

Evidências do efeito dos barramentos artificiais sobre a variação sazonal dos sólidos totais em suspensão na desembocadura do rio São Francisco

Evidences of the artificial dams effects over the seasonal variation of total suspended solids at São Francisco river mouth

Hortencia Cordeiro da Luz

Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil

hortencia.luz@edu.udesc.br

 <https://orcid.org/0009-0003-3128-2055>

Agatha Kerollyn Simeão Andrade

Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil

agathakerollyn1@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4398-9472>

David Valença Dantas

Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil

david.dantas@udesc.br

 <https://orcid.org/0000-0001-6890-1313>

Eduardo Gentil

Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil

eduardo.gentil@udesc.br

 <https://orcid.org/0000-0002-6139-8636>

RESUMO

Os rios contribuem de sobremaneira no transporte de materiais associados aos sólidos totais em suspensão (TSS), responsáveis pela fertilização e pelo balanço de sedimentos para as zonas costeiras adjacentes. Dada esta relevância, a variabilidade especial e temporal das plumas costeiras devem ser constantemente monitoradas, uma vez que, anomalias de TSS podem estar associadas com impactos antrópicos regionais e/ou anomalias no clima. Neste sentido, o presente estudo implementou o algoritmo de Tassan sobre dados orbitais referentes a porção da desembocadura do rio São Francisco entre os anos de 2013 e 2021, visando identificar oscilações sazonais desta localidade. Os resultados obtidos pelo perfil plotado indicaram maiores valores de TSS para a região da desembocadura do rio São Francisco, com reduções expressivas na medida em que o perfil avança em direção à porção marinha adjacente. Adicionalmente, foi observada ausência de oscilações significativas nos níveis de TSS locais. Possivelmente, o expressivo quantitativo de barramentos artificiais ao longo da bacia do São Francisco em consonância com os baixos índices de pluviosidade na região está afetando a dinâmica dos sedimentos para as porções à jusante. Esperamos que este trabalho possa contribuir com futuras medidas que visem o manejo adaptativo da região frente os atuais desafios de sustentabilidade.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Recursos hídricos; Planejamento ambiental.

ABSTRACT

Rivers fluxes has a relevant contribution over the transport of total suspended solids (TSS) for river mouths being responsible to promote primary production and sediment balance for coastal areas. In this sense it is necessary to monitor the spatial and temporal variability of coastal plumes once TSS anomalies could be associated with regional anthropogenic impacts and/or climate anomalies. The present study implemented the Tassan algorithm over satellite data for the portion of the mouth of the São Francisco River between the years 2013 to 2021 to identify possible seasonal oscillations in this study region. The results presented a general profile with higher TSS values for the region at the mouth of the São Francisco River with TSS reductions in the adjacent marine portion. Additionally, no significant fluctuations in local TSS levels were observed. Possibly, the expressive artificial dams throughout the São Francisco basin associated with unexpressive rainfall levels in the region are affecting the dynamics of TSS in downstream portions. We hope that this work can contribute to future coastal management purposes in face of current sustainability challenges.

Keywords: Remote sensing; Hydric resources; Territorial planning.

1. INTRODUÇÃO

Os rios são os principais responsáveis pelo transporte de sedimentos do continente para o ambiente marinho, contribuindo com 70% da entrada de sedimentos nos oceanos de todo o mundo (Milliman, 1991). Nesse sentido, os ambientes de transição na interface continente-oceano, como os estuários, têm impacto relevante para a exportação desses materiais para o ambiente marinho (Pritchard, 1952).

Os estuários são corpos d'água costeiros semifechados que possuem ligação direta com o oceano e são influenciados pelos regimes de marés em consonância com a drenagem fluvial (Dyer, 1997), sendo a conjunção destas variáveis ambientais, responsáveis pelo transporte de sedimentos através das plumas costeiras (Wright, 1977).

O rio São Francisco é o quinto maior rio da América do Sul (Bandeira *et al.*, 2013) e a segunda maior bacia hidrográfica do Brasil, contribuindo para uma ampla variedade de serviços ecossistêmicos (Knoppers, 2005). Dentre os principais usos do rio São Francisco, destacam-se: irrigação, navegação, pesca e aquicultura. Adicionalmente, a região apresenta um expressivo quantitativo de barragens artificiais destinadas à geração de energia hidrelétrica e abastecimento humano (Medeiros, 2007). Notavelmente, as barragens artificiais afetam a dinâmica das massas de água e o transporte de materiais para o baixo estuário do Rio São Francisco (Schmutz; Moog, 2018), afetando o fornecimento de material particulado para o estuário (Seliger; Zeiringer, 2018). Assim, faz-se necessário monitorar os possíveis impactos provocados pelo déficit de material particulado na zona costeira.

A bacia do Rio São Francisco perdeu 50% de sua superfície natural de água entre 1985 e 2020 (Mapbiomas, 2022), onde vários impactos podem ser derivados disso: mudanças no equilíbrio hídrico e biogeoquímico, erosão e aumento das taxas locais de assoreamento (Barbosa *et al.*, 2014). Além disso, concentrações expressivas de sólidos suspensos e/ou nutrientes podem impactar a produtividade primária devido à redução da penetração da luz na camada fótica, favorecendo a proliferação de cianobactérias e a eutrofização (Zhang *et al.*, 2016). Finalmente, alterações no equilíbrio sedimentar podem comprometer a manutenção dos canais navegáveis, afetando o turismo e o comércio (Paulinha; Strenzel, 2020).

O sensoriamento remoto tem sido adotado nas últimas décadas para monitorar ambientes costeiros com maior eficácia do que a abordagem tradicional *in situ* (Sa'ad *et al.*, 2021). A eficiência do monitoramento de sólidos suspensos totais pode fornecer dados úteis para a avaliação de possíveis políticas operacionais para entidades públicas e privadas (Sa'ad *et al.*, 2021).

Devido à relevância do assunto, o presente trabalho implementou um algoritmo específico sobre produtos de sensoriamento remoto para monitorar o total de sólidos suspensos na foz do rio São Francisco, considerando a dinâmica espaço-temporal da pluma costeira regional, avaliando possíveis diferenças estatísticas entre temporadas ao longo da última década.

2. METODOLOGIA

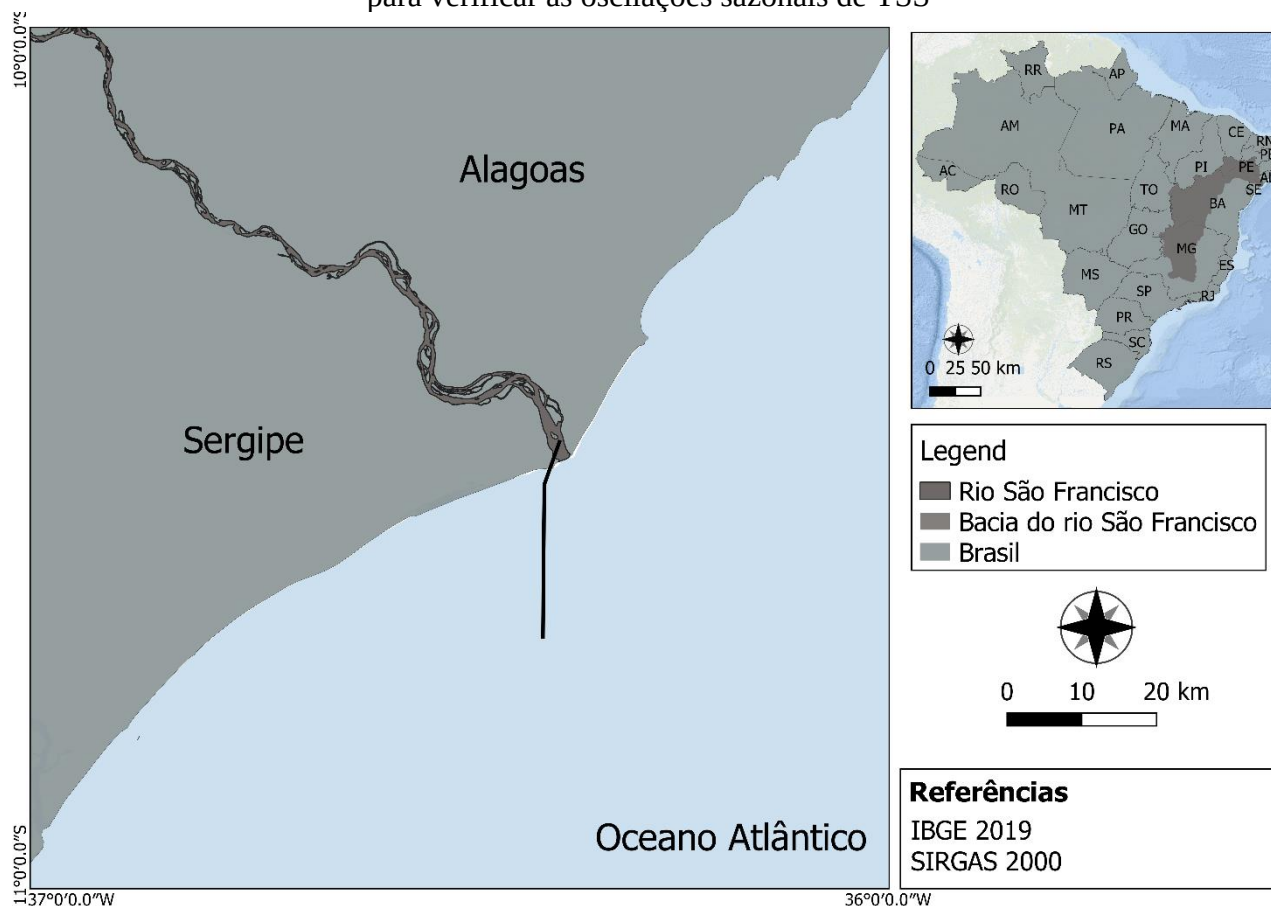
2.1. Área de estudo

A bacia do rio São Francisco é uma das mais importantes bacias hidrográficas brasileiras, com área total superior a 639.000 km² e 2.800 km de extensão total, cortando seis diferentes estados brasileiros. A bacia é dividida em quatro regiões fisiográficas (alto, médio, submédio e baixo rio São Francisco), tendo a porção da desembocadura o clima classificado como tropical semiárido e subúmido (Knoppers *et al.*, 1999) (**Figura 1**).

A região costeira adjacente à foz do rio São Francisco é dominada por mesomarés semidiurnas e apresenta regimes de ondas de superfície, predominantemente oriundas dos quadrantes NE e E entre janeiro a maio, bem como, entre os meses de setembro e novembro. Em contrapartida,

ondulações oriundas do quadrante SE costumam ocorrer entre março e agosto (Medeiros *et al.*, 2007). Os ventos locais provêm dos quadrantes E e NE nos meses de primavera e verão. Já para os meses de outono e inverno, estes costumam serem advindos dos quadrantes E-SE (Oliveira, 2009). A profundidade da região estuarina da foz do rio São Francisco pode atingir até 14 m e apresenta diversos bancos de areia que ficam expostos durante os regimes de baixa-mar (Medeiros *et al.*, 2007).

Figura 1: Desembocadura do rio São Francisco. A linha em preto representa o transecto avaliado para verificar as oscilações sazonais de TSS



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

2.2. Sensoriamento remoto e análise de dados

Foram obtidas imagens Landsat 8 (sensor OLI) através do site do *United States Geological Survey* (earthexplorer.usgs.gov). O sensor OLI apresenta resolução espacial de 30 metros e 16 dias de resolução temporal (FOV = 170 x 183 km). Neste estudo, foram analisadas imagens entre os anos de 2013 a 2021. Foram selecionadas duas imagens para cada dois anos (2013, 2015, 2017, 2019 e 2021), tendo sempre sido selecionada uma imagem para o período chuvoso/ano (março a agosto) e uma imagem para o período de estiagem/ano (outubro a fevereiro).

Os sólidos totais em suspensão (TSS) foram calculados utilizando o algoritmo de Tassan (Tassan, 1987) e os valores foram amostrados para o mesmo perfil padrão (128010 S, -116382 W; 123480 S; -1178430 W) (ver linha destacada em preto na **Figura 1**). O algoritmo Tassan converte a reflectância das imagens Landsat (após correção atmosférica apropriada), em TSS (Lorenzzetti *et al.*, 2007). As medições de TSS por meio de sensoriamento remoto dependem da correlação geral entre TSS e a reflectância da água apresentada pela **equação 1** (Novo *et al.*, 1989):

$$\log(TSS) = a + b * \log(R(570\mu m)) \quad (1)$$

A acurácia do algoritmo Tassan, para a foz do rio São Francisco, foi verificada e é considerada o melhor algoritmo TSS ajustado para a região (Lorenzetti *et al.*, 2007), sendo calculada pela **equação 2**:

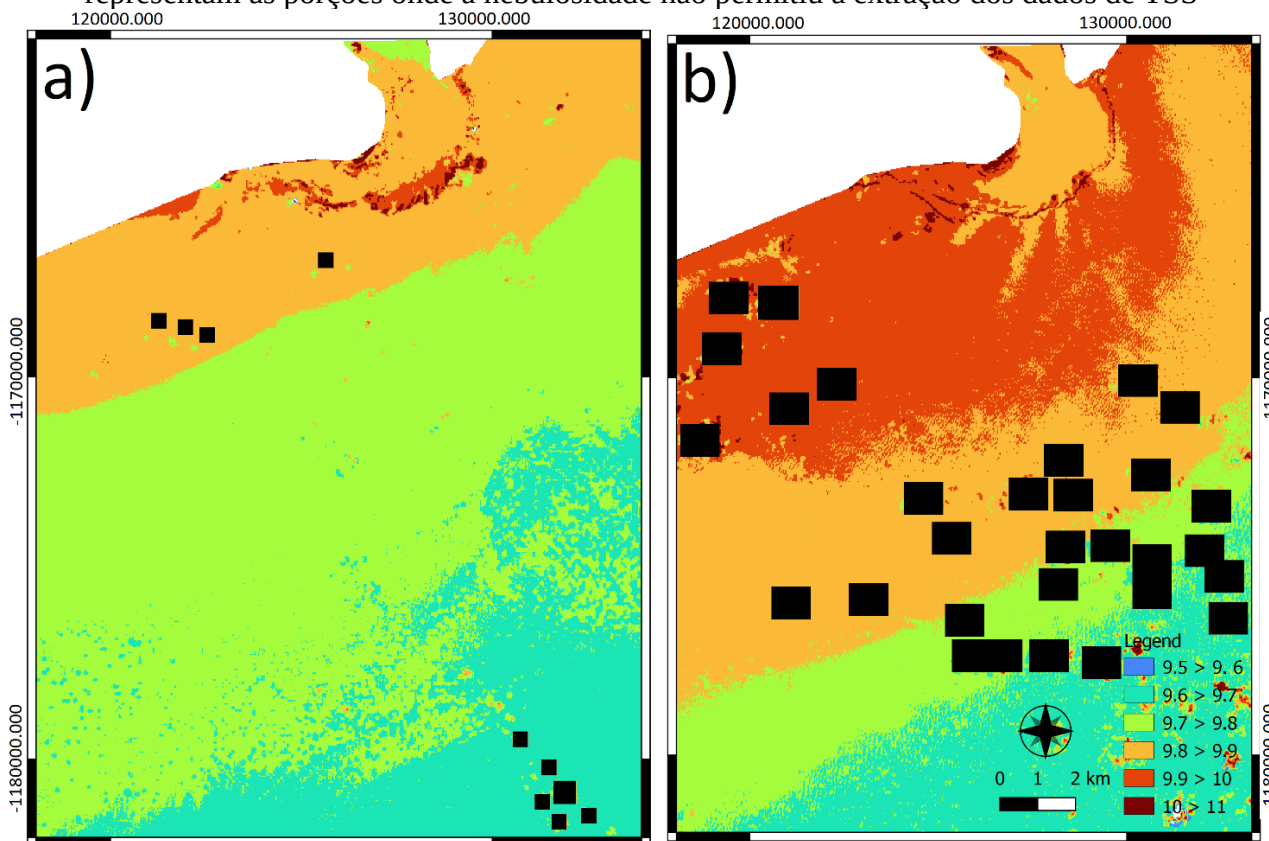
$$\log(TSS) = (3.08 \pm 0.27) + (1.70 \pm 0.14) * \log(R(570\mu m)) \quad (2)$$

Assim, o presente estudo implementou o algoritmo proposto pela equação 2 (Lorenzetti *et al.*, 2007), para aproximadamente uma década de produtos orbitais obtidos em estações de chuvosas e de estiagem para a foz do rio São Francisco, com o intuito de analisar possíveis diferenças estatísticas entre estas. Assim, após a implementação do algoritmo, avaliamos possíveis diferenças a partir do teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney (nível de significância de 5%) monocausal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

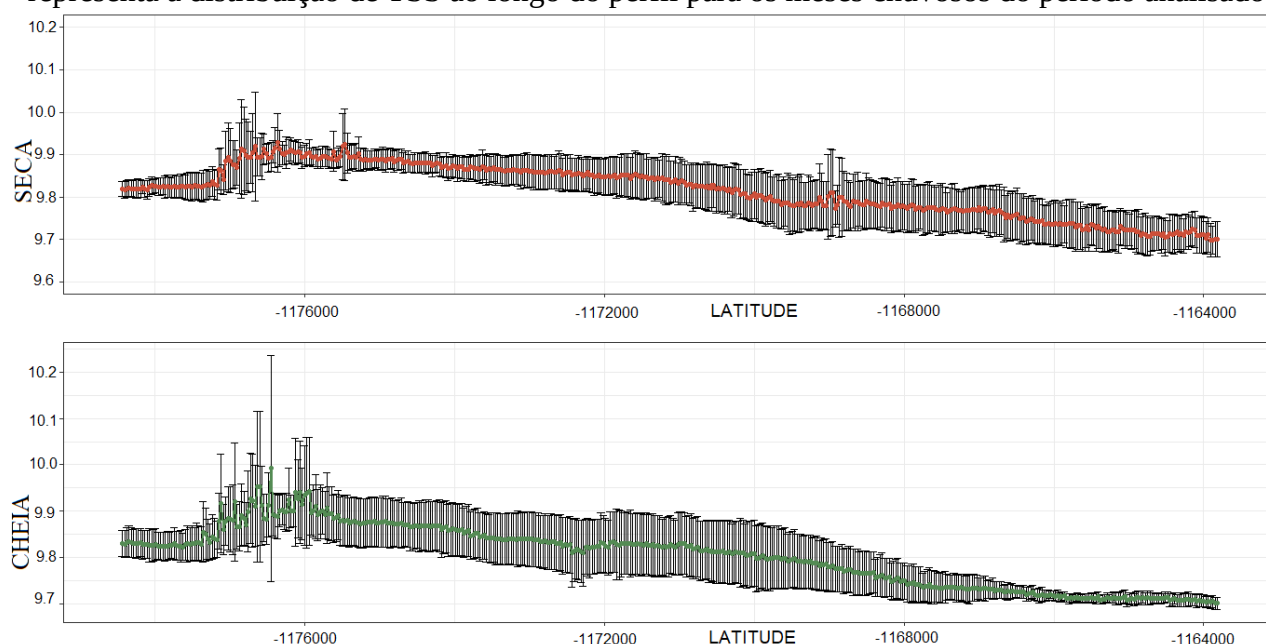
O algoritmo de Tassan ajustado para o rio São Francisco, sugere que, partindo da desembocadura, ocorre uma redução gradativa nas concentrações de TSS, independentemente da estação (seca ou chuvosa) analisada, com valores mínimos de 9.5 mg/L e máximos de 10.5 mg/L (**Figura 2**). Observando os perfis de TSS para as condições chuvosas e de estiagem (**Figura 3**) é possível identificar que os padrões verificados na **Figura 2** são recorrentes em toda série temporal analisada.

Figura 2: Distribuição dos valores de TSS para a porção adjacente à desembocadura do rio São Francisco (vide no canto superior dos mapas). (a) Concentrações de TSS para o período chuvoso de 2021. (b) Concentrações de TSS para o período de estiagem de 2021. Os quadrados na cor preta representam as porções onde a nebulosidade não permitiu a extração dos dados de TSS



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 3: Média (linhas vermelha e verde) e desvios padrão (barras em cinza) das concentrações de TSS ao longo do perfil assinalado na Figura 1 (em preto). A figura superior correspondente ao perfil médio para os aproximadamente dez anos para os meses de estiagem, enquanto a figura inferior representa a distribuição de TSS ao longo do perfil para os meses chuvosos do período analisado



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Os sólidos totais em suspensão (TSS) por perfil de estiagem e chuvoso apresentaram média de 9,81 mg/L e 9,80 mg/L, respectivamente. O teste de Mann-Whitney não identificou diferenças estatísticas ($p > 0,05$) nos níveis de TSS entre as estações, sugerindo ausência de sazonalidade nos perfis.

Historicamente, a redução de TSS no Rio São Francisco vem sendo observada: na década de 1970 as concentrações de TSS eram em torno de 70 mg/L (Milliman, 1975). Já na década de 1980, esse valor oscilava por volta dos 27 mg/L (Souza, 2002). Segundo a literatura (Medeiros *et al.*, 2011), possivelmente, esta redução se deveu à implantação da Usina Hidrelétrica de Xingó. Por fim, nos anos 2000, os níveis de TSS atingiram média de 5 mg/L, quantitativos estes que sugerem que a região está tendo os seus níveis de TSS fortemente impactados (Medeiros, 2003).

Sabidamente, o fluxo do rio é o responsável pelo transporte de TSS para porções à jusante que, em última medida, irão desembocar no oceano (Milliman; Syvistki, 1992). No entanto, os impactos antrópicos associados às barragens artificiais têm provocado reduções substanciais nas vazões que originalmente o rio detinha, comprometendo a exportação de TSS para a zona costeira, independentemente da estação vigente (Restrepo; Kjerfve, 2000). Além disso, diferentes autores têm observado uma diminuição do regime anual das chuvas na bacia do rio São Francisco (Gurjão *et al.*, 2012, Assis, 2016, Silveira *et al.*, 2016, Santos; Fernandes, 2022).

A literatura sugere que as vazões históricas de pico no rio São Francisco já atingiram valores da ordem de 8.000 m³/s durante períodos (Medeiros *et al.*, 2011, Oliveira *et al.*, 2012). Mais recentemente (Cavalcante *et al.*, 2020), a literatura afirma que os valores de pico de vazão na região foram severamente reduzidos em virtude do represamento de porções da água do rio por intermédio dos barramentos artificiais. Paralelamente, relatórios do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (Cptec/Inpe, 2007), apresentam tendências de redução das chuvas na bacia do São Francisco, principalmente próximos à zona estuarina, fomentando um processo de desertificação local, resultados semelhantes encontrados em outros trabalhos realizados para a região (Assis *et al.*, 2015, Melo, 2022).

Vale ressaltar que o controle das vazões hídricas são a principal consequência oriunda das sucessivas usinas hidrelétricas, provocando mudanças significativas nos pulsos dos rios, afetando o transporte de sedimentos e provocando redução da heterogeneidade e diversidade de habitats (Medeiros *et al.*, 2007). Segundo vários autores, as reduções de TSS podem afetar a presença de nutrientes nas zonas estuarinas (Knoppers *et al.*, 2005, Medeiros *et al.*, 2007, Medeiros *et al.*, 2011). Além disso, as barragens artificiais na bacia do São Francisco podem estar contribuindo para aumentar a salinização e a oligotrofia na nossa região de estudo (Cavalcante *et al.*, 2020; Jennerjahn *et al.*, 2010).

No contexto das alterações climáticas, o aumento da temperatura terá impacto no ciclo hidrológico afetando todos os sistemas naturais e humanos (Jennerjahn *et al.*, 2012). Estudo analisando 30 anos de dados sobre a tendência de chuvas no baixo rio São Francisco, observou padrões decrescentes de chuvas em toda a bacia (Silva, 2021). Neste cenário, provavelmente haverá um aumento expressivo nas taxas de evaporação com impactos negativos sobre a disponibilidade hídrica (Santos *et al.*, 2022).

Devido às reduções da vazão do rio São Francisco e seus impactos sobre a distribuição de TSS na foz do rio, esta região poderá atingir um estado oligotrófico no futuro (Jennerjahn *et al.*, 2012, Knoppers *et al.*, 2010, 2005), com graves impactos sobre a teia trófica marinha. Notavelmente, esta região vem apresentando sucessivos impactos devido às atividades humanas no semiárido brasileiro (Machmann, 2003, Medeiros *et al.*, 2003, Medeiros *et al.*, 2015). Assim, novos esforços nesse sentido precisam ser realizados para garantir o uso sustentável do rio São Francisco nas próximas décadas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos sugerem que não há sinais de sazonalidade nas concentrações de TSS entre os períodos chuvosos e de estiagem, fato que corrobora com a literatura. Provavelmente, os reservatórios artificiais têm afetado a vazão do rio, fato que, em consonância com a diminuição das chuvas, podem levar à desertificação da área costeira do São Francisco.

Devido às modificações no regime hidrológico, métodos de manutenção dos recursos hídricos têm sido intensamente discutidos. Os conceitos e métodos de vazão ecológica devem ser avaliados, visando garantir a manutenção e conservação dos ecossistemas naturais aquáticos, bem como, atuando na manutenção dos aspectos paisagísticos regionais, sejam eles científicos ou culturais.

Os resultados de TSS obtidos através do processamento de imagens podem, em consonância com outras informações ambientais, descrever que a foz do rio São Francisco está se comportando de maneira oligotrófica, já que os dados expõem a baixa quantidade de TSS nessa região. Os motivos disso podem ser explicados pela retenção através das barragens, baixa vazão dos rios e diminuição da pluviosidade, desertificando a zona costeira. Não houve diferença expressiva nos níveis de TSS entre as estações na foz, evidenciando a carência de sazonalidade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do projeto “Clima Pesca: Impacto das mudanças climáticas sobre a pesca” (NPP NPP2015020003338).

REFERÊNCIAS

ASSIS, J.M.O. **Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho Submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.

ASSIS, J.M.O.; SOUZA, W.M.; SOBRAL, M. Análise climática da precipitação no submédio da

bacia do Rio São Francisco com base no índice de anomalia de chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 36, p. 115–127, 2015.

BANDEIRA, J.V.; FARIAS, E.G.G.; LORENZZETTI, J.A.; SALIM, L.H. Resposta morfológica da foz do Rio São Francisco, devido à retenção de sedimentos nos reservatórios. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, v. 23(1), p. 5–17, 2013.

BARBOSA, J.M.C.; PINTO, M.R.; CASTRO, M.A.H. **Erosão e Assoreamento em Reservatórios**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal-RN. 2014.

CAVALCANTE, G.; VIEIRA, F.; CAMPOS, E.; BRANDINI, N.; MEDEIROS, P.R.P. Temporal streamflow reduction and impact on the salt dynamics of the São Francisco River Estuary and adjacent coastal zone (NE/Brazil). **Regional Studies in Marine Science**, v. 38, p. 1-11, 2020.

CPTEC/INPE. **Caracterização do clima no Século XX e Cenários no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC**. p. 5-28 2007.

DYER, K. R. **Estuaries: a physical introduction**. 2ed. Wiley. p. 195. 1997.

GURJÃO, S.D.S.; CORREIA, M.F.; FILHO, J.B.C.; ARAGÃO, M.R.S. Influência do Enos (El Niño-Oscilação Sul) no Regime Hidrológico do Rio São Francisco: uma Análise em Regiões com Fortes Pressões Antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5(4), p. 774-790, 2012.

JENNERJAHN, T.C.; KNOPPERS, B.A.; SOUZA, W.; CARVALHO, C.E.V.; MOLLENHAUER, G.; HÜBNER, M.; ITTEKKOT, V. **Factors controlling the production and accumulation of organic matter along the Brazilian continental margin between the equator and 22°S**. Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis. p. 427-442. 2010.

JENNERJAHN, T.C. Biogeochemical response of tropical coastal systems, to present and past environmental change. **Eart-Science Reviews**, v. 114, n. 1-2, p. 19-41. 2012.

KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P.; SOUZA W.F.L.; JENNERJAHN, T. **The São Francisco Estuary, Brazil**. In: Estuaries, p. 51–70, 2005.

KNOPPERS, B.; KJERFVE, B. **Coastal lagoons of southeastern Brazil: Physical and biogeochemical characteristics**. In :Estuaries of South America, p. 35–66, 1999.

LORENZZETTI, J.A.; NEGRI, E.; KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P. **Uso de imagens Landsat como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO. Anais Florianópolis: INPE. Florianópolis, p. 3429-3436, 2007.

MACHMANN, O. **Estudo Hidrodinâmico-Sedimentológico do Baixo São Francisco, Estuário e Zona Costeira Adjacente AL/SE**. Resumo Executivo do Relatório Final (Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco), p. 1-35, 2003.

MAPBIOMAS. **Bacia do São Francisco: Dia nacional em defesa do Rio São Francisco**. 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2022/06/03/sao-francisco-perdeu-50-da-superficie-de-agua-nas-ultimas-tres-decadas/>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2023.

MEDEIROS, P.R.P. **Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco, após a construção da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE)**. Tese de Doutorado. Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense-UFF. 184 p. 2003

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; SANTOS JÚNIOR, R. C.; SOUZA, W. F. L. Aporte fluvial e dispersão DE matéria particulada em suspensão Na Zona Costeira do Rio são Francisco (Se/Al). **Geochimica Brasiliensis**, v. 21(2), p. 212-231, 2007.

MEDEIROS, P.R.P.; KNOPPERS, B.; CAVALCANTE, G.H.; SOUZA, W.F.L. Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the construction of dams. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, p. 387-397, 2011.

MEDEIROS, P.R.P.; SEGUNDO, G.H.C.; MAGALHÃES, E.M.M. Comportamento da Turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, p. 35-44, 2015.

MELO, L. S. **Avaliação das alterações de vazões na bacia hidrográfica do rio São Francisco entre 1985 e 2019: análise de tendências e relações com variáveis climáticas e antrópicas**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Dep. De Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas. Minas Gerais, p. 1-225, 2022.

MILLIMAN, J.D.; SYVITSKI, J.P.M. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: The importance of small mountainous rivers. **The Journal of Geology**, v. 100(5), p. 525–544, 1992.

MILLIMAN, J.D. **Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas**. In: Global Change. John Wiley & Sons. (Eds) Ocean Margin Processes, p. 60-90, 1991.

MILLIMAN, J.D. **Upper continental margins sedimentation off Brazil: Part VI. A synthesis**. Contrib. Sedimentol., v. 4, p. 151-176. 1975.

NOVO, E.M.M.; HANSOM, J.D.; CURRAN, P.J. The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10(07), p. 1283-1289, 1989.

OLIVEIRA, E.N. **Impacto de Barragens sobre a Dispersão de Matéria e a Sustentabilidade da Pluma Costeira do rio São Francisco (AL/SE): Análise espacial e temporal por Sensoriamento Remoto**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense. Mai. 2009. p.158.

OLIVEIRA, E.N.; KNOPPERS, B.A.; LORENZZETTI, J.A.; MEDEIROS, P.R.P.; CARNEIRO, M.E.; SOUZA, W.F.L. A satellite view of riverine turbidity plumes on the NE-E Brazilian Coastal Zone. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60(3), p. 283-298, 2012.

PAULINHA, P.R.; STRENZEL, M.S. Um modelo empírico para estimativa do Total de Sólidos em Suspensão empregando o sensor OLI na costa de Caravelas, Bahia, Brasil. **GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, v. 26, p. 121–137, 2020.

PRITCHARD, D.W. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. **Journal of Marine Research**, v. 11(2), p. 106–123, 1952.

RESTREPO, J.D.; KJERVFE, B. Water discharge and sediment load from the western slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan. **Journal of Geology**, v. 108, p.17-33. 2000.

SA'AD, F. N. A.; TAHRIR, M. S.; JEMILY, N. H. B.; AHMAD, A.; AMIN, A. R. M. Monitoring total suspended sediment concentration in spatiotemporal domain over Teluk Lipat utilizing Landsat 8 (OLI). **Applied Sciences**, v.11, p. 1-16, 2021.

SANTOS, A.; FERNANDES G.S.T. **Uso e Ocupação do Solo da Bacia e Caracterização Hidroambiental**. In: O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais – V. II. Edufal, p.355-371, 2022.

SCHMUTZ, S.; MOOG, O. **Dams: Ecological Impacts and Management**. In: Riverine Ecosystem Management, p. 111–127, 2018.

SELIGER, C.; ZEIRINGER, B. **River connectivity, habitat fragmentation and related restoration measures**. Em Riverine Ecosystem Management, p. 171–186, 2018.

SILVA, M. **Tendências e extremos da pluviosidade na região hidrográfica do Rio São Francisco**. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia - Universidade Federal de Uberlândia. mar.2021. 134p. 2021.

SILVEIRA, C.S.; FILHO, F.A.S.F.; MARTINS, E.S.P.R.; OLIVEIRA, J.L.; COSTA, A.C.; NÓBREGA, M.T.; SOUZA, S.A.; SILVA, R.F.V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **RBRH**, v. 21(2), p. 416–428, 2016.

SOUZA, W.F.L. **A Interface Terra-Mar Leste do Brasil: Tipologia, Aporte Fluvial, Águas Costeiras e Plataforma Continental**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, 2002, 233p. 2002.

TASSAN, S. Evaluation of the potential of the Thematic Mapper for marine application. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8(10), p. 1455–1478, 1987.

WRIGHT, L.D. **Sediment transport and deposition at river mouths: A synthesis**. Geological Society of America Bulletin, v. 88, p. 857-868, 1977.

ZHANG Y.; SHI, K.; ZHOU, Y.; LIU, X. Monitoring the river plume induced by heavy rainfall events in large, shallow, Lake Taihu using MODIS 250 m imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 173(9), p.109–121, 2016.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.