

IV-1347 – ESTIMATIVA DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS NO LAGO PARANOÁ UTILIZANDO IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 9

Daniel Augusto Santos Prates Beltrão⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Brasília. Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Thiago Lappicy Lemos Gomes⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Brasília. Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Rejane Ennes Cicereli⁽³⁾

Engenheira Cartográfica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre e doutora em Ciências Cartográficas pela UNESP. Professora adjunta do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

Tati de Almeida⁽⁴⁾

Geóloga pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e doutora em Geologia pela Universidade de Brasília (UnB). Professora associada do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

Diogo Olivetti⁽⁵⁾

Geógrafo pela Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL). Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela UNIFAL/MG e doutor em Geociências Aplicadas e Geodinâmica pela Universidade de Brasília (UnB). Professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica (IG/UnB).

Endereço⁽¹⁾: Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro, Anexo SG 12 - Asa Norte - Brasília, Distrito Federal, Brasil - CEP 70.910-900 - Contato: (61) 98235-3984 - e-mail: beltraodaniel2@gmail.com

RESUMO

O Lago Paranoá é um importante corpo hídrico localizado em Brasília/DF, constituindo-se, dentre múltiplos usos, como local de recreação e fonte de água para o consumo humano da população do Distrito Federal. Dessa forma, é necessário o monitoramento contínuo de seus parâmetros de qualidade da água para garantir a segurança das pessoas que fazem uso desse recurso. Dentre os parâmetros preconizados na legislação, está o de Sólidos Suspensos Totais (TSS), que é monitorado pelos órgãos competentes com certa periodicidade e de maneira pontual, não representando o cenário do lago como um todo. Assim, foi proposta a medição dos níveis de TSS do Lago por meio do sensoriamento remoto, utilizando imagem do satélite Landsat 9 e quatro modelos bio-ópticos, sendo três deles aplicados no Paranoá com resultados consistentes. Dois desses modelos chegaram a valores próximos aos do ensaio realizado em laboratório, em torno de 2 mg/L, cenário encontrado no Lago Paranoá no período de seca, conforme demonstrou também a análise da série histórica desse parâmetro. Assim, concluiu-se que a metodologia proposta neste trabalho se mostrou adequada e, portanto, que o sensoriamento remoto pode ser empregado para a análise de sólidos suspensos totais no Lago Paranoá.

PALAVRAS-CHAVE:

Sensoriamento remoto, TSS, sensor OLI-2, turbidez.

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto orbital apresenta-se como uma alternativa promissora de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água, pois comparado com os métodos convencionais, ópticos ou gravimétricos, essa técnica consegue representar os corpos d'água integralmente (Ritchie *et al.*, 1976) e mais facilmente, já que é feito de forma remota.

Dentre os parâmetros que podem ser analisados por pelo sensoriamento remoto, estão a clorofila-a (Gitelson *et al.*, 2000), matéria orgânica dissolvida com cor (Brezonik *et al.*, 2014) e os sólidos suspensos totais (Dekker *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2019; Chelotti *et al.*, 2019; Du *et al.*, 2021), alvo do presente trabalho, que são componentes opticamente ativos.

Os Sólidos Suspensos Totais (TSS) correspondem à fração dos sólidos totais numa amostra de água retidas em um filtro (APHA, 2017) e representam um desafio no contexto dos corpos hídricos superficiais, pois provocam a dispersão e absorção da luz e conferem características indesejáveis e potencialmente perigosas à água (Richter e Netto, 1991), devendo ser monitorado e, se possível, evitado nos corpos receptores, especialmente no caso de locais sensíveis, como é o Lago Paranoá.

Ressalta-se que o Lago Paranoá é o principal corpo hídrico do Distrito Federal e corresponde a um reservatório artificial formado ainda na construção de Brasília, com o intuito de compor a paisagem da cidade, além de servir como opção de lazer para os futuros habitantes, promover melhorias no microclima e gerar energia elétrica (da Silva *et al.*, 2021).

Além disso, o seu uso atual se expande também para outras atividades, como a diluição de efluentes sanitários tratados, recebimentos de águas pluviais e captação de água para abastecimento humano, o que justifica a sua importância para todo o Distrito Federal e a necessidade da realização de monitoramento constante de suas águas.

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb) e a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa) realizam análises da concentração de sólidos em suspensão na água do Lago Paranoá. Porém, as análises são realizadas em locais pontuais e com certa periodicidade, não representando a situação do lago como um todo, tanto espacial quanto temporalmente.

Essa análise temporal é importante pois as áreas em torno do Lago Paranoá estão em constante alteração. Diferentes estudos mostram essa evolução do uso e ocupação do solo ao longo do tempo, seja para bacias hidrográficas específicas (Pessoa e Steinke, 2020) ou, de modo mais amplo, mostrando a evolução do Distrito Federal com os anos (Costa e Lee, 2019).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a aplicação do sensoriamento remoto como forma de estimar a concentração de sólidos suspensos totais no Lago Paranoá, utilizando modelos bio-ópticos empíricos e semiempíricos encontrados na literatura, dentro do contexto de baixas concentrações em que se encontra o Paranoá.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O Lago Paranoá está localizado na bacia hidrográfica do Paranoá, a única inteiramente dentro do Distrito Federal, e foi formado a partir do barramento do rio Paranoá, represando ao sul, as águas do Riacho Fundo e Ribeirão do Gama e, ao norte, as águas do Ribeirão Torto e do Ribeirão Bananal (da Silva *et al.*, 2021).

Ao todo, o Paranoá possui, aproximadamente, área superficial de 37,5 km² e volume máximo de 498.000.000 m³ (variando menos de 10% durante o ano) com profundidade média e máxima de, respectivamente, 12,4 m e 38 m. Seu tempo de retenção depende da gestão operacional de descarga pela barragem e já foi de 0.8 (até 2016) a 2 anos, mais recente (da Silva *et al.*, 2021).

O Lago é ainda dividido em 5 diferentes regiões ou braços, que são: Riacho Fundo, Gama, Central, Torto e Bananal, mostradas na Figura 1. O braço central corresponde à barragem do Lago Paranoá, com potencial elétrico de 30 MW (CEB, 2019).

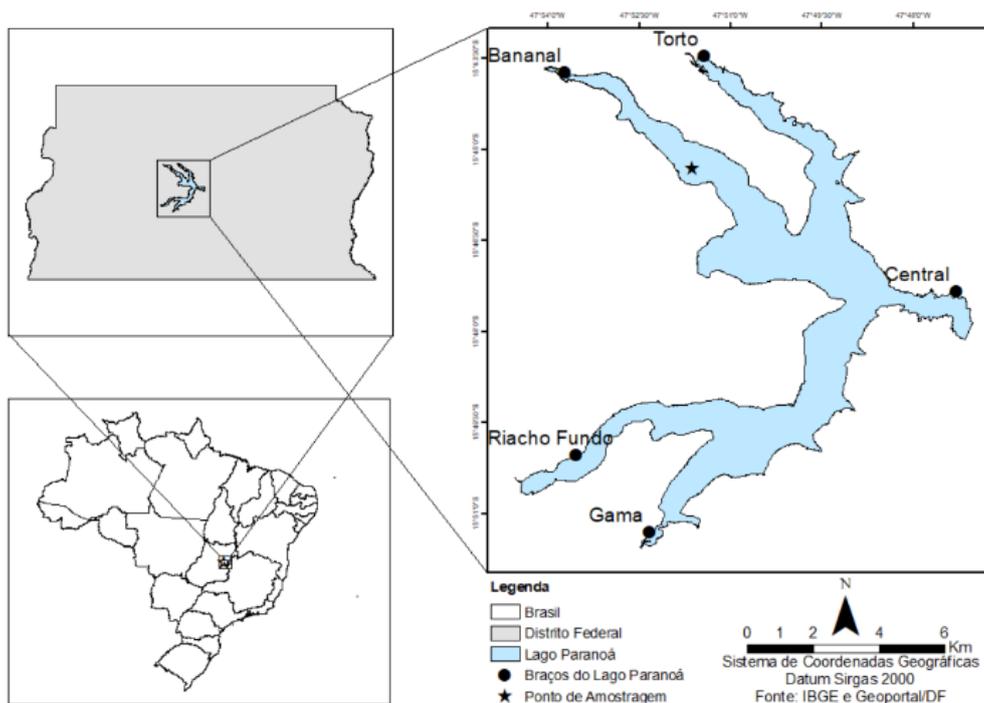


Figura 1 - Localização do Lago Paranoá e suas regiões

Além da geração de energia, o Lago é também o corpo receptor do efluente tratado de duas importantes estações de tratamento de esgoto do DF, com vazões médias atuais de 450 e 1319 L/s (Caesb, 2022). No período de seca no DF, essa contribuição constitui uma das principais vazões afluentes ao Lago Paranoá, ajudando a manter o seu nível.

No entanto, o efluente lançado pelas ETEs contribui também com a presença de sedimentos suspensos, dentre outros constituintes presentes nos efluentes sanitários e nas etapas do tratamento, influenciando na distribuição heterogênea da concentração de TSS no Paranoá.

Além disso, dados de monitoramento da qualidade do Lago Paranoá comprovam a heterogeneidade da distribuição de sólidos, devido às diferentes contribuições que cada região fornece para a variabilidade total dos dados de qualidade da água do manancial (Gaudard, 2019). Para o presente trabalho, foram obtidos juntos à Caesb, dados de monitoramento de TSS a 1 metro da superfície, no período entre os anos de 1984 e 2012, quando as análises de TSS deixaram de ser realizadas pela companhia.

PROCESSAMENTO DE IMAGENS

A imagem utilizada nesse trabalho foi obtida pelo sensor OLI-2 do satélite Landsat 9 para o dia 16/09/2022, coleção 2, com dados de reflectância de superfície. Em seguida, as imagens foram carregadas no Software ENVI e aplicou-se máscara para isolar o Lago Paranoá, ajustando o histograma da banda 5 (infravermelho próximo), com base na resposta espectral da água, uma vez que essa banda corresponde ao intervalo do espectro onde é possível diferenciar o comportamento dos sedimentos na água.

Ainda no ENVI, utilizou-se a ferramenta de matemática de bandas para calcular os modelos escolhidos para o presente que estudo, descritos na Tabela 1. Em seguida, os arquivos foram carregados no ArcGIS para ressaltar os resultados através da simbologia em escala de cores definida.

Tabela 1 - Equações usadas para estimar a concentração de TSS no Lago Paranoá, com as bandas G (verde) e R (vermelho)

Equação	Referência
$TSS = 0,71 * \exp(21,31 * X)$ onde $X = (G + R)/(G/R)$	(Zhang <i>et al.</i> , 2019)
$\ln(TSS) = 2,06 * \ln(R) + 10,99$	(Du <i>et al.</i> , 2021)
$TSS = 0,7581^{(61,683 * (R + G) / 2)}$	(Dekker <i>et al.</i> , 2002)
$TSS = 0,0262 * R - 7,5206$	(Chelotti <i>et al.</i> , 2019)

Os modelos foram selecionados com base nas semelhanças entre as áreas de estudo de suas respectivas pesquisas e a área de estudo do presente trabalho, o Lago Paranoá, principalmente em relação a baixa concentração de TSS e o tipo de manancial.

Dentre esses, houve um modelo construído com base em estudo realizado também no Distrito Federal (Chelotti *et al.*, 2019), onde os autores utilizaram imagens do Landsat 8 para estimar a concentração de sólidos suspensos no reservatório do Descoberto e constataram a aplicabilidade da ferramenta com base na comparação dos resultados de sensoriamento remoto com aqueles obtidos em laboratório.

Outro estudo, realizado em lagos e reservatórios chineses (Du *et al.*, 2021), analisou a aplicação de modelo gerado a partir de 700 análises realizadas em 37 lagos no país, durante o período entre 2007 e 2020, para estimar a concentração de TSS em 16.804 lagos e reservatórios, tendo a maioria desses (50,4%) concentrações abaixo de 10 mg SST/L, similar ao cenário do Lago Paranoá.

ANÁLISES EM LABORATÓRIO

As concentrações de Sólidos Suspensos Totais (TSS) foram obtidas em laboratório através do método gravimétrico (APHA, 2017). Amostras de 1 litro foram coletadas no Lago Paranoá na mesma data da imagem obtida do satélite Landsat 9 e imediatamente levadas para o Laboratório de Saneamento Ambiental – LSA da Universidade de Brasília.

Inicialmente, retirou-se alíquotas em triplicata de 100 mL da amostra, que passou por filtração à vácuo, utilizando membrana de 0,45 µm, pesadas previamente em balança de precisão. Após filtradas, as membranas foram transferidas para secar em estufa por 1h em temperatura de 105 °C.

Passado o tempo, as membranas foram novamente pesadas e a concentração de sólidos em suspensão na água foi obtida através da relação entre o peso final da membrana e o peso inicial. O resultado do ensaio em laboratório de TSS foi, então, utilizado na comparação com os resultados obtidos no modelo e se encontram no item de resultados e discussões.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta informações relevantes a respeito das 837 medições de TSS (mg/L) realizadas no Lago Paranoá pela Caesb. Essas coletas foram realizadas entre 1984 e 2012 e, portanto, não englobam o ano da imagem utilizada neste artigo. No entanto, esses dados foram utilizados para avaliar a ordem de grandeza dos sólidos suspensos totais no corpo hídrico.

Os 5 pontos de coleta são na ponte Gilberto Salomão (A4), próximo ao trem do Lago/posto Shell (A5), parque da QL 14 (B), área central (C), entrada do Ribeirão do Torto (D) e no Minas Tênis Clube de Brasília (E). Nota-se que com exceção do local “C”, os pontos não possuem tanta variância, tendo como desvio padrão valores até 5,0 mg/L, e possuem médias e medianas relativamente próximas entre si.

Tabela 2 - Estatísticas das medições de TSS (mg/L) no Lago Paranoá

Estatísticas	Local						Todas Juntas
	A4	A5	B	C	D	E	
Nº de obs.	109	169	174	127	130	128	837
Mínimo	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1º quartil	4,2	3,2	1,2	0,8	1,4	1,6	1,8
Mediana	6,4	5,2	2,8	2,2	2,4	2,4	3,2
Média	7,1	6,6	4,7	13,3	3,1	2,8	6,2
3º quartil	9,2	8,4	6,0	4,4	4,0	3,6	6,4
Máximo	21,6	26,0	28,4	70,4	20,0	14,8	60,4
Desvio P.	4,4	4,8	5,0	24,0	3,2	2,2	10,6

Foi avaliada também a sazonalidade dessas medições, presentes no gráfico da Figura 2. Nessa imagem foram retirados aqueles valores considerados como outliers pelo método do z-score modificado (equação 1). Nela, “x” representa cada medição individual de TSS e “ \tilde{x} ” a mediana da série histórica para um ponto de medição específico. Assim, cada medição teve um z-score.

$$Zscore = \frac{0,6745(x - \tilde{x})}{\text{mediana}|x - \tilde{x}|} \quad \text{equação (1)}$$

Todos os valores com z-score maior do que 3,5 foram considerados como sendo outliers e removidos do gráfico. As medições feitas foram separadas em duas sazonalidades, sendo de cheia para os meses de outubro a março e de seca para os meses de abril a setembro. Nota-se que, ao retirar os outliers, as medições no Lago Paranoá ficam em torno de 2 mg/L para as B, C, D e E e, em torno de 5 a 6 mg/L para as estações A4 e A5 na época de seca.

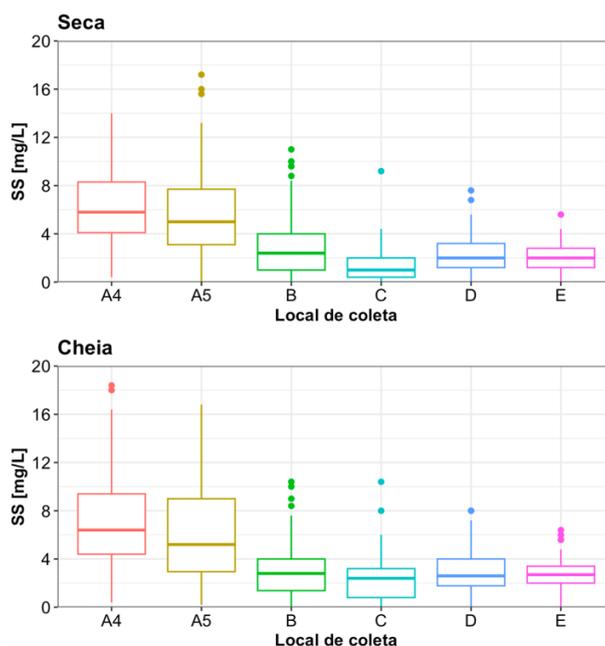


Figura 2. Medições de SS feitas em mg/L por sazonalidade

Em relação à estimativa da concentração de TSS no Lago Paranoá por meio do sensoriamento remoto, a aplicação das equações dos modelos apresentados na Tabela 1 gerou os valores indicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado do ensaio de TSS e dos modelos utilizados para estimar a concentração no Lago Paranoá.

Referência	TSS (mg/L)
Ensaio em laboratório	2,00
Zhang <i>et al.</i> (2019)	2,70
(Du <i>et al.</i> , 2021)	64,95
(Dekker <i>et al.</i> , 2002)	0,47
(Chelotti <i>et al.</i> , 2019)	217,85

Esses valores referem-se a um local pontual no braço do Bananal, de coordenadas 15°45'15.10" S 47°51'37.93" W, onde foram coletadas as amostras para os ensaios em laboratório e as mesmas coordenadas foram adotadas para obter os valores para os modelos no ArcGIS.

Analisando os resultados, é possível notar que os valores encontrados para os Sólidos Suspensos Totais foram muito distintos entre si. Nota-se que apenas os modelos de Zhang *et al.* (2019) e Dekker *et al.* (2002) se aproximaram do valor encontrado em campo e dos valores comumente encontrados no Lago Paranoá.

Porém, no modelo da equação de Dekker *et al.* (2002), a representação ficou invertida, sendo que os pontos com maior concentração conhecida de TSS apresentaram os menores valores e vice-versa, o que poderia ser corrigido com um ajuste no modelo. As demais equações, Du *et al.* (2021) e Chelotti *et al.* (2019), superestimaram a concentração de TSS.

Destaca-se, no entanto, que a amostra de água do Lago foi coletada em período de seca no Distrito Federal, que registrava cerca de 130 dias sem chuva, enquanto os modelos de Du *et al.* (2021) e Chelotti *et al.* (2019) consideraram séries históricas de suas áreas de estudo, que abrangeram diferentes períodos de seca e chuva.

No período seco, os valores de sólidos suspensos totais atingem o seu mínimo. Além disso, os modelos foram construídos com base nas imagens do Landsat 8 (Zhang *et al.*, 2019; Du *et al.*, 2021; Chelotti *et al.*, 2019) e Landsat 5 (Dekker *et al.*, 2002) e a diferença na resolução radiométrica dos satélites podem ter contribuído para a diferença nos resultados das equações.

Destaca-se também que o Landsat 9 possui resolução radiométrica mais altas que os demais, sendo capaz de diferenciar 16.384 tons de um determinado comprimento de onda, enquanto o Landsat 8 fornece dados de 12 bits e 4.096 tons (USGS, 2022). A Tabela 4 mostra, para os satélites utilizados nos diferentes equacionamentos propostos, a faixa de comprimentos de onda das bandas espectrais utilizadas nos modelos.

Nota-se que as bandas do Landsat 8 e 9 são as mesmas, enquanto as do Landsat 5 são diferentes. Em especial, as bandas 3 e 4 do Landsat 8 e 9 são bem semelhantes às bandas 2 e 3 do Landsat 5, respectivamente. Essas bandas correspondem à faixa do verde e vermelho do espectro. A banda 5 do Landsat 9 corresponde ao infravermelho próximo, faixa usada para o isolamento do Lago Paranoá na etapa anterior.

Tabela 4 - Bandas espectrais para os diferentes satélites utilizados nos modelos usados nesse estudo

Satélite	Banda	Comprimento de onda (µm)
Landsat 8 e 9	B5	0.85 - 0.88
	B4	0.64 - 0.67
	B3	0.53 - 0.59
Landsat 5	B3	0.63 - 0.69
	B2	0.52 - 0.60

Por fim, apenas o modelo de Zhang *et al.* (2019) foi considerado satisfatório e conseguiu representar bem não apenas os valores de sólidos suspensos totais, mas também a distribuição heterogênea desse parâmetro no Lago Paranoá, de acordo com as diferentes regiões ou braços desse manancial, como pode ser visto na Figura 3.

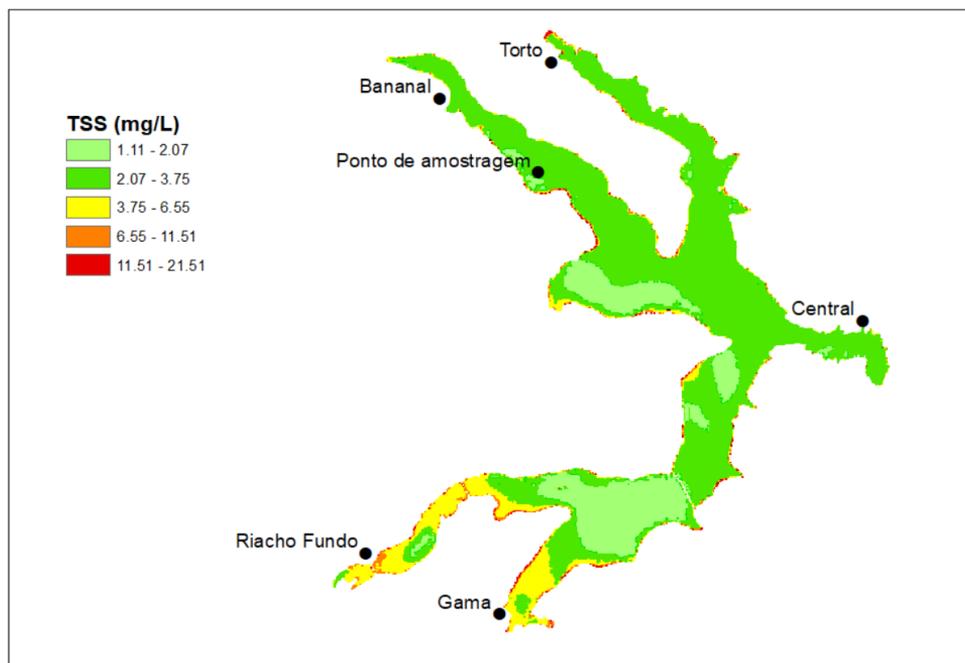


Figura 3. Resultado do modelo de Zhang *et al.* (2019) aplicado ao Lago Paranoá

Observa-se que as regiões do Riacho Fundo e Gama foram as que apresentaram os maiores níveis de sólidos em suspensão na água, com a maior parte de suas áreas na faixa de 3.75 a 6.55 mg/L, e pequenos locais onde o valor superou essa faixa, enquanto nos outros três braços, quase que a totalidade das áreas ficaram na faixa de 2.07 a 3.75 mg/L.

Ressalta-se, no entanto, que o modelo foi gerado apenas para uma imagem do Landsat 9 e um conjunto limitado de amostras em campo e, ainda assim, conseguiu se ajustar adequadamente para o Lago Paranoá, apresentando valores coerentes com o cenário encontrado.

Observa-se também valores mais alto de TSS em algumas regiões próximas às margens do Lago, o que pode ter sido causado pelo efeito de mistura próximo aos limites do corpo hídrico, considerando para o valor do pixel, a resposta do solo nessa região além da água do Lago Paranoá.

Para comprovar a aplicabilidade desse modelo para a concentração de TSS no Lago Paranoá, devem ser realizadas ainda novos ensaios, inclusive no período de chuvas, quando se espera que a concentração de sólidos em suspensão seja superior à do período testado.

Ainda assim, a aplicação de modelos empíricos devem ser avaliadas com cautela, levando em consideração as variáveis que podem influenciar na mudança de comportamento dos recursos hídricos, tais como alterações do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica, variações climáticas e o lançamento de efluente, devendo-se realizar a constante calibração e atualização do modelo, para que se mantenha a qualidade na acurácia da estimativa.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como objetivo analisar a aplicação de modelos encontrados na literatura para estimar a concentração de sólidos suspensos totais (TSS) no Lago Paranoá, utilizando imagens do satélite Landsat 9. Com base nos resultados, foi possível concluir que o uso do sensoriamento remoto é adequado para essa finalidade, uma vez que para a maioria dos modelos testados, foi possível diferenciar as diferentes regiões em relação à concentração de TSS.

No entanto, os valores obtidos de TSS variaram consideravelmente entre os modelos, sendo que apenas dois deles se aproximaram dos valores encontrados em campo. Assim, para que o monitoramento no Lago Paranoá

por meio do sensoriamento remoto possa representar não apenas qualitativamente a distribuição de sólidos suspensos totais, mas também quantitativamente, sugere-se o aprofundamento das análises no manancial, considerando a série histórica de imagens e a sazonalidade da região, a fim de obter uma equação que represente esse parâmetro de forma assertiva e que possa ser utilizado na gestão de suas águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição, Washington, Estados Unidos, 2017.
2. BREZONIK, P. L., OLMANSON, L. G., FINLAY, J. C., BAUER, M. E. Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. *Remote Sensing of Environment*. V. 157 (2015), p. 199-215, 2014.
3. CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Estações de Tratamento de Esgoto. Disponível em: <11nq.com/gq0Uc>. Acesso em: 25 out. 2022.
4. CEB, Companhia Energética de Brasília. PCH Paranoá, Plano de Segurança de Barragem - Volume IV – Plano de Ação de Emergência, Seção I – Informações Gerais do PAE e da Barragem. Brasília, 2019.
5. CHELOTTI, G. B., MARTINEZ, J. M., ROIG, H. L., OLIVETTI, D. Space-Temporal analysis of suspended sediment in low concentration reservoir by remote sensing. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 24, e. 17, 15 p., 2019.
6. COSTA, C.; LEE, S. The evolution of urban spatial structure in Brasília: focusing on the role of urban development policies. *Sustainability*, 11(2), 553. 2019.
7. DEKKER, A. G., VOS, R. J. S., PETERS, W. M. Analytical algorithms for lake water tsm estimation for retrospective analyses of tm and sport sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23(1), p. 15-35, 2002.
8. DU, Y., SONG, K., WANG, Q., LI, S., WEN, Z., LIU, G., TAO, H., SHANG, Y., HOU, J., LYU, L., ZHANG, B. Total suspended solids characterizations and management implications for lakes in East China. *Science of the Total Environment*. v. 806 (2022), 15 p., 2021.
9. GAUDARD, P. M. Estudo de parâmetros bióticos e abióticos para a avaliação da qualidade da água do lago Paranoá – DF. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 125 p., 2019.
10. GITELSON, A. A., YACOBI, Y. Z., RUNDQUIST, D. C., STARK, R., HAN, L., ETZION, D. Remote estimation of chlorophyll concentration in productive water: Principals, algorithm development and validation, 2000.
11. PESSOA, G. E.; STEINKE, V. A. Evolution of Land Use in Two Drainage Basins in an Urban Area of Brasília-DF/Brazil. *Journal of Service Science and Management*, 13(6), 769-784. 2020.
12. RICHTER, C. A., NETTO, J. M. de A. Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada. Blucher, São Paulo, 1991.
13. RITCHIE, J. C., SCHIEBE, F. R., MCHENRY, J. R. Remote Sensing of Suspended Sediments in Surface Waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 42, n. 12, p. 1539-1545, 1976.
14. da SILVA, D. B.; BELLOTTO, V. R.; BARBOSA, J. D. S.; LIMA, T. B. Spatiotemporal Variation on Water Quality and Trophic State of Tropical Urban Reservoir: A Case Study of the Lake Paranoá - DF, Brazil. *Water*, 13(22), 3314. 2021.
15. USGS. Landsat 9. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>>. Acesso em: 26 out. 2022.
16. ZHANG, X., SONG, Y., CHEN, J., HUANG, J. Landsat Image-Based Retrieval and Analysis of Spatiotemporal Variation of Total Suspended Solid Concentration in Jiaozhou Bay, China. *Remote Sensing*. v. 13, 4796, 16 p., 2019.