VARIAÇÃO SEDIMENTAR E BIOGEOQUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS RIOS CAETÉ (PA) E PARAÍBA DO SUL (RJ)

Alice Rocha[1], Ariane Maria Marques[2], Échilly Sartori[1], Nils Edvin[2], Carlos Eduardo de Rezende[1], Pedro Gatts[1], Diego Lacerda[1]

[1]Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia - 28013-602 - Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil, alicesilvarocha011@gmail.com, echilysartori1@gmail.com, crezende@uenf.br, pedrogatts90@gmail.com, diegolacerda@uenf.br.
[2]Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará (UFPA), Alameda Leandro Ribeiro, S/N, Bairro Aldeia, Campus UFPA, Bragança, Pará, 68600-000, Brasil, amarquesariane@gmail.com, nilsasp@ufpa.br.

Resumo
Manguezais e estuários atuam na retenção e transformação da matéria orgânica (MO), cuja dinâmica é influenciada por características sedimentares e hidrodinâmicas. Este estudo comparou a MO sedimentar dos rios Caeté (PA) e Paraíba do Sul (RJ), duas bacias contrastantes quanto às condições hidrológicas e ao uso da terra, nos períodos seco e chuvoso. Foram analisados granulometria, carbono e nitrogênio elementares (C_{tot}, C_{inorg}, C_{org}, N_{tot} e C:N) e isotópicos ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$). Os manguezais apresentaram maior proporção de sedimentos finos e maiores teores de carbono orgânico que os estuários. Entre as bacias, o manguezal do Paraíba do Sul apresentou maiores teores de C_{org} e razão C:N, além de valores mais elevados de $\delta^{15}N$, enquanto o manguezal do Caeté apresentou maior contribuição de argila. No estuário do Paraíba do Sul, os maiores valores de $\delta^{13}C$ indicaram participação tanto de fontes terrestres quanto oceânicas. A PCA evidenciou maior diferenciação entre ambientes e bacias do que entre períodos sazonais. Os resultados mostram que a MO sedimentar varia principalmente em função das diferenças hidrológicas, sedimentares e de uso da terra entre as bacias.

Palavras-chave: Isótopos Estáveis. Sedimentos. Ambientes Costeiros. Sazonalidade.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas (Ecologia).

Introdução

Os manguezais e estuários são ecossistemas costeiros de transição entre ambientes terrestres e marinhos, importantes na retenção e no armazenamento de carbono e nutrientes e na dinâmica biogeoquímica dos sistemas aquáticos (Schaeffer-Novelli *et al*., 2024; Corrêa *et al*., 2019; Boto; Wellington, 1988). A matéria orgânica (MO) presente nesses ambientes possui diferentes fontes autóctones e alóctones e pode ser retida nos sedimentos, transformada pela atividade microbiana ou exportada para regiões costeiras (Goñi *et al*., 2003, Canuel; Hardison, 2016). Nos manguezais, a vegetação, predominantemente composta por plantas C3, constitui importante fonte de MO, enquanto os estuários recebem aportes terrestres, de mangue e aquáticos, como fitoplâncton (Alongi, 1998; Meyers, 1997). A distribuição da MO depende de processos hidrodinâmicos e sedimentares (Canuel; Hardison, 2016). Em ambientes de menor energia, como os manguezais, a deposição de sedimentos finos pode favorecer a retenção de MO, enquanto nos estuários a salinidade também influencia a floculação e a sedimentação das partículas (Dittmar; Lara, 2001; Burban *et al*., 1989). Ferramentas biogeoquímicas, como a composição elementar (C e N) e isotópica ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$), permitem avaliar as fontes e transformações da MO, exigindo interpretação integrada aos parâmetros ambientais (Kristensen *et al*., 2008).

Os estuários dos rios Caeté (RC, Pará) e Paraíba do Sul (RPS, Rio de Janeiro) apresentam contrastes marcantes. O RC possui elevada precipitação, regime hidrológico sazonal e forte influência de macromarés, enquanto o RPS tem maior descarga fluvial e forte pressão antrópica (Dittmar; Lara, 2001; Sartori *et al*., 2023, 2026). Este estudo teve como objetivo avaliar variações granulométricas, elementares e isotópicas nos sedimentos desses ambientes, visando identificar as fontes e fatores

associados à MO. Como hipótese, esperou-se que as características da MO difeririam entre os ambientes e bacias devido a aspectos hidrodinâmicos, climáticos e do uso da terra, com maior aporte terrestre nos manguezais e aquático nos estuários.

Metodologia

Foram coletados sedimentos superficiais (0-20 cm) em manguezais e no estuário do RPS em São Francisco de Itabapoana/RJ (out/2022 – seca e mar/2023 – chuvosa) e do RC em Bragança/PA (mai/2022 e mar/2024 – chuvosa; out/2023 – seca) com auxílio de uma draga Petersen. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a −20 °C até o processamento laboratorial. No Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (LCA/UENF), as amostras foram liofilizadas e peneiradas (<2 mm) e separadas em alíquotas para análises físicas, elementares e isotópicas.

A granulometria foi determinada por difração a laser (Shimadzu SALD-3101), com tempo de análise de 6 min e classificadas conforme Wentworth (1922). Para as análises elementares e isotópicas, aproximadamente 10 mg de sedimento foram acondicionados em cápsulas de estanho para determinação de carbono total e nitrogênio total. Para a determinação do carbono orgânico (Corg) e da composição isotópica de carbono ($\delta^{13}C$), as amostras foram acondicionadas em cápsulas de prata e submetidas à descarbonatação com 5 adições de 25 µL de HCl 2 mol L^{-1}, seguidas de secagem. A análise das amostras ocorreu por meio de um Flash 2000 acoplado a interface ConFlo IV e Delta V Advantage (Thermo Scientific). A razão C:N foi calculada a partir das concentrações de Corg e nitrogênio total (Ntot) (Sartori *et al*., 2023).

Os dados foram descritos por mediana e intervalo interquartil (Q1–Q3). A variação conjunta sedimentar e orgânica foi avaliada por meio de análise de componentes principais (PCA), usando Corg, carbono inorgânico (Cinorg), $\delta^{13}C$ orgânico e duas variáveis derivadas da composição granulométrica por transformação de razão logarítmica isométrica (ILR). As variáveis passaram por padronização antes da análise, enquanto a salinidade foi utilizada como variável suplementar. A análise considerou apenas amostras com dados completos para as variáveis ativas. A contribuição de fontes de MO foi avaliada no espaço isotópico ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) considerando *endmembers* naturais (locais ou da literatura) representativos de manguezal, produtores aquáticos, e demais fontes. Também se considerou um cenário com esgoto (antropogênico). Os cenários foram comparados quanto à abrangência das assinaturas isotópicas observadas nos sedimentos, sendo essa análise utilizada como ferramenta exploratória de avaliação das possíveis fontes de matéria orgânica.

Resultados

A salinidade contrastou entre bacias e campanhas. No manguezal do Caeté, valores superiores a 30 na seca foram observados, enquanto <20 na chuvosa, com ampla variação no estuário. No Paraíba do Sul, o manguezal ficou próximo a zero em ambas as campanhas, enquanto o estuário variou, com valores mais elevados na seca (Tabela 1).

Tabela 1 - Sumarização da salinidade e dos parâmetros granulométricos, elementares e isotópicos dos sedimentos de manguezais e de estuário das bacias dos rios Caeté e Paraíba do Sul, nas campanhas seca e chuvosa. Os valores são apresentados como mediana [primeiro quartil – terceiro quartil]. C:N: razão entre carbono e nitrogênio; $\delta^{13}C$: composição isotópica do carbono; $\delta^{15}N$: composição isotópica do nitrogênio.

		Ambiente e estação			
		Manguezal		Estuário	
Bacia	Variável	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
Rio Caeté	Salinidade	36.5 [24.1 – 38.0]	8.2 [7.5 – 10.3]	7.6 [0.2 – 27.3]	3.4 [0.1 – 8.7]
	Areia (%)	0.2 [0.1 – 0.9]	0.0 [0.0 – 0.4]	99.9 [30.2 – 100.0]	91.8 [75.4 – 97.1]
	Silte (%)	38.6 [35.7 – 41.7]	53.0 [45.4 – 55.1]	0.1 [0.0 – 44.9]	2.2 [1.6 – 15.9]
	Argila (%)	59.9 [56.9 – 62.7]	46.3 [44.7 – 54.6]	0.0 [0.0 – 22.6]	5.9 [0.9 – 10.2]
	Carbono total (%)	2.37 [2.17 – 2.86]	3.31 [2.93 – 3.74]	0.73 [0.10 – 1.39]	0.27 [0.10 – 1.09]
	Carbono orgânico (%)	2.32 [1.91 – 2.72]	2.56 [2.40 – 2.67]	1.14 [0.09 – 1.28]	0.21 [0.05 – 0.92]
	Carbono inorgânico (%)	0.06 [0.05 – 0.21]	0.64 [0.51 – 0.98]	0.13 [0.11 – 0.16]	0.08 [0.04 – 0.16]
	Nitrogênio total (%)	0.22 [0.18 – 0.25]	0.27 [0.23 – 0.28]	0.10 [0.10 – 0.11]	0.08 [0.06 – 0.08]
	$\delta^{13}C$ total (‰)	-26.5 [-27.0 – -25.7]	-26.9 [-27.0 – -26.7]	-26.3 [-26.5 – -25.3]	-27.2 [-27.6 – -26.0]
	$\delta^{13}C$ orgânico (‰)	-26.8 [-27.2 – -26.3]	-27.6 [-27.7 – -27.5]	-26.8 [-27.0 – -26.5]	-28.0 [-28.3 – -27.8]

	$\delta^{15}N$ (‰)	3.7 [3.4 – 3.8]	4.3 [3.7 – 5.2]	3.3 [2.5 – 3.4]	2.2 [1.8 – 3.8]
	Razão C:N	13.5 [12.5 – 14.0]	11.7 [10.7 – 13.2]	15.7 [13.7 – 16.1]	15.8 [14.5 – 16.3]
Rio Paraíba do Sul					
	Salinidade	0.4 [0.1 – 1.3]	0.0 [0.0 – 0.0]	17.3 [2.4 – 32.3]	7.0 [0.0 – 15.2]
	Areia (%)	6.0 [4.0 – 7.9]	8.8 [7.4 – 11.9]	63.9 [21.6 – 100.0]	54.5 [7.7 – 99.2]
	Silte (%)	74.4 [72.3 – 75.4]	76.5 [75.3 – 78.7]	29.4 [0.0 – 61.2]	37.1 [0.8 – 73.5]
	Argila (%)	18.4 [16.5 – 20.0]	12.7 [11.6 – 13.3]	6.7 [0.0 – 17.2]	8.4 [0.0 – 18.8]
	Carbono total (%)	7.57 [5.38 – 8.40]	6.10 [4.18 – 7.41]	2.16 [0.12 – 4.93]	1.95 [0.04 – 4.67]
	Carbono orgânico (%)	6.93 [5.18 – 7.49]	5.82 [3.93 – 7.17]	0.91 [0.11 – 2.63]	0.52 [0.03 – 1.26]
	Carbono inorgânico (%)	0.52 [0.31 – 0.91]	0.24 [0.15 – 0.31]	0.89 [0.01 – 1.95]	0.94 [0.01 – 2.91]
	Nitrogênio total (%)	0.45 [0.32 – 0.47]	0.40 [0.25 – 0.48]	0.59 [0.39 – 0.60]	0.15 [0.13 – 0.18]
	$\delta^{13}C$ total (‰)	-27.3 [-27.4 – -27.2]	-27.4 [-27.7 – -27.0]	-17.9 [-20.4 – -14.7]	-20.5 [-27.8 – -10.8]
	$\delta^{13}C$ orgânico (‰)	-27.7 [-27.9 – -27.6]	-27.5 [-27.6 – -27.2]	-22.9 [-23.5 – -21.5]	-23.7 [-24.6 – -23.2]
	$\delta^{15}N$ (‰)	5.3 [5.0 – 5.5]	5.7 [5.5 – 5.9]	6.7 [5.0 – 6.7]	7.1 [6.9 – 7.2]
	Razão C:N	18.6 [17.4 – 19.3]	17.2 [16.6 – 18.5]	10.9 [10.8 – 17.4]	9.4 [9.3 – 9.5]

Em relação à composição granulométrica, nos manguezais predominaram as frações finas (Caeté com medianas de argila de 59,9% na seca e 46,3% na chuvosa; RPS com silte de 74,4% e 76,5%, respectivamente), enquanto os estuários apresentaram maior contribuição de areia, cujas medianas foram de 99,9% e 91,8% no Caeté e 63,9% e 54,5% no RPS, nas campanhas seca e chuvosa, respectivamente (Tabela 1).

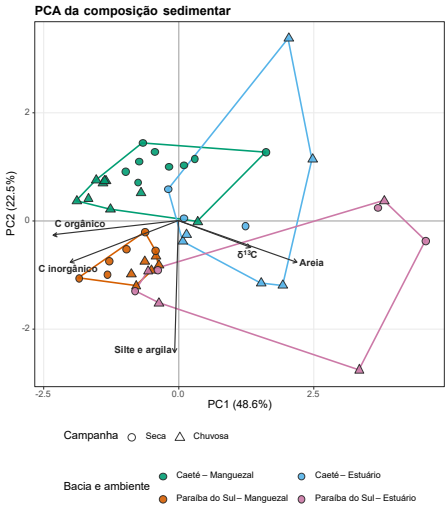
O Corg foi maior nos manguezais, destacando-se no RPS (medianas de 6,93% na seca e 5,82% na chuvosa), em comparação ao Caeté (2,32% e 2,56%). Nos estuários, variou de 0,21% a 1,14% no Caeté e 0,52% a 0,91% no RPS. A razão C:N foi maior no manguezal do RPS (18,6 e 17,2) do que no Caeté (13,5 e 11,7). O $\delta^{13}C_{org}$ nos manguezais variou entre −26,8‰ e −27,7‰, enquanto no estuário do RPS foi maior (−22,9‰ e −23,7‰). O $\delta^{15}N$ foi maior no RPS (5,3‰ a 7,1‰) do que no Caeté (2,2‰ a 4,3‰) (Tabela 1).

A PCA explicou 71,1% da variância total dos dados nos dois primeiros componentes, sendo 48,6% explicados pelo PC1 e 22,5% pelo PC2 (Figura 1). A distribuição das amostras evidenciou uma separação, governada pelo tipo de ambiente (PC1) e pelo sistema estuarino/bacia (PC2) (Figura1).

O PC1 distinguiu as amostras por ambiente, independente do sistema (RC ou RPS). Na porção negativa, concentraram-se as amostras de manguezal, associadas a maiores teores de C_{org} e C_{inorg}. Em contrapartida, a porção positiva agrupou as amostras de estuário, associadas a maiores teores de areia e a valores maiores de $\delta^{13}C$.

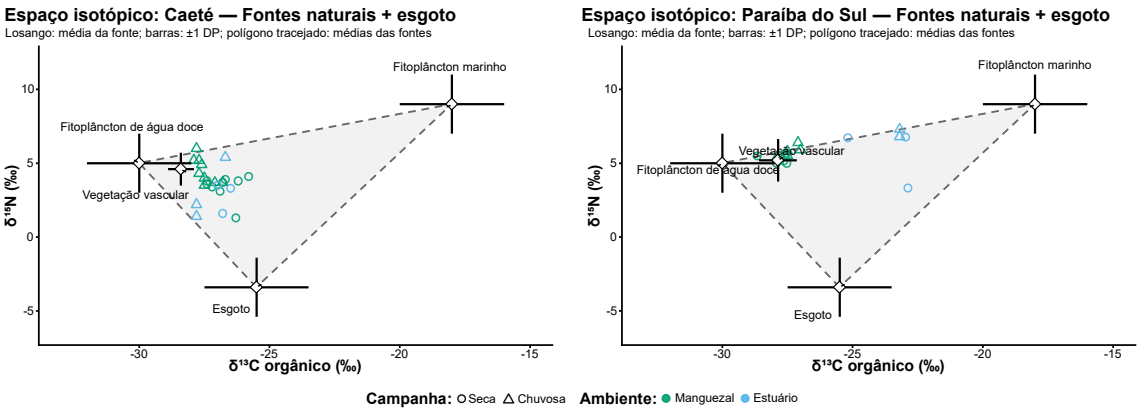
O PC2 refletiu as variações entre os sistemas, independentemente do ambiente (manguezal ou estuário). As amostras do RC concentraram-se no eixo positivo, associado a maiores teores de C_{org}. Enquanto as amostras do RPS agruparam-se na porção negativa, associada a frações granulométricas mais finas (silte e argila). Não foi observado um padrão sazonal marcante, ocorrendo uma sobreposição entre as campanhas seca e chuvosa, apesar de a campanha chuvosa ter apresentado maior dispersão no espaço multivariado (Figura 1).

Figura 1. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros sedimentares e geoquímicos das amostras de manguezal e estuário das bacias dos rios Caeté e Paraíba do Sul, nas campanhas seca e chuvosa.



No espaço isotópico, as amostras de ambas as bacias ocuparam uma faixa relativamente restrita de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$. No Caeté, os valores de $\delta^{13}C$ concentraram-se aproximadamente entre −29‰ e −26‰, com $\delta^{15}N$ entre cerca de 1,5‰ e 6‰. No Paraíba do Sul, as amostras apresentaram maior amplitude de $\delta^{13}C$, aproximadamente entre −27‰ e −22‰, e valores de $\delta^{15}N$ entre cerca de 3‰ e 7‰. As amostras do Caeté distribuíram-se mais próximas dos *endmembers* de vegetação vascular e fitoplâncton de água doce, com parte delas também se estendendo em direção ao *endmember* "esgoto". No Paraíba do Sul, as amostras do manguezal permaneceram mais concentradas próximas aos *endmembers* naturais, enquanto as amostras do estuário ocuparam uma posição intermediária e mais dispersa no espaço isotópico (Figura 2).

Figura 2. Espaço isotópico ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) das amostras de sedimentos das bacias dos rios Caeté (A) e Paraíba do Sul (B), considerando fontes naturais e o *endmember* denominado "esgoto".



Discussão

Tanto a distribuição quanto a composição da MO sedimentar resultam da interação entre características granulométricas, hidrodinâmicas e biogeoquímicas. A baixa energia hidrodinâmica em manguezais favorece o acúmulo de sedimentos finos, que coincide com maiores teores de C_{org} devido à maior área superficial (Dittmar; Lara, 2001). Nos estuários, a maior energia hidrodinâmica favorece a remobilização e transporte dos sedimentos, aumentando o acúmulo da fração arenosa e MO. (Dittmar; Lara, 2001). Contudo, o maior teor de C_{org} no RPS em comparação ao Caeté indica que a granulometria isolada não explica o acúmulo de MO; fatores como produção vegetal, tempo de residência e preservação também atuam (Kristensen *et al.*, 2008; Canuel; Hardison, 2016). Assim, a maior retenção de MO nos manguezais parece resultar da combinação entre condições deposicionais favoráveis e diferenças na quantidade e natureza do material orgânico disponível em cada bacia.

Indicadores elementares e isotópicos reforçam a diferenciação na composição da MO entre os ambientes e as bacias. O $\delta^{13}C$ dos manguezais (-28,X a −26,Y ‰) reflete aporte terrestre e de vegetação vascular C3 (Meyers, 1997). Esse padrão é acompanhado pelos maiores valores de C no RPS. O $\delta^{13}C_{org}$ maior no estuário do RPS (~ −23,X‰) indica mistura entre fontes terrestres e aquáticas, incluindo a contribuição de fitoplâncton de água doce e marinho, respectivamente (Meyers, 1997; Brandini *et al.*, 2022). A interpretação conjunta de $\delta^{13}C$ e C, portanto, indica uma mudança na composição da MO entre os ambientes, com maior influência terrestre nos manguezais e maior participação de fontes aquáticas no estuário do Paraíba do Sul.

O $\delta^{15}N$ mais elevado no RPS reflete diferenças em fontes de N, disponibilidade de nutrientes e transformações microbianas (Canuel; Hardison, 2016; Brandini *et al.*, 2022), indicando distintas ciclagens pós-deposição entre as bacias. Como a assinatura isotópica do nitrogênio pode ser modificada por processos biogeoquímicos durante a ciclagem da MO, sua interpretação deve considerar o contexto ambiental de cada sistema e não apenas a origem das fontes (Canuel; Hardison, 2016). Nesse sentido, as diferenças de $\delta^{15}N$ observadas entre Caeté e Paraíba do Sul complementam os padrões de $\delta^{13}C$ e C, indicando que as bacias diferem não apenas quanto às fontes de MO, mas também quanto aos processos que atuam sobre esse material após sua incorporação aos sedimentos.

A PCA sintetizou esses padrões ao evidenciar um gradiente entre amostras associadas a maiores teores de C_{org} e C_{inorg} e aquelas relacionadas à maior contribuição de areia e a valores mais elevados de $\delta^{13}C$. A separação observada entre manguezais e estuários, bem como entre as duas bacias, indica que as diferenças na composição da MO estão relacionadas à interação entre granulometria e características geoquímicas. Em contraste, a sobreposição entre as campanhas seca e chuvosa sugere que a sazonalidade exerceu menor influência sobre a estrutura multivariada dos dados do que as diferenças entre ambientes e bacias.

O espaço isotópico também mostrou que as assinaturas das amostras não foram completamente representadas pelos *endmembers* naturais considerados. No Caeté, parte das amostras se distribuiu em direção ao “esgoto”, enquanto no Paraíba do Sul as amostras permaneceram mais concentradas próximas aos *endmembers* naturais. Esse padrão deve ser interpretado com cautela, uma vez que assinaturas intermediárias podem resultar tanto da mistura entre diferentes fontes quanto de transformações da MO durante seu transporte, deposição e processamento no ambiente (Canuel; Hardison, 2016; Brandini *et al.*, 2022). Dessa forma, a distribuição isotópica observada reforça a necessidade de considerar múltiplas fontes e processos biogeoquímicos na interpretação de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$.

Em conjunto, os resultados mostram que os contrastes entre Caeté e Paraíba do Sul não podem ser atribuídos a um único fator. As diferenças granulométricas condicionam a capacidade de retenção de MO, enquanto C_{org}, C e as assinaturas isotópicas indicam diferenças na composição, nas possíveis fontes e no processamento desse material. Esses padrões também são compatíveis com as distintas características das bacias, uma vez que o Paraíba do Sul está inserido em uma região mais urbanizada e industrializada, enquanto o Caeté apresenta maior influência de atividades relacionadas ao setor primário (Sartori *et al.*, 2023, 2026).

Conclusão

Os resultados evidenciaram diferenças entre manguezais e estuários e entre as bacias dos rios Caeté e Paraíba do Sul quanto às características sedimentares e à composição da matéria orgânica. Os manguezais apresentaram maior proporção de sedimentos finos e maiores teores de C_{org}, enquanto os estuários foram caracterizados por maior contribuição da fração arenosa. Os padrões de C, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ indicaram diferenças na composição e nas possíveis fontes da matéria orgânica, com maior influência terrestre nos manguezais e maior participação de fontes aquáticas no estuário do Paraíba do Sul. A PCA reforçou que a variabilidade observada esteve mais associada às diferenças entre ambientes e bacias do que à sazonalidade. O espaço isotópico indicou, ainda, que as fontes naturais consideradas não representaram integralmente a variabilidade das amostras, destacando a importância da integração entre características sedimentares, elementares e isotópicas para compreender a dinâmica da matéria orgânica nesses sistemas.

Referências

ALONGI, D. M. **Coastal ecosystem processes**. Boca Raton: CRC Press, 1998. Disponível em: https://doi.org/10.1201/9781003057864.

BOTO, K. G.; WELLINGTON, J. T. Seasonal variations in concentrations and fluxes of dissolved organic and inorganic materials in a tropical, tidally-dominated, mangrove waterway. **Marine Ecology Progress Series**, p. 151-160, 1988. Disponível em: https://doi.org/10.3354/MEPS050151.

BRANDINI, N. *et al***.** Organic matter processing through an estuarine system: Evidence from stable isotopes ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) and molecular (lignin phenols) signatures. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 265, p. 107707, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107707.

BURBAN, P.-Y.; LICK, W.; LICK, J. The flocculation of fine-grained sediments in estuarine waters. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 94, n. C6, p. 8323-8330, 1989. Disponível em: https://doi.org/10.1029/JC094iC06p08323.

CANUEL, E. A.; HARDISON, A. K. Sources, ages, and alteration of organic matter in estuaries. **Annual Review of Marine Science**, v. 8, p. 409-434, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034058.

CORRÊA, M. C. *et al***.** Caracterização biogeoquímica da matéria orgânica em um estuário de macromaré localizado na interface Amazônia-semiárido no nordeste do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 33, n. 1, p. 107, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2019331107.

DITTMAR, T.; LARA, R. J. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. **Marine Ecology Progress Series**, v. 213, p. 67-77, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.3354/meps213067.

GOÑI, M. A.; TEIXEIRA, M. J.; PERKEY, D. W. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 57, n. 5-6, p. 1023-1048, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0272-7714(03)00008-8.

KRISTENSEN, E. *et al***.** Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 201-219, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, v. 27, n. 5-6, p. 213-250, 1997. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00049-1.

SARTORI, É. *et al***.** Trace metal concentration along the Brazilian coast: An assessment of the influence of the Doce River plume. **Marine Pollution Bulletin**, v. 188, p. 114640, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114640.

SARTORI, É. *et al***.** Land-use impacts on Amazon and Atlantic rainforest coastal ecosystems revealed by multiple biogeochemical markers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 230, p. 119899, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2026.119899.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *et al***.** Ecossistema manguezal no Brasil: situação do conhecimento científico e recomendações para sua gestão, proteção e conservação. *In*: JUNK, W. J. (Org.). **Inventário das áreas úmidas brasileiras: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento**. 2024.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922. Disponível em: https://doi.org/10.1086/622910.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).