Professora do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL), Doutoranda em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, rsfraga@pelotas.ifsul.edu.br

2) Professor Adjunto, Centro de Engenharias/Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas, hugo.guedes@ufpel.edu.br

3) Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cassiabrocca@gmail.com

4) Professora do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL), karperes@gmail.com

5) Doutorando em Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa State University, vitorstmartins@gmail.com

6) Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alice.fassoni@ufpel.edu.br

7) Graduanda em Engenharia Civil, Centro de Engenharias/Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, mozzarafonseca@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A Lagoa Mirim está localizada na fronteira do Brasil com Uruguai, no sul do estado do Rio Grande do Sul, tendo um regime de águas compartilhadas entre os dois países. A relevância para a região sul decorre de sua utilização para navegação, irrigação, principalmente de arroz, e utilização das margens com atividades de pecuária, entre outras. A Lagoa Mirim é considerada a segunda maior lagoa do Brasil, e possui uma grande importância no aspecto econômico, social e ambiental (HOLZ *et al.*, 2016).

O monitoramento da qualidade da água é relevante em decorrência das inúmeras atividades socioeconômicas e aspectos ambientais envolvidos em um sistema lagunar. Segundo Cabral (2018), o monitoramento da concentração de sólidos em suspensão e vários outros parâmetros limnológicos, são de fundamental importância para o gerenciamento da navegação, irrigação, abastecimento doméstico, abastecimento industrial, dessedentação de animais, aquicultura, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, harmonia paisagística e diluição de despejos, além de fornecer informações essenciais sobre o processo de assoreamento e eutrofização de corpos hídricos.

De forma geral, os sólidos entram em um sistema lagunar através de afluentes, sendo originados, normalmente, pela erosão do solo (LINDSTRÖM *et al.*, 1999) ou pela ressuspensão interna (MADSEN *et al.*, 2001). Dessa forma, os sólidos são importantes portadores de nutrientes e contaminantes (DÖRHNÖFER; OPPELT, 2016). Segundo Giardino *et al.* (2015), os sólidos em suspensão na água atenuam a propagação da radiação, embora aumente a radiação difusa em determinados casos.

Os métodos tradicionais de monitoramento da qualidade da água, com o uso de barcos e coleta de amostras, possuem boa acurácia nas medições, no entanto não oferecem uma adequada distribuição espacial e temporal (PAVELSKY; SMITH, 2009), sendo as imagens de satélite uma alternativa para o monitoramento da qualidade da água (CHEN *et al.*, 2015).

O sensoriamento remoto oferece vantagens substanciais sobre os métodos de monitoramento tradicionais, principalmente por causa da abrangência da cobertura e a consistência temporal dos dados, e possui um potencial para fornecer informações do meio aquático no continente e oceano, onde convencionalmente os programas de monitoramento da qualidade da água são carentes ou insatisfatórios (NAVALGUND *et al.*, 2007).

Para Palmer *et al.* (2015) a nova geração de sensores orbitais ópticos, como o Sentinel-2, apresenta uma oportunidade científica para a pesquisa de águas interiores. O sensor Multispectral Imager (MSI), a bordo do Sentinel-2, oferece imagens com resolução espacial de 10 e 20 metros, temporal de 5 dias e radiométrica de 12 bits. O sensoriamento remoto óptico tem se tornado uma alternativa para auxiliar estudos de águas interiores, como lagos, devido à ampla faixa de

imageamento e alta frequência de aquisição de dados para um contínuo monitoramento (PALMER *et al.*, 2015; FASSONI-ANDRADE *et al.*, 2017). Alguns exemplos de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto aplicados a estudos ambientais podem ser citados: séries históricas de dados de sólidos em suspensão (VILLAR *et al.*, 2012; MONTANHER *et al.*, 2014); avaliação de plumas de sólidos em suspensão (SHI e WANG, 2009; MENDES *et al.*, 2014); derramamento de óleo (KIM *et al.*, 2015); entre outros.

Segundo Dörnhöfer *et al.* (2016), o sensor MSI foi projetado com oito bandas espectrais nos comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo, que permite analisar os principais COAs (Constituintes Opticamente Ativos) da água. As estimativas dos COAs na água, como sólidos suspensos totais (SST), clorofila-a e matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM), são obtidas, normalmente, por relações empíricas entre as bandas do sensor e dados *in situ*. Essas relações dependem das propriedades físico-ópticas dos constituintes e da faixa espectral do sensor (FASSONI-ANDRADE *et al.*, 2017).

A utilização de imagens do sensoriamento remoto demonstra ser uma importante ferramenta para o monitoramento da qualidade da água em escalas espacial e temporal, e a extensão da Lagoa Mirim favorece a utilização desses dados para estudos de qualidade de água. Neste contexto, este estudo teve como objetivo principal desenvolver um modelo capaz de monitorar remotamente os sólidos em suspensão na Lagoa Mirim-RS, utilizando os dados do sensor MSI/Sentinel-2. Objetivou-se também estimar a concentração de sólidos em suspensão a partir de relações empíricas entre as bandas do sensor e os dados de concentração medidos *in situ*, além de compreender o padrão espacial de sólidos em suspensão na Lagoa Mirim.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Lagoa Mirim constitui o principal corpo de água da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG). Possui uma área aproximada de 3.749km², uma extensão de 185km e uma largura média de 20km, estando ligada à Lagoa dos Patos através do Canal São Gonçalo. A BHMSG está localizada entre os paralelos 31°30' e 34°30'S e entre os meridianos 52° e 56°O, correspondendo a uma superfície de aproximadamente 62.250km², dos quais 29.250km² em território brasileiro e 33.000 km² em território uruguaio, constituindo uma bacia transfronteiriça (ALM, 2017). A localização geográfica da Lagoa Mirim no estado do Rio Grande do Sul e os pontos de coleta *in situ* estão indicados na figura 1.

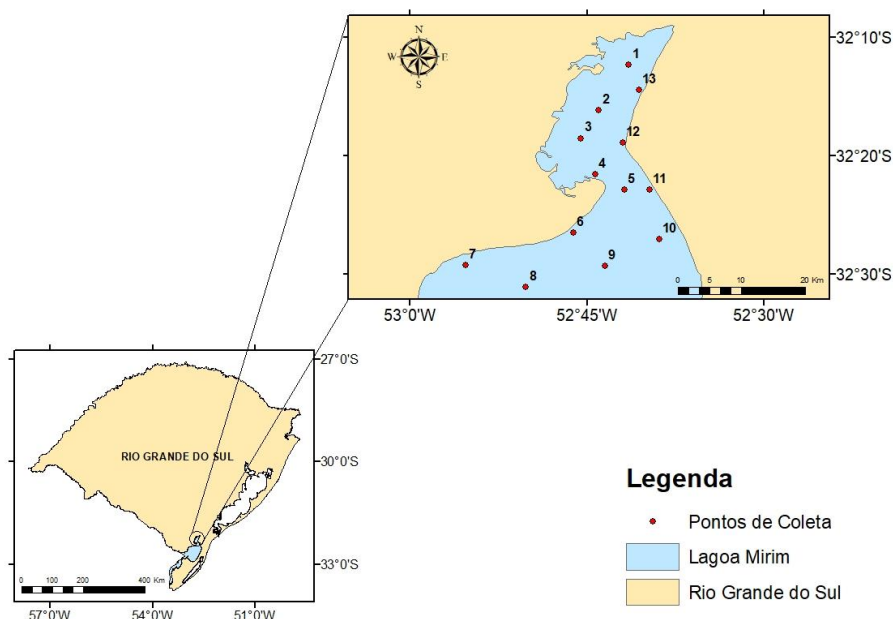


Figura 1- Localização geográfica da Lagoa Mirim no estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Aquisição dos dados

2.2.1 Dados *in situ* e análises laboratoriais

As amostras de água foram coletadas em 13 pontos previamente estabelecidos e distribuídos na Lagoa Mirim (Figura 1), sendo as coordenadas geográficas identificadas usando o dispositivo GPS de navegação GARMIN modelo GPSmap 60CSx. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Águas no IFSUL, Campus Pelotas -RS, onde foram realizadas as análises da água de acordo com a metodologia descrita por APHA (2005).

Em cada ponto de coleta retirou-se aproximadamente dois litros de água superficial, a uma profundidade de 0,30m, para a realização das análises da concentração de sólidos em suspensão.

A data da coleta da água ocorreu no dia 16 de outubro de 2018, sendo escolhida o mais próximo possível da passagem do satélite. A data da passagem do satélite foi determinada em período estratégico para ampliar a chance das imagens estarem livres de nuvens e variabilidade de observação na concentração do constituinte. A modelagem direta será baseada em modelos empíricos ajustados em combinações interativas visando a melhor correlação entre os dados *in situ* e a imagem de sensoriamento remoto (MATTHEWS, 2011).

2.2.2 Pré-processamento de dados do satélite Sentinel-2

As imagens utilizadas foram do sensor Multispectral Imager (MSI), a bordo do satélite Sentinel-2. Os dados do sensor MSI são compostos por oito bandas úteis para essa aplicação (visível, red-edge e NIR). A resolução espacial é de 10 e 20 metros, dependendo da banda espectral, temporal

de 5 dias e resolução radiométrica de 12 bits. As imagens do satélite Sentinel-2 foram obtidas em < <https://earthexplorer.usgs.gov/> > . A imagem selecionada foi do dia 15 de outubro de 2018.

O processamento das imagens requer conversão para reflectância no topo da atmosfera e em seguida remoção dos efeitos atmosféricos. Para realizar a correção atmosférica foi utilizado o Sen2Cor, que foi desenvolvido com um algoritmo processador onde consta de uma combinação de técnicas que converte dados do nível de reflectância 1-C (TOA -Top-Of-Atmosphere) em 2-A (BOA- Bottom-Of-Atmosphere), gerando um produto de reflectância na superfície, corrigido. O processador baseia-se na metodologia proposta por Richter e Schlaepfer (2011).

2.3 Modelagem e análise estatística

As concentrações da variável sólidos suspensos foram correlacionadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson (r), caso apresentem distribuição normal, ou o coeficiente de Spearman Rho , caso apresentem distribuição diferente da normalidade, com as bandas do sensor MSI. A normalidade foi testada pelo teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

A partir das correlações significativas foram estabelecidos modelos empíricos utilizando regressão linear simples ou de múltiplas variáveis. O coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão de estimação (Erro) e o Teste-F de significância ($p < 0,05$), o qual avalia a relação entre as variáveis dependentes, foram utilizados para avaliar o desempenho dos modelos gerados (FASSONI- ANDRADE *et al.*, 2017). Todas as análises estatísticas, assim como o estabelecimento dos modelos por regressão multivariada, foram realizadas por meio do software livre R Commander.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 constam os resultados das análises de estatística descritiva da concentração dos sólidos em suspensão nos 13 pontos coletados na Lagoa Mirim-RS.

Tabela 1- Estatística descritiva da concentração dos sólidos em suspensão (SS)

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Mediana	DP	CV	Erro
SS (mg.L ⁻¹)	38,24	18,10	53,00	39,00	10,70	0,28	2,97

A média reflete o valor de todas as observações. Caso a distribuição dos dados for simétrica a média é igual a mediana. Nesses dados a média calculada é menor que a mediana, mostrando uma medida de formato assimétrica à esquerda.

O desvio padrão é uma importante medida e mostra a variação em torno da média. A magnitude do desvio padrão depende da dispersão das observações relativamente à média, não variando com o aumento do tamanho das amostras. Quando a variável segue uma distribuição normal, o desvio padrão fornece uma informação acerca da forma como as observações se distribuem em torno da média,

neste caso tem-se que 61,5% das observações estão contidas no intervalo definido por média ± 1 desvio padrão, sendo o intervalo de 27,54 até 48,94 mg.L⁻¹, e 100% no intervalo da média ± 2 desvios padrão.

Nesse conjunto de dados, o coeficiente de variação (CV) foi de 28%, sendo que quanto mais baixo (menor que 25%), mais homogêneo serão os dados. A heterogeneidade das amostras pode ser explicada em decorrência da distribuição dos pontos de coleta na Lagoa Mirim, visto que o uso e ocupação do entorno são diferenciados e influenciam no aporte de sedimentos na lagoa. Na região sul do Rio Grande do Sul existe a predominância de atividades econômicas como o cultivo de arroz, de soja (com grande crescimento) e da atividade de pecuária (ATLAS-RS, 2019), o que pode ter contribuído para os resultados encontrados.

O erro padrão diminui com o aumento do tamanho da amostra, refletindo o aumento de precisão da estimativa com o tamanho da amostra. Nos dados analisados o erro padrão foi alto em decorrência do número de observações.

Na tabela 2 estão apresentados os resultados do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Observa-se que os dados possuem distribuição normal, para as concentrações dos sólidos suspensos e para as reflectâncias e combinações de bandas.

Tabela 2- Teste de Kolmogorov-Smirnov para as concentrações de sólidos suspensos (SS), bandas e combinações de bandas (Sentinel-2/ MSI).

Variáveis	SS (mg.L ⁻¹)	B3	B4	B8	B4/B8	B4/B3	B3+B4	B3+B8	B4+B8	(B3+B4)/(B3+B8)	(B3+B8)/(B3+B4)
Estatística de teste	0,140	0,142	0,138	0,157	0,187	0,097	0,142	0,167	0,137	0,137	0,136
p-valor*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*	0,200*

* Aceita a hipótese nula H₀, sendo válida a distribuição normal (p>0,025) para todas as variáveis analisadas

A tabela 3 mostra as correlações de Pearson (R) entre as concentrações de sólidos suspensos, com as reflectâncias das bandas espectrais e suas combinações. Observa-se que os coeficientes de correlação R das concentrações de sólidos suspensos são significativos em 2 extremidades no nível 0,05 para as bandas do B4(vermelho), com 0,678; B8 (infravermelho), com 0,596; e no B3(verde), com 0,678. Significativos em 2 extremidades no nível 0,01 para as combinações de B3 e B4, com 0,696; e para B3 e B8, com 0,708, onde mostrou os melhores resultados. Fassoni-Andrade *et al.* (2015) constataram que a banda 4 (vermelho) corresponde a faixa espectral mais adequada para monitoramento do parâmetro SS.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson (R) entre a concentração de sólidos suspensos analisados *in situ*, reflectância das bandas e combinações de bandas.

Bandas e combinações	B3	B4	B8	B4/B8	B4/B3	B3+B4	B3+B8	B4+B8	(B3+B4)/(B3+B8)	(B3+B8)/(B3+B4)
R	0,678*	0,678*	0,596*	-0,529	-0,489	0,696**	0,708**	0,654*	-0,622*	0,618*
p-valor	0,011	0,011	0,032	0,063	0,090	0,008	0,007	0,015	0,023	0,024

*A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades); **A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades); N:13.

As regiões do espectro eletromagnético correspondente às faixas do vermelho (0,62-0,70 μ m) e do infravermelho próximo (0,70 a 1,30 μ m) são altamente sensíveis à concentração de sedimentos em suspensão (SS) (JENSEN, 2009; ZHANG *et al.*, 2014). Souza *et al.* (2015) utilizaram uma média entre as bandas 2(0,52-0,60 μ m) e 3(0,63-0,69 μ m), relativas às faixas do verde e vermelho, respectivamente, do satélite Landsat TM 5 para a geração de um modelo que estima o SS em uma região do semiárido brasileiro, demonstrando que a faixa do verde também poderá ser usada para determinação de sólidos suspensos.

Os modelos empíricos exploram a relação entre os dados coletados em campo e a resposta espectral da água para a mesma posição geográfica (BREUNIG *et al.*, 2016). Após os resultados das melhores correlações das concentrações dos sólidos suspensos (*in situ*) e suas correlações com as bandas e combinações de bandas, foram gerados modelos empíricos que podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4-Modelos empíricos para estimativa do SS com bandas e combinações de bandas

Estimativa	Modelo	Variáveis Independentes	R	R ²	R ² ajustado	Erro*	p-valor (teste -F)	Durbin-Watson
SS*	1	(B3+B4)/(B3+B8); B3	0,72	0,52	0,42	8,17	0,027	1,72
	2	B3; B8	0,71	0,52	0,41	8,24	0,029	1,65
	3	(B3+B8)/(B3+B4); B3	0,72	0,52	0,42	8,17	0,027	1,72

*Unidade em mg.L⁻¹

Conforme os modelos gerados, pode-se observar que os três possuem o mesmo valor de R². Os modelos-1 e 3 apresentam as mesmas bandas, mas com expressões diferenciadas. O modelo-1 foi escolhido para demonstrar a distribuição espacial dos sólidos suspensos em virtude dos resultados preditos, nos pontos coletados, estarem mais próximos aos analisados *in situ*.

Montanher *et al.* (2014) usaram diversas bandas espectrais na faixa do visível e do infravermelho próximo do Landsat TM 5 para a construção de modelos regionais de diferentes rios amazônicos. Os resultados encontrados pelos autores apontaram boa concordância com os dados medidos *in situ*, com coeficientes de correlação variando entre 0,77 e 0,89.

De acordo com o modelo-1 foi gerada a seguinte equação (1):

$$SS \text{ (mg. L}^{-1}\text{)} = (1095,26. B3) - 79,87. \frac{(B3+B4)}{(B3+B8)} + 77,23 \quad (1)$$

Quando comparados os dados preditos pelo modelo-1 com os dados *in situ*, observa-se que os valores da média são iguais, ou seja de 38,24 mg.L⁻¹, e da mediana muito próximos (dados preditos de 39,08 mg.L⁻¹ e dados *in situ* de 39,00 mg.L⁻¹). Isso mostra a acurácia do modelo em simular SS no norte da Lagoa Mirim. O mapeamento das concentrações de sólidos suspensos na Lagoa Mirim -RS, apresentado na figura 3, foi realizado a partir da equação (1).

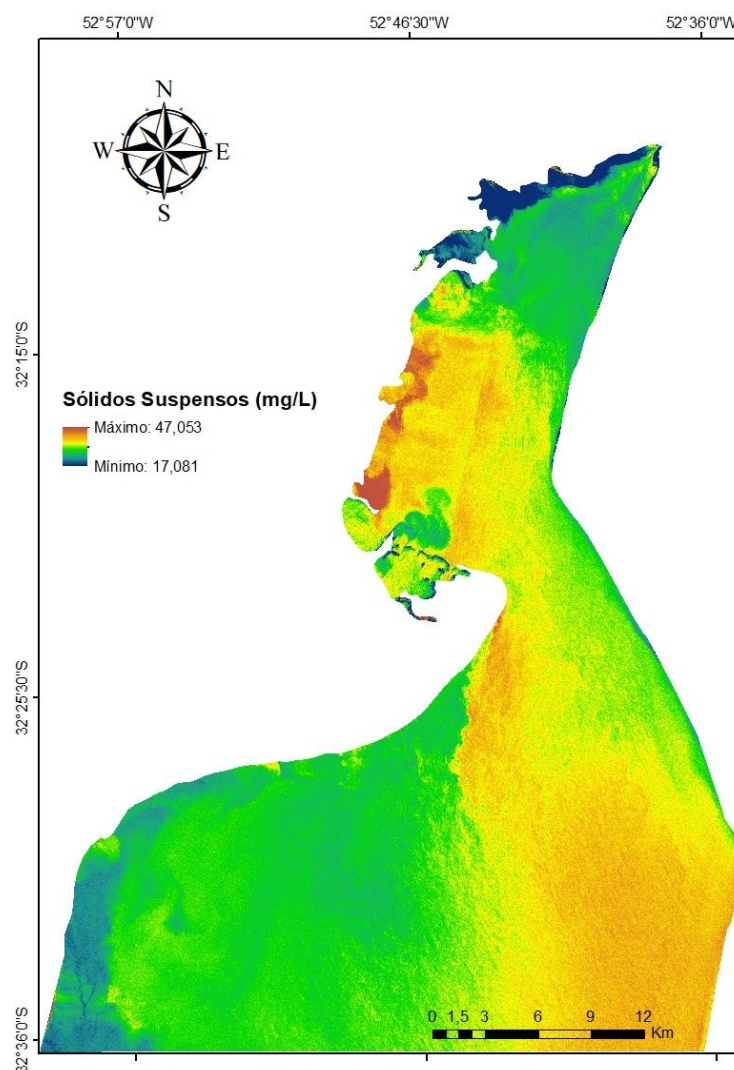


Figura 3 – Mapeamento da concentração de sólidos suspensos na Lagoa Mirim- RS, a partir da equação 1(modelo-1).

Os valores máximos (47,05 mg.L⁻¹) e mínimos (17,08 mg.L⁻¹) encontrados por meio da equação (1) estão próximos aos valores analisados nas coletas *in situ*, que foram de 53,00 mg.L⁻¹ para o valor máximo, e 18,10 mg.L⁻¹ para o valor mínimo, mostrando que o modelo foi eficiente para a realização da predição das concentrações dos sólidos suspensos. No mapa da figura 3 observa-se que as maiores concentrações de SS estão na região noroeste, onde existe o cultivo de arroz e soja em larga escala

nessa região e localizam-se várias descargas dos afluentes da lagoa, propiciando o aporte de sedimentos. A distribuição dos sólidos suspensos na parte central da lagoa poderá estar relacionada a ocorrência de ventos que proporcionam o seu transporte. De acordo com os dados da estação meteorológica automática da cidade de Rio Grande (A802 Código OMM: 86995), a direção do vento era de 327° (noroeste-sudeste) às 14h (INMET, 2019), horário próximo a passagem do satélite. Na parte superior da lagoa os valores dos SS estão mais baixos, onde existe uma grande área de vegetação densa, o que diminui o aporte de sedimentos.

4 CONCLUSÕES

Com o uso dos dados MSI/Sentinel-2 e com os modelos empíricos gerados foi possível modelar e mapear a presença de sólidos suspensos na Lagoa Mirim. Com os resultados obtidos, conclui-se que a distribuição de SS no norte da lagoa possui o sentido noroeste-sudeste, sendo influenciado pelo padrão de ventos no período analisado. Com isso, futuramente se almeja identificar as prováveis fontes causadoras de sólidos na lagoa, relacionadas ao uso e ocupação do solo no entorno e a processos hidrodinâmicos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM – ALM (2017). *Bacia da Lagoa Mirim* (Online). Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/alm/bacia-da-lagoa-mirim>. Acesso: 22 out 2017.
- APHA (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 21ª ed. Washington: 1082 p.
- ATLAS-RS (2019); Atlas socio econômico RS; Disponível: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/>. Acesso Data:05 abr.2019.
- BREUNIG, F. M.; PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L.S.; WACHHOLZ, F. (2016). “Avaliação da concentração de sólidos em suspensão e clorofila no reservatório de passo real, RS - Brasil” in: Anais do XVII Simpósio Internacional SELPER, Puerto Iguazú, pp. 942-956.
- CABRAL, J. B. P.; PEREIRA FILHO, W. (2018). “Técnicas de sensoriamento remoto aplicada análise da concentração de sólidos em suspensão na UHE Foz do Rio Claro–GO”. Revista Brasileira de Geografia Física 11(4), pp. 1526-1541.
- CHEN, X.; HAN, X.; FENG, L. (2015). *Towards a practical remote-sensing model of suspended sediment concentrations in turbid waters using meris measurements*. International Journal of Remote Sensing, v.36, p.3875–3889.
- DÖRNHÖFER, K.; OPPELT, N. (2016). *Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances*. Ecological Indicators, v.64, p.105-122.
- FASSONI-ANDRADE, A.C; GUASSELLI, L.A.; TONIOLO, G.R.; MOREIRA, A.A. (2015). *Dinâmica espacial e temporal de sedimentos em suspensão na região estuarina da Lagoa dos Patos - RS, a partir de dados do sensor OLI, Landsat-8*. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE.
- FASSONI-ANDRADE; FAGUNDES, H. O.; A. C.; PAIVA, R. C. D. (2017). “Análise dos sedimentos em suspensão na Bacia Hidrográfica do Rio Doce com imagens de satélite” in Anais do II Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, Foz do Iguaçu, pp. 1-8.

- GIARDINO, C.; BRESCIANI, M.; VALENTINI, E.; GASPERINI, L.; BOLPAGNI, R.; BRANDO, V.E. (2015). *Airborne hyperspectral data to assess suspended particulate matter and aquatic vegetation in a shallow and turbid lake*. Remote Sens. Environ., v.157, p.48–57.
- HOLZ, R.F.; STRAUCH, J.C.; LIMA, M.L.P. (2016). *Estudo da potencialidade da Lagoa Mirim através do transporte de arroz pelo modal hidroviário*. Anais do VII SEMENGO – Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande.
- INMET. (2019). Instituto Nacional de Meteorologia; Disponível: <http://www.inmet.gov.br>, Acesso:15 de abril 2019.
- JENSEN, J. R. (2009). *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres*. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.
- KIM, T.S.; PARK, K.A.; LI, X.; LEE, M.; HONG, S.; LYU, S.J.; NAM, S. (2015). *Detection of the Hebei Spirit oil spill on SAR imagery and its temporal evolution in a coastal region of the Yellow Sea*. Advances in Space Research, v.56, p.1079-1093.
- LINDSTRÖM, M.; HÅKANSON, L.; ABRAHAMSSON, O.; JOHANSSON, H. (1999). *An empirical model for prediction of lake water suspended particulate matter*. Ecol. Model., v.121, p.185-198.
- MADSEN, J.D.; CHAMBERS, P.A.; JAMES, W.F.; KOCH, E.W.; WESTLAKE, D.F. (2001). The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. Hydrobiologia, v.444, p.71–84.
- MATTHEWS, M.W. (2011). *A current review of empirical procedures of remote sensing in land and near-coastal transitional waters*. International Journal of Remote Sensing, v.32, p.6855-6899.
- MENDES, R.; VAZ, N.; FERNÁNDEZ-NÓVOA, D.; SILVA, J.C.B., GÓMEZ-GESTEIRA, M.; DIAS, J.M. (2014). *Observation of a turbid plume using MODIS imagery: The case of Douro estuary (Portugal)*. Remote Sensing of Environment, v.154, p.127-138.
- MONTANHER, O.C.; NOVO, E.M.; BARBOSA, C.C.; RENNÓ, C.D.; SILVA, T.S. (2014). *Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.29, p.67-77.
- NAVALGUND, R.R.; JAYARAMAN, V.; ROY, P.S. (2007). *Remote sensing applications: an overview*. Current science, v.93, p.1747–1766.
- PALMER, S.C.J.; KUTSER, T.; HUNTER, P.D. (2015). Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. Remote Sensing of Environment, v.157, p.1–8.
- PAVELSKY, T. M. E SMITH, L. C. (2009). *Remote sensing of suspended sediment concentration, flow velocity, and lake recharge in the Peace-Athabasca Delta, Canada*. Water Resources Research, v. 45, n.11417.
- RICHTER, R., WANG, X., BACHMANN, M., e SCHLAEPFER, D. (2011). *"Correcção de efeitos cirro no Sentinel-2 tipo de imagem"*, Int. J. Remote Sensing, vol.32, 2931-294.
- SHI, W., WANG, M. (2009). *Satellite observations of flood driven Mississippi River plume in the spring of 2008*. Geophysical Research Letters, v.36.
- SOUZA, N. B.; Lopes, J. W. B.; FEITOSA, E. R.; COSTA, C. A. G.; ARAÚJO, J. C. (2015). *Aplicação de sensoriamento remoto para estimativa de carga de sedimentos no rio Jaguaribe, CE*. In: I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.
- VILLAR, R.E., MARTINEZ, J.M., GUYOT, J.L., FRAIZY, P.; ARMIJOS, E., CRAVE, A., LAVADO, W. (2012). *The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins*. Journal of hydrology, v.444, p.221-228.
- ZHANG, M.; DONG, Q.; CUI, T.; XUE, C.; ZHANG, S. (2014). *Suspended sediment monitoring and assessment for Yellow River estuary from Landsat TM and ETM+ imagery*. Remote Sensing of Environment, v. 146, p. 136-147.
- ZHU, Z.; WOODCOCK, C.E. (2012). *Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery*. Remote Sensing of Environment, v.118, p. 83-94.