



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Educação e Humanidades

Faculdade de Formação de Professores

Vinicius Rodrigues da Costa

**Eventos extremos de precipitação e o enriquecimento de nutrientes em uma
baía costeira conservada: lições para o planejamento ambiental frente às
mudanças globais**

São Gonçalo

2024

Vinicius Rodrigues da Costa

Eventos extremos de precipitação e o enriquecimento de nutrientes em uma baía costeira conservada: lições para o planejamento ambiental frente às mudanças globais



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Amora Nogueira

São Gonçalo

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CEH/D

C837 Costa, Vinicius Rodrigues da.
TESE Eventos extremos de precipitação e o enriquecimento de nutrientes em uma baía costeira conservada: lições para o planejamento ambiental frente às mudanças globais / Vinicius Rodrigues da Costa. – 2024.
72f.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra.
Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Amora Nogueira.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores.

1. Mudanças ambientais globais - Mamanguá, Saco do (Parati, RJ) - Teses. 2. Ecossistemas - Mamanguá, Saco do (Parati, RJ) – Teses. 3. Sedimentos (Geologia) - Mamanguá, Saco do (Parati, RJ) - Teses. I. Abuchacra, Rodrigo Coutinho. II. Nogueira, Leonardo Amora. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de Professores. III. Título.

CRB7 – 5190 CDU 504

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Vinicius Rodrigues da Costa

Eventos extremos de precipitação e o enriquecimento de nutrientes em uma baía costeira conservada: lições para o planejamento ambiental frente às mudanças globais

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 18 de dezembro de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra (Orientador)
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

Prof. Dr. Leonardo Amora Nogueira (Coorientador)
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Vinicius Seabra da Silva
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

Prof. Dr. Humberto Marotta
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Renato Campello Cordeiro
Universidade Federal Fluminense

São Gonçalo
2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a força e a perseverança necessária para finalizar mais um ciclo em minha trajetória.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Rodrigo Abuchacra e Prof. Dr. Leonardo Amora que me conduziram por todo o processo de pesquisa, desenvolvimento e escrita deste trabalho.

Ao Instituto de Geociências da UFF sem o qual não seria possível a execução das análises laboratoriais tão importantes a esta pesquisa e ao Prof. Humberto Marotta por me receber tão bem na UFF.

A minha querida família por todo apoio.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Formação de Professores – UERJ, por ter proporcionado uma excelente formação acadêmica.

RESUMO

DA COSTA, Vinicius Rodrigues. *Eventos extremos de precipitação e o enriquecimento de nutrientes em uma baía costeira conservada: lições para o planejamento ambiental frente às mudanças globais*. 2024. 72f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2024.

As regiões costeiras destacam-se como áreas preferenciais para a acumulação de compostos orgânicos e inorgânicos, provenientes de fontes autóctones e alóctones. A dinâmica desses sistemas aquáticos é marcada pela interação e processamento de materiais que se acumulam nos sedimentos, fornecendo registros valiosos sobre a evolução das condições ambientais ao longo do tempo. A intervenção humana, aliada às mudanças climáticas, tem acelerado a degradação desses ambientes em escala global. Transformações no uso e cobertura da terra intensificam alterações estruturais e funcionais nos ecossistemas costeiros. Nesse contexto, áreas preservadas representam valiosos laboratórios naturais para investigar os impactos regionais e globais das mudanças climáticas em sinergia com as atividades antrópicas. Objetiva-se com este trabalho investigar as mudanças ambientais e antrópicas em um ambiente relativamente preservado (Saco do Mamanguá, Paraty, RJ) por meio da análise integrada de variáveis geoquímicas, granulométricas, de precipitação e de uso e cobertura do solo nas últimas décadas. Com base nos padrões de acumulação de sedimentos, fósforo e razões elementares (XRF), foram agrupadas quatro fases de desenvolvimento ambiental: 1888 a 1956, 1956 a 1986, 1986 a 2007 e 2007 a 2016. Essas fases foram utilizadas para propor uma interpretação integrada dos indicadores ambientais, comparando o comportamento sedimentar em resposta à evolução da bacia de drenagem e às intervenções antrópicas. Os resultados apontam tendências que evidenciaram a interação de escalas locais e globais. Entre 1968 e 2016 registrou-se alta frequência de eventos extremos de precipitação, contabilizou-se 483 ocorrências das quais 192 ocorreram a partir do final da década de 1990, principalmente a partir de ~2007, o que demonstra agravamento dos efeitos das mudanças climáticas na escala regional. De 2007 em diante, observou-se um aumento abrupto na TAS e nas razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca, indicativo de acréscimo no aporte de sedimentos terrígenos. Neste mesmo contexto, as taxas de acumulação das frações de fósforo apresentaram expressivo aumento entre ~2011 e ~2013, assim como a granulometria que apresentou maiores teores de material mais grosso para o mesmo período. Esse fenômeno relaciona-se com o aumento nos eventos extremos de precipitação, acompanhado por um incremento do desmatamento e da pressão turística na região do Mamanguá, sugerindo que esses fatores intensificaram os processos erosivos e afetaram diretamente a dinâmica sedimentar e geoquímica no Saco do Mamanguá. Este trabalho reforça a necessidade de preservação de ecossistemas costeiros como o Saco do Mamanguá no sentido de compreendermos as formas que os impactos ambientais, nas suas diversas escalas, afetam os processos naturais num contexto de aumento de pressões antrópicas e mudanças climáticas.

Palavras-chave: acumulação; mudanças climáticas; regiões costeiras; sedimentos; uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

DA COSTA, Vinicius Rodrigues. *Extreme precipitation events and nutrient enrichment in a preserved coastal bay: lessons for environmental planning in the face of global changes*. 2024. 72f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2024.

Coastal regions are prominent as preferential areas for the accumulation of organic and inorganic compounds derived from both autochthonous and allochthonous sources. The dynamics of these aquatic systems are characterized by the interaction and processing of materials deposited in sediments, providing valuable records of the evolution of environmental conditions over time. Human activities, combined with climate change, have accelerated the degradation of these environments on a global scale. Land-use and land-cover changes exacerbate structural and functional alterations in coastal ecosystems. In this context, preserved areas serve as valuable natural laboratories for investigating the regional and global impacts of climate change in synergy with anthropogenic activities. This study aims to investigate environmental and anthropogenic changes in a relatively preserved environment (Saco do Mamanguá, Paraty, RJ) through the integrated analysis of geochemical, granulometric, precipitation, and land-use and land-cover variables over recent decades. Based on sediment accumulation patterns, phosphorus content, and elemental ratios (XRF), four phases of environmental development were identified: 1888 to 1956, 1956 to 1986, 1986 to 2007, and 2007 to 2016. These phases were used to propose an integrated interpretation of environmental indicators, comparing sedimentary behavior in response to the evolution of the drainage basin and anthropogenic interventions. The results highlight trends demonstrating the interaction of local and global scales. Between 1968 and 2016, a high frequency of extreme precipitation events was recorded, totaling 483 occurrences, with 192 occurring from the late 1990s onward, particularly after ~2007. This indicates the worsening effects of climate change at the regional scale. From 2007 onwards, there was an abrupt increase in the total accumulation rate (TAS) and in the elemental ratios Ti/Ca, Fe/Ca, and K/Ca, indicative of increased input of terrigenous sediments. Concurrently, the accumulation rates of phosphorus fractions showed a significant increase between ~2011 and ~2013, alongside granulometric changes, with higher proportions of coarser material during the same period. This phenomenon is linked to the rise in extreme precipitation events, coupled with increased deforestation and tourism pressure in the Mamanguá region, suggesting that these factors intensified erosion processes and directly affected sedimentary and geochemical dynamics in Saco do Mamanguá. This study underscores the importance of preserving coastal ecosystems like Saco do Mamanguá to better understand how environmental impacts, across multiple scales, influence natural processes within the context of increasing anthropogenic pressures and climate change.

Keywords: accumulation; climate change; coastal regions; sediments; land use and cover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo ao sul do município de Paraty, no estado do Rio de Janeiro. A delimitação em vermelho representa os limites da bacia de drenagem do Saco do Mamanguá	21
Figura 2 –	Detalhes, feições e ambientes que compõem o Saco do Mamanguá	23
Figura 3 –	Localização do ponto de sondagem do testemunho Saco 09, no Saco do Mamanguá	24
Figura 4 –	Localização das estações meteorológicas Patrimônio, Paraty e São roque	28
Figura 5 –	Granulometria e teores de Fósforo Total, Inorgânico e Orgânico	30
Figura 6 –	Classes de Uso e Cobertura da Terra entre 1985 e 2016	32
Figura 7 –	Perfil de Pb em excesso utilizado no modelo de idade CRS do testemunho Saco 09	34
Figura 8 –	Granulometria, taxa de acumulação sedimentar (TAS), Razões Elementares de XRF, tas de acumulação de Fósforo Total (PT), Fósforo Inorgânico (PI) e Fósforo Orgânico (PO) no testemunho Saco 09 e dados de precipitação anual, precipitação extrema acima de 50, 100, 150 e 200 mm por dia na estação “Patrimônio” e dados de uso e cobertura da terra	42
Figura 9 –	Comparação estatística entre as principais variáveis	45

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	10
1	OBJETIVO	13
1.1	Objetivos específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Fósforo	14
2.2	Taxa de acumulação sedimentar	16
2.3	Razões Elementares (Ti/Ca, Fe/Ca, K/Ca, Fe/K e K/Rb)	17
2.4	Eventos extremos de precipitação	18
3	METODOLOGIA	20
3.1	Área de Estudo	20
3.2	Teor de fósforo total, inorgânico e orgânico	24
3.3	Idades e taxas de acumulação	25
3.4	Granulometria	25
3.5	Uso e cobertura da terra	26
3.6	Espectrometria de Fluorescência de Raios X (XRF)	26
3.7	Precipitação	27
3.8	Tratamento Estatístico	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Granulometria e teores de fósforo	29
4.2	Uso e cobertura da terra	30
4.3	Precipitação	32
4.4	Razões Elementares e Acumulação de Fósforo	33
4.4.1	<u>Primeira fase sedimentar (1888 a 1956)</u>	34
4.4.2	<u>Segunda fase sedimentar (1956 a 1986)</u>	36
4.4.3	<u>Terceira fase sedimentar (1986 a 2007)</u>	37
4.4.4	<u>Quarta fase sedimentar (2007–2016)</u>	38
4.5	Comparação entre as quatro fases sedimentares	43
	CONCLUSÃO	46

REFERÊNCIAS	47
ANEXO A – Saco do Mamangá	68
ANEXO B - Tabelas de correlação de Spearmam	72

INTRODUÇÃO

Eventos de precipitação extrema têm sido registrados com maior frequência nas últimas décadas (Beck et al., 2019; Wasko et al., 2021). Especialmente na região Sudeste do Brasil, estes fenômenos trazem grande prejuízo econômico e social, além de promoverem alterações nos ecossistemas costeiros (Zilli et al., 2017). Podemos caracterizar como evento extremo de chuva aqueles que excedem 50 mm de precipitação diária (Gao et al., 2024), estes processos desempenham papel significativo na modificação dos fluxos de água, energia hidrodinâmica, sedimentos, matéria orgânica e nutrientes em direção aos ecossistemas costeiros (Behera, 2024).

As regiões costeiras são locais preferenciais para a acumulação de compostos orgânicos e inorgânicos provenientes da bacia de drenagem, e se destacam como ambientes de transição entre os domínios terrestre e marinho, apresentando grande importância na ciclagem de fósforo e outros nutrientes (Dai et al., 2022; Day & Rybczyk, 2019). Isso ocorre devido ao significativo aporte fluvial, à influência dos oceanos e à ação antrópica (Bauer *et al.*, 2013). Esses fatores promovem interações complexas entre os sedimentos, o oceano e a atmosfera, e tem sido foco de pesquisas ao longo das últimas décadas (Bauer *et al.*, 2013; Day & Rybczyk, 2019; Gattuso *et al.*, 1998; Rajar & Sirca, 1970; Underwood et al., 2022; Wollast e Mackenzie, 1989).

A complexidade intrínseca dos sistemas aquáticos resulta da acumulação e degradação de materiais provenientes de fontes autóctones e alóctones (Tuntiprapas et al., 2019). A influência desses fluxos é fundamental para a dinâmica dos ecossistemas costeiros, que apresentam intensa ciclagem de elementos, tanto na coluna d'água quanto no sedimento (Hanson *et al.* 2015; Tuntiprapas et al., 2019). Além disso, a convergência destes fluxos para os ecossistemas costeiros promove a formação de reservatórios de matéria orgânica, que estão disponíveis para processamento e transformação (Cloern et al., 2014; Knoppers, 1994; Yang et al., 2022). Num cenário de mudanças climáticas, as regiões costeiras tropicais têm apresentado cada vez mais episódios de precipitação extrema, fator que tem modificado a dinâmica de transporte e acumulação de nutrientes nos sedimentos costeiros (Seneviratne et al., 2021).

O fósforo desempenha um papel ecológico importante nos sistemas aquáticos, sendo essencial para a produção de matéria orgânica e frequentemente atuando como fator limitante na produção primária (Smil, 2000). As fontes de fósforo são variadas, mas a crescente

liberação de compostos fosfatados em grandes quantidades devido às atividades humanas, tem convertido este nutriente em um poluente devido ao seu excesso (Klein; Agne, 2012). O enriquecimento de fósforo em corpos hídricos tem acelerado processos de eutrofização, um fenômeno que compromete a qualidade da água, resultando em mortandade de peixes e até na emissão de gases que intensificam o efeito estufa (Amora-Nogueira et al., 2023; Cerda *et al.*, 2013; Das *et al.*, 2006; Marotta, 2006; Ngatia *et al.*, 2019). As frações de fósforo, tanto orgânicas quanto inorgânicas, podem ser sequestradas nos sedimentos aquáticos (Berner et al., 1993), tornando-se assim parte integrante do ciclo de longo prazo. O compartimento sedimentar atua como um relevante reservatório de fósforo, acumulando o elemento à medida que ele se deposita nos corpos hídricos ao longo do tempo (Dias, 2006), independente da origem, natural ou antrópica. Nesse cenário, a análise do registro sedimentar torna-se essencial, pois as características sedimentares podem refletir o estado trófico do sistema. Isso permite a avaliação do nível de contaminação, dada a capacidade dos sedimentos de reter compostos ao longo do tempo (Silva, 2019).

Da mesma forma, a análise elementar e estudos de proveniência sedimentar (marinho vs continental), bem como as taxas de intemperismo, podem auxiliar na interpretação da assinatura geoquímica presente nos sedimentos costeiros, contribuindo para a investigação da evolução das condições ambientais, tanto naturais quanto influenciadas pela ação humana (Angeli et al., 2019; Guo e Yang, 2016). A composição elementar específica dos sedimentos se apresenta como uma ferramenta para rastrear as origens dos compostos no registro sedimentar. No entanto, quando analisada isoladamente, a composição elementar pode induzir interpretações ambíguas devido a efeitos de diluição causados pela atividade biológica e pela dissolução de carbonatos em maiores profundidades (Govin et al., 2012). Por outro lado, as razões elementares não são suscetíveis a esses efeitos de diluição e, portanto, são mais adequadas como indicadores de origem sedimentar (Govin et al., 2012). As razões mais utilizadas em estudos deste tipo incluem Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K, sendo Fe e Ti associados à fração terrígena e Ca ao carbonato marinho (Govin et al., 2012).

Nas últimas décadas, o processo de ocupação humana resultou na degradação de muitos ambientes das zonas costeiras, refletindo um problema global (Altieri & Diaz, 2019; Day e Rybczyk, 2019; Maúre et al., 2021). Desde 1960, as mudanças no uso e na cobertura da terra impactaram aproximadamente um terço da superfície terrestre (Winkler et al., 2021), refletindo um acelerado processo de transformação da paisagem. As mudanças no uso e cobertura da terra somadas ao avanço da urbanização, aumento populacional e industrial em associação com o aumento nos episódios de chuvas extremas têm contribuído para a alteração

estrutural e funcional dos ecossistemas costeiros (He *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2019).

As características físicas e bióticas das bacias hidrográficas desempenham um papel essencial na determinação da qualidade da água e na distribuição dos elementos presentes nos sedimentos, tanto nos leitos dos rios como no fundo dos ecossistemas costeiros (Liao *et al.*, 2018). Nestes ambientes, os elementos presentes no registro sedimentar contam a trajetória de evolução ambiental, tanto do ecossistema em si, quanto de sua bacia hidrográfica (Barreto *et al.*, 2013).

Os ecossistemas costeiros que ainda mantêm condições relativamente mais conservadas não apenas servem como referência para o estudo de regiões mais impactadas pela ação humana, mas também possibilitam a compreensão das dinâmicas naturais que sustentam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Palumbi *et al.*, 2008).

Localizado no município de Paraty (RJ), o Saco do Mamanguá é um subsistema da Baía da Ilha Grande (RJ), a qual é inserida no domínio Mata Atlântica (Diegues e Nogara, 1999). Devido às características remanescentes de bioma da Mata Atlântica serem de grande relevância, um conjunto de Unidades de Conservação compõem a região (Xavier, 2018) (Figura 1). A formação vegetal predominante neste subsistema é a de floresta em estágio médio ou avançado de sucessão ecológica, ocupando pouco mais de 60% da área (Igara Consultoria em Aquicultura e Gestão Ambiental Ltda, 2011). Além disso, trata-se de um ambiente sujeito à circulação de reduzida estratificação, principalmente devido à baixa profundidade (Benchimol, 2007).

Embora a região do Saco do Mamanguá não tenha sofrido alterações significativas, como aquelas relacionadas à industrialização e forte adensamento urbano e populacional (e. g. atividades de especulação imobiliária, turismo desenfreado, empreendimentos portuários, terminal de petróleo e outras demais presentes ao redor da Baía da Ilha Grande e adjacências), a área vem recebendo crescente influência de intervenções humanas voltadas ao turismo, principalmente após a construção do trecho da BR-101 ligando o Rio de Janeiro à Santos na década de 1970, o que facilitou o acesso ao município de Paraty (De Souza *et al.*, 2013; Rabelo, 2020; Xavier, 2018). Em comparação aos sistemas adjacentes, como a Baía de Ilha Grande e Baía de Sepetiba, a região do Saco do Mamanguá ainda se apresenta como um ambiente com menor impacto ambiental devido ao seu relativo isolamento, acessível apenas por barco ou trilhas na mata. Ambientes como este oferecem valiosas oportunidades de estudo, apresentando-se mais conservadas, podendo servir como referência ambiental e exemplificar a importância da preservação das bacias de drenagem e dos ecossistemas costeiros. Por outro lado, desempenham um papel essencial no estudo do registro sedimentar,

uma vez que atuam como eficientes armadilhas de sedimentos, resultando na formação de depósitos sedimentares que refletem as condições ambientais pretéritas da bacia de drenagem. Esses depósitos sedimentares constituem um arcabouço científico fundamental para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos nas regiões costeiras e contribuem para sua gestão e preservação (Garcia-Garcia et al., 2005). Com o objetivo de avaliar a evolução ambiental do Saco do Mamanguá, foram comparados dados de acumulação sedimentar, fósforo e razões elementares com dados de precipitação e mudança de uso e cobertura da terra.

1 OBJETIVO

Investigar as respostas ambientais em um ecossistema costeiro predominantemente conservado entre 1888 e 2016, por meio da análise integrada de precipitação, variações de uso e cobertura da terra (1985-2016), das taxas de acumulação de sedimentos e fósforo, e das razões elementares nos sedimentos.

1.1 Objetivos específicos

- Identificar os fatores ambientais que possam ter influenciado as variações nas taxas de acumulação sedimentar e nas concentrações de fósforo entre 1888 e 2016.
- Correlacionar as alterações nas razões elementares (Ti/Ca, Fe/Ca, K/Ca, Fe/K e K/Rb) com as variações observadas nas taxas de acumulação sedimentar e das formas de fósforo
- Analisar a variação das mudanças de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2016.
- Compreender as respostas ambientais frente aos eventos extremos de chuvas nas últimas décadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fósforo

O fósforo caracteriza-se como elemento essencial na síntese da matéria orgânica e pode atuar como fator limitante na produtividade primária em ecossistemas aquáticos (Smil, 2000; Xiao *et al.*, 2023). O ciclo biogeoquímico do fósforo envolve processos que são associados à intemperismo e erosão de rochas ígneas e metamórficas, que facilitam o carreamento desse elemento para rios, lagos e oceanos. Esses processos conduzem à acumulação, transferência e reciclagem de materiais nos diferentes compartimentos ambientais (Arndt *et al.*, 2013; Filippelli; Delaney, 1994; Syrjänen, 2023). A erosão das superfícies continentais é uma das fontes primárias de fósforo para os ecossistemas costeiros, com a maior parte desse aporte proveniente dos rios, tanto na forma particulada quanto dissolvida (Binnes-Nelson, 2000). Nas últimas décadas, houve um significativo aumento nos fluxos de fósforo de origem antrópica, contribuindo para o acentuado acúmulo de matéria orgânica e a intensificação da poluição nos ambientes costeiros (Muniz *et al.*, 2024).

No compartimento sedimentar, a disponibilidade de fósforo é predominantemente controlada pelas interações com a matéria orgânica e diferentes minerais (Jilbert *et al.*, 2018). Em ambientes aquáticos, devido à sua alta reatividade, o fósforo tende a se incorporar ao material particulado (Nystrand *et al.*, 2012; Ruttenberg; Canfield, 1994; Syrjänen, 2023). A adsorção de fosfato no solo aumenta significativamente em solos com altos teores de óxidos de ferro e alumínio, principalmente em argilas. Considerando a granulometria, solos argilosos e lamosos mantêm o fósforo mais fortemente retido. Por outro lado, solos arenosos, que contêm poucos óxidos de ferro e alumínio, apresentam baixa afinidade pelo fosfato (Hu *et al.*, 2022; Ruttenberg, 2014). Sob condições oxidantes, o fósforo pode se associar à superfície de óxidos e hidróxidos por causa da sua alta afinidade pelo Fe, enquanto em condições redutoras há uma maior liberação do elemento para a coluna d'água. Da mesma forma, a matéria orgânica influencia na dinâmica do fósforo, visto que, em ambientes eutrofizados, é comum que a liberação de fosfato a partir do sedimento continue mesmo cessando as fontes externas (Asmala *et al.*, 2017; Franzen, 2009).

No caso de sedimentos aquáticos orgânicos e siliciclásticos, a presença relativa de Al, Fe, Ca e matéria orgânica pode exercer um controle significativo sobre a geoquímica do

fósforo (Ruttenberg, 2014). Em sedimentos com predominância de composição aluminossilicática, o fósforo tende a se ligar ao Al, e seu comportamento diante de alterações ambientais depende essencialmente do pH (Wang et al., 2013). Por outro lado, se predominar uma composição mais rica em Fe e o fósforo estiver mais associado a este elemento, as trocas entre água e sedimentos poderão ser mais influenciadas pelo potencial redox. Neste contexto, condições redutoras favorecem a liberação de fósforo, enquanto condições oxidantes promovem sua sorção (Franzen, 2009).

As frações de fósforo associadas às apatitas são aquelas que estão relacionadas ao Ca (Wang et al., 2013), dentro deste grupo também está o fósforo ligado ao carbonato de cálcio que é um importante constituinte de ossos, dentes e escamas de peixes (Ruttenberg, 2014). Estes materiais se formam nos ambientes costeiros e depositam-se em sedimentos marinhos e estuarinos, sendo adsorvidos e acumulados por meio de processos diagenéticos (Jun et al., 2013). Ambientes costeiros caracterizam-se por apresentarem uma elevada produtividade biológica e por isso podem ser enriquecidos em apatitas (Wang et al., 2013), já que íons como cálcio e ferro podem se combinar com o fosfato para formar minerais de apatita.

O fósforo contido em leitos rochosos, solos e sedimentos não está diretamente disponível para os organismos. Para que o elemento possa ser assimilado, ocorrem reações geoquímicas e bioquímicas que atuam na conversão de formas não-disponíveis de fósforo para o ortofosfato dissolvido, o qual pode ser diretamente assimilado. Neste contexto, a produção de biomassa depende da biodisponibilidade de fósforo e acaba por resultar na deposição de matéria orgânica nos sedimentos, onde pode atuar como fonte de energia e nutrientes para comunidades microbianas. Estes processos, por sua vez, influenciam significativamente na concentração e forma química do fósforo que é incorporado no registro sedimentar (Ruttenberg, 2014). Todos estes processos levam as formas particuladas do fósforo a se precipitar nos sedimentos e a se acumular através de processos diagenéticos. A taxa de acumulação sedimentar pode influenciar as reações envolvidas na acumulação de fósforo de várias maneiras. Em ambientes marinhos com baixas taxas de acumulação e águas oxigenadas, a matéria orgânica é extensivamente degradada antes de ser incorporada aos sedimentos. Estes fatores resultam em uma exposição prolongada da matéria orgânica a reações de metabolização óxica, levando a uma menor acumulação de fósforo nos sedimentos. Por outro lado, em ambientes com altas taxas de acumulação sedimentar, há uma rápida captura de matéria orgânica menos degradada, resultando em uma maior acumulação de fósforo (Arndt et al., 2013; Ruttenberg, 1990).

Em ambientes impactados, que recebem altas cargas de matéria orgânica provenientes de atividades humanas, ocorre uma acumulação desse material, que pode ser oxidado tanto na coluna d'água quanto nos sedimentos. Esses processos podem resultar na proliferação de algas ou de macrófitas, estimulada pela disponibilidade de nutrientes. A degradação da matéria orgânica consome grandes quantidades de oxigênio do ambiente aquático, o que pode levar a episódios de hipoxia. Essa condição pode resultar na produção de compostos tóxicos, como ácido sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3), além de gases que contribuem para o agravamento do efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) (Delvin & Brodie, 2023; Gilbert et al. 2010; Cai et al. 2011).

O acúmulo excessivo de nutrientes, como o fósforo, nos ambientes aquáticos leva a processos de eutrofização, comprometendo a qualidade da água, promovendo odores desagradáveis e, muitas vezes, causando a mortandade de organismos de importância comercial (Silva, 2019). Esses processos afetam de forma significativa as atividades turísticas e pesqueiras, resultando em prejuízos ambientais e econômicos. Além disso, podem impactar a saúde pública, uma vez que a proliferação de cianobactérias pode contaminar as águas e frutos do mar de valor comercial, causando intoxicação alimentar em humanos (Jokinen et al., 2020; McLannes; Quigg, 2010). Neste cenário, o registro sedimentar onde o fósforo se deposita funciona como um reservatório importante do elemento, acumulando aportes históricos. Assim, o compartimento sedimentar pode refletir e integrar os processos que ocorrem nos ambientes aquáticos, preservando indicadores capazes de evidenciar a trajetória histórica de impactos ambientais (Regnier *et al.*, 2013; Xiao *et al.*, 2023). Por isso, a compreensão e quantificação dos processos envolvendo a ciclagem de nutrientes (fósforo) nos sedimentos é importante, visto que, podem retratar condições ambientais pretéritas e propiciar um entendimento mais aprofundado dos respectivos ciclos geoquímicos nesses ambientes (Barreto *et al.*, 2013; Hu et al., 2024).

2.2 Taxa de acumulação sedimentar

O estudo das taxas de acumulação sedimentar (TAS) é essencial na compreensão dos processos que governam os ambientes aquáticos e costeiros ao longo do tempo. Essas taxas refletem a dinâmica de aporte, transporte e deposição de sedimentos, sendo influenciadas tanto por fatores naturais quanto por atividades humanas (Woszczyk et al., 2017). A TAS é o

resultado de eventos de deposição, não deposição e erosão (Mckee et al., 1983) Naturalmente, a produção de sedimentos está associada a fenômenos como o intemperismo das rochas, a erosão das bacias hidrográficas e o transporte fluvial, processos fundamentais para a formação e evolução dos ecossistemas aquáticos (Carvalho, 2008). Por outro lado, a ação antrópica, como desmatamento, urbanização, mineração e práticas agrícolas intensivas, tem alterado significativamente essas taxas, muitas vezes acelerando os processos sedimentares e por vezes alterando a composição sedimentar (Batista Filho et al., 2020).

A compreensão dessas variações é importante para avaliarmos os impactos no armazenamento de nutrientes e poluentes, na qualidade da água e na capacidade de suporte dos ecossistemas. A análise das TAS ainda pode ser usada para prever tendências futuras e embasar políticas de manejo sustentável, conservação de ecossistemas e mitigação de impactos (Carvalho, 2008). Portanto, estudar essas taxas e sua relação com a produção de sedimentos é muito importante na proteção dos recursos hídricos, para garantirmos a resiliência dos ecossistemas em um cenário de crescente pressão antrópica.

2.3 Razões Elementares (Ti/Ca, Fe/Ca, K/Ca, Fe/K e K/Rb)

As regiões costeiras são importantes ambientes deposicionais e se caracterizam pela preservação da assinatura geoquímica dos sedimentos, acumulando-os em registros temporais (Angeli et al., 2019; Guo & Yang, 2016). Essas características permitem utilizá-los como indicadores que auxiliam no entendimento da evolução das condições ambientais ao longo do tempo, sendo capazes de fornecer informações sobre a origem, o clima, a circulação oceânica, o transporte sedimentar e outros fatores ecossistêmicos (Calvert & Pedersen, 2007). A composição elementar dos sedimentos marinhos tem sido utilizada como ferramenta na identificação da origem dos materiais que compõem esse registro (Sampurno et al., 2018). Como as concentrações dos elementos isolados apresentam interdependência, podendo ser influenciadas pela produtividade biológica ou dissolução de carbonato, é recomendado que se utilize razões elementares (Govin et al., 2012). Razões como Fe/Ca e Ti/Ca têm sido utilizadas em estudos de sedimentos marinhos, pois podem servir como indicadores de aporte de material terrígeno para os oceanos (Ribeiro & Freire 2019). Essas variações podem sugerir mudanças climáticas e nas bacias hidrográficas (Dias, 2018). Sendo um componente da calcita e da aragonita, o Ca reflete principalmente o conteúdo de carbonato marinho nos

sedimentos (Govin et al., 2012). Por outro lado, o Ti e o Fe estão relacionados a sedimentos com componentes siliciclásticos e minerais argilosos (Dias, 2018). Nesse sentido, variações nos teores de Ti e Fe em relação aos de Ca denotam um indicador geoquímico da contribuição continental para os oceanos (Haug et al., 2001; Medeiros Galvão, 2021).

Razões envolvendo K e Rb servem como indicadores do grau de intemperismo dos sedimentos (Borba 2003). O Rb é um elemento químico que na natureza não forma minerais próprios, sendo encontrado como impureza nos minerais potássicos (moscovita, biotita, lepidolita e feldspato potássico), devido ao fato de seu raio iônico ser bastante semelhante ao do K (Silva, 2006). A precipitação deste elemento ocorre a partir de sua adsorção preferencial aos argilominerais. Uma fração do Rb adsorvido pode se tornar parte fixa da estrutura cristalina dos argilominerais, substituindo o K. Nesse contexto, o Rb tende a acompanhar o comportamento de seu elemento análogo (K) (Mizusak, 1992).

A razão Fe/K quando apresenta valores altos, pode indicar aporte de material altamente intemperizado oriundo de regiões quentes e úmidas. Contudo, quando apresenta valores baixos, reflete o aporte de material pouco intemperizado formado em condições mais secas (Govin et al., 2012). A escolha e a interpretação das razões elementares podem diferir de acordo com as variáveis ambientais analisadas e o objetivo de cada estudo. Neste trabalho foram utilizadas as razões Ti/Ca, Fe/Ca, K/Ca, Fe/K e K/Rb com o intuito de compreender a origem e dinâmica sedimentar na região do Saco do Mamanguá.

2.4 Eventos extremos de precipitação

Eventos extremos de precipitação são definidos como chuvas intensas concentradas em períodos curtos, frequentemente excedendo 50 mm em um único dia (Gao et al., 2024). Esses eventos desempenham um papel significativo na alteração dos fluxos hidrológicos, intensificando a energia hidrodinâmica e modificando o transporte de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes para os ecossistemas costeiros. Esses processos podem impactar a dinâmica ambiental e a funcionalidade ecológica desses sistemas, sobretudo em regiões sensíveis e sujeitas a pressões antrópicas (Behera, 2024). Em função das mudanças climáticas em curso, a frequência e a intensidade desses eventos têm aumentado ao longo das últimas décadas (Duarte et al., 2015; Sena et al., 2017). O aquecimento global potencializa o desenvolvimento desses eventos ao aumentar a capacidade da atmosfera de armazenar

umidade, o que resulta em concentrações mais elevadas de vapor d'água (Primavesi et al., 2007). Quando esse vapor é elevado a maiores altitudes e submetido a temperaturas mais baixas, ele se condensa rapidamente, liberando grandes volumes de precipitação em curtos intervalos de tempo.

Adicionalmente, o efeito orográfico associado ao relevo, que atua como uma barreira física a movimentação atmosférica, agrava esse fenômeno ao forçar o ar úmido a ascender, intensificando o resfriamento e a condensação (Govorushko, 2012). As barreiras orográficas amplificam os eventos de precipitação extrema, aumentando os impactos ambientais e hidrológicos decorrentes.

A integração de dados de precipitação e eventos de precipitação extrema em estudos ambientais é muito importante, especialmente na investigação das formas de fósforo, taxas de acumulação sedimentar e análises elementares por fluorescência de raios X (XRF) focadas na proveniência sedimentar (Paerl et al., 2018). Os eventos extremos de precipitação desencadeiam processos erosivos que afetam a dinâmica de transporte e deposição de sedimentos, influenciando diretamente a mobilização de nutrientes, como o fósforo. Durante esses eventos, há maior escoamento superficial e erosão, que carregam as formas de fósforo adsorvidas em partículas sólidas ou dissolvidas na água, alterando os fluxos naturais e contribuindo para o enriquecimento de sistemas aquáticos (Wetz & Yoskowitz, 2013; Pouzet & Maanan, 2020). Esses processos ainda têm o potencial de amplificar o aporte continental e as taxas de acumulação sedimentar em ambientes costeiros ao longo do tempo (Tan et al., 2021).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

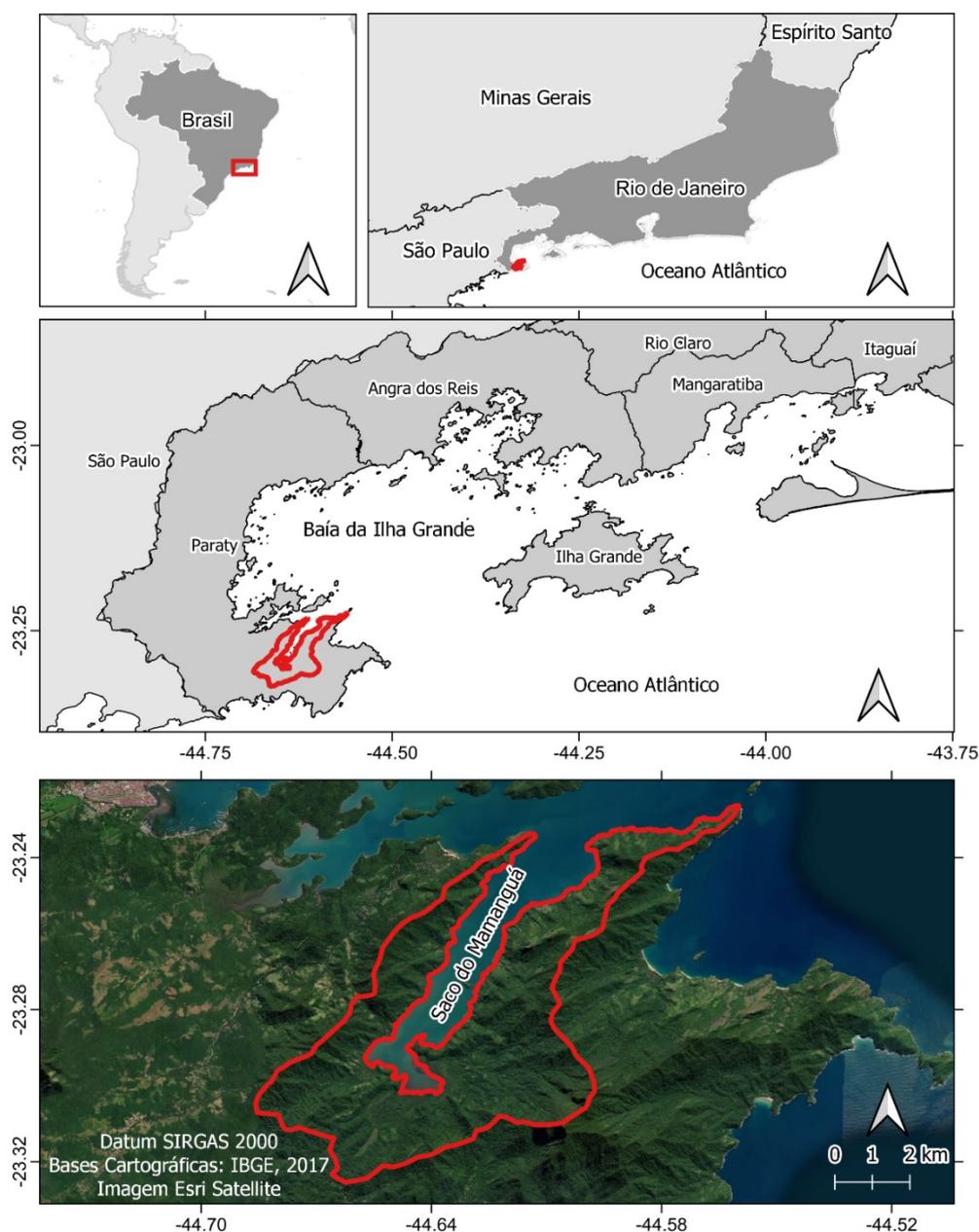
Localizado no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, no município de Paraty e a oeste da Baía da Ilha Grande, o Saco do Mamanguá apresenta uma área de aproximadamente 8 km de comprimento e cerca de 2 km de largura (Figura 1). Apresenta uma profundidade média de 5 metros, com um máximo de 10 metros, que diminui em direção a montante, onde há um ecossistema de manguezal em desenvolvimento (Gasalla, 1995). O Saco do Mamanguá faz parte da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu e da Reserva Florestal da Joatinga. A área de estudo tem a morfologia típica de um vale fluvial afogado durante a última transgressão marinha holocênica, estando atualmente sujeito a circulação estuarina. Trata-se de um habitat diverso para uma variedade de espécies animais e vegetais que se desenvolveram nesse ambiente (Castaing & Guilcher, 1995).

De acordo com Nogara et al. (2009), o Saco do Mamanguá apresenta uma costa recortada que forma 33 pequenas praias de areia separadas por costões rochosos, cinco pequenos parcéis de pedra e duas ilhas. Nesta região, rios de pequeno porte se formam e deságuam diretamente sobre as praias ou nas planícies de fundo determinando a formação de áreas alagadas nas quais se desenvolvem diversos caixetais (ecossistemas formados pela predominância da árvore caixeta, característica de áreas alagadas fluviais), além de um sistema de manguezais bem conservado. Os manguezais estão associados a áreas de intenso acúmulo de lama e areia.

Na parte interna do Saco do Mamanguá, vários pequenos rios deságuam, mas os rios Grande, Turvo e do Regato, que possuem a maior área de contribuição, são responsáveis pela formação de uma zona de alta turbidez, na qual há redução da salinidade. Esses rios também são uma das principais fontes de areia e silte para o sistema. O ambiente recebe constantemente aporte alóctone de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes, apresentando uma dinâmica semi-lêntica, devido ao aporte de água doce e à baixa influência das correntes de maré, que podem variar entre 64 e 125cm (Bernardes, 1996; Nogara *et al.*, 2009). A pequena variação longitudinal e vertical do gradiente de salinidade – variando entre 34.4 e 35.5 PSU – indica características de um estuário de águas bem misturadas (Benites *et al.*, 2015). A estratificação térmica da coluna d'água mostra-se fraca na maior parte do ano (22-

24°C), contudo, apresenta-se mais forte nos meses de verão com a influência da massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) nas camadas mais profundas. Esse fenômeno enriquece a região com águas mais frias e nutrientes (Bernardes, 1996). A dinâmica de circulação das águas no Saco do Mamanguá pode ser considerada como de baixa energia, com velocidade média de corrente igual a 14 cm/s (Ambrósio Júnior *et al.*, 1991).

Figura 1 - Localização da área de estudo ao sul do município de Paraty, no estado do Rio de Janeiro. A delimitação em vermelho representa os limites da bacia de drenagem do Saco do Mamanguá



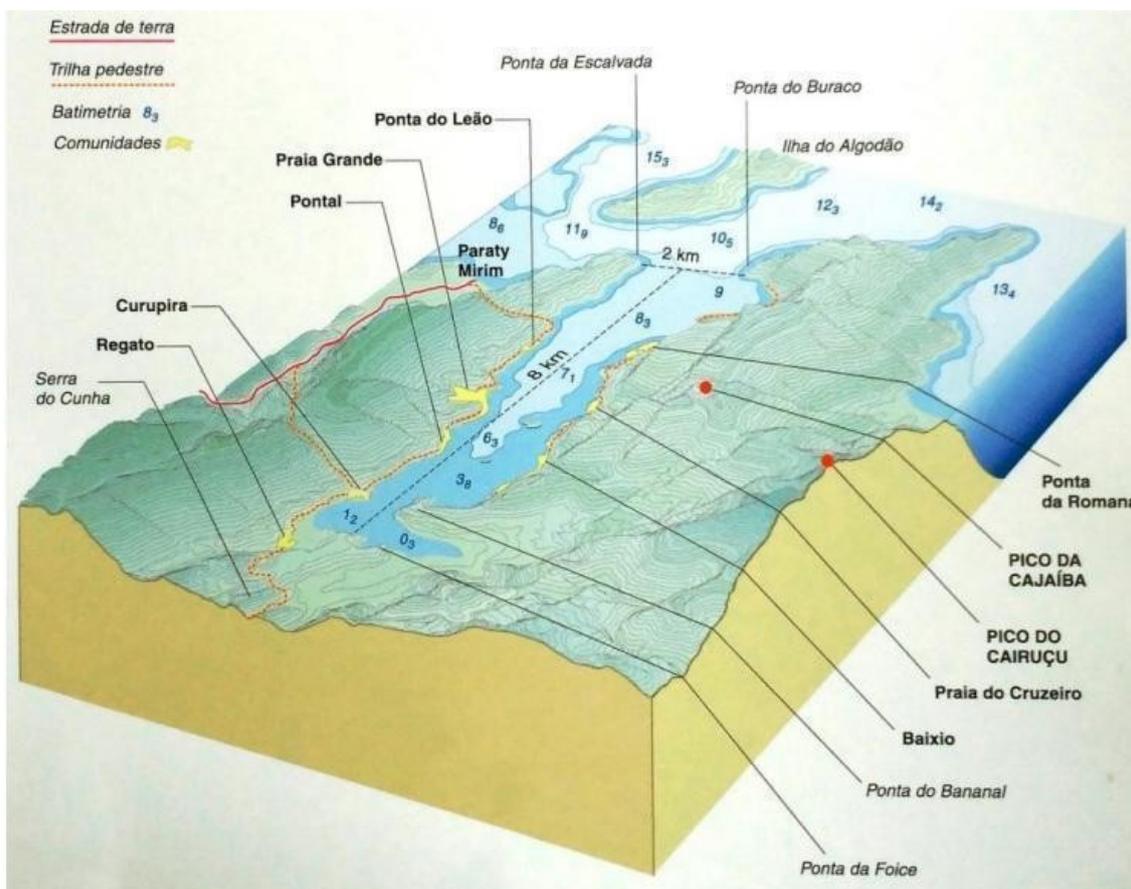
O Saco do Mamanguá pode ser dividido em três grandes compartimentos de acordo com as características do grau de influência das águas oceânicas. Na região mais distal do

Saco do Mamanguá, que vai da Ponta Escalvada e Ponta do Buraco até a Praia Grande e a Praia do Cruzeiro, há uma maior influência das águas oceânicas, que apresentam coloração mais clara, sendo uma região de maior profundidade e circundada por praias e baixios de areia (Figura 2). A porção mais mediana do Saco do Mamanguá, que vai da Praia do Cruzeiro e Praia Grande até o final da Ilha Pequena, recebe influência das águas oceânicas e dos afluentes que deságuam no manguezal, além de ser influenciada pelas correntes de maré e ação dos ventos. Esta região constitui-se por estreitas praias de areia e lama, onde as Ilhas Grande e Pequena e o parcel do Cruzeiro propiciam um ambiente mais protegido levando a um acúmulo de lama e a formação de depósitos lamosos (Figura 2). A região interna do Saco do Mamanguá, constituindo o fundo do sistema, é delimitada a partir da Ilha Pequena e é caracterizada pelo início do aparecimento do manguezal nas margens. Esta região apresenta águas mais salobras, turvas e quentes, sofrendo maior influência dos rios que ali deságuam ricos em nutrientes o que contribui para o aumento da produtividade das águas (Figura 2) (Nogara *et al.*, 2009).

No que se refere à caracterização geomorfológica, de acordo com a divisão de relevo proposta pelo Radambrasil (1983), o Saco do Mamanguá encontra-se no domínio de Escarpas e Reversos da Serra do Mar, formada no Planalto da Bocaina. O relevo que cerca a área de estudo tem embasamento pré-cambriano e atinge altitudes máximas próximas à costa. Esses relevos são sustentados por gnaisses e granitos que dão origem a solos de alteração, residuais e superficiais delgados e com frequentes afloramentos rochosos, os quais formam cristas alongadas e cumes isolados devido às declividades acentuadas (Silvestre 2016). Nas áreas planas, em pequenas várzeas, os solos são ácidos, hidromórficos, argilosos e muito argilosos, sendo influenciados pelo lençol freático próximo à superfície durante a maior parte do ano (Marques, 1997).

O relevo característico do Saco do Mamanguá causa grande influência na dinâmica de ventos locais que são afinados e assim intensificados ao longo da região. E de acordo com o Plano de Manejo da APA de Cairuçu (2004), a região apresenta zoneamento climático fortemente influenciado pela compartimentação do relevo e desnivelamento altimétrico, os quais produzem discontinuidades no padrão de distribuição espacial e temporal dos regimes de precipitações e temperatura.

Figura 2 - Detalhes, feições e ambientes que compõem o Saco do Mamanguá

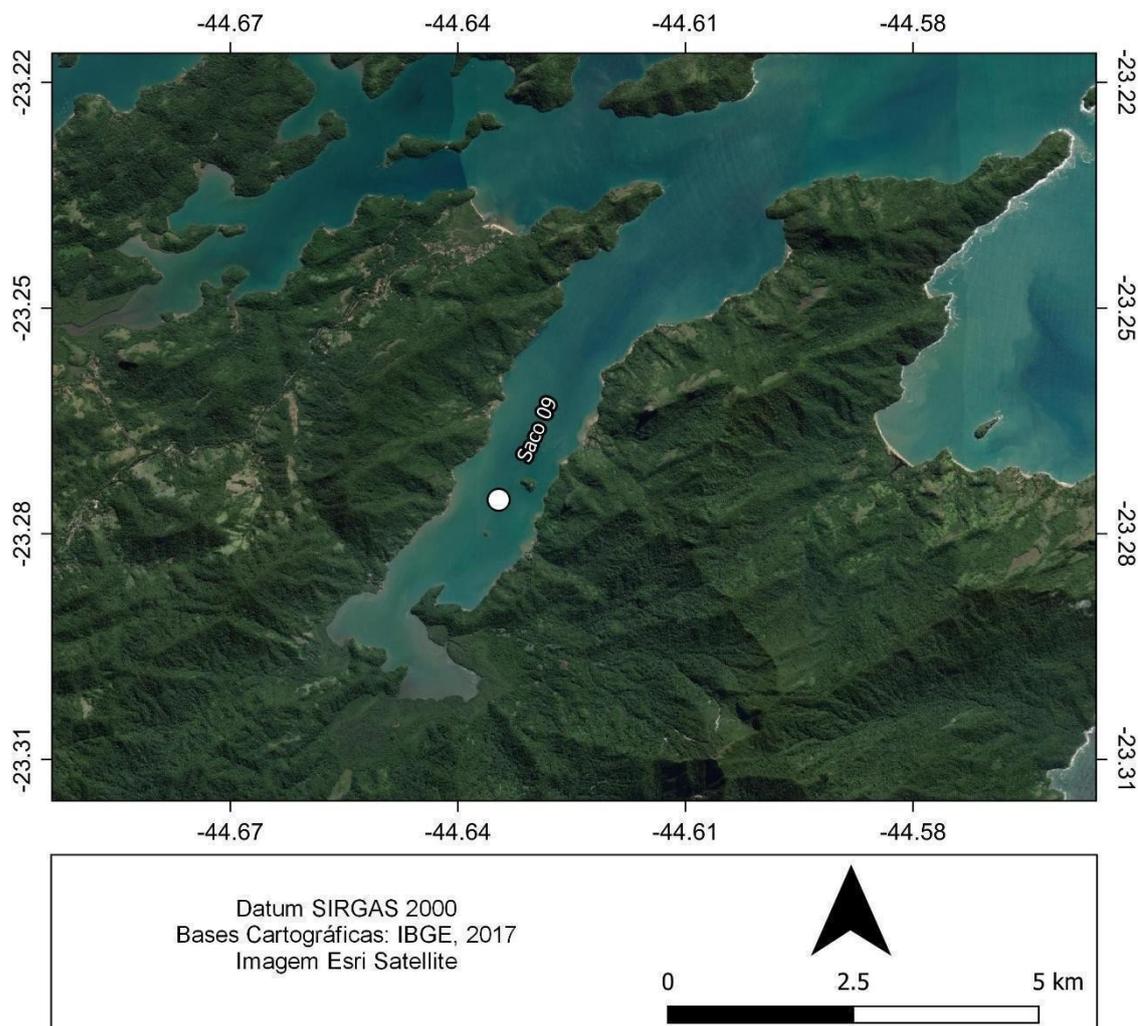


Fonte: Nogara et al., 2009.

A região ao redor do Saco do Mamanguá apresenta uma baixa densidade populacional composta principalmente por comunidades ribeirinhas. Estima-se que cerca de 2.000 pessoas vivam na região durante todo o ano, no entanto durante a temporada de verão, o número de turistas pode aumentar. Esse aumento repentino de visitantes pode levar a um aumento no volume de esgoto, lixo, barcos etc, resultando em potenciais impactos ambientais negativos para a área (Velho *et al.*, 2012).

Para este estudo foi coletado um testemunho sedimentar (~100cm) com o auxílio de um amostrador por gravidade (*Gravity corer*) (Figura 3). O testemunho foi amostrado em intervalos de 2cm para análises granulométricas, de acumulação de fósforo, datação por meio do isótopo ^{210}Pb e razões elementares.

Figura 3 - Localização do ponto de sondagem do testemunho Saco 09, no Saco do Mamangá



Fonte: IBGE, 2017.

3.2 Teor de fósforo total, inorgânico e orgânico

Para a determinação do teor de fósforo nas amostras, estas foram liofilizadas e homogeneizadas antes de serem submetidas a processos específicos de extração. Para a extração do fósforo total, alíquotas de amostras entre 0,3 e 0,5 g foram calcinadas em forno mufla a 550°C por uma hora e meia e, posteriormente, expostas a 50 ml de HCl por 16 horas. Para a determinação do fósforo inorgânico, foram aplicados os mesmos procedimentos, com a exceção de que as amostras não foram submetidas à calcinação. Já para a determinação do fósforo orgânico, o resultado da leitura do fósforo total foi subtraído do fósforo inorgânico.

Todas as análises foram realizadas em espectrofotômetro a 880 nm, seguindo as recomendações de Grasshoff (1999).

3.3 Idades e taxas de acumulação

Para calcular as taxas de acumulação sedimentar, utilizou-se o método de datação por ^{210}Pb . Este radioisótopo, pertencente à série natural de decaimento do ^{238}U , conhecido como ^{210}Pb (com meia-vida de ~22 anos), foi utilizado como traçador geocronológico, desempenhando também um papel fundamental na determinação das taxas de acumulação sedimentar (Appleby & Oldfield, 1978). Neste estudo, a datação por ^{210}Pb abrangeu os primeiros 50 cm mais superficiais do testemunho. A análise com o isótopo ^{210}Pb foi conduzida na University of South Florida, USA. As amostras de sedimento foram pesadas e acondicionadas em placas seladas por 21 dias (Bonotto et al., 2014) para atingir o equilíbrio secular entre ^{226}Ra e os radionuclídeos filhos do ^{222}Rn , prevenindo, assim, a perda de ^{222}Rn . As atividades gama nas amostras foram quantificadas por um detector de germânio intrínseco acoplado a um analisador multicanal, permitindo a determinação das atividades de ^{210}Pb e ^{226}Ra pelos picos de 46,5 e 351,9 KeV, respectivamente. A atividade do ^{210}Pb em excesso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) foi calculada subtraindo a atividade de ^{210}Pb suportado ($^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$), isto é, a atividade de ^{210}Pb em equilíbrio com a do ^{226}Ra , da atividade total de ^{210}Pb (^{210}Pb). O modelo CRS foi utilizado para calcular as idades e as respectivas taxas de acumulação sedimentar (TAS).

3.4 Granulometria

A granulometria foi realizada no granulômetro Mastersizer Hydro 2000 G, indicado para sedimentos de tamanhos entre 0.02 e 2000 μm . As amostras foram previamente liofilizadas e homogeneizadas. A matéria orgânica na amostra foi eliminada em forno mufla (410°C por 16 horas). A desagregação para a efetiva leitura no equipamento foi realizada a partir de uma solução defloculante de hexametáfosfato de sódio 4% (Schummacher, 2002). Os resultados obtidos nesse processo foram analisados no programa de tratamento estatístico

Gradstat (Blott e Pye,2001), obedecendo os limites indicados por Folk & Ward (1957) e a escala de classificação granulométrica de Udden (1914) e Wentworth (1922) modificada.

3.5 Uso e cobertura da terra

As representações elaboradas para este trabalho foram produzidas a partir dos dados fornecidos pelo MapBiomias, uma plataforma disponível na internet. Trata-se de um projeto iniciado em 2015 por ONGs, universidades e empresas de tecnologia com o objetivo de construir uma ferramenta acessível e barata que possibilitasse a elaboração de um mapeamento de uso e cobertura da terra numa série temporal (ano a ano). As representações elaboradas pelo MapBiomias foram baseadas na subdivisão da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo com escala 1:250,000 cada retângulo da subdivisão em questão cobre uma área de 1° 30' de longitude por 1° de latitude (MapBiomias, 2018).

Como base dos mapeamentos deste trabalho foi utilizada a coleção 9 disponibilizada pelo MapBiomias. As representações foram obtidas no formato raster para cada ano, utilizando-se o recorte do município de Paraty - RJ. As representações foram feitas no programa de geoprocessamento ArcGis, foram identificadas 5 classes de uso e cobertura da terra (Vegetação, Manguezal, Área não vegetada, Ocupação humana e Afloramento rochoso) as quais possibilitaram o cálculo das áreas correspondentes de classe na unidade de medida km². Para comparação com o testemunho foram organizadas duas classes: Intervenção Humana (somatório das classes Área não vegetada e Ocupação Humana) e Vegetação (somatório das classes Vegetação e Manguezal).

3.6 Espectrometria de Fluorescência de Raios X (XRF)

A Espectrometria de Fluorescência de Raios X é uma técnica analítica não destrutiva, sendo empregada para obter informações elementares, como a estimativa dos elementos químicos em uma amostra, em diversos tipos de materiais. A Fluorescência de Raios X ocorre quando a amostra é exposta a raios X provenientes de um tubo, geralmente composto por ânodo de Ródio, que é ativado por meio de um gerador de alta tensão. Ao incidirem nos

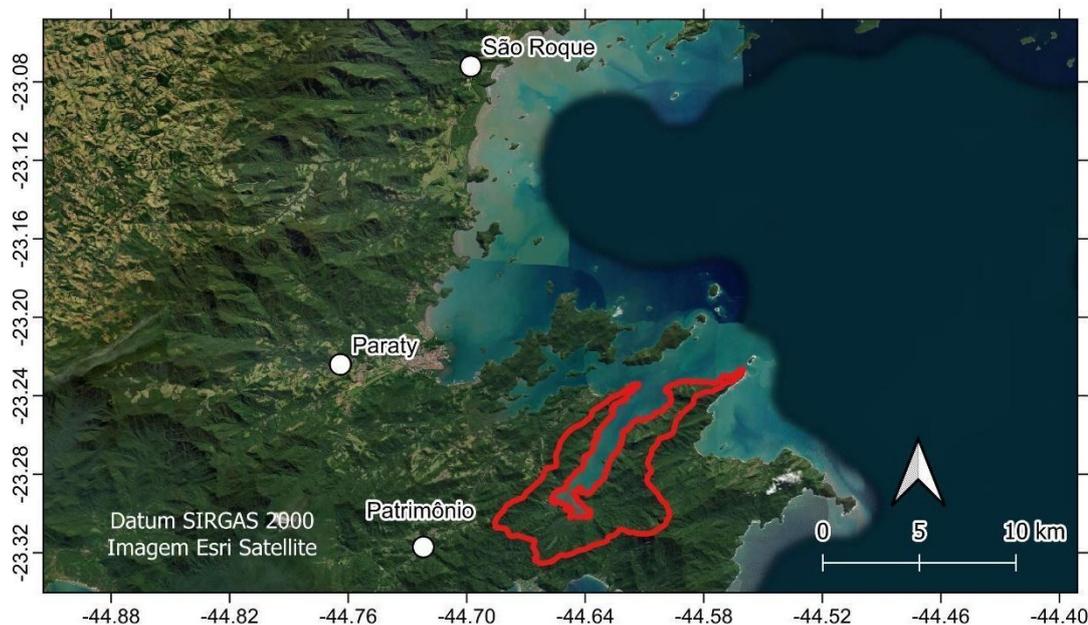
átomos da amostra, os raios X provocam a ejeção de elétrons das camadas próximas aos núcleos. Essas lacunas são prontamente preenchidas por elétrons das camadas mais externas. O elétron que realiza esse salto quântico para preencher a lacuna perde energia na forma de um fóton de raios X, com uma energia característica específica para cada elemento. Cada tipo de átomo possui um espectro de raios X distintivo e único, e, em geral, a energia da transição mais intensa é utilizada para análise (Massoni,2009).

Neste trabalho utilizou-se o equipamento EDXRF (Sistema de Energia dispersiva de Fluorescência de Raios X) de nome “Epsilon 1”, da empresa Panalytical, equipado por um espectrômetro, um computador embutido e um *software* de análise integrado, com Gama elementar, pertencente ao Departamento de Geologia e Geofísica da UFF. Para esta análise as amostras foram previamente homogeneizadas (maceradas) para uma melhor determinação dos elementos presentes na amostra, tanto os maiores quanto os menores (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe), visto que os raios X incidem nas partículas de forma superficial. Após serem homogeneizadas, as amostras foram inseridas no recipiente próprio do equipamento e analisadas.

3.7 Precipitação

Os dados pluviométricos de 1968 a 2016 foram extraídos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas (ANA - HIDROWEB). Inicialmente, foram testados os dados de três estações: Patrimônio (código 2344006), Paraty (código 230044007) e São Roque (código 2344008), localizadas a aproximadamente 10 km, 14 km e 23 km do ponto de coleta do testemunho Saco 09, respectivamente (Figura 4). Após os testes, optou-se pelo uso dos dados da estação Patrimônio, localizada em Paraty, para o desenvolvimento deste estudo. Foram utilizados os dados de precipitação anual e extraídos os dados de eventos extremos de precipitação acima de 50, 100, 150 e 200 mm por dia.

Figura 4 - Localização das estações meteorológicas Patrimônio, Paraty e São roque



Fonte: SIRGAS, 2000.

3.8 Tratamento Estatístico

Os dados foram transformados logaritmicamente para reduzir a assimetria e aproximar uma distribuição normal (Berry, 1987), com a normalidade avaliada pelo teste de D'Agostino (1986) ($p > 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett (1960) ($p > 0,05$). Para analisar a interação entre as quatro fases sedimentares (períodos) identificadas, foi realizada uma ANOVA de dois fatores, considerando um nível de significância de $p < 0,05$. Além disso, foi construída uma matriz de coeficientes de correlação de Spearman ($p < 0,05$) para explorar as relações entre as variáveis investigadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

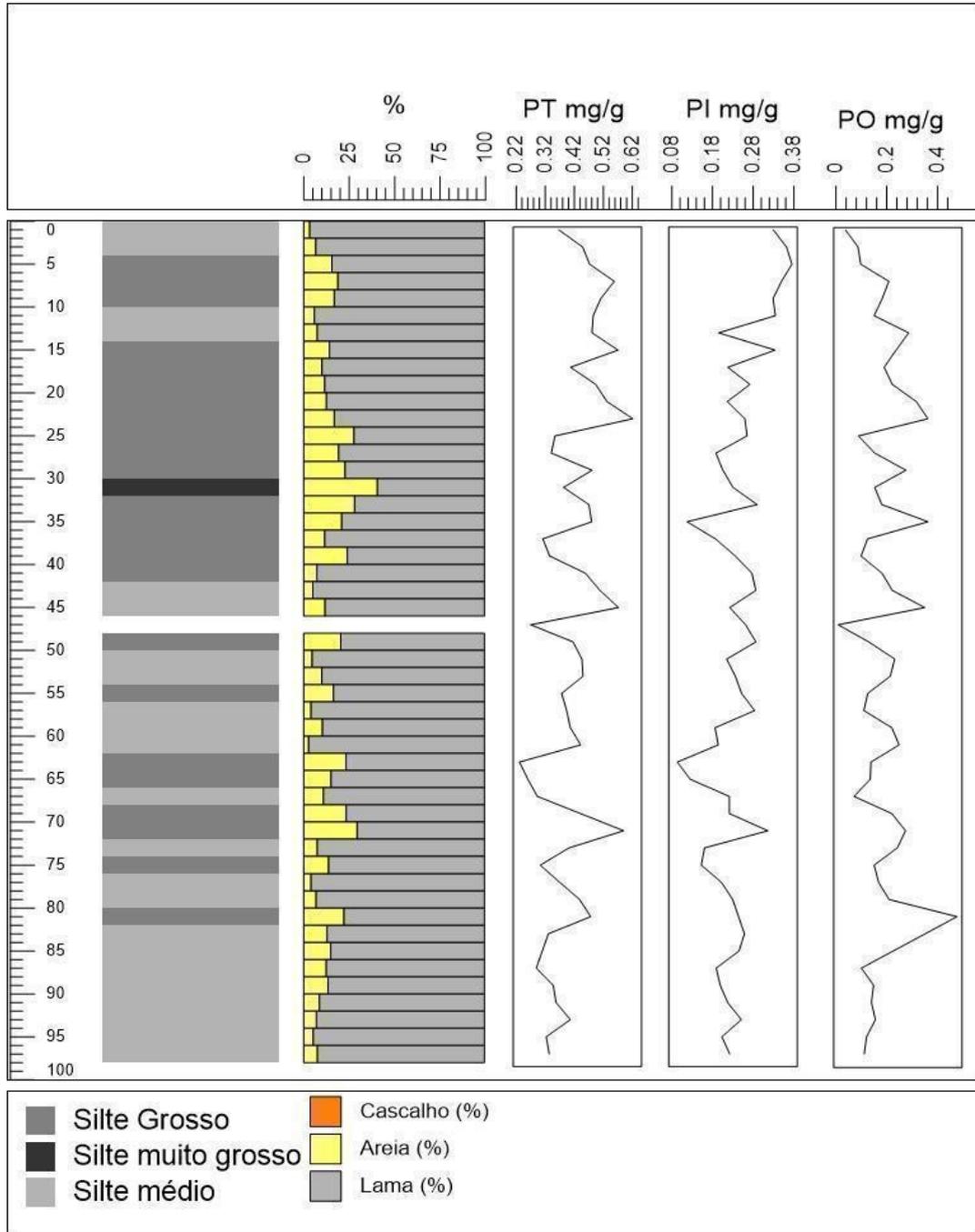
4.1 Granulometria e teores de fósforo

Os resultados granulométricos demonstram que o testemunho sedimentar é predominantemente lamoso, com as frações mais abundantes classificadas como silte médio (0,031 – 0,016 mm) e silte grosso (0,062 – 0,031 mm), formando camadas que se intercalam da base ao topo do testemunho sedimentar. Entre a base e o topo, observam-se pulsos delgados de silte grosso que se intercalam com camadas mais espessas de silte médio. Entre 98 e 82cm de profundidade, detectou-se uma espessa camada de sedimentos na fração de silte médio, o que demonstra tendência de predominância de frações mais finas de sedimentos na base do testemunho. Entre 82 e 50cm de profundidade, observa-se uma sucessão granulométrica que se intercala entre estratos delgados de sedimento na fração silte grosso e silte médio (Figura 5).

Entre 47 e 15cm de profundidade, observa-se o acúmulo de sedimentos na fração silte grosso. Contudo, entre 32 e 30cm de profundidade, observa-se a presença de uma camada de silte muito grosso com uma matriz arenosa apresentando um conteúdo de cerca de 40%. Trata-se da única camada na fração de silte muito grosso recuperada em todo o testemunho sedimentar. A partir desta camada (30-32cm), observa-se a tendência geral de granodecrescência ascendente, o que é indicativo da diminuição da energia hidrodinâmica durante a deposição.

No que se refere aos teores das frações de fósforo, temos para a fração total de fósforo (PT) valores variando entre 0.23 mg/g (62-64 cm) e 0.57 mg/g (14-16 cm), indicando gradual tendência de aumento das concentrações em direção ao topo do testemunho. Os teores de fósforo inorgânico também apresentaram variações ascendentes ao longo do registro sedimentar, variando de 0.18 mg/g (86-88 cm) a 0.37 mg/g (4-6 cm), demonstrando uma tendência de elevação nas concentrações dessa fração ao longo do testemunho em direção ao topo. No que se refere ao fósforo orgânico, observamos variações ascendentes, com os valores sutilmente aumentando em direção ao topo do testemunho. Entretanto, destaca-se que a concentração mais elevada de fósforo orgânico foi recuperada próxima à base do testemunho, atingindo 0.47 mg/g (80-82 cm) (Figura 5).

Figura 5 - Granulometria e teores de Fósforo Total, Inorgânico e Orgânico



Fonte:

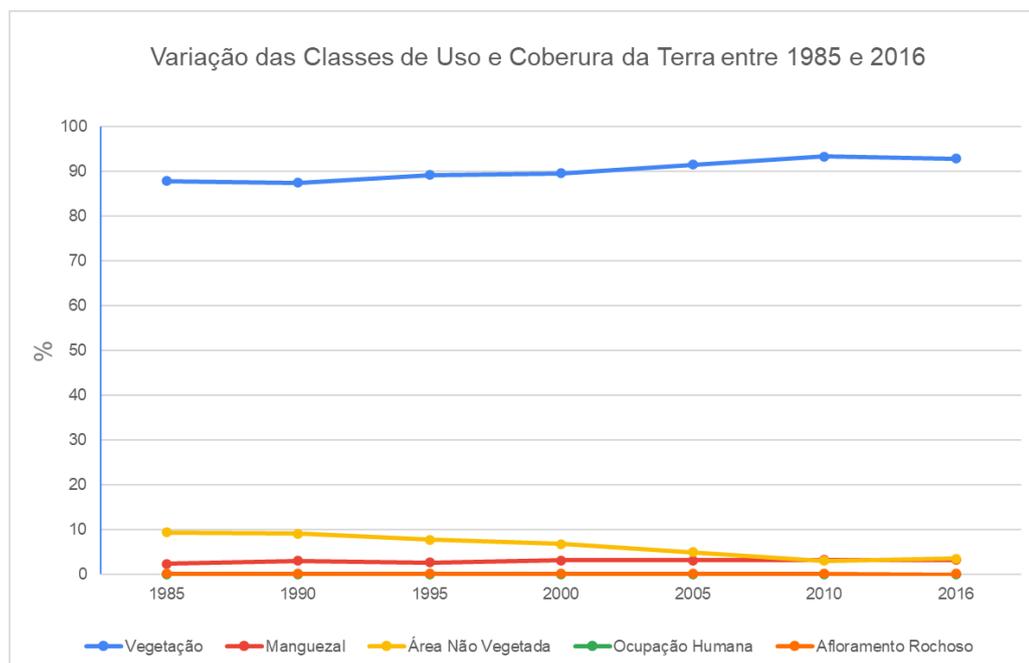
4.2 Uso e cobertura da terra

A análise de uso e cobertura da terra na região do Saco do Mamanguá entre 1985 e 2016 permitiu a determinação de cinco classes principais: vegetação, manguezal, afloramento

rochoso, área não vegetada e ocupação humana (Apêndice 1). A partir de intervalos de cinco anos, essa análise revelou uma tendência de melhora nas condições de preservação e recuperação da vegetação. Entre 1985 e 2010, a área de vegetação apresentou um aumento de 5,48%, enquanto a área não vegetada foi reduzida em cerca de um terço. Esses resultados sugerem um impacto positivo associado à criação da Área de Proteção Ambiental (APA) de Cairuçu em 1983, que tem como objetivo a conservação ambiental da região. No entanto, a tendência positiva foi observada apenas até 2010, quando a área de vegetação começa a diminuir. Paralelamente, a classe manguezal manteve-se estável, apresentando um leve crescimento, enquanto a classe de afloramento rochoso permaneceu praticamente inalterada ao longo de todo o período analisado (Figura 6).

A soma das áreas das classes não vegetada e ocupação humana (Figura 6) foi utilizada para calcular um índice de intervenção humana, que, ao ser interpolado, revelou as dinâmicas de uso do solo na região. Entre 1985 e 2010, a intervenção humana apresentou uma redução de cerca de três vezes, o que sugere um processo de recuperação ambiental e de preservação da vegetação em associação à criação da APA de Cairuçu. Entretanto, a partir de 2010, observa-se uma inversão dessa tendência, com um aumento progressivo no índice de intervenção humana até 2016. Silva (2010) demonstrou que a partir de 2007, ocorreu o ressurgimento do desmatamento em Paraty, bem como o aumento das atividades turísticas no município. Essa transição na cidade potencialmente intensificou as atividades humanas no saco do Mamanguá, potencializando danos ambientais e mudanças no uso e cobertura do solo.

Figura 6 - Classes de Uso e Cobertura da Terra entre 1985 e 2016



4.3 Precipitação

Os dados pluviométricos de 1968 a 2016 da estação Patrimônio, localizada em Paraty, aproximadamente 10 km distante do ponto de coleta do testemunho Saco 09 (Figura 6), foram utilizados. A análise da pluviosidade anual revelou um aumento progressivo entre 1968 e 1986 (de 1.772 mm para 4.147 mm por ano). No período de aproximadamente 1987 a 1993, verificou-se uma tendência de redução considerável na pluviosidade anual (de 3.955 mm para 1.673 mm por ano), possivelmente associada à variabilidade climática interanual, incluindo a influência de eventos de El Niño, bem como padrões de variabilidade decadal (NOAA 2024). De 1994 a 2007, a precipitação anual mostrou uma tendência de aumento, porém com frequentes oscilações (2.579 a 2.187 mm por ano). A partir de 2007 até 2016, observamos novamente uma tendência de redução na pluviosidade anual.

Além da precipitação anual, foram identificados eventos extremos de precipitação diária superiores a 50, 100, 150 e 200 mm. Entre 1968 e 2016, registrou-se uma alta frequência de eventos extremos, principalmente os de precipitação acima de 50 mm por dia, totalizando 483 ocorrências, das quais 192 ocorreram a partir de 1999. Para os eventos acima de 100 mm diários, foram registrados 99 eventos, com 50 ocorrências a partir de 1999. Acima

de 150 mm por dia, registraram-se 40 eventos, sendo 25 após 1999. Houve ainda 10 eventos superiores a 200 mm diários, dos quais 8 ocorreram a partir de 1999. Esses eventos extremos, especialmente os superiores a 150 e 200 mm por dia, tornaram-se mais pronunciados a partir de 1999, atingindo um pico em 2004 com uma precipitação de 396 mm em um único dia.

A herança geológica de Paraty e, de forma mais ampla, da região da Costa Verde, favorece a ocorrência de chuvas intensas, pois a Serra do Mar atua como uma barreira orográfica que força a ascensão do ar úmido, resultando em condensação acentuada (Rabelo 2020). Na bacia de drenagem do Saco do Mamanguá, caracterizada por suas dimensões relativamente pequenas e vertentes íngremes, o impacto dos eventos de precipitação extrema é intensificado. Essas características geomorfológicas tornam a bacia altamente suscetível ao desenvolvimento de processos erosivos, uma vez que o relevo acentuado, associado ao volume de água concentrado, favorece a mobilização de sedimentos e a intensificação de processos erosivos, especialmente em condições de chuvas intensas e concentradas em curtos períodos. Esses processos contribuem para a degradação ambiental e para o aumento de riscos à infraestrutura local e às comunidades adjacentes (Rodrigues et al., 2020)

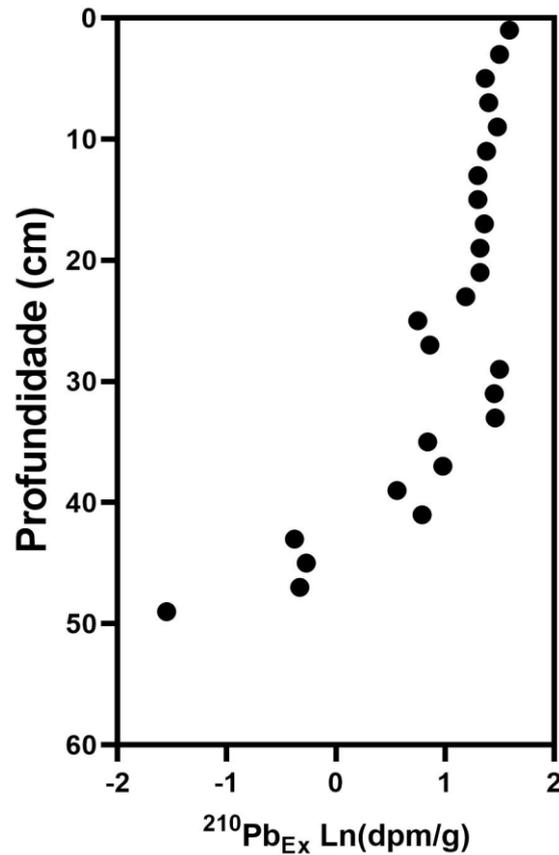
Esses eventos de precipitação extrema têm implicações ambientais e sociais significativas em todo o planeta, incluindo inundações urbanas e rurais, movimentos de massa, erosão, danos à infraestrutura e impactos na agricultura, reforçando a importância de medidas preventivas e adaptativas para mitigar seus efeitos (Sena et al., 2017).

4.4 Razões Elementares e Acumulação de Fósforo

A datação por ^{210}Pb permitiu recuperar idades até aproximadamente o ano de 1888 em 50 cm de sedimento. Para este estudo, foi utilizado o modelo de idade CRS (*Constant Rate of Supply*) para o cálculo das taxas de acumulação sedimentar, que, conforme o modelo, variam ao longo do perfil sedimentar. O ^{210}Pb em excesso (Figura 7) está frequentemente associado ao material particulado mais fino (silte e argila), o que o torna uma ferramenta valiosa na reconstrução da evolução da dinâmica sedimentar, uma vez que grande parte dos materiais potencialmente poluentes também pode se associar a essas frações mais finas (Conrad et al., 2007). Com base nos padrões de acumulação de sedimentos, fósforo e razões elementares, foram agrupadas quatro fases de desenvolvimento ambiental: 1888 a 1956, 1956 a 1986, 1986 a 2007 e 2007 a 2016. Essas fases foram utilizadas para propor uma interpretação integrada

dos indicadores ambientais, comparando o comportamento sedimentar em resposta à evolução da bacia de drenagem e às intervenções antrópicas.

Figura 7 - Perfil de Pb em excesso utilizado no modelo de idade CRS do testemunho Saco 09



4.4.1 Primeira fase sedimentar (1888 a 1956)

Durante a primeira fase sedimentar (1888 a 1956), observou-se uma relativa estabilidade nas variáveis geoquímicas. A taxa de acumulação sedimentar e granulometria mantiveram-se relativamente estáveis até 1956, sugerindo um ambiente de baixa energia. Da mesma forma, as razões elementares de Ti/Ca, Fe/Ca, K/Ca apresentaram comportamento semelhante em suas variações (Figura 8). Entre o início do século XX e meados da década de 1930, essas razões mostraram um sutil aumento, atingindo seus valores máximos por volta de 1910, seguido de uma queda gradual até a década de 1930. Essa estabilidade nas razões elementares se manteve até o final da primeira fase sedimentar.

Apesar dessa aparente estabilidade, os resultados apontam para uma tendência de aumento de aportes terrígenos nos sedimentos, como indicado pelas razões elementares que envolvem Fe, Ti e K em relação ao Ca. Esse padrão sugere um ambiente de deposição influenciado pela dinâmica de erosão e transporte de material das áreas adjacentes, refletindo uma relação próxima com o uso da terra e as características da bacia hidrográfica (Jennerjahn, 2012; Liu et al., 2019). As atividades agrícolas no Saco do Mamanguá ocorreram principalmente durante o período colonial e se estenderam até meados do século XX, sendo gradativamente reduzidas devido ao êxodo rural, à dificuldade de acesso e às mudanças econômicas na região. A partir das décadas de 1950 e 1960, iniciou-se um processo de valorização do turismo e da conservação ambiental (Diegues & Nogara, 1999).

No contexto de uma análise global, essa fase de estabilidade local, marcada por baixos níveis de perturbação, contrasta fortemente com os padrões observados em muitas regiões costeiras do mundo, que enfrentaram intensificação de pressões antrópicas já no início do século XX (Amora-Nogueira et al., 2023; Borges et al., 2009; Liu et al., 2019; Liu et al., 2024). Esse fenômeno ressalta a importância de áreas como o Saco do Mamanguá como referenciais para o entendimento de mudanças ambientais em tempos de crescentes impactos globais, como a expansão da agricultura, a urbanização e o aumento dos eventos climáticos extremos relacionados às mudanças climáticas (Austin et al., 2020). O estudo de ambientes costeiros conservados oferece uma visão mais clara sobre como os sistemas naturais respondem e se adaptam às alterações climáticas e antrópicas, fornecendo dados valiosos para a gestão ambiental e para a preservação de ecossistemas sensíveis ao redor do mundo (Häder et al., 2020).

Ainda na primeira fase sedimentar (1888 a 1956), a razão Fe/K, utilizada como indicativo de intemperismo nos sedimentos, apresentou um ligeiro aumento entre as décadas de 1930 e 1940, sugerindo um maior aporte de sedimentos terrígenos para o ambiente costeiro. Em contrapartida, a razão K/Rb, que também indica o grau de intemperismo, permaneceu estável durante o mesmo período. Esse comportamento pode ser explicado pela similaridade química entre o Rb e o K, que permite ao Rb substituir o K em estruturas minerais como micas e feldspatos potássicos. Além disso, os sais de Rb são altamente solúveis em águas naturais, sendo adsorvidos por argilominerais. O Rb, uma vez adsorvido, pode tornar-se fixo nas estruturas cristalinas dos argilominerais, substituindo o K, como descrito por Mizusaki (1992).

Durante a mesma fase, a acumulação das frações de fósforo total (PT), fósforo inorgânico (PI) e fósforo orgânico (PO) também manteve uma relativa estabilidade. No

entanto, observou-se uma leve tendência de maior acúmulo de fósforo entre o final do século XIX e os primeiros 15 anos do século XX, com as maiores taxas de acumulação ocorrendo por volta de 1908. Esse padrão acompanha as variações nas razões elementares que envolvem Fe, Ti e K, sugerindo um aporte terrígeno concomitante. Devido à sua alta reatividade, o fósforo tende a se adsorver a oxi-hidróxidos de ferro, formando compostos de baixa solubilidade que acabam sendo depositados nos sedimentos (Berner & Rao, 1994; Hu et al., 2022; Ruttenberg, 1992). Esse processo pode levar à formação de minerais autigênicos, como hematita e goetita, através de processos diagenéticos (Jun et al., 2008). A presença dessas frações de fósforo associadas a oxi-hidróxidos de ferro é comum em solos de zonas tropicais (Protazio et al., 2004). Ainda, verificamos uma diminuição na proporção de sedimentos mais grossos, o que favorece a acumulação de fósforo. Sedimentos lamosos têm maior capacidade de reter o fósforo de forma mais eficaz, como observado por Ruttenberg (2014). A presença de sedimentos finos associados à maior retenção de fósforo é um padrão típico em ambientes tropicais preservados, que ainda apresentam condições naturais favoráveis para a ciclagem e a retenção de nutrientes (Zambrano, 2021).

Essas dinâmicas de acumulação de fósforo e intemperismo refletem não apenas o comportamento local do sistema sedimentar, mas também têm implicações globais. O fósforo é um elemento essencial na fertilidade dos solos e na produtividade primária dos ecossistemas, e seu ciclo tem sido amplamente impactado pela ação humana, particularmente em áreas costeiras (Santos, 2023).

4.4.2 Segunda fase sedimentar (1956 a 1986)

A década de 1970 foi marcada por significativas transformações socioeconômicas em Paraty, principalmente com a construção do trecho da rodovia BR-101, que liga o Rio de Janeiro a Santos (Garcia & Dedecca, 2012). O fim do isolamento geográfico impulsionou o crescimento demográfico e a especulação imobiliária na região. Na segunda fase sedimentar (1956 a 1986), os dados de precipitação entre 1968 e 1986 indicam um aumento progressivo do acumulado anual de chuva (Figura 8), concomitante ao aumento gradual da taxa de acumulação sedimentar (TAS) e das razões elementares de Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca, que atingiram seus valores máximos por volta de 1986. Da mesma forma, as frações de PT, PI e PO demonstraram uma tendência de crescimento a partir desse período, com acúmulo

máximo entre 1980 e 1986. Esse período também foi marcado por eventos extremos de chuva, especialmente aqueles acima de 50 e 100 mm por dia.

A combinação dos eventos de precipitação corrobora o comportamento observado, sugerindo maiores aportes de material continental, com máximos anuais registrados em ~1986. Esse processo é confirmado pelo aumento da razão Fe/K, que indica intemperismo sedimentar (Borba 2003). Por volta de ~1971, observou-se uma maior concentração da fração areia no testemunho, em associação a um aumento na frequência de eventos de precipitação extrema acima de 100 e 150 mm por dia. Esses eventos extremos podem desencadear processos erosivos na bacia de drenagem que podem impactar os processos sedimentares por anos (Xu et al., 2021). Os resultados aqui observados, associam-se ao crescimento populacional e aumento do desmatamento em todo o município de Paraty a partir de 1970 (Silva, 2010), sugerindo a significativa influência dos níveis de precipitação sobre as dinâmicas sedimentares na região do Saco do Mamanguá até o final da segunda fase, o que promoveu alterações tanto no meio físico quanto no social (Figura 8).

4.4.3 Terceira fase sedimentar (1986 a 2007)

Antes do início da terceira fase, a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) de Cairuçu, em 1983, estabeleceu zonas de preservação, incluindo a área de estudo no Saco do Mamanguá. Dados de uso e cobertura da terra apontam para uma redução progressiva das intervenções humanas na bacia de drenagem ao longo dessa fase, o que sugere a eficácia da APA de Cairuçu em promover a conservação ambiental na região (Figura 8). No testemunho Saco 09, a terceira fase sedimentar (1986–2007) foi caracterizada por mudanças significativas nas variáveis geoquímicas, com uma redução nas razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca, indicando um aumento da influência marinha nos sedimentos (Ribeiro & Freire 2019) ao longo desse período. Essa mudança pode estar associada a uma queda nos índices de precipitação anual no início da fase sedimentar, especialmente entre ~1987 e ~1993, quando há evidências de um período de El Niño (NOAA 2024), marcado pelos menores valores de Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca.

A partir de 1993, com uma precipitação anual de 1673 mm, observa-se uma tendência de aumento das chuvas até o final da fase em 2007 (2187 mm), embora com flutuações consideráveis, o que também pode ter resultado nas pequenas variações observadas nas razões

de Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca. As taxas de TAS, assim como as taxas de PT, PI e PO, indicaram uma desaceleração durante a terceira fase (1986–2007). Houve também uma redução no tamanho médio dos grãos, evidenciando uma granodecrescência ascendente. Esses padrões sugerem que a diminuição da precipitação anual, aliada à redução de eventos de precipitação extrema (acima de 50, 100 e 150 mm), em comparação com a fase anterior (1956–1986), e a redução progressiva da intervenção humana e consequente recuperação da bacia de drenagem após a criação da APA de Cairuçu, contribuíram para o aumento da assinatura marinha nos sedimentos.

Entre 1989 e 1998, nenhum evento de precipitação extrema acima de 150 mm por dia foi registrado. No entanto, entre 1999 e 2007, foram registrados 14 eventos extremos acima de 150 mm por dia e três acima de 200 mm por dia. Esse aumento de eventos extremos coincide com uma inflexão sutil nas variáveis geoquímicas e elementares a partir de 1999, culminando em 2004, quando um evento extremo de precipitação de 396 mm em um único dia causou um aumento no conteúdo de areia, até então em tendência oposta, e pode ter desencadeado processos erosivos que persistiram até o final do período em 2007 (Figura 8).

4.4.4 Quarta fase sedimentar (2007–2016)

Na quarta fase sedimentar (2007–2016), observou-se um aumento abrupto na TAS e nas razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca, indicando um acréscimo no aporte de sedimentos terrígenos. Esse fenômeno coincide com o aumento nos eventos extremos de precipitação (Figura 8), acompanhado por um incremento do desmatamento e da pressão turística na região (Silva 2010), sugerindo que esses fatores intensificaram os processos erosivos e afetaram diretamente a dinâmica sedimentar e geoquímica no Saco do Mamanguá. A remobilização de sedimentos e o aporte de materiais oriundos de processos erosivos refletem a vulnerabilidade do ecossistema frente aos eventos climáticos extremos, bem como às atividades turísticas descontroladas. Esses processos podem impactar a qualidade das águas costeiras, induzir mudanças no estado trófico e promover alterações nas estruturas sedimentares, como ressuspensão e acumulação de sedimentos (Wetz & Yoskowitz, 2013). Embora os dados de precipitação anual indiquem uma tendência de redução entre 2007 e 2016, observou-se um aumento consistente nos eventos extremos de precipitação. A partir de

2007, registraram-se 115 eventos de precipitação acima de 50 mm por dia, 25 acima de 100 mm, 13 acima de 150 mm e 5 acima de 200 mm por dia.

Esses eventos refletem-se em mudanças significativas no registro sedimentar, corroborando a influência dos eventos climáticos extremos sobre as dinâmicas sedimentares. A TAS apresentou um aumento acelerado a partir de 2007 (4,57 a mais de 12,8 mm por dia). Paralelamente, as razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca também aumentaram, indicando o predomínio de material de origem continental. No mesmo período, as taxas de acumulação das frações de fósforo registraram elevações expressivas, alcançando picos em torno de ~2011 e ~2013, em consonância com a maior frequência dos eventos extremos de precipitação (Figura 8). Estudos indicam um aumento na incidência de eventos climáticos extremos em regiões costeiras, fenômeno amplamente associado às mudanças climáticas em curso, cujos efeitos são intensificados pelas atividades humanas realizadas diretamente nos ecossistemas costeiros e suas bacias hidrográficas associadas (Behera, 2024). As consequências cumulativas dessas perturbações incluem alterações estruturais nos ecossistemas, que podem ser registradas nos compartimentos sedimentares (Samantray & Gouda, 2024).

As variações climáticas, e particularmente os eventos climáticos extremos, influenciam diretamente a quantidade e o tipo de material (nutrientes e matéria orgânica) transportado para os ambientes costeiros. Um estudo realizado por Paerl et al. (2018) em ecossistemas costeiros da Carolina do Norte (EUA) identificou uma correlação positiva entre mudanças geoquímicas no registro sedimentar e eventos extremos de precipitação, que têm o potencial de induzir mudanças ecossistêmicas severas. Os resultados indicam que, durante esses eventos, há um aumento substancial no volume de sedimentos e no fluxo de fósforo e outros nutrientes para as áreas costeiras. Esse incremento de nutrientes na coluna d'água intensifica o consumo de oxigênio, que pode gerar processos de hipoxia e anoxia, além de contribuir para a liberação de gases de efeito estufa.

De forma semelhante, Han et al. (2023) examinaram uma baía na China e encontraram uma correlação positiva entre eventos extremos de precipitação e o aumento na concentração de nutrientes e sedimentos de origem continental. Durante esses eventos, o fluxo de fósforo na baía aumentou em cerca de 2,14 vezes, promovendo uma elevação na produtividade na coluna d'água e, potencialmente, processos de eutrofização. Os autores sugerem que esses processos podem se intensificar com a crescente frequência dos eventos climáticos extremos. Neste mesmo contexto, um estudo produzido por Xiao et al., 2024 na baía de Jiaozhou na China, apontou relações positivas entre eventos de precipitação extrema e mudanças biogeoquímicas nos sedimentos costeiros. O impacto destes eventos nas dinâmicas dos nutrientes foi

observado levando em consideração a ação dos fatores físicos (erosão) e biológicos (metabolismo aquático). Os resultados indicaram que os processos físicos (erosão de materiais continentais em direção aos ecossistemas costeiros) aumentaram a proporção de nutrientes na costa, podendo causar eutrofização. Por outro lado, os fatores biológicos (e.g., produtividade primária) tendem a limitar a disponibilidade de nutrientes no meio. O que demonstra relação com eventos extremos e as mudanças climáticas que atingem as regiões costeiras alterando fluxos de materiais e processos biogeoquímicos, causando impactos em diversas escalas.

No Saco do Mamanguá, embora haja variações importantes nas frações de fósforo ao longo do testemunho sedimentar, o ambiente permanece relativamente conservado. De acordo com Oliveira (2022), a avaliação dos índices de estado trófico classifica o Saco do Mamanguá como oligotrófico e não poluído, segundo os índices TRIX e O'Boyle. No entanto, considerando as tendências globais (mudanças climáticas) e regionais (aumento do turismo, modificações no uso e cobertura do solo, urbanização), há condições para um agravamento dos impactos ambientais na região.

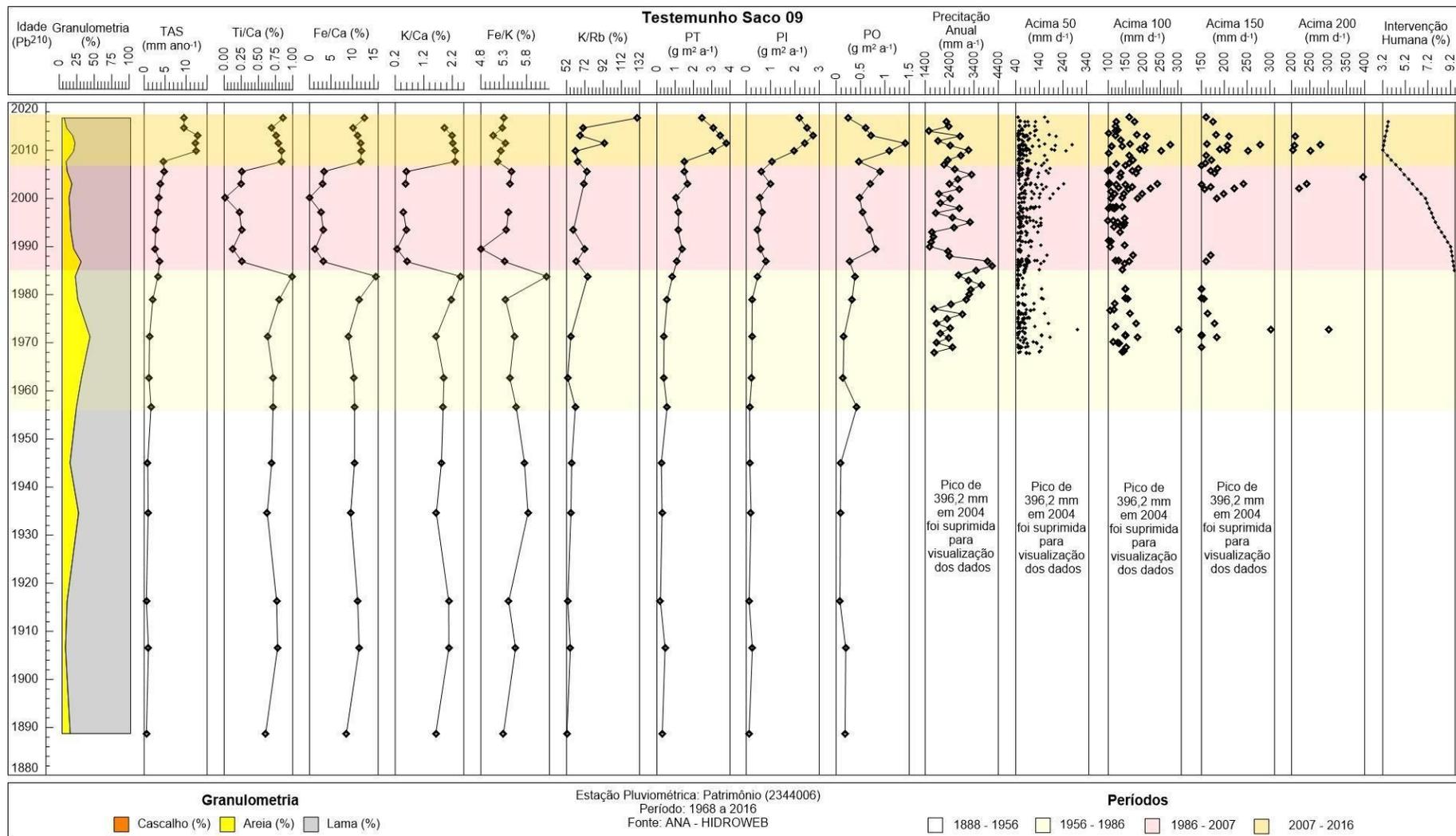
Estudos recentes apontam crescente nível de contaminação e degradação ambiental em ambientes adjacentes ao Saco do Mamanguá, caso da Baía de Sepetiba que apresentou extensivo grau de enriquecimento de nutrientes e sedimentos nas últimas décadas (Araújo et al., 2017a, 2017b). A Baía de Sepetiba apresentou grande desenvolvimento urbano e industrial na sua bacia de drenagem nos últimos decênios, estas modificações de uso da terra têm provocado impactos significativos nos ciclos biogeoquímicos e sedimentares levando a processos de eutrofização neste ecossistema costeiro (Castelo et al., 2021).

Neste mesmo contexto, a Baía da Ilha Grande também tem apresentado crescentes impactos devido às atividades humanas. Embora em menor grau, se comparada a Baía de Sepetiba, pode-se observar alterações ecossistêmicas na região da Baía da Ilha Grande no decorrer das últimas décadas, principalmente nas regiões mais próximas aos centros urbanos, como a baía de Paraty (Abril et al., 2022). O número crescente de atividades econômicas na região traz riscos à integridade ambiental do ecossistema (Araújo; Oliveira, 1988; Villardi, 2017). Adicionalmente, neste mesmo cenário, a Baía de Guanabara também se apresenta como exemplo. O ecossistema passou por mudanças significativas no último século devido ao desenvolvimento urbano e industrial na sua bacia hidrográfica. Os altos índices de matéria orgânica e poluentes provenientes de atividades humanas, têm causado eutrofização, acumulação de nutrientes no registro sedimentar, além de propiciar a emissão de gases agravadores do efeito estufa (Baptista Filho et al., 2019).

Esses dados sublinham a importância de estratégias de gestão ambiental mais incisivas, visando mitigar os impactos e proteger os serviços ecossistêmicos essenciais de áreas como o Saco do Mamanguá. Em um cenário de mudanças globais, fatores como o aumento de eventos extremos de chuva, além do turismo em massa e a ocupação desordenada em áreas sensíveis, como zonas costeiras e unidades de conservação, levantam questões críticas sobre sustentabilidade, conservação da biodiversidade e resiliência climática. As transformações observadas no Saco do Mamanguá representam um microcosmo dos desafios globais enfrentados por regiões de alta relevância ecológica, que sofrem com os impactos das atividades humanas em ritmo acelerado.

O aumento das temperaturas médias dos oceanos acarretará a intensificação de episódios extremos de chuvas nas regiões costeiras (Kang e Elsner, 2015; Kossin et al., 2014). Ambientes costeiros preservados podem atenuar a energia das ondas, estabilizar as linhas costeiras, além de diminuir a erosão dos solos promovendo maior estabilização dos sedimentos nas bacias hidrográficas (Shepard et al., 2011). Neste contexto, estes ambientes podem agir como barreiras naturais aos eventos climáticos extremos, reduzindo riscos e aumentando a resiliência ecossistêmica (Duarte et al., 2013).

Figura 8 - Granulometria, taxa de acumulação sedimentar (TAS), Razões Elementares de XRF, tas de acumulação de Fósforo Total (PT), Fósforo Inorgânico (PI) e Fósforo Orgânico (PO) no testemunho Saco 09 e dados de precipitação anual, precipitação extrema acima de 50, 100, 150 e 200 mm por dia na estação “Patrimônio” e dados de uso e cobertura da terra



4.5 Comparação entre as quatro fases sedimentares

Ao compararmos as quatro fases sedimentares (1888-1956; 1956-1986; 1986-2007; 2007-2016), observamos diferenças significativas (Figura 9). Houve um aumento progressivo na acumulação de TAS e PT, que cresceram 11 e 9 vezes, respectivamente, entre a primeira e a quarta fase (1888-1956 e 1956-1986). As frações de PI e PO não apresentaram diferenças significativas entre a primeira e a segunda fase, mas registraram aumentos expressivos de 5 e 3 vezes, respectivamente, entre a segunda e a quarta fase (1956-1986 e 2007-2016). A TAS mostrou uma aceleração moderada ao longo do tempo, com maior intensidade a partir da quarta fase (~2007), refletindo diretamente na acumulação das frações de fósforo (Figuras 8 e 9). As razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca exibiram similaridade estatística, indicando um aporte predominante de materiais de origem continental durante as fases iniciais. Na terceira fase, observou-se um predomínio na acumulação de materiais de origem marinha, seguido, na quarta fase, por um aumento acentuado do aporte continental. O acumulado de precipitação anual apresentou um decréscimo médio progressivo ao longo das fases, sem diferenças significativas entre a segunda e a terceira fase (1956-1986 e 1986-2007), mas com uma redução marcante entre a terceira e a quarta fase (1986-2007 e 2007-2016). O contraste observado entre os dados de TAS, formas de fósforo e razões elementares com os dados de precipitação anual são corroborados pela correlação de Spearman ($P > 0.05$) (Apêndice 2).

A partir da terceira fase sedimentar (1986-2007), observa-se uma mudança significativa na acumulação de TAS, PT, PI e PO, indicativa de alterações nas condições ambientais (Figura 9). A redução das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca e K/Ca sugere uma possível mudança na origem do aporte sedimentar, com maior influência marinha. Esses padrões podem ser associados a fatores como a diminuição nos níveis de precipitação anual e na redução da ocorrência de eventos extremos de chuva superiores a 150 mm, possivelmente relacionados a um evento de El Niño em ~1987. Além disso, a criação da APA de Cairuçu em 1983, com o estabelecimento de zonas de preservação, contribuiu para uma redução progressiva das intervenções humanas no Saco do Mamanguá, promovendo condições de maior proteção ambiental.

Na quarta fase sedimentar (2007-2016), ocorre um retorno de tendências ascendentes na acumulação de sedimentos e fósforo, enquanto as razões elementares indicam novamente um aumento do aporte continental. Esse período coincide com o aumento de eventos extremos

de chuva, especialmente após 2007, além do crescimento das intervenções humanas na bacia hidrográfica e da intensificação da pressão turística na região do Mamanguá.

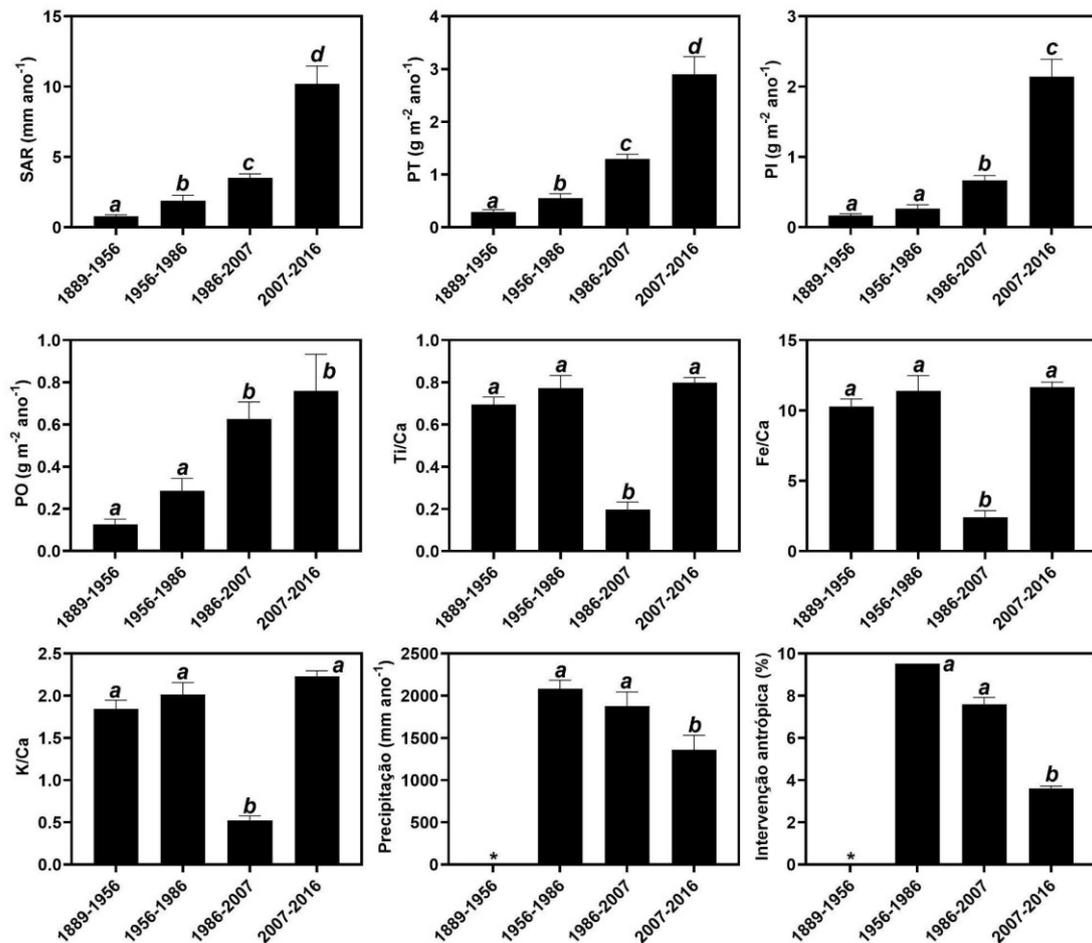
A análise do coeficiente de correlação de Spearman ($P > 0.05$) revelou uma relação entre as razões elementares de Ti/Ca, Fe/Ca, K/Ca, a TAS e o PI ao longo das quatro fases sedimentares (Apêndice 1). Essa correlação destaca a influência direta da produção sedimentar na bacia de drenagem sobre o material depositado no testemunho Saco 09, evidenciando a conexão dinâmica entre os processos de erosão e deposição. A associação positiva entre essas variáveis sugere que os aportes sedimentares de origem continental, especialmente aqueles ricos em minerais como titânio, ferro e potássio, estão intimamente ligados aos padrões de acumulação de fósforo inorgânico e à taxa geral de acumulação sedimentar. Esses elementos, frequentemente associados a solos argilosos e silte, indicam que as alterações nas condições da bacia, como desmatamento, agricultura ou eventos climáticos extremos, desempenham papel substancial na composição química e sedimentológica dos depósitos no ambiente costeiro. Essa correlação também reforça a ideia de que as mudanças nas fases sedimentares refletem tanto as condições ambientais quanto as interferências antrópicas na bacia de drenagem, especialmente em um contexto de transição entre períodos de maior e menor influência humana. No caso do Saco do Mamanguá, a redução das intervenções antrópicas e o aumento das áreas protegidas podem ter promovido a recuperação parcial dos fluxos sedimentares naturais. Contudo, a quarta fase sedimentar (2007-2016), com seu aumento nas taxas de acumulação e material de origem continental, aponta para novos desafios associados a eventos extremos e à pressão turística crescente.

As quatro fases sedimentares revelam uma importante relação entre os fatores locais e globais: a interação entre as consequências das mudanças climáticas e as ações humanas como vetores de intensificação dos danos aos ecossistemas costeiros e às comunidades humanas dependentes deles. Nas regiões tropicais, as mudanças climáticas têm intensificado eventos extremos, como chuvas intensas, que impactam negativamente a resiliência dos ecossistemas (Alfredini et al., 2014; Cai et al., 2014; Carvalho, 2023; Cunha et al., 2019; Forzieri et al., 2022; Yaduvanshi et al., 2017). Estudos recentes confirmam o aumento na frequência de eventos extremos de precipitação nas regiões tropicais, associado às mudanças climáticas. Em áreas costeiras, esses eventos exacerbam alterações ecossistêmicas, comprometendo a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais (Fong et al., 2020).

O comprometimento dos serviços ecossistêmicos é uma das principais consequências das ações humanas no contexto das mudanças globais (Atarxo, 2022). Nesse sentido, ambientes relativamente preservados, como o Saco do Mamanguá, desempenham um papel

fundamental como modelos de referência para compreendermos os processos naturais e os impactos das pressões antrópicas e climáticas. Esses ambientes fornecem dados relevantes para a formulação de estratégias integradas que conciliem a conservação da biodiversidade, promovendo metas de preservação local que contribuam para a redução dos efeitos deletérios em escalas regionais e globais.

Figura 9 - Comparação estatística entre as principais variáveis



CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados foram fundamentais na compreensão das dinâmicas sedimentares e geoquímicas em áreas costeiras. A conservação de ambientes costeiros preservados, como o Saco do Mamanguá, não apenas permite o monitoramento e a compreensão dos impactos das mudanças climáticas e das atividades humanas, mas também oferece uma base para o desenvolvimento de políticas ambientais sustentáveis voltadas para regiões tropicais. As tendências observadas ao longo das últimas décadas evidenciaram a interação de escalas locais, regionais e globais. No nível regional, as atividades humanas, como alterações no uso da terra, criação de área de preservação ambiental, turismo e intervenções diretas na bacia hidrográfica, impactaram significativamente os processos de mobilização de sedimentos e nutrientes. No nível global, os efeitos das mudanças climáticas, como a intensificação de eventos extremos de precipitação, alteraram consideravelmente os fluxos de materiais e os padrões de acumulação na área. Essas mudanças, particularmente acentuadas após 2007, apontam para o crescente desafio de conciliarmos desenvolvimento humano e preservação ambiental.

A condição conservada do Saco do Mamanguá oferece uma oportunidade científica significativa nas respostas locais às mudanças climáticas globais, que pode auxiliar no desenvolvimento de estudos em outros sistemas costeiros. Nossos resultados indicam modificações importantes nos fluxos de sedimentos e nutrientes ao longo do tempo, impulsionadas tanto por fatores naturais quanto por atividades humanas, o que ressaltam a urgência de integrarmos ações de conservação e redução de impactos antrópicos frente as mudanças climáticas. Assim, este trabalho reforça a necessidade de protegermos ambientes costeiros como o Saco do Mamanguá, não apenas como estratégias de conservação, mas também como laboratórios naturais para a formulação de políticas públicas e ações locais capazes de contribuir para a resiliência de ecossistemas e comunidades em escalas regionais e globais.

REFERÊNCIAS

- ABRIL G, FRANKIGNOULLE M (2001) Nitrogen – Alkalinity Interactions In The Highly Polluted Scheldt Basin 665 (Belgium). *Water Res* 35: 844–850. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00310-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00310-9)
- ABRIL, G., COTOVICZ JR, L. C., NEPOMUCENO, A., ERBAS, T., COSTA, S., RAMOS, V. V., ... & VANTREPOTTE, V. (2022). Spreading Eutrophication And Changing CO2 Fluxes In The Tropical Coastal Ocean: A Few Lessons From Rio De Janeiro. *ACMAR*, 55(Especial), 461-476.
- ABUCHACRA, P. F. F. Reconstituição Ambiental Da Planície Costeira Do Nordeste Da Baía De Guanabara (RJ) A Partir Do Holoceno Médio E Novas Contribuições Ao Debate Do Antropoceno. Niterói: [S.N], 2018. 216f. Tese (Doutorado Em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2018.
- ALLER R.C. (2014) Sedimentary Diagenesis, Depositional Environments, And Benthic Fluxes. In: Holland H. D. And Turekian K.K. (Eds.) *Treatise On Geochemistry*, Second Edition, Vol. 8, Pp. 293-334. Oxford: Elsevier.
- ALLÈGRE, C.J. *Isotope Geology*. Cambridge University Press, 2008. 534p.
- ALFREDINI, P., ARASAKI, E., PEZZOLI, A., ARCORACE, M., CRISTOFORI, E. & SOUSA JR, W. C. DE. Exposure Of Santos Harbor Metropolitan Area (Brazil) To Wave And Storm Surge Climate Changes. *Water Qual Expo Health*, V. 6, P. 73–88, 2014. <https://doi.org/10.1007/S12403-014-0109-7>.
- ALTIERI, ANDREW H.; DIAZ, ROBERT J. Dead Zones: Oxygen Depletion In Coastal Ecosystems. In: *World Seas: An Environmental Evaluation*. Academic Press, 2019. P. 453-473.
- ALVES, LEANDRO. "The Eutrophication Process In The Lagoon Systems Of Eastern Rio De Janeiro Investigated Through The Analysis Of Sedimentary Phosphorus And Historic Of Basin Occupation." *Regional Studies In Marine Science* 71 (2024): 103394.
- AMORA-NOGUEIRA, L., SANDERS, C. J., ENRICH-PRAST, A., SANDERS, L. S. M., ABUCHACRA, R. C., MOREIRA-TURCQ, P. F., ... & MAROTTA, H. (2022). Tropical Forests As Drivers Of Lake Carbon Burial. *Nature Communications*, 13(1), 4051.
- AMORA-NOGUEIRA, L., SMOAK, J. M., ABUCHACRA, R. C., CARVALHO, C., RIBEIRO, F. C., MARTINS, K. C., ... & MAROTTA, H. (2023). Linking Centennial Scale Anthropogenic Changes And Sedimentary Records As Lessons For Urban Coastal Management. *Science Of The Total Environment*, 902, 165620.
- AMORIM, M. A. Origem E Dinâmica Da Deposição Dos Sedimentos Superficiais Na Várzea Do Lago Grande De Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, V. 39, P. 165-172, 2009.
- AMBRÓSIO JÚNIOR, O., TEIXEIRA, C., MIRANDA, L.B., FURTADO, V.V., 1991.

Condições Oceanográficas Do Saco Do Mamanguá. Simpósio Sobre Oceanografia. Instituto Oceanográfico, Universidade De São Paulo, São Paulo, 1991, 99 Pp.

ANDERSON, N. J. Lake Eutrophication And Its Implications For Organic Carbon Sequestration In Europe. *Global Change Biology*, 2014.

ANDRADE, D. C., & ROMEIRO, A. R. (2009). Serviços Ecossistêmicos E Sua Importância Para O Sistema Econômico E O Bem-Estar Humano. *Texto Para Discussão. IE/UNICAMP*, 155, 1-43.

ANDREWS, JULIAN & JICKELLS, T.D. & ADAMS, CHRISTOPHER & PARKES, D.J. & KELLY, SIMON. (2011). Sediment Record And Storage Of Organic Carbon And The Nutrient Elements (N, P, And Si) In Estuaries And Near-Coastal Seas. *Treatise On Estuarine And Coastal Science*. 4. 9-38. 10.1016/B978-0-12-374711-2.00402-2.

ANGELI, JOSÉ & RUBIO, BELÉN & KIM, BIANCA SUNG MI & FERREIRA, PAULO & SIEGLE, EDUARDO & FIGUEIRA, RUBENS. (2019). Environmental Changes Reflected By Sedimentary Geochemistry For The Last One Hundred Years Of A Tropical Estuary. *Journal Of Marine Systems*. 189. 36 - 49. 10.1016/J.Jmarsys.2018.09.004.

ANGELI, J. L. F.; RUBIO, B.; KIM, B. S. M.; FERREIRA, P. A. L.; SIEGLE E.; FERREIRA, R. C. L. Environmental Changes Reflected By Sedimentary Geochemistry For The Last One Hundred Years Of A Tropical Estuary. *Journal Of Marine Systems*, V. 189, P. 36–49, 2019.

ARAÚJO, D. S. D.; OLIVEIRA, R. R. Reserva Biológica Estadual Da Praia Do Sul (Ilha Grande, Estado Do Rio De Janeiro): Lista Preliminar Da Flora. *Acta Botanica Brasilica*, V. 1, N. 2, P. 83-94, 1988.

ARAÚJO, D.F., PERES, L.G.M., YEPEZ, S., MULHOLLAND, D.S., MACHADO, W., TONHÁ, M., & GARNIER, J. (2017A). Assessing Man-Induced Environmental Changes In The Sepetiba Bay (Southeastern Brazil) With Geochemical And Satellite Data. *Comptes Rendus Geoscience*, 349, 290–298. <https://doi.org/10.1016/J.Crte.2017.09.007>.

ARAÚJO, D.F., BOAVENTURA, G.R., MACHADO, W., VIERS, J., WEISS, D., PATCHINEELAM, S.R., RUIZ, I., RODRIGUES, A.P.C., BABINSKI, M., & DANTAS, E. (2017b). Tracing Of Anthropogenic Zinc Sources In Coastal Environments Using Stable Isotope Composition. *Chemical Geology*, 449, 226–235. <https://doi.org/10.1016/J.Chemgeo.2016.12.004>.

ARGERICH A, JOHNSON SL, SEBESTYEN SD, RHOADES CC, GREATHOUSE E, KNOEPP JD, ADAMS MB, LIKENS GE, CAMPBELL JL, MCDOWELL WH, SCATENA FN, ICE GG (2013) Trends In Stream Nitrogen Concentrations For Forested Reference Catchments Across The USA. *Environ Res Lett* 8(1):014039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014039>

ARNDT, S., JØRGENSEN, B. B., LAROWE, D. E., MIDDELBURG, J. J., PANCOST, R. D., AND REGNIER, P. (2013). Quantifying The Degradation Of Organic Matter In Marine Sediments: A Review And Synthesis. *Earth-Science Reviews* 123, 53– 86. Doi: 10.1016/J.Earscirev.2013.02.008.

ARNETH, A. Framing And Context. In *Climate Change And Land: An IPCC Special Report On Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, And Greenhouse Gas Fluxes In Terrestrial Ecosystems* (Eds. Shukla, P. R. Et Al.) Ch. 1 (IPCC, 2019).

ASMALA, E., CARSTENSEN, J., CONLEY, D. J., SLOMP, C. P., STADMARK, J., AND VOSS, M. (2017). Efficiency Of The Coastal Filter: Nitrogen And Phosphorus Removal In The Baltic Sea: Coastal Filter Of The Baltic Sea. *Limnol. Oceanogr.* 62, S222–S238. Doi: 10.1002/Lno.10644.

ASMUS, M. L., NICOLODI, J., ANELLO, L. S., & GIANUCA, K. (2019). The Risk To Lose Ecosystem Services Due To Climate Change: A South American Case. *Ecological Engineering*, 130, 233-241.

ARTAXO, P. (2022). Mudanças Climáticas: Caminhos Para O Brasil: A Construção De Uma Sociedade Minimamente Sustentável Requer Esforços Da Sociedade Com Colaboração Entre A Ciência E Os Formuladores De Políticas Públicas. *Ciência E Cultura*, 74(4), 01-14.

AUSTIN, K.G., BAKER, J.S., SOHNGEN, B.L. The Economic Costs Of Planting, Preserving, And Managing The World's Forests To Mitigate Climate Change. *Nat Commun* 11, 5946 (2020). <https://doi.org/10.1038/S41467-020-19578-Z>

APPLEBY, P.G. and OLDFIELD, F. The Calculation Of Lead-210 Dates Assuming A Constant Rate Of Supply Of Unsupported 210Pb To The Sediment. *CATENA*, 5, 1-8, 1978.

BAUER, J. E. The Changing Carbon Cycle Of The Coastal Ocean. *Nature*, V. 504, N. 7478, P. 61-70, 2013.

BARCELLOS, C. Geodinâmica De Cádmio E Zinco Na Baía De Sepetiba. 1995. 148f. Tese (Doutorado Em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1995.

BAPTISTA FILHO, L. S., BAPTISTA NETO, J. A., MARTINS, M. V., & GERALDES, M. C. (2020). O Histórico Das Intervenções Humanas Na Baía De Guanabara (Brasil) E O Registro Do Antropoceno Em Quatro Unidades Sedimentares. *Journal Of Human And Environment Of Tropical Bays*, (1), 46–80. <https://doi.org/10.12957/Jheotb.2020.49099>

BARRETO, L. V. BARROS, F. M. BONOMO, P. ROCHA, F. A. AMORIM, J. S. Eutrofização Em Rios Brasileiros. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia*, V.9, N.16; P. 2165-2179. 2013.

BECK, HYLKE & WOOD, ERIC & PAN, MING & FISHER, COLBY & MIRALLES, DIEGO & VAN DIJK, ALBERT & MCVICAR, TIM & ADLER, ROBERT. (2018). MSWEP V2 Global 3-Hourly 0.1° Precipitation: Methodology And Quantitative Assessment. *Bulletin Of The American Meteorological Society*. 100. 10.1175/BAMS-D-17-0138.1.

BEHERA SK. Understanding The Impact Of Climate Change On Extreme Events. *Front Sci* (2024) 2:1433766. Doi: 10.3389/Fsci.2024.1433766

BAPTISTA FILHO, L.S., BAPTISTA NETO, J.A., ALVES MARTINS, M.V., GERALDES, M.C., 2019. Sources Of Pollutants In The Northern/Northeast Area Of Guanabara Bay (SE,

Brazil) Since The Late Nineteenth Century Using Lead Isotopes And Metals Concentrations. *Journal Of Sedimentary Environments*, 4 (3): 332-349.

BENITES, MARIANA & ALVES, DANIEL & MALY, MASCIMILIANO & JOVANE, LUIGI. (2015). Shallow Gas Occurrence In A Brazilian Ría (Saco Do Mamanguá, Rio De Janeiro) Inferred From High-Resolution Seismic Data. *Continental Shelf Research*. 108. 89-96. 10.1016/J.Csr.2015.08.022.

BENITEZ-NELSON, CLAUDIA R. "The Biogeochemical Cycling Of Phosphorus In Marine Systems." *Earth-Science Reviews* 51 (2000): 109-135.

BERNARDES, R. A. Estrutura E Dinâmica Da Ictiofauna Do Saco Do Mamanguá (Paraty-RJ). 1996. 145f. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade De São Paulo

BERNER, R.A., RUTTENBERG, K.C., INGALL, E.D., RAO, JL. (1993). The Nature Of Phosphorus Burial In Modern Marine Sediments. In: Wollast, R., Mackenzie, F.T., Chou, L. (Eds) *Interactions Of C, N, P And S Biogeochemical Cycles And Global Change*. NATO ASI Series, Vol 4. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76064-8_15

BERALDI, G. Q. F., DE REZENDE, C. E., DE ALMEIDA, M. G., CARVALHO, C., DE LACERDA, L. D., DE FARIAS, R. N. MOLISANI, M. M. (2019). Assessment Of A Coastal Lagoon Metal Distribution Through Natural And Anthropogenic Processes (SE, Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 146, 552-561

BERRY, D.A., 1987. Logarithmic Transformations In ANOVA. *Biometrics* 43, 439. <https://doi.org/10.2307/2531826>.

BIANCHI TS. *Biogeochemistry Of Estuaries*. Oxford University Press. 2007:706 Pp

BONOTTO, D. M.; GARCÍA-TENORIO, R. A Comparative Evaluation Of The CF: CS And CRS Models In 210Pb Chronological Studies Applied To Hydrographic Basins In Brazil. *Applied Radiation And Isotopes*, V. 92, P. 58–72, 2014.

BORBA, A.W. DE; MIZUSAKI, A. M. P.; SILVA, D. R. A. DA & KAWASHITA, K. - Razões Isotópicas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ E $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ Como Traçadores De Proveniência De Rochas Sedimentares Siliciclásticas: Exemplos No Grupo Camaquã (Paleozóico Inferior, RS, Brasil). *Pesquisas Em Geociências*, Vol. 30(2) – Pgs. 39-50 – Brasil, 2003.

BRASIL. Estimativa Populacional, 2006. Rio De Janeiro: IBGE, 2006. Disponível Em [www.Ibge.Gov.Br/Estimativapopulacional 2006](http://www.ibge.gov.br/estimativapopulacional2006).

BURDIGE, D. J. *Geochemistry Of Marine Sediments*. Princeton, Woodstock: Princeton University Press, 2006.

BURDIGE. D. J. Preservation Of Organic Matter In Marine Sediments: Controls, Mechanisms, And An Imbalance In Sediment Organic Carbon Budgets? *Chemical Reviews* 2007 107 (2), 467-485 DOI: 10.1021/Cr050347q

BURGOS M, SIERRA A, ORTEGA T, FORJA JM (2015) Anthropogenic Effects On Greenhouse Gas (CH_4 And N_2O) 704 Emissions In The Guadalete River Estuary (SW

Spain). Sci Total Environ 503–504: 179–189. 705
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.038>

BRIGHAM BA, BIRD JA, JUHL AR, ZAPPA CJ, MONTERO AD, O’MULLAN GD (2019) Anthropogenic Inputs From A 701 Coastal Megacity Are Linked To Greenhouse Gas Concentrations In The Surrounding Estuary. *Limnol Oceanogr* 702 64:2497-2511. <https://doi.org/10.1002/Lno.11200>

CAI W-J, HU X, HUANG W, MURRELL MC, LEHRTER JC, LOHRENZ SE, CHOU W, ZHAI W, HOLLIBAUGH JT, WANG Y, 710 ZHAO P, GUO X, GUNDERSEN K, DAI M, GONG G (2011) Acidification Of Subsurface Coastal Waters Enhanced By 711 Eutrophication. *Nature Geoscience* 4, 766-770. <http://dx.doi.org/10.1038/NGEO1297>.

CAI, W., SANTOSO, A., WANG, G., YEH, S., AN, S., COBB, K. M., COLLINS, M., GUILYARDI, E., JIN, F., KUG, J., LENGAIGNE, M., MCPHADEN, M. J., TAKAHASHI, K., TIMMERMANN, A., VECCHI, G., WATANABE, M. & WU, L. ENSO And Greenhouse Warming. *Nature Climate Change*, London, V. 5, P. 849–859, 2015. <https://doi.org/10.1038/Nclimate2743>.

CALVERT, S. E.; PEDERSEN, T. F. Chapter Fourteen Elemental Proxies For Palaeoclimatic And Palaeoceanographic Variability In Marine Sediments: Interpretation and Application. In: HILLAIRE-MARCEL, C.; DE VERNAL, A. Proxies In Late Cenozoic Paleooceanography. *Developments In Marine Geology*, V. 1. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London: Elsevier, 2007. P. 567–644.

CAMPITELLI, VINICIUS ROCHA, E WILSON MARTINS LOPES JÚNIOR. "Estudo Sobre O Posicionamento Ambiental Dos Equipamentos De Hospedagem Do Centro Histórico De Paraty–Rj: Study On The Environmental Positioning Of Lodging Companies In The Historic Center Of Paraty–Rj." *Revista Turismo Estudos E Práticas-Rtep/Uern* 12.2 (2023).

CARREIRA, R.S., WAGENER, A.L.R., READMAN, J.W., FILEMAN, T.W., MACKO, S.A., 2002. Changes In The Sedimentary Organic Carbon Pool Of A Fertilized Tropical Estuary , Guanabara Bay , Rrazil : An Elemental , Isotopic And Molecular Marker Approach Paleocological Evidence Of Human Impacts On The Neuse And Pamlico Estuaries Of North Carolina 79, 207–227.

CARDOSO, S. J., ENRICH-PRAST, A., PACE, M. L., & ROLAND, F. (2014). Do Models Of Organic Carbon Mineralization Extrapolate To Warmer Tropical Sediments?. *Limnology And Oceanography*, 59(1), 48-54.

CARVALHO, N. DE O. *Hidrossedimentologia Prática*. 2. Ed. Rio De Janeiro: Interciência, 2008. 599 P.

CARVALHO, V. M. D. C. D. (2023). O Impacto Dos Eventos Extremos E Do Regime De Maré Oceânica Na Ocorrência De Inundações Em Bacias Exorreicas.

CASAS-RUIZ, J.P., BODMER, P., BONA, K.A. Integrating Terrestrial And Aquatic Ecosystems To Constrain Estimates Of Land-Atmosphere Carbon Exchange. *Nat Commun* 14, 1571 (2023). <https://doi.org/10.1038/S41467-023-37232-2>

CASTAING, P., GUILCHER, A., 1995. Geomorphology And Sedimentology Of Rias. In: Perillo, G.M.E. (Ed.), *Geomorphology And Sedimentology Of Estuaries*, Pp. 69–111. [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/S0070-4571\(05\)80021-4](http://Dx.Doi.Org/10.1016/S0070-4571(05)80021-4).

CASTELO, W. F. L., MARTINS, M. V. A., DE LIMA FERREIRA, P. A., FIGUEIRA, R., DA COSTA, C. F., DA FONSECA, L. B. GUERRA, J. V. (2021). Long-Term Eutrophication And Contamination Of The Central Area Of Sepetiba Bay (SW Brazil). *Environmental Monitoring And Assessment*, 193, 1-27.

CERDA. M. Coupling Fallout ^{210}Pb And Stables Isotopes ($\Delta^{13}\text{C}$, $\Delta^{15}\text{N}$) For Catchment Urbanization Reconstruction In Southeastern Coastal Zone Of Brazil. *Akadémiai Kiadó*, Budapeste, Hungria, 2016. Chen, M., Zeng, G., Zhang, J., Xu, P., Chen, A., & Lu, L. (2015). Global Landscape Of Total Organic Carbon, Nitrogen And Phosphorus In Lake Water. *Scientific Reports*, 5, 15043

CHEN D, SUTER H, ISLAM A, EDIS R, FRENEY JR, WALKER CN (2008) Prospects Of Improving Efficiency Of Fertiliser Nitrogen In Australian Agriculture: A Review Of Enhanced Efficiency Fertilisers. *Aust J Soil Res* 46(4):289–301. [Https://Doi.Org/10.1071/SR07197](https://doi.org/10.1071/SR07197)

CHESTER, R. *Marine Geochemistry*. John Wiley & Sons, 2009.

CLEVELAND CC, TOWNSEND AR, SCHIMEL DS, FISHER H, HOWARTH RW, HEDIN LO, PERAKIS SS, LATTY EF, VON FISCHER JC, ELSEROD A, WASSON MF (1999) Global Patterns Of Terrestrial Biological Nitrogen (N_2) Fixation In Natural Ecosystems. *Global Biogeochem Cycles* 13(2):623–645. [Https://Doi.Org/10.1029/1999GB900014](https://doi.org/10.1029/1999GB900014)

CLOERN, J. E. 2001 Our Evolving Conceptual Model Of The Coastal Eutrophication Problem *Marine Ecology Progress Series* 210: 223-253

CLOERN J.E. FOSTER S.Q. KLECKNER A.E. (2014) Phytoplankton Primary Production In The World's Estuarine-Coastal Ecosystems. *Biogeosciences* 11(9):2477–2501. [Https://Doi.Org/10.5194/Bg-11-2477-2014](https://doi.org/10.5194/bg-11-2477-2014)

CONLEY DJ, PAERL HW, HOWARTH RW, BOESCH DF, SEITZINGER SP, HAVENS KE, LANCELOT C, LIKENS GE. Ecology. Controlling Eutrophication: Nitrogen And Phosphorus. *Science*. 2009 Feb 20;323(5917):1014-5. Doi: 10.1126/Science.1167755. PMID: 19229022. Convention On Biological Diversity (CBD). *Marine Biodiversity – One Ocean, Many Worlds Of Life*. Montreal, 2012. Disponível Em: [Http://Www.Cbd.Int/Idb/Doc/2012/Booklet/Idb_2012-Booklet-En.Pdf](http://www.cbd.int/ldb/doc/2012/booklet/ldb_2012-booklet-en.pdf).

CONTI, B.R. IRVING, M.A. (2014), “Desafios Para O Ecoturismo No Parque Nacional Da Serra Da Bocaina: O Caso Da Vila De Trindade (Paraty, RJ)”, *Revista Brasileira De Ecoturismo*, Vol.7, Pp. 517-538

CONRAD, C.F.; FUGATE, D.; DAUS, J.; CHISHOLM-BRAUSE, C.J.; KUEHL, S.A. Assessment Of The Historical Trace Metal Contamination Of Sediment In The Elizabeth River, Virginia. *Marine Pollution Bulletin*, V.54, N.4, P.385-395, 2007.

COTOVICZ, L.C., RIBEIRO, R.P., RÉGIS, C.R. Greenhouse Gas Emissions (CO₂ And CH₄) And Inorganic Carbon Behavior In An Urban Highly Polluted Tropical Coastal Lagoon (SE, Brazil). *Environ Sci Pollut Res* **28**, 38173–38192 (2021). <https://doi.org/10.1007/S11356-021-13362-2>

COTOVICZ JUNIOR, L. C. Concentrações E Trocas Atmosféricas De Dioxide De Carbon (CO₂) E Metano (CH₄) Em Um Estuário Tropical Eutrofizado (Baía De Guanabara, RJ, Brasil). Tese (Doutorado Em Geociências – Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2016.

COTOVICZ, L.C. KNOPPERS, B.A. BRANDINI, N. POIRIER, D. COSTA SANTOS S. J. ABRIL, G. (2018) Aragonite Saturation State In 731 A Tropical Coastal Embayment Dominated By Phytoplankton Blooms (Guanabara Bay - Brazil). *Mar Pollut Bull* 732 129: 729-739. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.064>

COTOVICZ, L. C. KNOPPERS, B. A. BRANDINI, N. POIRIER, D. SANTOS, S. J. ABRIL, G. (2016) Spatio-Temporal Variability 727 Of Methane (CH₄) Concentrations And Diffusive Fluxes From A Tropical Coastal Embayment Surrounded By A Large 16 728 Urban Area (Guanabara Bay, Rio De Janeiro, Brazil). *Limnol Oceanogr* 61:S238–S252. 729 <http://doi.org/10.1002/Lno.10298>.

CUNHA, J. (2003). Redistribuição Espacial Da População: Tendências E Trajetória. São Paulo Em Perspectiva. 17. [10.1590/S0102-88392003000300022](https://doi.org/10.1590/S0102-88392003000300022).

CUNHA, A. P. M. A., ZERI, M., LEAL, K. D., COSTA, L., CUARTAS, L. A., MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., VIEIRA, R. M., BARBOSA, A. A., CUNNINGHAM, C., GARCIA, J. V. C., BROEDEL, E., ALVALÁ, R. & RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events Over Brazil From 2011 To 2019. *Atmosphere*, V. 10, 642, 2019. <https://doi.org/10.3390/Atmos10110642>.

CROZAZ, G., PICCIOTTO, E., AND DE BREUCK, W., 1964, Antarctic Snow Chronology With 2•Øpb: *Journal Of Geophysical Research*, V. 69, P. 2597-2604.

DA FONSECA A, DOS SANTOS M, CORREA M, AMORIM M. 2019. Greenhouse Gas Emission From A Eutrophic Coastal Lagoon In Rio De Janeiro, Brazil. *Lat Am J Aquat Res* 47:638–53.

DAI, M. Carbon Fluxes In The Coastal Ocean: Synthesis, Boundary Processes, And Future Trends. *Annual Review Of Earth And Planetary Sciences*, V. 50, P. 593-626, 2022

DAMAR, A & ERVINIA, AYU & KURNIAWAN, FERY & RUDIANTO, B. (2021). Eutrophication In A Tropical Estuary: Is It Good Or Bad?. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*. 744. 012010. [10.1088/1755-1315/744/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/744/1/012010).

DAMAR A, PRISMAYANTI A D, RUDIANTO B Y, RAMLI A and KURNIAWAN F 2021a Algae Bloom Phenomenon In Jakarta Bay As Symptoms Of Severe Eutrophication: Monitoring Results Of 2014- 2016 Submitted To IOP Conf Ser ISARM

DAY, J. W., & RYBCZYK, J. M. (2019). Global Change Impacts On The Future Of Coastal Systems: Perverse Interactions Among Climate Change, Ecosystem Degradation, Energy

Scarcity, And Population. In *Coasts And Estuaries* (Pp. 621-639). Elsevier.

D'AGOSTINO, R.B., 1986. Goodness-Of-Fit-Techniques. CRC Press 68.

DE ANDRÉS, M., BARRAGÁN, J. M., & GARCÍA SANABRIA, J. (2018). Ecosystem Services And Urban Development In Coastal Social-Ecological Systems: The Bay Of Cádiz Case Study. *Ocean & Coastal Management*, 154, 155–167. Doi:10.1016/J.Ocecoaman.2018.01.011

DE CARVALHO CHOE, J. F. (2024). Mudanças Climáticas E Seu Impacto Na Pesca Artesanal Em Moçambique: Percepção Dos Pescadores Da Baía De Pemba-Cabo Delgado. *Revista Brasileira De Educação Ambiental (Revbea)*, 19(3), 402-416

DE CASTRO, L. E., SOUZA, S. P., DE LIMA, W. T., & SIQUEIRA, T. D. A. (2024). BRASIL: A BUSCA DE SER UMA POTÊNCIA INTERNACIONAL. *BIUS-Boletim Informativo Unimotrisaúde Em Sociogerontologia*, 47(41), 1-14.

DE SOUZA, P. S. A. Preliminary Study Of Trace Metals By Environmental Quality Criteria In Sediments From A Mangrove Forest In Saco Do Mamanguá (Ilha Grande Bay, Rio De Janeiro, Brazil). *Revista Virtual De Química*, V. 5, N. 5, P. 934-943, 2013.

DEVLIN, M., BRODIE, J. (2023). Nutrients And Eutrophication. In: Reichelt-Brushett, A. (Eds) *Marine Pollution – Monitoring, Management And Mitigation*. Springer Textbooks In Earth Sciences, Geography And Environment. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10127-4_4

DIAS, JAILSON CARDOSO. "Diagênese E Acumulação De Fósforo Em Sedimentos De Áreas Distintas Na Baía De Sepetiba." (2006).

DIEGUES, A; NOGARA, P. O Nosso Lugar Virou Parque – Estudo Sócioambiental Do Saco Do Mamanguá – Parati – Rio De Janeiro. 2ª. Ed. São Paulo. Núcleo De Apoio À Pesquisa Sobre Populações Humanas E Áreas Úmidas Brasileiras. Centro De Culturas Marítimas. Universidade De São Paulo. 1999. 165 P.

DING W, LI S, HE P, HUANG S (2019) Contribution And Fate Of Maize Residue- 15N And Urea- 15N As Affected By N Fertilization Regime. *Plos One* 14(1):E0210176. <https://doi.org/10.1371/Journal.Pone.0210176>

DINIZ, C. Brazilian Mangrove Status: Three Decades Of Satellite Data Analysis. *Remote Sens.*, V. 11, N. 7, 808, 2019

DO M. D., MAI T. N., CHU, V. N. (2012), An Analysis Of Coastal Erosion In The Tropical Rapid Accretion Delta Of The Red River, Vietnam, *Journal Of Asian Earth Sciences* 43(1): 98-109.

DOWNING JA, MCCLAIN M, TWILLEY R, MELACK JM, ELSER J, RABALAIS NN, LEWIS WM JR, TURNER RE, CORREDOR J, SOTO D, YANEZ-ARANCIBIA A, KOPASKA JA, HOWARTH RA (1999) The Impact Of Accelerating Land-Use Change On The N-Cycle Of Tropical Aquatic Ecosystems: Current Conditions And Projected Changes. *Biogeochemistry* 46(1/3):109–148. <https://doi.org/10.1023/A:10061562137>

DUARTE, C.C.; NÓBREGA, R. S.; COUTINHO, R. Q. Análise Climatológica E Dos Eventos Extremos De Chuva No Município Do Ipojuca, Pernambuco. *Revista De Geografia (UFPE)* Vv. 32, Nno. 2, 2015.

DUARTE CM, LOSADA IJ, HENDRIKS IE, MAZARRASA I, MARBÀ N (2013) The Role Of Coastal Plant Communities For Climate Change Mitigation And Adaptation. *Nat ClimChang* 3:961–968.

ESTEVES FA, CALIMAN A, SANTANGELO JM, GUARIENTO RD, FARJALLA VF, BOZELLI RL. 2008. Neotropical Coastal Lagoons: An Appraisal Of Their Biodiversity, Functioning, Threats And Conservation Management. *Brazilian J Biol* 68:967–81. [Http://Www.Scielo.Br/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S1519-69842008000500006&Lng=En&Nrm=Iso&Tlng=En](http://Www.Scielo.Br/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S1519-69842008000500006&Lng=En&Nrm=Iso&Tlng=En)

FANDÉ, M. B., & PEREIRA, V. F. G. C. (2014). Impactos Ambientais Do Turismo: Um Estudo Sobre A Percepção De Moradores E Turistas No Município De Paraty-RJ. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*. P. 1170-1178

FILIPPELLI, G. M.; DELANEY, M. L.. The Oceanic Phosphorus Cycle And Continental Weathering During The Neogene. *Paleoceanography*, V. 9, N. 5, P. 643-652, 1994.

FONSECA, E.M., NETO, J.A., RANGEL, C.M., LIMA, L.D., & OLIVEIRA, P.S. (2017). Utilização Do Índice De Qualidade Da Água Como Indicador Da Gestão Do Impacto Do Turismo Em Paraty, Rio De Janeiro/Brasil.

FONG, C.R., GAYNUS, C.J. & CARPENTER, R.C. Extreme Rainfall Events Pulse Substantial Nutrients And Sediments From Terrestrial To Nearshore Coastal Communities: A Case Study From French Polynesia. *Sci Rep* 10, 2955 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59807-5>

FORZIERI, G., DAKOS, V., MCDOWELL, N. G., RAMDANE, A. & CESCATTI, A. Emerging Signals Of Declining Forest Resilience Under Climate Change. *Nature*, Julho 2022. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9>.

FRANZEN, M. Dinâmica Do Fósforo Na Interface Água-Sedimento Em Reservatórios. 2009. 244 (Doutorado). Instituto De Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Programa De Pós-Graduação Em Recursos Hídricos E Saneamento Ambiental.

FRANKIGNOULLE M, ABRIL G, BORGES A, BOURGE I, CANON C, DELILLE B, LIBERT E, THEATE J M (1998) Carbon Dioxide 750 Emission From European Estuaries. *Science* 282 :434–436. <https://doi.org/10.1126/Science.282.5388.434>

FRIGSTAD, HELENE & SOGN ANDERSEN, GURI & TRANNUM, HILDE & MCGOVERN, MAEVE & NAUSTVOLL, LARS & KASTE, ØYVIND & DEININGER, ANNE & HJERMANN, DAG. (2023). Three Decades Of Change In The Skagerrak Coastal Ecosystem, Shaped By Eutrophication And Coastal Darkening. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*. 108193. 10.1016/J.Ecss.2022.108193.

GAO, G., XIAO, R., & LI, Y. (2024). Influences Of Extreme Rainfall Events On The Nutrient And Chlorophyll-A Dynamics In Coastal Regions. In *Current Trends In Estuarine And Coastal Dynamics* (Pp. 339-383). Elsevier.

GARCIA, FILIPE & GORENSTEIN DEDECCA, JOAO. (2012). REFLEXOS AMBIENTAIS (BIODIVERSIDADE) DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARATY-RJ. 8

GASALLA, M. A. Organização Trófica Da Ictiofauna Do Saco Do Mamanguá, Parati, Estado Do Rio De Janeiro. 1995. 145 F. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico, Universidade De São Paulo.

GATIBONI, L. C., BRUNETTO, G., RHEINHEIMER, D. D. S., & KAMINSKI, J.. Fracionamento Químico Das Formas De Fósforo Do Solo: Usos E Limitações. *Tópicos Em Ciência Do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo, 8, P. 141-87, 2013.

GATTUSO, J. P.; FRANKIGNOULLE, M.; WOLLAST, R. Carbon And Carbonate Metabolism In Coastal Aquatic Ecosystems. *Annual Review Of Ecology And Systematics*, V. 29, N.1, P. 405- 434, 1998.

GILBERT D, RABALAIS N, DIAZ R, ZHANG J (2010) Evidence For Greater Oxygen Decline Rates In The Coastal Ocean Than In The Open Ocean. *Biogeosciences* 7(7):2283

GOLDBERG, E. D., 1963, *Geochronology With ^{210}Pb : Radioactive Dating*, Conference Proceedings, November 19-23, 1962, Athens, IAEA, Vienna, P. 121-131

GONÇALVES, M. V. P., ALVA, J. C. R., SILVA, I. I. R., CRUZ, M. J. M., JUNIOR, A. B. D. S. R., DA LUZ PORCIÚNCULA, D. C., & MOREIRA, G. A. V. (2022). Biogeoquímica E Conservação Dos Ecossistemas Costeiros No Antropoceno: Bosques De Mangue Da APA Tinharé-Boipeba, BA (BR). *Conjecturas*, 22(14), 948-982.

GOVIN, A.; HOLZWARTH, U.; HESLOP, D.; KEELING, L. F.; ZABEL, M.; MULITZA, S.; COLLINS, J. A.; CHIESSI, C. M. Distribution Of Major Elements In Atlantic Surface Sediments (36°N-49°S): Imprint Of Terrigenous Input And Continental Weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, V. 13, N. 1, P. 1–23, 2012.

GOVORUSHKO, S.M. (2012). Meteorological Processes. In: *Natural Processes And Human Impacts*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1424-3_3

GRASSHOFF K, KREMLING K, EHRHARDT M, 1999. *Methods Of Seawater Analysis*. 3rd Edition. Weinheim: Wiley-VCH. 632 P.

GUO, Y.; YANG, S. Heavy Metal Enrichments In The Changjiang (Yangtze River) Catchment And On The Inner Shelf Of The East China Sea Over The Last 150 Years. *Science Of The Total Environment*, V. 543, P. 105–115, 2016

HÄDER, D. P., BANASZAK, A. T., VILLAFANE, V. E., NARVARTE, M. A., GONZÁLEZ, R. A., & HELBLING, E. W. (2020). Anthropogenic Pollution Of Aquatic Ecosystems: Emerging Problems With Global Implications. *Science Of The Total Environment*, 713, 136586.

HAN, H., XIAO, R., GAO, G., YIN, B., & LIANG, S. (2023). Influence Of A Heavy Rainfall Event On Nutrients And Phytoplankton Dynamics In A Well-Mixed Semi-Enclosed Bay. *Journal Of Hydrology*, 617, 128932.

HAYAMI Y, MORIMOTO A, SUDARYANTO A, SACHOEMAR S I, SOEYANTO E, RUSDIANSYAH A AND SALEH M 2020 A Quasi-Persistent Hypoxic Water Mass In An Equatorial Coastal Sea, Jakarta Bay, Indonesia Estuarine, Coastal And Shelf Science 246: 107030

HEDGES, J.I., KEIL, R.G., 1995. Sedimentary Organic Matter Preservation: An Assessment And Speculative Synthesis. *Marine Chemistry* 49, 81–115.

HE, Q., BERTNESS, M. D., BRUNO, J. F., LI, B., CHEN, G. Q., COVERDALE, T. C. (2014). Economic Development And Coastal Ecosystem Change In China. *Scientific Reports*, 4, 5995.

HU, M., SARDANS, J., LE, Y., YAN, R., ZHONG, Y., HUANG, J., ... & TONG, C. (2022). Biogeochemical Behavior Of P In The Soil And Porewater Of A Low-Salinity Estuarine Wetland: Availability, Diffusion Kinetics, And Mobilization Mechanism. *Water Research*, 219, 118617.

HU, M., YAN, R., NI, R., & WU, H. (2024). Coastal Degradation Regulates The Availability And Diffusion Kinetics Of Phosphorus At The Sediment-Water Interface: Mechanisms And Environmental Implications. *Water Research*, 250, 121086.

HUISMAN, J. SOMMEIJER, B. 2002 Population Dynamics Of Sinking Phytoplankton In Light-Limited Environments: Simulation Techniques And Critical Parameters *J Sea Res* 48: 83–96

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution Of Working Group I To The Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 P.

IVANOFF MD, TOLDO EE, FIGUEIRA RCL, DE LIMA FERREIRA PA. 2020. Use Of ²¹⁰Pb And ¹³⁷Cs In The Assessment Of Recent Sedimentation In Patos Lagoon, Southern Brazil. *Geo Marine Lett*.

JENNERJAHN, T. C. (2012). Biogeochemical Response Of Tropical Coastal Systems To Present And Past Environmental Change. *Earth-Science Reviews*, 114(1-2), 19–41. Doi:10.1016/J.Earscirev.2012.04

JILBERT, T., ASMALA, E., SCHRÖDER, C., TIIHONEN, R., MYLLYKANGAS, J.-P., VIRTASALO, J. J., (2018). Impacts Of Flocculation On The Distribution And Diagenesis Of Iron In Boreal Estuarine Sediments. *Biogeosciences* 15, 1243–1271. Doi: 10.5194/Bg-15-1243-2018.

JOKINEN, S. A., JILBERT, T., TIIHONEN-FILPPULA, R., AND KOHO, K. (2020). Terrestrial Organic Matter Input Drives Sedimentary Trace Metal Sequestration In A Human-Impacted Boreal Estuary. *Science Of The Total Environment* 717, 137047. Doi: 10.1016/J.Scitotenv.2020.137047.

KANG, N. Y. ELSNER, J. B. (2015) Trade-Off Between Intensity And Frequency Of Global Tropical Cyclones. *Nat Clim Chang* 5:661–664.

Keil, R.G. Dickens, A. F. Arnarson, T. (2004) What Is The Oxygen Exposure Time Of Laterally Transported Organic Matter Along The Washington Margin? *Marine Chemistry* 92: 157- 165.

KLEIN, C. AGNE, S. A. A. Fósforo: De Nutriente À Poluente. *Rev. Elet. Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*, V. 8, N. 8, P. 1713-1721, 2012

KNOPPERS, B.A. LACERDA, L.D. PATCHINEELAM, S.R. 1990. Nutrients, Heavy Metals And Organic Micropollutants In An Eutrophic Brazilian Lagoon. *Mar Pollut Bull* 21:381–4. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0025326X9090646P>

KOSSIN, J. P. EMANUEL, K.A. VECCHI, G.A. (2014) The Poleward Migration Of The Location Of Tropical Cyclone Maximum Intensity. *Nature* 509:349–352.

LACERDA, L. D.; PARAQUETTI, H. H. M.; MOLISANI, M. M.; BERNARDES, M. S. Transporte De Materiais Na Interface Continente-Mar Na Baía De Sepetiba, Rio De Janeiro. In: Congresso Latino-Americano De Ciências Do Mar, 12., 2007. Florianópolis. Anais...Florianópolis. 2007.

LADWIG N, HESSE K-J, VAN DER WULP S A, DAMAR A AND KOCH, D. 2016 Pressure On Oxygen Levels Of Jakarta Bay *Mar Poll Bull* 110: 665–674

LE V. C., NGUYEN V. C., SHIBAYAMA T. (2014), Assessment Of Vietnam Coastal Erosion And Relevant Laws And Policies, In: Nguyen D. T., Takagi H., Esteban M. (Eds.), *Coastal Disasters And Climate Change In Vietnam*, Elsevier, Amsterdam, Pp. 81-106.

LE QUÉRÉ, C. Global Carbon Budget 2014. *Earth System Science Data*, V.7, N. 1, P. 47-85, 2015. Doi: 10.5194/essd-7-47-2015.

LENG, MELAINE J; LEWIS, JONATHAN P. C/N Ratios And Carbon Isotope Composition Of Organic Matter In Estuarine Environments. In: Weckström K. Et Al (Ed.) *Applications Of Paleoenvironmental Techniques In Estuarine Studies. Developments In Paleoenvironmental Research*. Springer, 2017. 700p. Pt 3, Cap. 9. P. 213-237.

LEVENE, H. 1960. Robust Tests For Equality Of Variances. *Contributions To Probability And Statistics. Essays In Honor Of Harold Hotelling*, Pp. 279–292.

LI X, LU C, ZHANG Y, ZHAO J, WANG J, LIU H AND YIN K 2020 Low Dissolved Oxygen In The Pearl River Estuary In Summer: Long-Term Spatio-Temporal Patterns, Trends, And Regulating Factors *Marine Pollution Bulletin* 151: 110814

LIAO, H. 2018. Interactive Effects Of Water Quality, Physical Habitat, And Watershed Anthropogenic Activities On Stream Ecosystem Health. *Water Res.* 130, 69–78.

LIU, YUBIN & HOU, XIYONG & LI, XIAOWEI & SONG, BAIYUAN & WANG, CHAO. (2020). Assessing And Predicting Changes In Ecosystem Service Values Based On Land

Use/Cover Change In The Bohai Rim Coastal Zone. *Ecological Indicators*. 111. 106004. 10.1016/J.Ecolind.2019.106004.

LIU, T., BAO, K., CHEN, M., NEUPANE, B., GAO, C., & ZACCONE, C. (2024). Human Activity Has Increasingly Affected Recent Carbon Accumulation In Zhanjiang Mangrove Wetland, South China. *Iscience*, 27(3).

MARANGUIT D, GUILLAUME T, KUZYAKOV Y (2017) Land-Use Change Affects Phosphorus Fractions In Highly Weathered Tropical Soils. *Catena* 149(1):385– 393. <https://doi.org/10.1016/J.Catena.2016.10.010>

MAROTTA, H. Dióxido De Carbono Nos Lagos Tropicais: De Controles Locais A Padrões Globais. Tese (Doutorado Em Ecologia) – Instituto De Biologia, Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio De Janeiro, 2009.

MAROTTA, H., PINHO, L., GUDASZ, C., BASTVIKEN, D., TRANVIK, L. J., & ENRICH-PRAST, A. (2014). Greenhouse Gas Production In Low-Latitude Lake Sediments Responds Strongly To Warming. *Nature Climate Change*, 4(6), 467-470.

MARTENS CS, KLUMP JV (1980) Biogeochemical Cycling In An Organic-Rich Coastal Marine Basin—I. Methane 803 Sediment– Water Exchange Processes. *Geochim Cosmochim Acta* 44: 471–490. [https://doi.org/10.1016/0016-8047\(80\)90045-9](https://doi.org/10.1016/0016-8047(80)90045-9)

MARTENS CS, ALBERT DB, ALPERIN MJ (1998) Biogeochemical Processes Controlling Methane In Gassy Coastal 806 Sediments—Part 1. A Model Coupling Organic Matter Flux To Gas Production, Oxidation And Transport. *Cont Shelf Res* 18:1741–1770. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(98\)00056-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(98)00056-9)

MASSONI, P. R. - Determinação Da Concentração De Elementos Químicos Potencialmente Tóxicos Em Aerossóis Presentes No Interior De Uma Pequena Indústria De Fundição De Metais, Utilizando Amostrador Temporal E A Técnica De 87 Fluorescência De Raios X. Centro De Energia Nuclear Na Agricultura. Universidade De São Paulo (USP) – Brasil, 2009.

MAÚRE, E.D.R., TERAUCHI, G., ISHIZAKA, J. Globally Consistent Assessment Of Coastal Eutrophication. *Nat Commun* 12, 6142 (2021). <https://doi.org/10.1038/S41467-021-26391-9>

MCDOWELL WH (1998) Internal Nutrient Fluxes In A Puerto Rican Rain Forest. *J Trop Ecol* 14(4):521–536. <https://doi.org/10.1017/S0266467498000376>

MCLANNES, A. S.; QUIGG, A. Near-Annual Fish Kills In Small Embayments: Casual Vs. Causal Factors. *Journal Of Coastal Research*, V. 26, N. 5, P. 957-966, 2010.

MCKEE B. A., C. A. NITTROUER AND D. J. DEMASTER (1983) Concepts Of Sediment Deposition And Accumulation Applied To The Continental Shelf Near The Mouth Of The Yangtze River. *Geology*, 11, 631-633.

MACKENZIE, F. & DE CARLO, ERIC & LERMAN, A. (2011). Coupled C, N, P, And O Biogeochemical Cycling At The Land-Ocean Interface. *Treatise On Estuarine And Coastal Science*. 5. 317-342.

MMA/IBAMA. Ministério Do Meio Ambiente; Instituto Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis. Plano De Manejo Da APA De Cairuçu. Brasília, DF: Faculdade De Engenharia Civil, Arquitetura E Urbanismo/Universidade Estadual De Campinas (FEC/UNICAMP), 2004.

MARQUES, M.C.M. (Org.) Mapeamento Da Cobertura Vegetal E Listagem Das Espécies Ocorrente Na Área De Proteção Ambiental De Cairuçu, Município De Paraty, RJ.. Rio De Janeiro: Jardim Botânico, 1997 96 P. (Série Estudos E Contribuições).

MEYERS, P. A. Applications Of Organic Geochemistry To Paleolimnological Reconstructions: A Summary Of Examples From The Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, V. 34, P. 261-289, 2003.

MIRANDA, E. E. DE; GOMES, E. G. GUIMARÃES, M. Mapeamento E Estimativa Da Área Urbanizada Do Brasil Com Base Em Imagens Orbitais E Modelos Estatísticos. Campinas: Embrapa Monitoramento Por Satélite, 2005.

MIRANDA, M.C.D.C., DE FÁTIMA ROSSETTI, D., CARLOS RUIZ PESSEDA, L., 2009. Quaternary Paleoenvironments And Relative Sea-Level Changes In Marajó Island (Northern Brazil): Facies, $\Delta 13c$, $\Delta 15n$ And C/N. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 282, 19–31. Doi:10.1016/J.Palaeo.2009.08.004

MONTEITH, D.T., STODDARD, J.L., EVANS, C.D., DE WIT, H.A., FORSIUS, M., HØGASEN, T., WILANDER, A., SKJELKVAALE, B.-L., JEFFRIES, D.S., VUORENMAA, J., KELLER, B., KOPACEK, J., VESELY, J. 2007. Dissolved Organic Carbon Trends Resulting From Changes In Atmospheric Deposition Chemistry. *Nature* 450, 537–540.

MORAES, A. C. R. Contribuições Para A Gestão Da Zona Costeira Do Brasil: Elementos Para Uma Geografia Do Litoral Brasileiro. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1999.

MORTIMER, C. H. Chemical Exchanges Between Sdimentos And Water In The Great Lakes – Speculations On Probable Regulatory Mechanisms. *Limnology And Oceanography*, V.16 (2), P.387-404, Março, 1971.

MUNIZ, JAQUELINE & ABUCHACRA, RODRIGO & PEIXOTO, FERNANDO & ABUCHACRA, PAULA & SANDERS, CHRISTIAN & SALGADO, CARLA & NETO, JOSÉ & AMORA-NOGUEIRA, LEONARDO & CORDEIRO, RENATO & MOREIRA, L. & PINHO, LUANA & VALENTIN, JEAN & FAUSTINO, ALLANA & OLIVEIRA, ANA & PIO, DOUGLAS & CARVALHO, MANUELA & PINTO, SAMIRA & MACHADO, WILSON & GOMES, LUIZ EDUARDO & MAROTTA, HUMBERTO. (2023). Towards An Integrated Pelagic And Benthic Analysis Of Long-Term Coastal Eutrophication (Guanabara Bay, Brazil). *Environmental Advances*. 15. 100476. 10.1016/J.Envadv.2023.100476.

NEUMANN B, VAFEIDIS AT, ZIMMERMANN J, NICHOLLS RJ (2015) Future Coastal Population Growth And Exposure To Sea-Level Rise And Coastal Flooding - A Global Assessment. *Plos ONE* 10(3): E0118571. Doi:10.1371/Journal.Pone.0118571

NICOLODI, JOÃO LUIS; PETERMANN, RAFAEL MUELLER. Potential Vulnerability Of The Brazilian Coastal Zone In Its Environmental, Social, And Technological Aspects. *Pan-American Journal Of Aquatic Sciences*, V. 5, N. 2, P. 12-32, 2010.

NIRMAL-RAJKUMAR A, BARNES J, RAMESH R, PURVAJA R, UPSTILL-GODDARD RC (2008) Methane And Nitrous Oxide 821 Fluxes In The Polluted Adyar River And Estuary, SE India. *Mar Pollut Bull* 56:2043–2051. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.005>

NIEMINEN M, SALLANTAUS T, UKONMAANAHO L, NIEMINEN TM, SARKKOLA S (2017) Nitrogen And Phosphorus Concentrations In Discharge From Drained Peatland Forests Are Increasing. *Sci Total Environ* 609:974–981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>

NGATIA, L., GRACE III, J. M., MORIASI, D., & TAYLOR, R. (2019). Nitrogen And Phosphorus Eutrophication In Marine Ecosystems. *Monitoring Of Marine Pollution*, 1-17

NGUYEN TTN, NÉMERY J, GRATIOT N, GARNIER J, STRADY E, TRAN VQ, NGUYEN AT, NGUYEN TNT, GOLLIET C, AIMÉ J (2019a) Phosphorus Adsorption/Desorption Processes In The Tropical Saigon River Estuary (Southern Vietnam) Impacted By A Megacity. *Estuar Coast Shelf Sci* 227:106321. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106321>

NGUYEN, HUU & HAMMA, W. & STAN, MARI-ISABELLA & VAN TRUONG, TRAN & ASTEFANO AIEI, ROXANA & BUI, QUANG-THANH & VINTILA, DRAGOS & PHAM, Q.T. & LIXANDROIU, CRISTINA & TRUONG, QUANG HAI & TENEA, DIANA & IANOS, IOAN. (2020). Impacts Of Urbanization And Tourism On The Erosion And Accretion Of European, Asian And African Coastal Areas And Possible Solutions. *Urbanism. Architecture. Constructions*. 11. 123-156.

NGUYEN V. T., TRAN D. T., SAITO Y., GOURAMANIS C. (2013), Monitoring Coastline Change In The Red River Delta Using Remotely Sensed Data, *Journal Of Marine Science And Technology* 13(2): 151-160.

NOLLER, J.S., 2000. Lead-210 Geochronology, Em: Quaternary Geochronology. Pp. 115–120. [doi:10.1029/Rf004p0115](https://doi.org/10.1029/Rf004p0115)

NYSTRAND, M. I., ÖSTERHOLM, P., NYBERG, M. E., AND GUSTAFSSON, J. P. (2012). Metal Speciation In Rivers Affected By Enhanced Soil Erosion And Acidity. *Applied Geochemistry* 27, 906–916. [doi: 10.1016/j.apgeochem.2012.01.009](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.01.009).

OGRINC, N., FONTOLAN, G., FAGANELI, J., COVELLI, S., 2005. Carbon And Nitrogen Isotope Compositions Of Organic Matter In Coastal Marine Sediments (The Gulf Of Trieste, N Adriatic Sea): Indicators Of Sources And Preservation. *Mar. Chem.* 95, 163–181. [doi:10.1016/j.marchem.2004.09.003](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2004.09.003)

ORSI, R. A. (2023). As Mudanças Climáticas Globais E As Cidades: A Inserção Da Problemática Nas Políticas Públicas Locais: Global Climate Change And Cities: The Insertion Of The Problem Into Local Public Policies. *Simbiótica. Revista Eletrônica*, 10(3), 96–113. <https://doi.org/10.47456/Simbitica.V10i3.41104>

PAES, M. T. D. Trajetórias Do Patrimônio Cultural E Os Sentidos Dos Seus Usos Em Paraty (RJ). *Resgate: Revista Interdisciplinar De Cultura*, Campinas, SP, V. 23, N. 2, P. 105–118, 2015. DOI: 10.20396/Resgate.V23i30.8645810. Disponível Em: <https://Periodicos.Sbu.Unicamp.Br/Ojs/Index.Php/Resgate/Article/View/8645810>. Acesso Em: 26 Fev. 2023.

PAERL, HANS W.; HALL, NATHAN S.; PEIERLS, BENJAMIN L.; ROSSIGNOL, KAREN L. (2014). *Evolving Paradigms And Challenges In Estuarine And Coastal Eutrophication Dynamics In A Culturally And Climatically Stressed World*. *Estuaries And Coasts*, 37(2), 243–258. Doi:10.1007/S12237-014-9773-X

PALUMBI, S.R., SANDIFER, P.A., ALLAN, J.D., BECK, M.W., FAUTIN, D.G., FOGARTY, M.J., HALPERN, B.S., INCZE, L.S., LEONG, J., NORSE, E., STACHOWICZ, J.J. AND WALL, D.H. (2009), Managing For Ocean Biodiversity To Sustain Marine Ecosystem Services. *Frontiers In Ecology And The Environment*, 7: 204-211. <https://doi.org/10.1890/070135>

PRASERTSAK P, FRENEY JR, DENMEAD OT, SAFFIGNA PG, PROVE BG, REGHENZANI JR (2002) Effect Of Fertilizer Placement On Nitrogen Loss From Sugarcane In Tropical Queensland. *Nutr Cycl Agroecosyst* 62(3):229–239. <https://doi.org/10.1023/A:1021279309222>

PRIMAVESI, O., ARZABE, C., & PEDREIRA, M. D. S. (2007). Mudanças Climáticas: Visão Tropical Integrada Das Causas, Dos Impactos E De Possíveis Soluções Para Ambientes Rurais Ou Urbanos.

PENUELAS, JOSEP. Anthropogenic Global Shifts In Biospheric N And P Concentrations And Ratios And Their Impacts On Biodiversity, Ecosystem Productivity, Food Security, And Human Health. *Global Change Biology*, V. 26, N. 4, P. 1962-1985, 2020.

POUZET, P., & MAANAN, M. (2020). Temporal Approaches Of Historical Extreme Storm Events Based On Sedimentological Archives. *Journal Of African Earth Sciences*, 162, 103710.

RABELO, JAMILLE DA SILVA. Caracterização Da Diversidade Microbiana E Sua Influência No Ciclo Biológico Do Metano Em Sedimentos Do Saco Do Mamanguá, Rio De Janeiro. 2020. Dissertação (Mestrado Em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade De São Paulo, São Paulo, 2020. Doi:10.11606/D.21.2020.Tde-23082022-144046.

RABOUILLE, C., MACKENZIE, F. T. & VER, L. M. Influence Of The Human Perturbation On Carbon, Nitrogen, And Oxygen Biogeochemical Cycles In The Global Coastal Ocean. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 65(21), 3615–3641 (2001).

RAJAR, RUDOLF; SIRCA, A. Hydrodynamic And Pollutant Transport Models Applied To Coastal Seas. WIT Press, 1970.

REGNIER, P., RESPLANDY, L., NAJJAR, R. G., & CIAIS, P. (2022). The Land-To-Ocean Loops Of The Global Carbon Cycle. *Nature*, 603(7901), 401-410.

REINIKAINEN, P., MERILÄINEN, J.J., VIRTANEN, A., VEIJOLA, H., ÄYSTÖ, J., 1997. Accuracy Of ^{210}Pb Dating In Two Annually Laminated Lake Sediments With High Cs Background. *Appl. Radiat. Isot.* 48, 1009–1019. Doi:10.1016/S0969-8043(96)00337-5

RIBEIRO, DEISE & FREIRE, FERNANDO. (2019). Estudo De Razões De Compostos Químicos Para Análises Paleoambientais Na Formação Codó, Com Base Em Amostras De Calha De Poços Do Parque Dos Gaviões, Bacia Do Parnaíba. 10.13140/RG.2.2.26194.30407.

RICHARDSON S. D. (2012), Environmental Mass Spectrometry: Emerging Contaminants And Current Issues, *Analytical Chemistry* 84(2): 747-778.

RODRIGUES, R. S. S., DA SILVA, M. D. N. A., FERREIRA FILHO, D. F., BEZERRA, P. E. S., & DE FIGUEIREDO, N. M. (2020). Análise Dos Efeitos De Um Evento Extremo De Chuva Sobre O Escoamento Superficial Em Uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural Amazônica. *Revista Brasileira De Climatologia*, 26.

RONCARATI, H.; CARELLI, S. G. Considerações Sobre O Estado Da Arte Dos Processos Geológicos Cenozóicos Atuantes Na Baía De Sepetiba, P. 13 – 36. In: Rodrigues, M. A. C.; Pereira, S. D.; Santos, S. B. (Eds.), *Baía De Sepetiba – Estado Da Arte*. Rio De Janeiro, P.26,. 2012.

ROJAS, C., MUNIZAGA, J., ROJAS, O., MARTÍNEZ, C., & PINO, J. (2019). Urban Development Versus Wetland Loss In A Coastal Latin American City: Lessons For Sustainable Land Use Planning. *Land Use Policy*, 80, 47-56.

RUTTENBERG, K. C. Diagenesis And Burial Of Phosphorus In Marine Sediments: Implications For The Marine Phosphorus Budget. 375 P. Phd Thesis, Yale University, 1990.

RUTTENBERG, K. C.; CANFIELD, D. E. Chemical Distribution Of Phosphorus In Suspended Particulate Matter From Twelve North American Rivers: Evidence For Bioavailability Of Particulate-P. *Eos, Trans., Agu*, V. 75, N. 3, P. 110, 1994.

RUTTENBERG, K. C. The Global Phosphorus Cycle. In: (Ed.). *Treatise On Geochemistry*. 2, 2014. P.499-558.

SAMANTRAY, P., & GOUDA, K. C. (2023). A Review On The Extreme Rainfall Studies In India. *Natural Hazards Research*.

SAMPURNO, PUNGKY & ZURANDA, RINA & NURDIN, NAZAR & GUSTIANTINI, LULI & ARYANTO, NOOR. (2018). Elemental Analysis On Marine Sediments Related To Depositional Environment Of Bangka Strait. *BULLETIN OF THE MARINE GEOLOGY*. 32. 10.32693/Bomg.32.2.2017.392.

SANTOS, CLECIANA DO ROSÁRIO. "Impacto Antropogênico Ao Aporte De Fósforo Em Sedimentos Superficiais Da Bacia Hidrográfica Do Rio Sergipe." (2023).

SENA, J. P. O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos Extremos De Precipitação No Sertão Paraibano: Variação Espaço-Temporal. *Revista Verde De Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável*, V. V.12, N.Nº 4, P. 748-755, 2017. DOI: [Http://Dx.Doi.Org/10.18378/Rvads.V12i4.4938](http://dx.doi.org/10.18378/Rvads.V12i4.4938).

SENEVIRATNE, S. I., ZHANG, X., ADNAN, M., BADI, W., DERECZYNSKI, C., LUCA, A. D. ALLAN, R. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate.

SHEPARD CC, CRAIN CM, BECK MW (2011) The Protective Role Of Coastal Marshes: A Systematic Review And Meta-Analysis. Plos One 6:E27374.

SHYTON, T. G. (2023). Revisão Sistemática Sobre Adaptação Baseada Em Ecossistemas Em Regiões Costeiras Do Hemisfério Sul E Lições Comparativas Para A Região Metropolitana Da Baixada Santista.

SILVA, ORJANA CARVALHO ALCANTARA. Análise Da Suscetibilidade A Escorregamentos E Das Implicações Da Evolução Do Uso E Cobertura Do Solo No Município De Paraty, RJ. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade De São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível Em: <Http://Www.Teses.Usp.Br/Teses/Disponiveis/44/44138/Tde-06052010-105556/>.

SILVA, KAYLANNE MONTENEGRO DA. Estudo Da Geoquímica Do Fósforo Em Sedimentos Da Laguna De Araruama - RJ, Para Avaliação Do Processo De Eutrofização. 2019. 99 F. Dissertação (Mestrado Em Saúde Pública E Meio Ambiente) - Escola Nacional De Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio De Janeiro, 2019.

SILVA, T. B. M. D. (2023). Identificação Dos Serviços Ecossistêmicos Na Área De Proteção Ambiental Massambaba Em Saquarema, Rio De Janeiro.

SLOMP, C.P., VAN CAPPELLEN, P., 2004. Nutrient Inputs To The Coastal Ocean Through Submarine Groundwater Discharge: Controls And Potential Impact. Journal Of Hydrology 295, 64–86.

SMIL, V. Phosphorus In The Environment: Natural Flows And Human Interferences. Rev. Energy Environ., V. 25, N. 1, P. 53-88, 2000.

SMITH, V. H. SCHINDLER, D. W. Eutrophication Science: Where Do We Go From Here?. Cell Press. V. 24. N.4. P. 201-207. Fev. 2009.

SMITH, V. H. (2016). Effects Of Eutrophication On Maximum Algal Biomass In Lake And River Ecosystems. Inland Waters, 6(2), 147-154.

SOBEK, S. ZURBRUGG, R. OSTROVSKY, I. The Burial Efficiency Of Organic Carbono In The Sediments Of Lake Kinneret. Springer Basel AG 2011. V.73, P. 355-364.

SALDING, M. D.; RUFFO, S.; LACAMBRA, C. The Role Of Ecosystems In Coastal Protection: Adapting To Climate Change And Coastal Hazards. Ocean And Coastal Management, V. 90, P. 50–57, 2014.

SPERA, AMANDA MATTOSINHOS. Registro De Variações Ambientais Dos Últimos 3000 Anos Da Região Da Ria Do Mamanguá, Rio De Janeiro, Utilizando Marcadores Orgânicos Moleculares. 2012. Dissertação (Mestrado Em Oceanografia Química) - Instituto Oceanográfico, Universidade De São Paulo, São Paulo, 2012. Doi:10.11606/D.21.2012.Tde-28032013-104448. Acesso Em: 2023-02-28.

SOMMERFIELD, C. OGSTON, A. MULLENBACH, B. DRAKE, D. ALEXANDER, C. NITTROUER, C. BORGELD, J. WHEATCROFT, R. LEITHOLD, E. Oceanic Dispersal And Accumulation Of River Sediment. *International Association Of Sedimentologists*. 2007.

SUN, DAYANG. Sources, Distributions, And Burial Efficiency Of Terrigenous Organic Matter In Surface Sediments From The Yellow River Mouth, Northeast China. *Organic Geochemistry*, V. 118, P. 89-102, 2018

SUNDA, W.G. CAI, W. J. (2012) Eutrophication Induced CO₂-Acidification Of Subsurface Coastal Waters: Interactive 866 Effects Of Temperature, Salinity, And Atmospheric PCO₂. *Environ Sci Technol* 46:10651–9. 867 <https://doi.org/10.1021/Es300626f>

SYRJÄNEN, AINO. "Phosphorus Distribution In Coastal Baltic Sea Sediments: Examining The Controls On Sedimentary Phosphorus Distribution In Paimionlahti Estuary." (2023)

TAN, Z., LEUNG, L. R., LI, H. Y., TESFA, T., ZHU, Q., YANG, X. HUANG, M. (2021). Increased Extreme Rains Intensify Erosional Nitrogen And Phosphorus Fluxes To The Northern Gulf Of Mexico In Recent Decades. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054080.

TANAKA, Y., MINGGAT, E. & ROSELI, W. The Impact Of Tropical Land-Use Change On Downstream Riverine And Estuarine Water Properties And Biogeochemical Cycles: A Review. *Ecol Process* 10, 40 (2021). <https://doi.org/10.1186/S13717-021-00315-3>

TRANVIK, L., COLE, J. J., & PRAIRIE, Y. T. (2018). The Study Of Carbon In Inland Waters-From Isolated Ecosystems To Players In The Global Carbon Cycle. *Limnology And Oceanography Letters*, 3(3), 41-48.

TROMP, T.K. VAN CAPPELLEN, P. KEY, R. M. (1995) A Global-Model For The Early Diagenesis Of Organic-Carbon And Organic-Phosphorus In Marine Sediments. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 59: 1259-1284.

TUCCI, C. E. M. Gestão Da Drenagem Urbana/Carlos E. M. Tucci. Brasília, DF: CEPAL. Escritório No Brasil/IPEA, 2012. (Textos Para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. (2008) Human Domination Of Earth's Ecosystems. In: Marzluff J.M. Et Al. (Eds) *Urban Ecology*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_1

TUNTIPRAPAS, PIYALAP. The Contributions Of Allochthonous And Autochthonous Materials To Organic Carbon In Coastal Sediment: A Case Study From Tangkhen Bay, Phuket, Thailand. *Ecological Research*, V. 34, N. 6, P. 718-729, 2019.

UNDERWOOD, G. J., DUMBRELL, A. J., MCGENITY, T. J., MCKEW, B. A., & WHITBY, C. (2022). The Microbiome Of Coastal Sediments. *The Marine Microbiome*, 479-534.

VELHO, A. M. A. Preliminary Study By Environmental Indicator Measurements Of Sediments In A Mangrove Forest In Ilha Grande Bay, Rio De Janeiro, Southeastern Brazil. *Journal Of Environmental Protection*, V. 3, N. 8, P. 731-739. 2012.

VILLARDI, V. R. (2017). Variabilidade Espacial Do Estoque De Carbono Nos Manguezais Da Baía Da Ilha Grande (RJ).

XIAO, RUSHUI & GAO, GUANDONG & YANG, DEZHOU & SU, YING & DING, YANG & BI, RONG & YAN, SHIBO & YIN, BAOSHU & LIANG, SHENGKANG & LV, XIANQING. (2024). The Impact Of Extreme Precipitation On Physical And Biogeochemical Processes Regarding With Nutrient Dynamics In A Semi-Closed Bay. *Science Of The Total Environment*. 906. 167599. 10.1016/J.Scitotenv.2023.167599.

VOLLENWEIDER, R., 1976. Advances In Defining Critical Loading Levels For Phosphorus In Lake Eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53–83.

WALSH, J.J., 1991. Importance Of Continental Margins In The Marine Biogeochemical Cycling Of Carbon And Nitrogen. *Nature* 350, 53–55.

WANG, C. Et Al. Sequential Extraction Procedures For The Determination Of Phosphorus Forms In Sediment. *Limnology*, V. 14, N. 2, P. 147157, 2013.

WASKO, C., NATHAN, R., STEIN, L., & O'SHEA, D. (2021). Evidence Of Shorter More Extreme Rainfalls And Increased Flood Variability Under Climate Change. *Journal Of Hydrology*, 603, 126994.

WETTERSTEDT JÅM, PERSSON T, ÅGREN GI (2010) Temperature Sensitivity And Substrate Quality In Soil Organic Matter Decomposition: Results Of An Incubation Study With Three Substrates. *Glob Chang Biol* 16(6):1806–1819. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02112.x>

WETZ, MICHAEL & YOSKOWITZ, DAVID. (2013). An 'Extreme' Future For Estuaries? Effects Of Extreme Climatic Events On Estuarine Water Quality And Ecology. *Marine Pollution Bulletin*. 69. 10.1016/J.Marpolbul.2013.01.020.

WINKLER, K., FUCHS, R., ROUNSEVELL, M. Global Land Use Changes Are Four Times Greater Than Previously Estimated. *Nat Commun* 12, 2501 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

WOLLAST, R., 2002. Continental Margins – Review Of Geochemical Settings. In: Wefer, G., Billet, D., Hebbeln, D., Jørgesen, B.B., Schülter, M., Van Weering, T.C.E. (Eds.), *Ocean Margin Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, Pp. 5–31.

WOSZCZYK, M.; POREBA, G.; MALINOWSKI, Ł. 210pb,137cs And7be In The Sediments Of Coastal Lakes On The Polish Coast: Implications For Sedimentary Processes. *Journal Of Environmental Radioactivity*, V. 169–170, P. 174–185, 2017.

XAVIER, M. A.S. Territorialidade Caiçara Expressa Nos Fazeres-Saberes Da Comunidade Do Saco Do Mamanguá, Paraty, RJ. *Percursos*, Florianópolis, V. 19, N. 40, P. 242-264, 2018.

XIAO K, PAN F, LI Y, LI Z, LI H, GUO Z, WANG X, ZHENG C. Coastal Aquaculture Regulates Phosphorus Cycling In Estuarine Wetlands: Mobilization, Kinetic Resupply, And Source-Sink Process. *Water Res.* 2023 May 1;234:119832. Doi: 10.1016/J.Watres.2023.119832. Epub 2023 Mar 3. PMID: 36889088.

YADUVANSHI, A., SHARMA, R. K., KAR, S. C., & SINHA, A. K. Rainfall–Runoff Simulations Of Extreme Monsoon Rainfall Events In A Tropical River Basin Of India. *Natural Hazards*, V. 90, P. 843–861, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3075-0>.

YANG, PING. Landscape Change Affects Soil Organic Carbon Mineralization And Greenhouse Gas Production In Coastal Wetlands. *Global Biogeochemical Cycles*, V. 36, N. 12, P. E2022gb007469, 2022.

YOUN, JEUNG-SU & BYUN, JONG-CHEOL & KIM, YEO-SANG. (2006). Geochemical Characteristics Of The Outer-Shelf Muddy Sediments In The East China Sea. *Journal Of The Korean Earth Science Society*. 27.

ZAMBRANO, KAREN TAVARES. *O Papel Dos Sedimentos De Fundo De Rios E Riachos Na Dinâmica Do Fósforo: Estado Da Arte E Avaliação Preliminar Do Equilíbrio Água-Sedimento Em Ambientes Tropicais*. Diss. Universidade De São Paulo, 2021.

Zilli, M. T., Carvalho, L. M., Liebmann, B., & Silva Dias, M. A. (2017). A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2269-2279.

ZHAI, W. DAI, M. GUO, X. (2007) Carbonate System And CO₂ Degassing Fluxes In The Inner Estuary Of Changjiang 896 (Yangtze) River, China. *Mar Chem* 107:342–356. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2007.02.011>

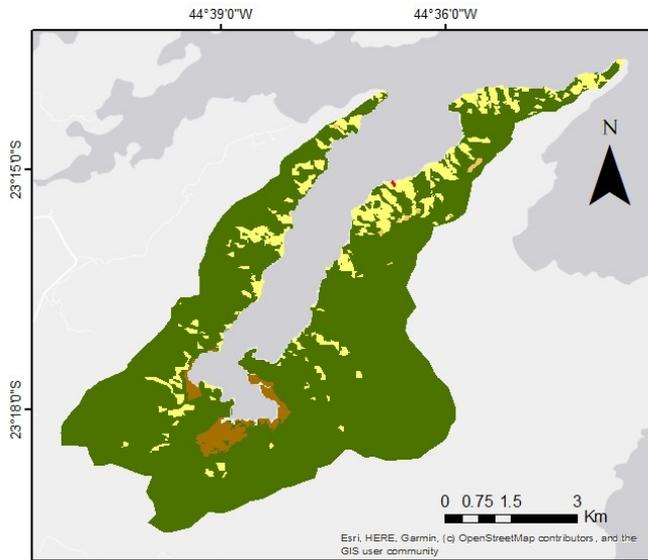
ZHANG, Y., LIANG, S., & YANG, L. (2019). A Review Of Regional And Global Gridded Forest Biomass Datasets. *Remote Sensing*, 11(23), 2744.

ZHOU, YUN. Eutrophication Control Strategies For Highly Anthropogenic Influenced Coastal Waters. *Science Of The Total Environment*, V. 705, P. 135760, 2020

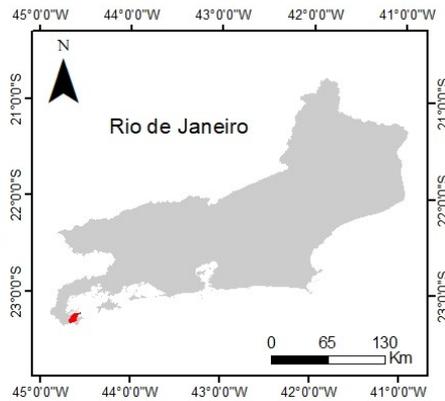
ZHU, ZHUOYI & ZHANG, JING & WU, YING & ZHANG, YING-YING & LIN, JING & LIU, SU MEI. (2011). Hypoxia Off The Changjiang (Yangtze River) Estuary: Oxygen Depletion And Organic Matter Decomposition. *Marine Chemistry - MAR CHEM*. 125. 108-116. [10.1016/j.marchem.2011.03.005](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2011.03.005).

ANEXO A – Saco do Mamanguá

Saco do Mamanguá 1985

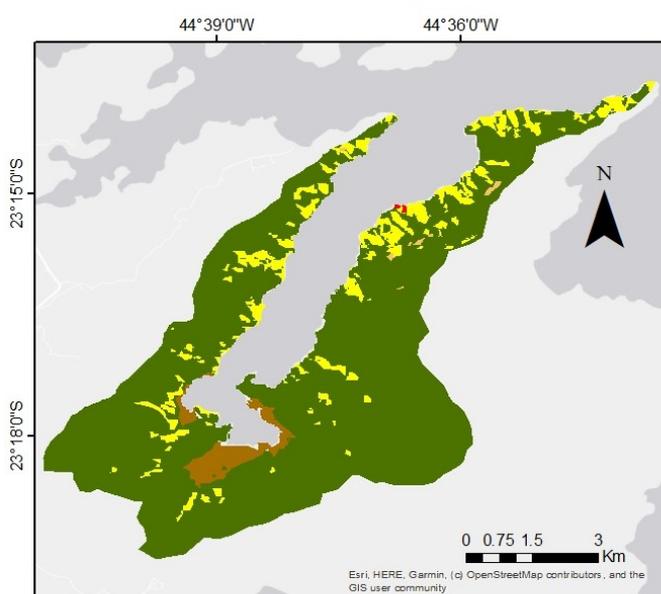


- Vegetação
- Manguezal
- Área Não Vegetada
- Ocupação Humana
- Afloramento Rochoso

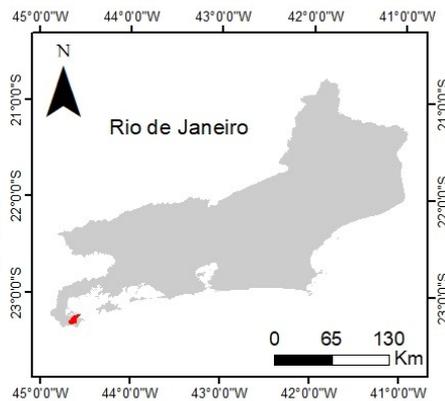


SIRGAS 2000
 Fonte: MapBiomias
 Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

Saco do Mamanguá 1990

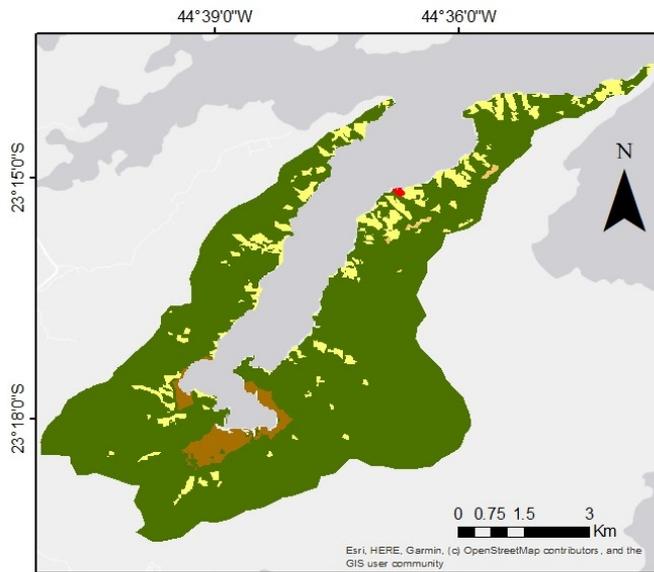


- Vegetação
- Manguezal
- Área Não Vegetada
- Ocupação Humana
- Afloramento Rochoso

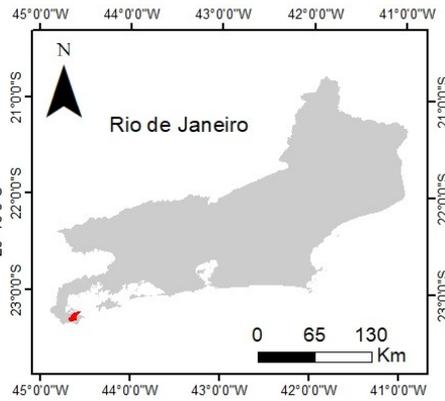


SIRGAS 2000
 Fonte: MapBiomias
 Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

Saco do Mamanguá 1995

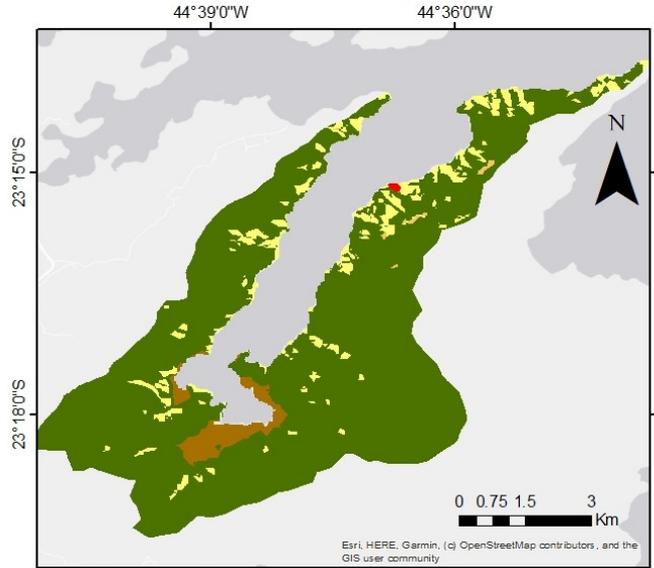


- Vegetação
- Ocupação Humana
- Manguezal
- Afloramento Rochoso
- Área Não Florestada

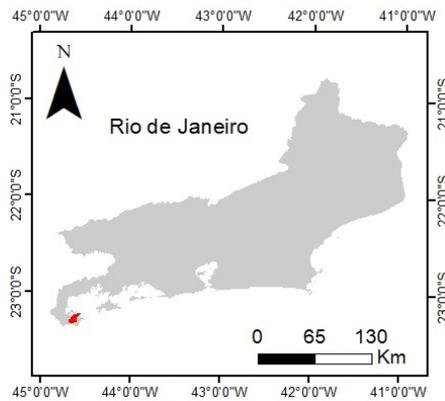


SIRGAS 2000
Fonte: MapBiomias
Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

Saco do Mamanguá 2000

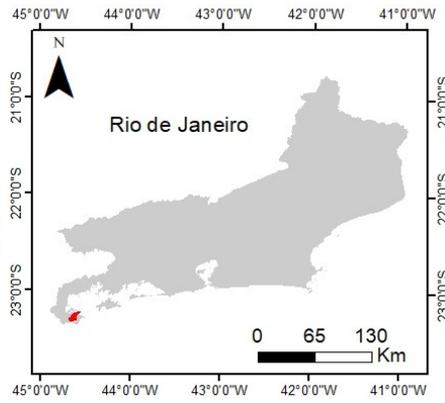
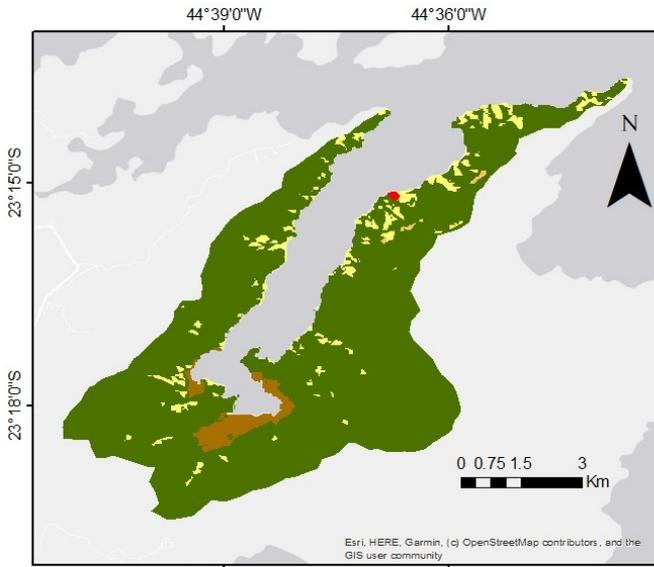


- Vegetação
- Ocupação Humana
- Manguezal
- Afloramento Rochoso
- Área não Vegetada



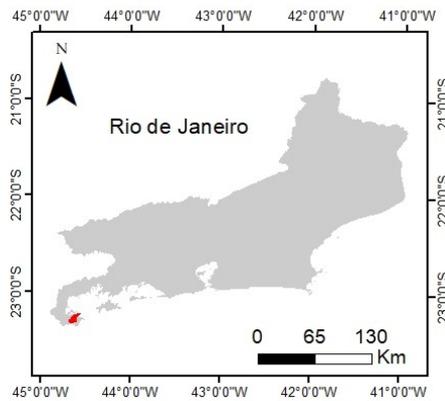
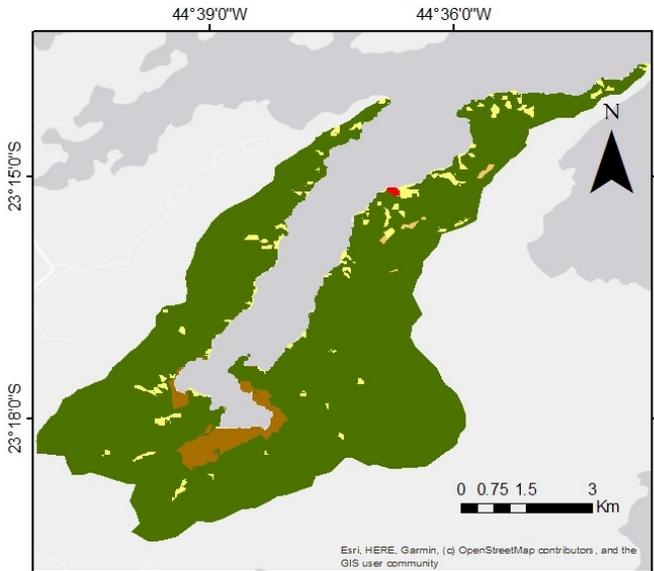
SIRGAS 2000
Fonte: MapBiomias
Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

Saco do Mamanguá 2005



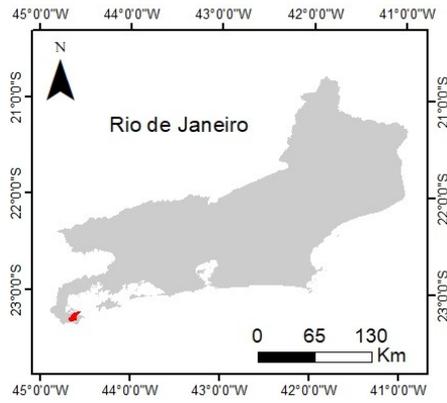
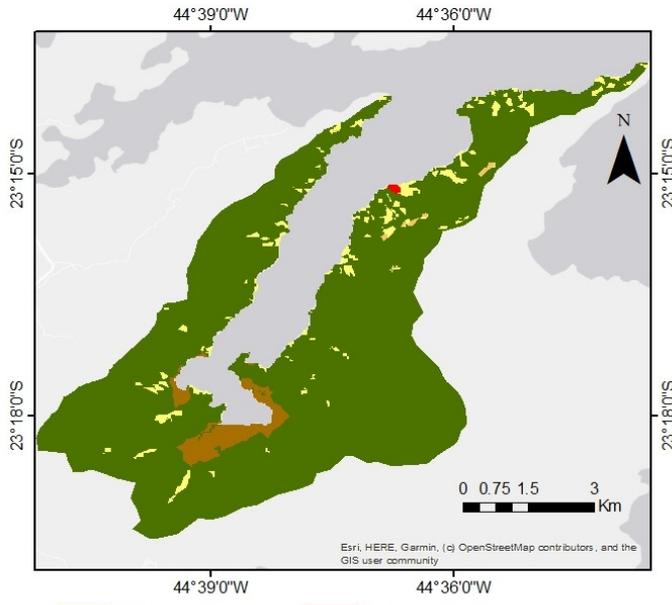
SIRGAS 2000
Fonte: MapBiomias
Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

Saco do Mamanguá 2010



SIRGAS 2000
Fonte: MapBiomias
Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

Saco do Mamanguá 2016



SIRGAS 2000
Fonte: MapBiomias
Elaboração: Vinicius Rodrigues da Costa

ANEXO B - Tabelas de correlação de Spearman

Tabela 1 – Coeficiente de correlação de Spearman. As correlações sinalizadas em vermelho são significativas ($p < 0.05$).

	TAS (mm/ano)	PT (g m ² a ⁻¹)	PI (g m ² a ⁻¹)	PO (g m ² a ⁻¹)	Ti/Ca	Fe/Ca	K/Ca	Precipitação (mm/ano)	Interv. Humana (%)
TAS (mm/ano)	1.00								
PT (g m ² a ⁻¹)	0.96	1.00							
PI (g m ² a ⁻¹)	0.95	0.95	1.00						
PO (g m ² a ⁻¹)	0.46	0.57	0.29	1.00					
Ti/Ca	0.63	0.51	0.59	0.01	1.00				
Fe/Ca	0.62	0.50	0.58	0.00	1.00	1.00			
K/Ca	0.69	0.58	0.66	0.04	1.00	0.99	1.00		
Precipitação (mm/ano)	0.29	0.14	0.20	-0.12	0.26	0.26	0.26	1.00	
Interv. Humana (%)	-0.82	-0.82	-0.80	-0.41	0.53	-0.50	0.59	-0.08	1.00

Tabela 2 – Valor de P do coeficiente de correlação de Spearman. Os valores sinalizados em vermelho representam um $p < 0.05$.

	TAS (mm/ano)	PT (g m ² a ⁻¹)	PI (g m ² a ⁻¹)	PO (g m ² a ⁻¹)	Ti/Ca	Fe/Ca	K/Ca	Precipitação (mm/ano)	Interv. Humana (%)
TAS (mm/ano)	x								
PT (g m ² a ⁻¹)	0.00	x							
PI (g m ² a ⁻¹)	0.00	0.00	x						
PO (g m ² a ⁻¹)	0.11	0.04	0.34	x					
Ti/Ca	0.02	0.07	0.03	0.98	x				
Fe/Ca	0.03	0.08	0.04	0.99	0.00	x			
K/Ca	0.01	0.04	0.01	0.90	0.00	0.00	x		
Precipitação (mm/ano)	0.34	0.66	0.51	0.70	0.38	0.39	0.40	x	
Interv. Humana (%)	0.00	0.00	0.00	0.17	0.06	0.08	0.03	0.80	x