



PADRÕES DE SEDIMENTAÇÃO DE FUNDO EM ENSEADA DE BAIXA ENERGIA SOB INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO DE EMBARCAÇÕES: ESTUDO NO SACO DO CÉU, ILHA GRANDE (RJ)

Júlia da França Antunes Nascimento de Oliveira^{1, x}, João Regis dos Santos Filho¹ & André Luiz Carvalho da Silva²

¹Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 20550-013, Brasil;

²Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Francisco Portela, 1470, Patronato, São Gonçalo, RJ, 24435-005, Brazil;

^xAutor de correspondência: dafrancajulia@gmail.com

RESUMO

Este trabalho investigou a sedimentação de fundo do Saco do Céu, avaliando o tráfego de embarcações e sua influência na hidrodinâmica dessa enseada na Baía da Ilha Grande (RJ). A metodologia integrou a caracterização sedimentar (granulometria, teor de matéria orgânica, carbonatos e cor), os parâmetros de Froude (F_d e F_l), regimes hidrodinâmicos e padrão de ondas associados às embarcações. Os resultados indicaram predominância de areia muito fina na região centro-leste, silte muito grosso ao sul e areia grossa nas áreas proximais à descarga fluvial. A comparação com estudo realizado na década de 1990 aponta para um aumento das frações mais finas. As velocidades das embarcações variaram entre 2,88 e 37,76 nós (média: 16,56 nós), com predomínio do regime supercrítico (24 ocorrências), seguido pelo subcrítico (8 ocorrências). Conclui-se que o efeito cumulativo do tráfego tende a promover ressuspensão crônica e redistribuição sedimentar, ressaltando a sensibilidade da enseada e a necessidade de gestão adequada.

Palavras-chave: Sedimentação costeira; Tráfego de embarcações; *Boat wakes*; Enseada do Saco do Céu; Ilha Grande.

INTRODUÇÃO

A sedimentação em enseadas costeiras é fortemente condicionada pela disponibilidade de sedimentos e pelo regime de energia atuante, uma vez que essas feições são corpos d'água parcialmente isolados do mar aberto (Clifton 2005). Em áreas mais abrigadas e de baixa energia, ocorre maior deposição de sedimentos finos, geralmente ricos em minerais de argila, enquanto sedimentos arenosos tendem a predominar em ambientes mais energéticos, influenciados por ondas e correntes mais intensas (Davidson-Arnott 2010). Dessa forma, a granulometria do sedimento reflete diretamente o rigor dos processos físicos presentes no local (Davis Jr & Fitzgerald 2020), evidenciando a hidrodinâmica como um elemento central no controle da distribuição e do acúmulo sedimentar nesses ambientes.

As embarcações desempenham papel essencial no transporte, comércio e exploração de recursos (Paine 2013, Byrnes & Dunn 2020). Entre os impactos gerados pela navegação costeira, destaca-se a influência das ondas de esteira dessas embarcações (*boat wakes*) nos processos morfo-sedimentares. Esses impactos incluem ressuspensão e transporte de sedimentos e poluentes, alterações na composição do substrato marinho e erosão de margens,



afetando a morfodinâmica e a qualidade ambiental de baías e enseadas (Bauer *et al.* 2002, Hofmann *et al.* 2008, Houser 2011).

As *boat wakes* representam um fator significativo em ambientes abrigados de baixa energia, como baías, enseadas e canais, onde a ação das ondas geradas por vento é reduzida (Otvos 1982; Houser 2011). Nesses ambientes, o impacto das ondas de embarcações é reconhecido como um problema ambiental relevante, amplamente estudado na Escandinávia e no Reino Unido desde a década de 1990 (Fleit *et al.* 2016, Rapaglia *et al.* 2011). No Brasil, a influência do tráfego de embarcações sobre a sedimentação costeira ainda é um tema pouco explorado. Há, portanto, uma lacuna quanto à investigação dos efeitos hidrodinâmicos e sedimentares em ambientes costeiros.

Desta forma, este trabalho objetivou avaliar a influência do tráfego de embarcações nos processos de sedimentação e na morfologia de fundo do Saco do Céu, situado na Enseada das Estrelas, face norte da Ilha Grande (RJ) (Figura 1). Por estar abrigada no interior de uma enseada, o Saco do Céu caracteriza-se como um ambiente de baixa energia de ondas (Grillo *et al.* 1998). A região também integra o circuito turístico da Ilha Grande, concentrando pousadas e restaurantes que atraem intensa circulação de embarcações voltadas a passeios náuticos (Farias *et al.* 2017). A partir da integração de dados sedimentológicos e informações relacionadas à navegação, busca-se compreender de que forma o tráfego náutico interfere na dinâmica sedimentar local, favorecendo a ressuspensão de sedimentos e provocando modificações na morfologia de fundo.

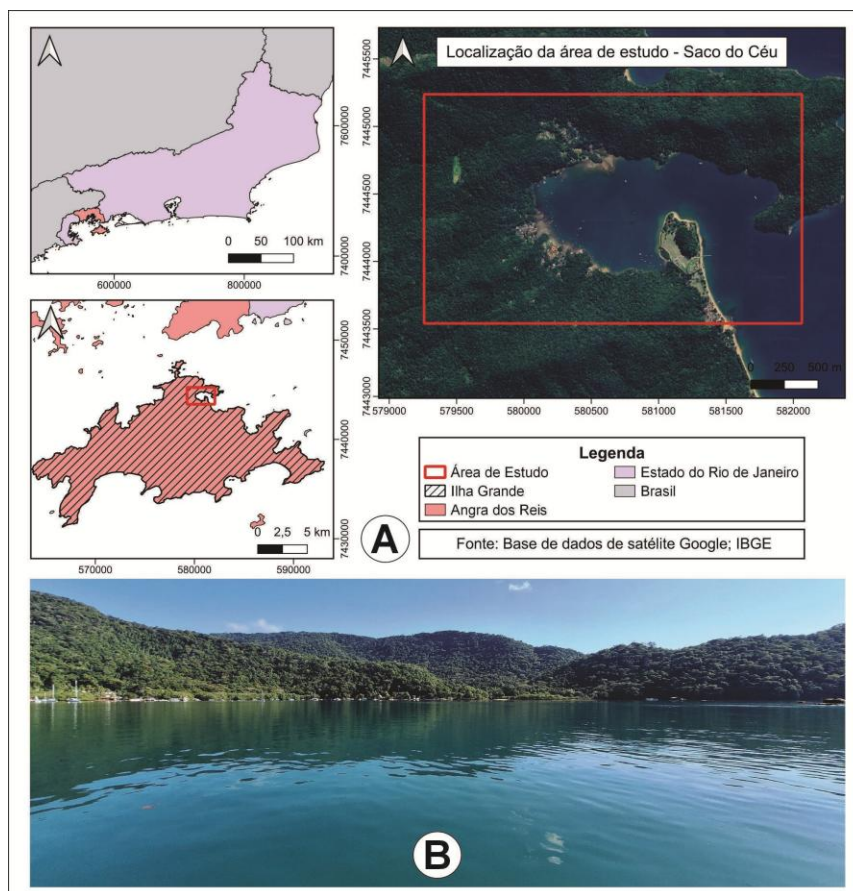


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo (A) e Saco do Céu (B); Fonte: Autora (2025); Foto: André Silva (2025).



MATERIAL E MÉTODOS

O monitoramento do tráfego aquaviário foi realizado por meio de observação visual sistemática, registrando o tipo de embarcação, o comprimento aproximado e a velocidade média de navegação. A estimativa da velocidade foi feita utilizando duas referências fixas com distâncias conhecidas (um píer e um restaurante flutuante). O tempo de deslocamento entre esses pontos foi medido com cronômetro manual. Foram aplicadas as equações de número de Froude de profundidade (Fd) e de comprimento (Fl):

$$Fd = Vb / \sqrt{gh} \text{ (eq. 1)} \quad Fl = Vb / \sqrt{gL} \text{ (eq. 2)}$$

A interpretação dos resultados se baseou na teoria clássica de Osborne & Boak (1999) e Sorensen (1973), permitindo definir o regime hidrodinâmico (subcrítico, crítico ou supercrítico), o padrão de onda e a direção preferencial do transporte sedimentar (Figura 2).

A malha amostral baseou-se na proposta de Grillo *et al.* (1998), viabilizando a comparação com dados obtidos na década de 1990, com ampliação da amostragem para a porção mais externa da enseada, totalizando 29 pontos. A coleta de sedimentos de fundo foi realizada com draga do tipo Van Veen.

Aproximadamente 50 g de cada amostra foram lavados por três dias para remoção de sais solúveis e, em seguida, secos a 100 °C. Os sedimentos foram submetidos a peneiramento em série com aberturas de 4 a 0,063 mm; cada fração foi pesada em balança de precisão e classificadas segundo Wentworth (1922). A fração lamosa foi analisada em granulômetro a laser MALVERN MASTERSIZER 2000. Os dados foram processados no programa GRADISTAT 2007 (Blott & Pye 2001), que calcula os parâmetros estatísticos segundo Folk & Ward (1957) e emprega a classificação granulométrica modificada de Wentworth (1922).

Figura 2 - Parâmetros utilizados para caracterizar as ondas geradas quanto ao regime, componentes da onda, direção de transporte e intensidade do impacto no leito da enseada; Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Regime			Tendência do transporte sedimentar		Alto grau de impacto
Condições	Classificação	Padrão de ondas	Condições	Classificação	Fd = 1 ± 0,1 e Fl = 0,5 ± 0,1
Fd < 0,7	Subcrítico	Padrão Kelvin clássico; divergente + transversal; cunha ~19,5°	Fd < 1, Fl < 0,5	Para a costa	
0,7 < Fd < 1	Transicional	Divergente dominante; transversal enfraquecida	Fd > 1, Fl > 1	Para o mar	
Fd = 1	Crítico	Fusão divergente-transversal	Fd < 1, Fl > 0,5	Indefinida	
Fd > 1	Supercrítico	Somente ondas divergentes; grande angulação	Fd > 1, Fl < 0,5	Indefinida	

O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método de perda por ignição (Schumacher, 2002). Aproximadamente 2 g de sedimento seco foram submetidos à mufla a



400 °C por cerca de 8 horas, sendo o teor calculado pela diferença entre as massas inicial e final. O teor de carbonato foi determinado conforme Gross (1971), a partir da diferença entre a massa inicial da amostra e a massa remanescente após dissolução em HCl a 10%.

Após a remoção da matéria orgânica, as amostras foram classificadas quanto à coloração utilizando a Carta de Munsell, fornecendo subsídios para a interpretação das características sedimentares e das condições ambientais associadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição granulométrica dos sedimentos

A sedimentação de fundo do Saco do Céu é predominada por areia muito fina (48,3%), seguida de areia grossa (27,6%), silte muito grosso (17,2%) e areia média (6,9%). A fração areia muito fina é predominante na porção centro-leste, estendendo-se para áreas próximas à saída da enseada. O silte muito grosso concentra-se principalmente na porção central, com aumento em direção ao setor sul. Areias médias ocorrem principalmente na entrada do Saco do Céu, enquanto a margem oeste é caracterizada pelo predomínio de areia grossa (Figura 3A). Todas as amostras apresentam comportamento bimodal e são pobremente selecionadas, refletindo a diversidade dos processos deposicionais atuantes.

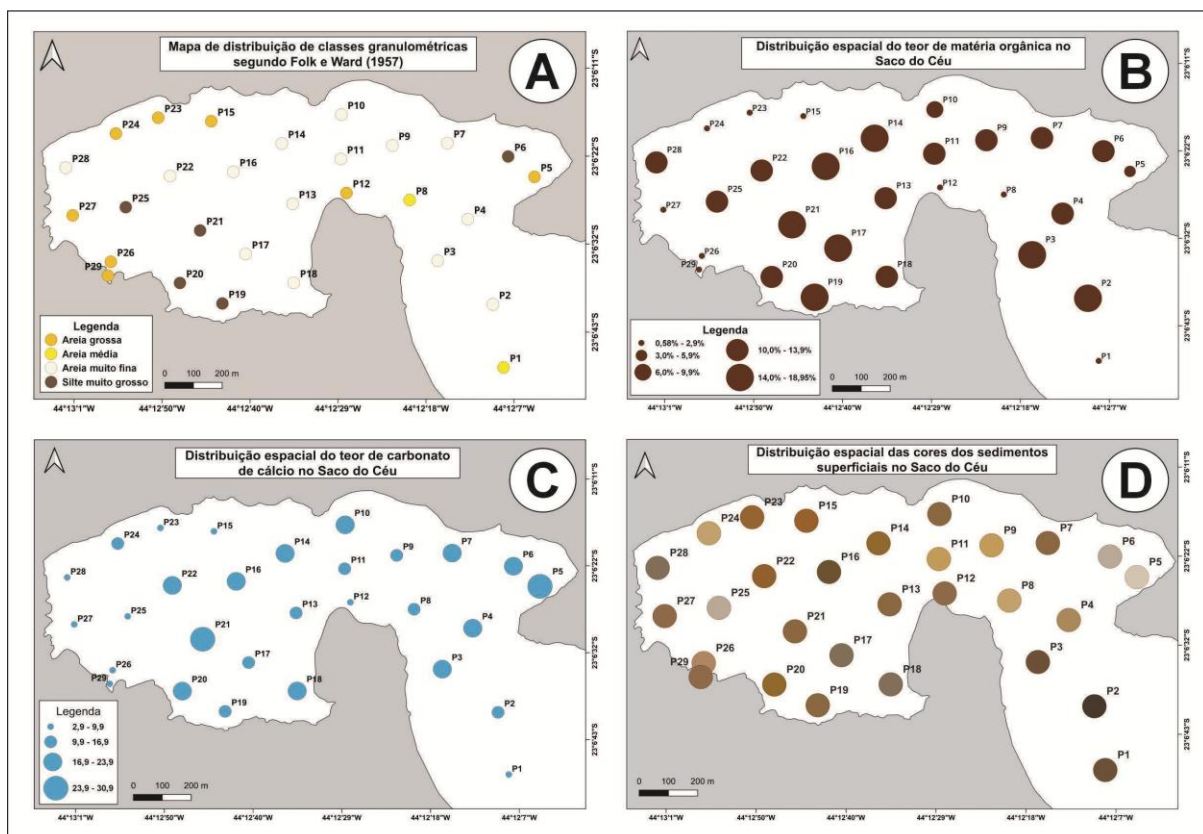


Figura 3 - Mapas de distribuição espacial dos parâmetros sedimentares no Saco do Céu: (A) distribuição granulométrica, (B) teor de matéria orgânica (MO), (C) teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e (D) coloração dos sedimentos. Fonte: Autora (2025).



A predominância de sedimentos mais finos (areia muito fina e silte muito grosso) nas porções internas indica um ambiente de energia moderada a baixa, onde a hidrodinâmica não é suficientemente competente para remover as frações finas, permitindo sua acumulação. Em contraste, nas áreas próximas às desembocaduras fluviais, a ocorrência de areia grossa evidencia maior hidrodinamismo local e aporte continental (Corrêa 2021; Mahiques *et al.* 1998). O baixo grau de selecionamento aponta para um cenário marcado por fontes sedimentares distintas e condições variáveis de transporte, características típicas de enseadas onde coexistem processos marinhos, continentais e aporte antrópico (Folk 1980, Boggs 2006).

A comparação com os dados apresentados da década de 1990 (Grillo *et al.* 1998) revela mudanças significativas no padrão granulométrico do Saco do Céu. Enquanto aquele estudo descreveu, para o inverno, predominância de areias grossas (42%) e finas (39%), os dados atuais evidenciam sedimentos progressivamente mais finos: áreas antes dominadas por areia muito grossa passaram a apresentar areia grossa e média; regiões de areia fina foram substituídas por areia muito fina e lama; e em alguns setores, as areias média e grossa foram completamente substituídas por areia muito fina (Figura 4). Entre os possíveis fatores naturais que contribuíram para essa transformação, destacam-se movimentos de massa nas encostas da Ilha Grande, como os ocorridos na Enseada do Bananal (2010) e na Praia de Itaguaçu (2022), ambas localizadas na face norte da Ilha Grande. Esses eventos de grande magnitude, assim como outros, disponibilizaram grandes volumes de material fino no sistema. Alterações na cobertura vegetal, a erosão superficial e mudanças no aporte fluvial também podem ter contribuído para alterar as características dos sedimentos das enseadas na face norte da ilha.

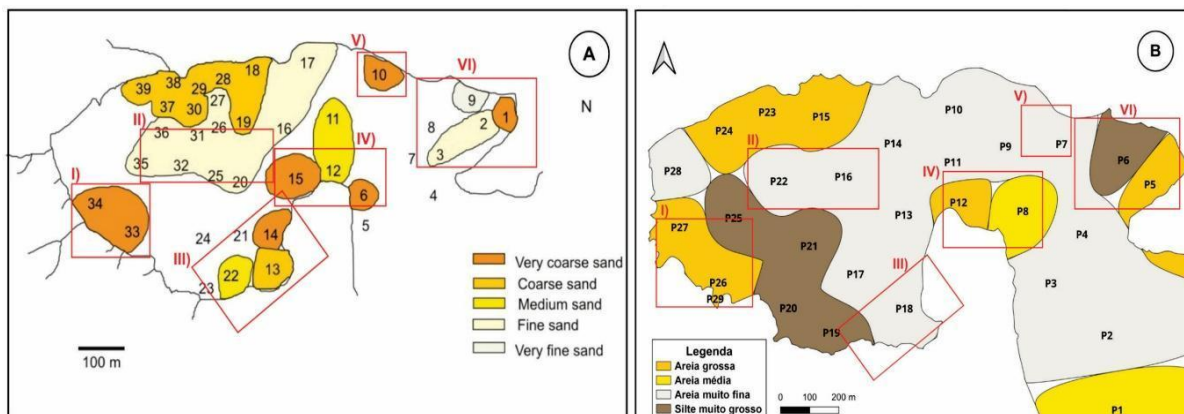


Figura 4 - Comparação temporal da sedimentação de fundo do Saco do Céu. (A) Mapa adaptado de Grillo *et al.* (1998) com resultados de inverno; (B) Mapa com resultados de inverno do atual estudo; Fonte: Autora (2025).

Composição e características dos sedimentos (MO, CaCO₃ e coloração)

Os teores de matéria orgânica (MO) variam entre 0,58% e 18,95%, com valor médio de 9,16%. Os maiores valores concentram-se na porção central da enseada (entre 9,94% e 18,95%), enquanto as áreas marginais apresentam os menores teores (0,58% a 1,94%) (Figura 3B). Essa distribuição segue o mesmo padrão exibido pelo gradiente granulométrico: as regiões centrais e meridionais, mais profundas e abrigadas, concentram maior proporção de sedimentos lamosos (silte e argila) que, por apresentarem elevada área superficial específica, favorecem a adsorção e preservação de MO sob condições de menor oxigenação (Hedges & Keil 1995, Mayer 1994). As áreas marginais, rasas e dominadas por sedimentos arenosos,



apresentam baixos teores de MO em razão da maior circulação, intensa oxigenação e reduzida capacidade de retenção orgânica (Dalmolin *et al.* 2005).

Os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) variam entre 2,86% e 29,79%, com valor médio de 14,12%. Os maiores teores ocorrem nas porções central e leste da enseada, onde a hidrodinâmica reduzida favorece a deposição de material biogênico marinho. As margens internas e oeste, mais influenciadas pela descarga fluvial e pelo aporte siliciclástico, apresentam os menores valores (Figura 3C). Apesar da variação observada, todas as amostras classificam-se como sedimentos litoclásticos (<30% CaCO_3), conforme Larssonneur *et al.* (1982), reforçando o predomínio do aporte terrígeno.

Tonalidades avermelhadas (7.5YR 5/8 e 10YR 5/8) predominam em setores rasos e oxidados, marcados pela circulação intensa e pelo domínio de óxidos de ferro resultantes de intemperismo e boa drenagem (Schwertmann & Taylor 1989). Cores claras como 10YR 5/3, 10YR 6/3 e 10YR 7/1 refletem sedimentos arenosos ricos em quartzo, típicos de ambientes bem oxigenados e com baixo teor de ferro e MO (EMBRAPA, 2013). As tonalidades escuras da região central (10YR 3/1 e 10YR 3/3) evidenciam ambientes reduzidos, com acúmulo de finos e MO sob condições de baixa energia hidrodinâmica e limitada oxidação (Berner 1980, Hedges & Keil 1995) (Figura 3D). Os padrões cromáticos se relacionam, portanto, diretamente com os processos sedimentares e biogeoquímicos identificados, reforçando o gradiente ambiental centro-margem da enseada.

Dados de navegação e influência hidrodinâmica

Durante o período de observação foram registradas 37 embarcações, sendo 19 táxis náuticos, 7 barcos de pesca, 4 traineiras, 2 escunas, 2 lanchas pequenas, 1 jet ski, 1 veleiro e 1 iate. As velocidades médias variaram entre 2,88 e 37,76 nós, com média geral de 16,56 nós. As maiores velocidades corresponderam ao jet ski (37,76 nós), lanchas pequenas (22,71 nós) e táxis náuticos (18,76 nós); as menores ao veleiro (2,88 nós), traineiras (6,86 nós) e escunas (7,89 nós) (Figura 5).

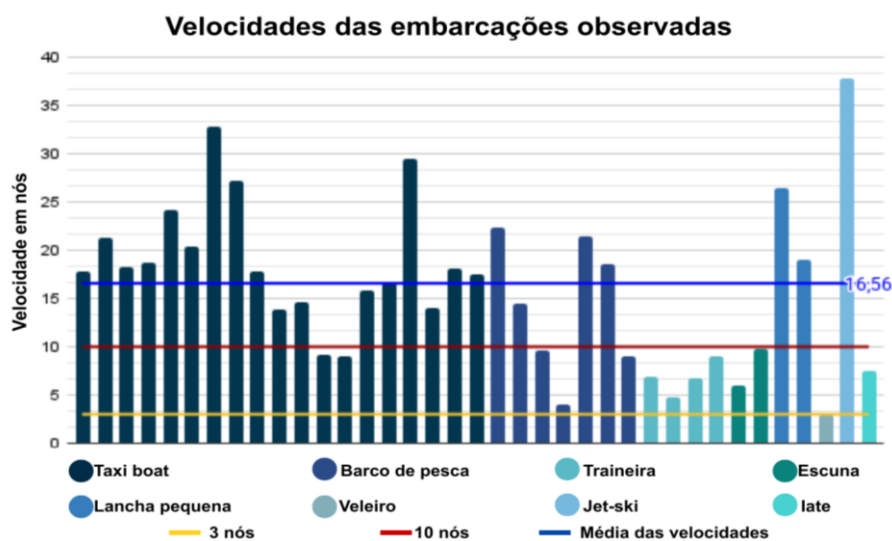


Figura 5 - Velocidades de cada embarcação observada; Fonte: Autora (2025).

A análise dos regimes hidrodinâmicos revelou predominância do regime supercrítico (24 registros), associado principalmente a táxi boats, lanchas pequenas e barcos de pesca.



Traineiras, veleiro, escuna e iate concentraram os regimes crítico (1 ocorrência), transicional (1 ocorrência) e subcrítico (6 ocorrências) (Figura 6). Conforme a equação de Froude de profundidade (Osborne & Boak 1999), embarcações velozes tendem a ultrapassar o limite crítico, produzindo ondas divergentes de maior ângulo, mais eficientes na propagação superficial. Embarcações de maior porte operam em velocidades relativas inferiores, gerando predominantemente ondas subcríticas ou transitacionais. A tendência de transporte sedimentar dominante foi em direção ao mar (25 casos), associada aos regimes supercríticos, enquanto o transporte para a costa ocorreu em oito situações subcríticas, coerente com a física do regime.

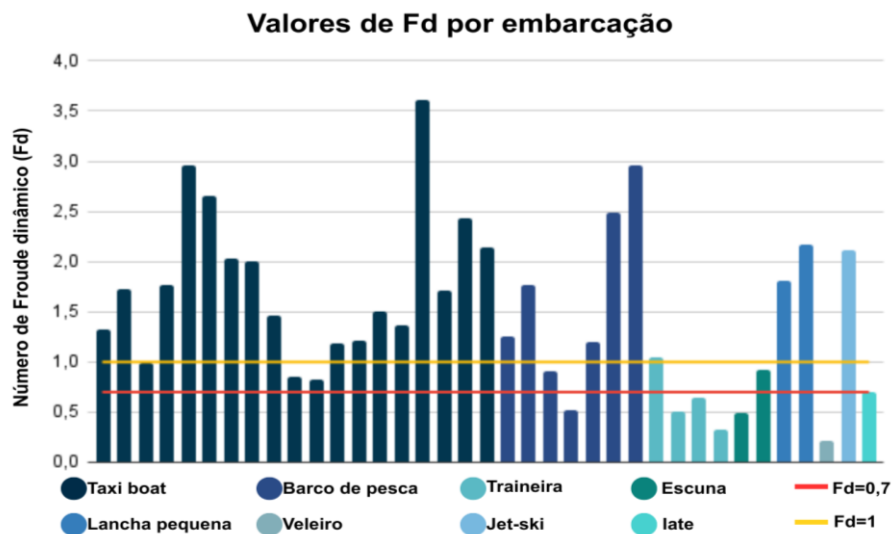


Figura 6 - Tipos de regimes hidrodinâmicos por embarcação; Fonte: Autora (2025).

Apenas duas embarcações, uma traineira e uma escuna, apresentaram valores de Fd e Fl compatíveis com impacto máximo sobre o leito sedimentar. Esse resultado está diretamente relacionado aos elevados valores do Froude longitudinal (Fl) registrados para as embarcações menores: quanto maior o Fl, menor a eficiência de transferência de energia para ondas longas e profundas, limitando o cisalhamento no fundo (Fatinsen 1990). Assim, embora o regime supercrítico esteja associado a maior energia superficial, o alto Fl típico de embarcações pequenas atua como atenuador natural do impacto direto sobre o leito.

Implicações para a dinâmica sedimentar

A integração dos resultados evidencia que o Saco do Céu constitui um ambiente suscetível à ação das *boat wakes*, sobretudo em razão do predomínio de sedimentos finos nas suas porções internas e devido a baixa profundidade predominante na maior parte da enseada. Mesmo que o impacto individual de cada embarcação seja atenuado por elevados valores de Fl, o efeito cumulativo do tráfego recorrente, especialmente de táxi boats e embarcações de pequeno porte navegando acima dos limites recomendados, tende a promover ressuspensão crônica de partículas finas, redistribuição sedimentar e potenciais alterações morfológicas (Liao *et al.* 2015; Davis Jr 1985; Boggs 2006). Esse processo é agravado pela tendência de diminuição do tamanho dos grãos identificado a partir da comparação com dados da década de 1990 (Grillo *et al.*, 1998), que torna o substrato progressivamente mais sensível à mobilização por ondas de baixa a moderada energia. As velocidades praticadas pelas embarcações de menor porte ultrapassam significativamente os limites recomendados pela



sinalização local (3 nós) e pela legislação vigente para enseadas: 10 nós, com possibilidade de redução para 3 nós em áreas sensíveis, conforme a NORMAM-02/DPC (Brasil, 2021).

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a dinâmica sedimentar do Saco do Céu na Ilha Grande resulta da interação entre processos naturais e pressões antrópicas, com destaque para a influência do tráfego de embarcações. A distribuição granulométrica atual, marcada pelo predomínio de sedimentos finos e pobremente selecionados, indica mudanças significativas em relação à década de 1990 (Grillo *et al.* 1998), sugerindo a atuação combinada de processos relacionados a movimentos de massa, alterações no aporte fluvial e aumento da movimentação náutica. A análise integrada da textura sedimentar, do teor de matéria orgânica, da coloração e do carbonato de cálcio evidenciou um gradiente ambiental bem definido entre as áreas marginais, oxigenadas e dominadas por sedimentos arenosos, e o interior da enseada, caracterizado por condições mais confinadas, acúmulo de finos e ambientes redutores.

A aplicação dos parâmetros de Froude (F_d e F_l), do padrão de onda e da intensidade estimada de interação com o fundo mostrou-se útil como ferramenta interpretativa, permitindo distinguir diferentes magnitudes de impacto e compreender os mecanismos hidrodinâmicos predominantes. Embora o método seja categórico e baseado em relações teóricas, sem medições diretas de cisalhamento de fundo, ele fornece um arcabouço interpretativo viável para relacionar a hidrodinâmica induzida por embarcações às características sedimentares observadas.

A comparação entre os limites de velocidade recomendados e os praticados no Saco do Céu evidencia um descompasso entre a intensidade do uso náutico e a fragilidade ambiental do sistema. A ausência de regulamentação formal, aliada às velocidades observadas acima das diretrizes legais e comunitárias, potencializa impactos como erosão marginal, aumento da turbidez e alterações no regime hidrodinâmico. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e da implementação de políticas de manejo costeiro que incorporem controle de velocidade, zoneamento náutico e acompanhamento das fontes de aporte sedimentar. Recomenda-se que estudos futuros integrem medições diretas de cisalhamento de fundo, monitoramento de turbidez e modelagem hidrodinâmica, a fim de avaliar com maior precisão os efeitos cumulativos das ondas de embarcações sobre a morfologia e os processos sedimentares da enseada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa na modalidade JCNE (E-26/201.468/2022) e pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (E-26/201.220/2024).

REFERÊNCIAS

- Bauer BO, Lorang MS, Sherman DJ (2002) Estimating boat wake-induced levee erosion using sediment suspension measurements. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 128: 152–162.
- Berner RA (1980) *Early diagenesis: a theoretical approach*. Princeton: Princeton University Press. 241 p.
- Blott SJ, Pye K (2001) Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Proc. and Landforms* 26: 1237–1248.



- Boggs Jr S (2006) Principles of sedimentology and stratigraphy. 4 ed. Upper Saddle River: Pearson Education. 662 p.
- Brasil (2021) NORMAM-02/DPC – Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior. 5 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, Marinha do Brasil. Disponível: <https://www.marinha.mil.br/dpc/normam>. Acessado em 13 de outubro de 2025.
- Byrnes TA, Dunn RJK (2020) Boating- and shipping-related environmental impacts and example management measures: a review. *Journal of Marine Science and Engineering* 8: 1–26. Disponível: <https://doi.org/10.3390/jmse8110908>. Acessado em 10 de junho de 2025.
- Clifton HE (2005) Coastal sedimentary facies. In: Schwartz ML, Editor. *Encyclopedia of coastal science*. Dordrecht: Springer. pp. 270–278.
- Corrêa ICS (2021) Sedimentologia do ambiente marinho. Porto Alegre: CECO/PGGM/IGEO/UFRGS. 171 p.
- Dalmolin RSD, Gonçalves CN, Dick DP, Knicker H, Klamt E, Kögel-Knabner I (2005) Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural* 35: 481–489.
- Davidson-Arnott R (2010) An introduction to coastal processes and geomorphology. New York: Cambridge University Press. 458 p.
- Davis Jr RA (1985) Coastal sedimentary environments. New York: Springer-Verlag. 716 p.
- Davis Jr RA, Fitzgerald DM (2020) Beaches and coasts. 1 ed. United Kingdom: Blackwell Publishing. 433 p.
- EMBRAPA (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Brasília: Embrapa Solos. 353 p.
- Farias ABC, Gama SVG, Chirol AD (2017) Geoturismo e geonímia na Ilha Grande – Angra dos Reis (RJ): subsídio à visitação pública de Abraão e Saco do Céu. *Caderno Virtual de Turismo* 17. Disponível: <https://doi.org/10.18472/cvt.17n1.2017.1085>. Acessado em 12 de maio de 2025.
- Fleit G, Baranya S, Toth B, Ficsor J, Bertalan L, Sass J, et al. (2016) Investigation of the effects of ship induced waves on the littoral zone with field measurements and CFD modeling. *Water* 8: 300. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w8070300>. Acessado em 10 de abril de 2025.
- Folk RL (1980) Petrology of sedimentary rocks. Austin: Hemphill Publishing Company. 184 p.
- Folk RL, Ward WC (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3–26.
- Grillo MCG, Ventura CRR, Silva SHG (1998) Spatial distribution of Bivalvia (Mollusca) in the soft-bottoms of Ilha Grande Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Oceanografia* 46: 19–31.
- Gross MG (1971) Carbon determination. In: Carver RE, Editor. *Procedures in sedimentary petrology*. New York: Wiley-Interscience. pp. 573–596.
- Hedges JI, Keil RG (1995) Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry* 49: 81–115.
- Hofmann H, Lorke A, Peeters F (2008) The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. *Limnology and Oceanography* 53: 368–380.
- Houser C (2011) Sediment resuspension by vessel-generated waves along the Savannah River, Georgia. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 137: 246–257.



Disponível: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000088](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000088). Acessado em 10 de abril de 2025.

Larsonneur C, Bouysse P, Auffret JP (1982) The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches. *Sedimentology* 29: 851–864.

Liao Q, Wang B, Wang PF (2015) In situ measurement of sediment resuspension caused by propeller wash with an underwater particle image velocimetry and an acoustic doppler velocimeter. *Flow Measurement and Instrumentation* 41: 1–9.

Mahiques MM, Tessler MG, Furtado VV (1998) Characterization of energy gradient in enclosed bays of Ubatuba Region, south-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47: 431–446.

Mayer LM (1994) Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58: 1271–1284.

Osborne PD, Boak EH (1999) Sediment suspension and morphological response under vessel-generated wave groups: Torpedo Bay, Auckland, New Zealand. *Journal of Coastal Research* 15: 388–398.

Otvos EG (1982) Low-energy coast. In: Fairbridge RW, Editor. *Beaches and coastal geology*. New York: Springer. Disponível: https://doi.org/10.1007/0-387-30843-1_263. Acessado em 20 de junho de 2025.

Paine L (2013) *The sea and civilization: a maritime history of the world*. New York: Knopf. 744 p.

Rapaglia J, Zaggia L, Ricklefs K, Gelinas M, Bokuniewicz H (2011) Characteristics of ships' depression waves and associated sediment suspension in Venice Lagoon, Italy. *Journal of Marine Systems* 85: 45–56. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.11.005>. Acessado em 10 de abril de 2025.

Schwertmann U, Taylor RM (1989) Iron oxides. In: Dixon JB, Weed SB, Editores. *Minerals in soil environments*. 2 ed. Madison: Soil Science Society of America. pp. 379–438.

Schumacher BA (2002) Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. United States Environmental Protection Agency, NCEA-C-282. pp. 1–23.