

PADRÕES SAZONAIS DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO

ISADORA BICHO EMMENDORFER¹;

JEAN MARCEL DE ALMEIDA ESPINOZA²; BENTO DE ALMEIDA GONZAGA³;

VICTOR HUGGO LESSA RASOLÉM⁴; DINALVA AIRES DE SALES⁵

¹Universidade Federal do Rio Grande – emmendorferisadora@gmail.com¹

²Instituto Federal de Ciência e Tecnologia- IFSC – jean.espinoza@ifsc.edu.br²

³Universidade Federal do Rio Grande – profbentoag@gmail.com³

⁴Universidade Federal do Rio Grande – vlessarosolem@gmail.com⁴

⁵Universidade Federal do Rio Grande – dinalvaires@gmail.com⁵

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a intensificação das atividades humanas em regiões costeiras têm causado impactos significativos na qualidade da água, comprometendo ecossistemas aquáticos e a sustentabilidade socioeconômica MASSON-DELMOTTE et al. (2021). No Brasil, a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diretrizes para a classificação e monitoramento dos corpos hídricos, reforçando a necessidade de controle contínuo (CONAMA, 2005).

Entre os ecossistemas de destaque está o estuário da Lagoa dos Patos, um dos maiores sistemas lagunares do mundo, de grande relevância ecológica e socioeconômica para o sul do Brasil. Conectado ao oceano Atlântico, o estuário apresenta trocas dinâmicas influenciadas por marés, ventos, precipitação e descargas fluviais (FERNANDES et al., 2005 e FERNANDES, MONTEIRO MÖLLER, 2010). A cidade de Rio Grande, situada em suas margens, concentra atividades industriais e portuárias que liberam efluentes domésticos e industriais, favorecendo eutrofização, contaminação microbiológica e alterações físico-químicas da água (BAUMGARTEN e PAIXÃO, 2013). Além disso, fenômenos climáticos como El Niño e La Niña modificam a circulação e a distribuição de nutrientes, intensificando os desafios para a gestão sustentável do sistema (FERNANDES et al. 2002 e PEREIRA et al. 2012). Diante disso, o uso de sensoriamento remoto, geoprocessamento e dados meteo-oceanográficos se mostra essencial para análises espaciais e temporais da qualidade da água. Este estudo buscou avaliar as variações sazonais e os efeitos de eventos climáticos extremos no estuário da Lagoa dos Patos, empregando essas ferramentas como suporte às investigações.

2. METODOLOGIA

A metodologia do estudo está representada no fluxograma (Figura 1). Foram utilizadas quatro imagens do satélite Sentinel-2, correspondentes às estações do ano de 2019, obtidas no Open Access Hub da ESA. As imagens passaram por pré-processamento no QGIS, com o plug-in SCP, incluindo correções radiométricas, atmosféricas e geométricas, além do cálculo das refletâncias TOA e BOA no sistema WGS84.

Figura 1. Fluxograma metodológico



Na etapa de processamento, aplicou-se álgebra de bandas na Calculadora Raster para estimar os Sólidos Totais em Suspensão (TSS), conforme a equação 1, adaptada de JENSEN (2009) e parametrizada segundo PEIXOTO, GUASSELLI, PEREIRA FILHO (2018).

Equação 1. Sólidos totais em suspensão (TSS).

$$\text{Sólidos totais em Suspensão} = Abs \left[\frac{\ln \left(\frac{B5}{C1} \right)}{C2} \right]$$

Dados meteorológicos foram obtidos pela NOAA-NCEP Reanalysis II (temperatura, pressão, precipitação e vento) referentes aos anos 2018–2019 foram sincronizados com as datas das imagens. A magnitude do vento foi calculada a partir de suas componentes u e v (Equação 2). Em seguida, realizou-se análise sazonal, com médias e desvios padrão para cada estação.

Equação 2. Magnitude do vento

$$\text{Magnitude do vento} = \sqrt{u^2 + v^2}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 1 e 2 apresentam os dados médios de temperatura, pressão, vento e precipitação obtidos do reanálise NOAA-NCEP/DOE, próximos à área de estudo. Os resultados revelaram variações sazonais com anomalias atribuídas ao evento El Niño em 2019 ANDRADE et al (2019) e CAI et al. (2020).

Tabela 1. Médias e desvios padrões para temperatura e pressão por estação do ano.

Estação	Temperatura (°C)		Pressão (hpa)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Verão	20,83	1,79	1020,23	3,76
Outono	21,03	1,70	1019,56	4,47
Inverno	17,54	1,42	1022,73	6,15
Primavera	16,97	1,05	1021,59	5,11

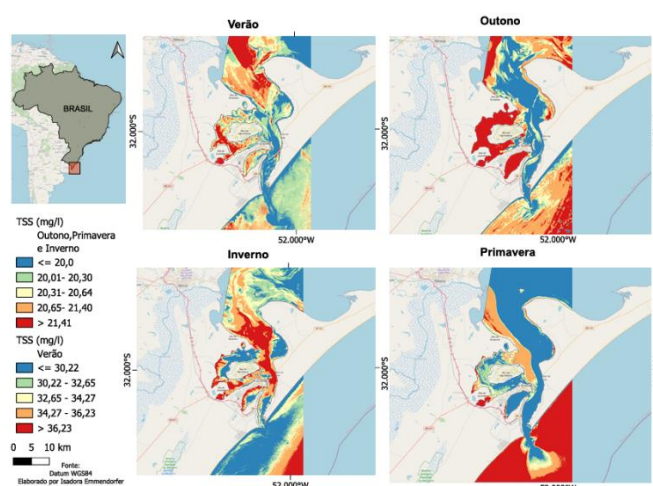
Tabela 2. Médias e desvios padrões para vento e precipitação por estação do ano.

Magnitude do Vento (m/s)	Precipitação (mm)
--------------------------	-------------------

Estação	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Total (mm)
Verão	5,31	2,59	0,62	2,67	219,40
Outono	7,01	2,89	2,44	7,92	909,33
Inverno	7,60	3,67	1,29	4,85	485,75
Primavera	7,11	3,14	1,27	5,22	456,48

A temperatura mostrou padrão atípico, com o outono registrando a maior média (21,03 °C), superando o verão (20,83 °C) (Tabela 1). O inverno foi relativamente ameno (17,54 °C), indicando a influência do aquecimento oceânico. Essas anomalias refletem o impacto do El Niño, que altera a circulação atmosférica e modula o transporte de calor na região (TAVORA et al., 2019). A pressão atmosférica foi mais elevada no inverno (1022,73 hPa) associada a ventos intensos (7,60 m/s), enquanto o outono apresentou menor pressão (1019,56 hPa) e maior precipitação (909 mm) (Tabela 2), indicando atuação de sistemas frontais intensificados, como observado em eventos anteriores (FERNANDES et al., 2002). Os ventos aumentaram progressivamente do verão (5,31 m/s) ao inverno (7,60 m/s), favorecendo a ressuspensão de sedimentos no estuário. A precipitação mostrou forte irregularidade, com valores excepcionais no outono, cerca de quatro vezes superiores ao verão, sugerindo episódios concentrados de chuva extrema. Os sólidos totais em suspensão (TSS) atingiram máximos no verão (+ - 36 mg/L) (Figura 2), relacionados tanto à precipitação acumulada no outono quanto à ação dos ventos sazonais. Esses resultados reforçam o papel combinado de fatores climáticos e hidrodinâmicos na qualidade da água e no transporte de nutrientes no estuário da Lagoa dos Patos.

Figura 2. Sólidos totais em suspensão ao longo das estações do ano para o Estuário da Lagoa dos Patos - 2019.



4. CONCLUSÕES

O estuário da Lagoa dos Patos apresentou em 2019 padrões sazonais atípicos, influenciados pelo El Niño moderado, com aquecimento anômalo no outono, intensificação dos ventos no inverno e precipitação extrema. Essas alterações afetaram a hidrodinâmica e a distribuição de sólidos totais em

suspensão, evidenciando a forte sensibilidade do sistema a eventos climáticos. Os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da consideração das variabilidades climáticas em diferentes escalas temporais, de modo a aprimorar a previsão e a mitigação de impactos em ecossistemas costeiros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; DA PAIXÃO, Bárbara Góis. Uso do índice do estado trófico para avaliar a qualidade das águas do estuário da Lagoa dos Patos (RS). **Atlântica (Rio Grande)**, v. 35, n. 1, p. 5-22, 2013.

CAI, Wenju et al. Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 215-231, 2020.
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF: CONAMA, 2005. Disponível em:

http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 28 jul. 2025.
DE ANDRADE, Felipe M.; GODOL, Victor A.; ARAVÉQUIA, José A. Why above-average rainfall occurred in Northern Northeast Brazil during the 2019 El Niño?. **Meteorology**, v. 2, n. 3, p. 307-328, 2023.

FERNANDES, Elisa Helena Leão et al. The Patos lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). **Continental Shelf Research**, v. 22, n. 11-13, p. 1699-1713, 2002.

FERNANDES, Elisa Helena L.; DYER, Keith Richard; MOLLER, Osmar Olinto. Spatial gradients in the flow of southern Patos Lagoon. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 759-769, 2005.

FERNANDES, Elisa Helena Leão; MONTEIRO, Igor Oliveira; MÖLLER JR, Osmar Olinto. On the dynamics of mangueira bay—patos lagoon (brazil). **Journal of Coastal Research**, n. 10047, p. 97-107, 2010.

JENSEN, John R. **Sensoramento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. São Paulo, Parêntese, 2009.

MASSON-DELMOTTE, Valérie et al. Climate change 2021: the physical science basis. **Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, v. 2, n. 1, p. 2391, 2021.

PEREIRA, N.; RODRIGUES, J.; LIMA RIBEIRO, A. de; D'INCAO, F. Análise climatológica dos ciclones extratropicais e sua influência no aumento da salinidade no estuário de Lagoa dos Patos, extremo sul do Brasil. **Atlântica (Rio Grande)**, Rio Grande, v. 34, n. 2, p. 173-187, 2012.
PEIXOTO, Daniela Wancura Barbieri; GUASSELLI, Laurindo Antonio; PEREIRA FILHO, Waterloo. Estimativa de concentração e sedimentos em suspensão a partir de imagens LANDSAT 8 em PCHS no rio Ivaí-RS. **Geociências**, v. 37, n. 1, p. 147-154, 2018.

TÁVORA, J.; FERNANDES, E. H.; THOMAS, A. C.; WEATHERBEE, R.; SCHETTINI, C. A. The influence of river discharge and wind on Patos Lagoon, Brazil, Suspended Particulate Matter. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 40, n. 12, p. 4506-4525, 2019.