

Caracterização ambiental do Estuário do Rio Oiapoque, Brasil-Guiana Francesa

Environmental characterization of the Oiapoque River Estuary, Brazil-French Guiana

Lazaro Laut^{ad}, Kettollen Pereira^{ac}, Pierre Belart^{af}, Thiago Gonçalves Carelli^{ag}, Fernanda Souza^{bh}, Valdenira Ferreira Santos^{ci}

^aUniversidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO, ^bUniversidade do estado do Amapá - UEAP, ^cInstituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá - IEPA
^dlazaro.laut@gmail.com, ^ekettollen@gmail.com, ^fpbelart@gmail.com, ^gthiago.carelli@unirio.br, ^hfernanda.cem@gmail.com,
ⁱvaldeniraferreira@gmail.com

Resumo

O estuário do rio Oiapoque localizado na fronteira entre Brasil e a Guiana Francesa representa um ecossistema aquático ímpar, pois possui uma grande diversidade de subambientes, rica biodiversidade, alta hidrodinâmica e margeia importantes áreas de proteção ambiental do bioma amazônico, assim como diversas comunidades indígenas. Além da vulnerabilidade deste ecossistema às mudanças climáticas globais, o rio Oiapoque tem um longo histórico de poluição por mercúrio resultante da extração de ouro. Visando o reconhecimento dos subambientes estuarinos, e assim auxiliar a implementação de programas de monitoramento ambiental na região, vinte e sete estações amostrais foram estabelecidas em maio de 2018 ao longo da zona estuarina, destinadas às análises granulométricas, carbono orgânico total (COT), enxofre total (ST) e parâmetros físico-químicos. Os resultados mostram a dominância de subambientes fluviais até a região da foz na baía do Oiapoque, com predominância da sedimentação siltosa e uma pequena influência marinha restrita à região da foz. A análise estatística dos dados permitiu a identificação de sete regiões distintas no estuário do rio Oiapoque que representam diferentes condições hidrodinâmicas. Dentre estas, destaca-se a Região II, localizada na região mais interna do estuário, que apresentou impacto antropogênico indicado pelas altas porcentagens de COT e ST representando o depocentro dos efluentes provenientes da cidade Saint Georges l'Oyapock, Vila Vitória e Oiapoque.

Palavras-chave: Estuário tropical; Costa Amazônica; Caracterização ambiental.

Abstract

The Oiapoque river estuary, located between the borders of Brazil and French Guiana, represents a unique aquatic ecosystem with a great diversity of sub-environments, high hydrodynamics, and rich biodiversity, which fringes important environmental protection areas of the Amazon biome as well as several indigenous communities. In addition to its vulnerability to global climate changes, the Oiapoque River also shows a long history of mercury pollution from gold mining. This study aimed to characterize the estuarine sub-environments through analyzes of total organic carbon (TOC), total sulfur (TS), physical-chemical parameters, and particle size performed on 27 samples collected in May 2018 along the estuarine zone, whose data may help the implementation of environmental monitoring programs in the region. In general, the results show the dominance of fluvial sub-environments until the mouth region, with the predominance of silty sedimentation and a small marine influence restricted to the mouth area. Statistical analysis of the data allowed the identification of seven distinct regions (R-I to R-VII) in the Oiapoque River estuary representing different hydrodynamic conditions. Among these, It is highlighting Region II, located in the innermost area of the estuary, showed an anthropogenic impact indicated by the high percentages of TOC and TS associated with the depocenter of effluents from the city of Saint Georges l'Oyapock, Vitória Village, and Oiapoque.

Keywords: Tropical estuary; Amazon Coast; environmental characterization.

1. Introdução

Os estuários tropicais associados à vegetação de mangue são ecossistemas de transição que estabelecem uma ligação entre os ambientes marinho e fluvial, sendo uma região biologicamente valiosa, pois servem de berçário para várias espécies, assim como também retêm sedimentos finos evitando o assoreamento de canais, baías e lagoas (Constanza et al. 1997; Beck et al. 2001; Attrill & Power 2002). Por meio de reações físico-químicas, estes ambientes também funcionam

como barreiras geoquímicas ao transporte de elementos tóxicos para as áreas costeiras adjacentes (Laut et al. 2021a).

O grande aporte de nutrientes (N e P) nestas regiões é fundamental para o desenvolvimento dos produtores primários e também servem de abrigo para uma rica biodiversidade de organismos adaptados às constantes oscilações ambientais, o que proporciona uma série recursos para as cidades que os cercam (Laut et al. 2021a).

De acordo com Barros & Albernaz (2014), as regiões tropicais serão a mais afetadas pelas mudanças climáticas principalmente devido às mudanças nos padrões de precipitação e temperatura. As projeções realizadas pelo IPCC (2014) para o clima do Brasil, derivadas dos modelos globais, indicam um aumento da temperatura de cerca de 5°C para todo o país até 2100. No entanto, para a Amazônia, os resultados são divergentes no que diz respeito à quantidade, periodicidade e distribuição de chuvas, pois alguns modelos indicam reduções drásticas na precipitação, enquanto outros preveem um aumento (Marengo 2007; Marengo et al. 2010).

A região amazônica é altamente vulnerável a extremos climáticos que têm sido recorrentes nas últimas décadas. Por exemplo, no ano de 2021, a bacia amazônica foi afetada por chuvas extremamente fortes, que elevaram o nível das águas de seus rios, com o Rio Negro atingindo 29,98 metros, marco que foi considerado como a maior enchente nos últimos 119 anos (CPRM 2021). Em oposição, no mês de maio deste mesmo ano, ocorreu um período de seca extrema (WWF-Brasil 2021). Durante os períodos de seca, há reduções drásticas nas chuvas, baixando o nível de água de alguns dos grandes rios da bacia, criando problemas para as populações ribeirinhas que dependem dos cursos d'água (Fearnside 2006; Marengo et al. 2011a, b).

O litoral norte brasileiro constitui uma das maiores áreas de manguezais do mundo, se estendendo desde a costa do Maranhão até o Amapá, o que representa quase 85% dos manguezais do país (Menezes et al. 2008). A zona costeira amazônica possui características meteorológicas e oceanográficas peculiares, como altas temperaturas ($> 20^{\circ}\text{C}$) com baixa variação térmica anual (até 5°C), alta pluviosidade (3.300 m.ano $^{-1}$), ampla plataforma continental (~ 330 km de largura) e um regime de macromaré, com amplitudes que atingem até 12 m na costa do Amapá (Pereira et al. 2009). Além dos efeitos das mudanças climáticas, os manguezais em muitos trechos do litoral norte estão encolhendo também devido ao aumento da atividade turística e construção de estradas, o que torna difícil reconhecer se as alterações apresentadas são o resultado de ciclos naturais, das mudanças globais ou se são causadas pelas atividades humanas diretamente (Barros & Albernaz 2014).

A pesca exerce um papel fundamental no contexto socioeconômico das populações amazônicas, sendo uma das principais fontes de proteína na dieta alimentar dos ribeirinhos. O uso indevido dos recursos hídricos, a poluição do rio e o iminente cenário de mudanças climáticas prejudicam tanto o abastecimento de água quanto às atividades econômicas predominantes na região (Silva Junior 2014; Silva et al. 2016).

Dentro deste contexto de ambientes amazônicos vulneráveis se enquadra o estuário do rio Oiapoque localizado na costa norte do estado do Amapá que

representa uma das regiões com maior produtividade primária do mundo (Alves et al. 2001). Sua bacia hidrográfica é a fronteira norte do Brasil com o território ultramarino da Guiana Francesa, e por isso possui grande importância socioeconômica, cultural e ambiental para ambos os países. A área é coberta em quase sua totalidade por vegetação nativa de floresta Equatorial e, próximo ao estuário, por áreas de usos restritos, como as terras indígenas Uaçá e Juminã, e a unidade de conservação Parque Nacional do Cabo Orange (PNCO) criada em 1980. A criação de animais e a agricultura são algumas atividades econômicas importantes da região da bacia do Oiapoque, assim como, a atividade garimpeira de extração de ouro. Outra atividade econômica importante na região é a pesca artesanal, que segundo Silva et al. (2016), corresponde a mais de 90% de toda captura efetuada nas áreas costeiras do Amapá. Estas atividades sem a correta fiscalização podem causar impactos ambientais, principalmente as atividades de mineração pela liberação de mercúrio na rede de drenagem que contamina o pescado. Segundo Ricardo & Ricardo (2011), o auge da garimpagem ocorreu entre 1984 e 1988, provocando a contaminação na bacia do rio Oiapoque pela liberação de mercúrio, principalmente do lado brasileiro. Apesar da redução na atividade garimpeira na bacia do Oiapoque, ainda há problemas com garimpos ilegais na região que resultam na persistência do mercúrio no meio ambiente (Silva Junior 2014; Hacon et al. 2020). Segundo Venturieri et al. (2017), 81% dos peixes do Parque Nacional Tumucumaque apresentaram concentrações de Hg acima das recomendadas como seguras para a saúde. Contudo, dentre os rios que atravessam o parque, o Oiapoque foi o que apresentou a menor média de concentração (0,17 µg.g $^{-1}$) de Hg em peixes carnívoros. A região apresenta também outras fontes de impacto como o alto grau de contaminação fecal, pois as cidades localizadas na bacia de drenagem do rio Oiapoque não apresentam coleta ou sistema de tratamento de esgoto, e o chorume proveniente do lixão que escoa no rio Pantanari (Silva Junior 2014).

A caracterização ambiental é uma etapa fundamental para a implementação de políticas públicas de gestão e monitoramento destes ambientes estuarinos extremamente vulneráveis. O monitoramento pode ser realizado por meio de abordagens diferenciadas baseadas em aspectos físicos (hidrologia, geomorfologia, sedimentologia e pedologia, entre outros) ou biológicos (fauna e flora), bem como na avaliação de pressões naturais e antrópicas (Laut et al. 2021a, b). Desta foram, este estudo teve como objetivo realizar a primeira caracterização ambiental do Estuário do Rio Oiapoque com base nos parâmetros físico-químicos e sedimentológicos, visando à identificação de compartimentos estuarinos que possam ser utilizados como *background* em estudos de gerenciamento e monitoramento da região.

2. Área de estudo

O Estuário do Rio Oiapoque (2° - 4° N e 51° - 52° W) está localizado na bacia binacional do Oiapoque (Figura 1), que abrange parte do estado do Amapá (Brasil) e Guiana Francesa (França), com uma área de cerca de 32.000 km^2 , com aproximadamente 17.000 km^2 em território francês e 15.000 km^2 pertencentes ao Brasil (ANA 2006). As cabeceiras do Rio Oiapoque estão localizadas no estado do Amapá, na área do Parque Nacional das Montanhas do Tumucumaque (Almeida & Rauber 2005). O rio tem aproximadamente 350 km de extensão, inserido em uma extensa fratura tectônica com uma vazão média de $835 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Monfort & Ruf 2005). Segundo o relatório de monitoramento das chuvas e níveis dos rios nas bacias hidrográficas do estado do Amapá, a estação de monitoramento pertencente ao município de Oiapoque encontra-se com problemas de transmissão, com dados atuais de vazão indisponíveis (Portela et al. 2018).

A porção estuarina do rio Oiapoque corresponde a 64 km a montante de sua foz no Saut Maripa. O estuário possui regime de mesomaré com variações importantes de salinidade apenas dentro da baía do Oiapoque, que está confinada por dois cabos lamosos recobertos por vegetação de mangue (Santos 2021).

Encaixado no embasamento cristalino, o rio Oiapoque se destaca sedimentologicamente por apresentar um banco de conglomerados de seixos de até 2 cm na localidade de Clevelândia (Moraes 1964), e em direção a foz predominam os terrenos argilosos e siltosos da planície fluvio marinha (Boaventura & Narita 1974).

O clima da região amazônica é classificado como quente e úmido e apresenta precipitação média anual de aproximadamente $2.300 \text{ mm.ano}^{-1}$ (Fisch et al. 1998), com valores que chegam a 4.000 mm no norte do litoral do Amapá (Silva & Portela 2006), principalmente por estar na maior área de atividade na zona de Convergência Intertropical. Nesta região, 70% das chuvas ocorrem entre os meses de dezembro a maio (Allison et al. 1995), e a estação seca é de setembro a dezembro, meses onde as temperaturas são mais altas na região (Neves et al. 2007). Durante o período da Oscilação El-Niño Sul, condições mais secas são observadas na região, que são revertidas nos eventos La-Niña. Essa variabilidade climática influencia a vazão de água dos rios e, consequentemente, as condições de transporte e deposição de sedimentos (Santos et al. 2010).

Na margem brasileira está localizada na unidade de conservação Parque Nacional do Cabo Orange, criada pelo governo federal em 15 de julho de 1980 para preservar diversos ecossistemas localizados na foz do rio Oiapoque e no litoral norte do Brasil, no estado do Amapá. De acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2021), o parque possui vegetação marcada por florestas de terra firme e pela planície flúvio-marinha de Macapá-Oiapoque, com áreas planas de restingas e grandes manguezais, sujeitos a inundações frequentes pelas águas do mar. Esta foi a primeira unidade de conservação federal criada no Amapá (Ministério Público do Estado do Amapá 2021).

Na zona estuarina existem importantes assentamentos e atividades humanas, como por exemplo, o Projeto de Assentamento Vila Velha, a oeste do Parque Nacional do Cabo Orange, e populações indígena com a Uaçá e a Juminã que vivem ao longo do rio (WWF 2021). De acordo com estimativas do IBGE (2021), a população do município de Oiapoque até 2020 era de 27.906 habitantes numa área territorial de 22.625 km^2 . Além da cidade de Oiapoque, o município possui alguns distritos importantes em termos populacionais como Clevelândia do Norte e Vila Velha do Cassiporé. No território francês, destaca-se a cidade de Saint Georges l'Oyapock com uma população em torno de 4250 habitantes (INSEE 2018).

3.Materiais e métodos

3.1 Amostragem

Em maio de 2018, dentro do período chuvoso da região, durante o período da maré de sizigia foram coletadas 27 amostras de sedimento (Figura 1) utilizando um busca fundo do tipo Ekman. Todas as coletas foram realizadas durante a maré baixa com objetivo de evitar áreas que por ventura tivessem exposição aérea.

O primeiro centímetro superior (~ 100 mL) do sedimento foi armazenado em sacos plásticos sob refrigeração para as análises sedimentológicas. Os pontos de amostragem foram distribuídos ao longo do estuário com objetivo de cobrir todo o gradiente estuarino e georreferenciados com um GPS (modelo GPSMAP® 78S). A aferição das variáveis da interface água-sedimento salinidade (Sal), temperatura (T), oxigênio dissolvido (OD), sólidos dissolvidos totais (TDS) e pH foram obtidas com uma sonda multiparâmetro (modelo YSI 6600 V2).

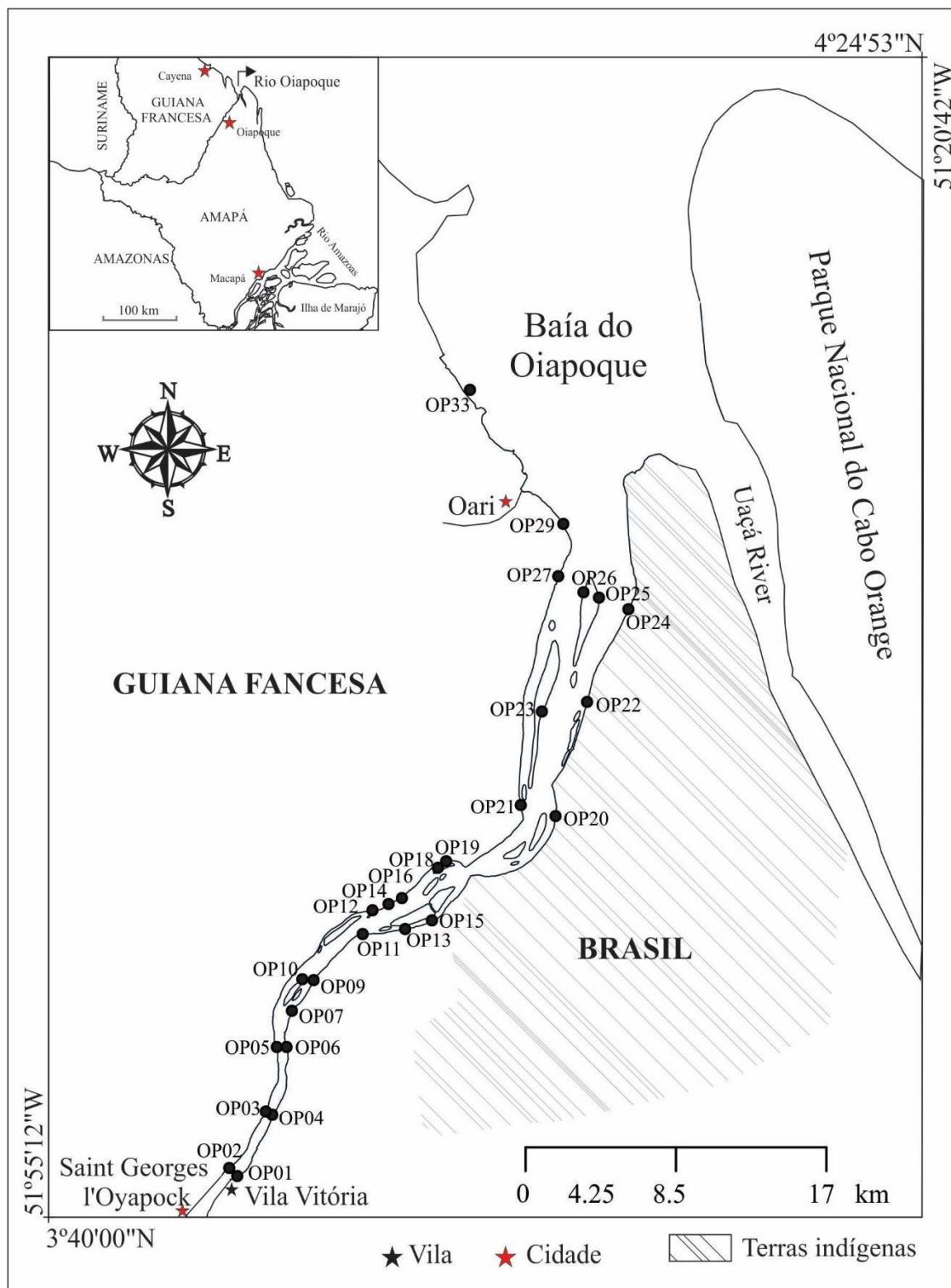


Figura 1. Localização da área de estudo e das estações de amostragem no estuário do rio Oiapoque, Amapá, Brasil.

3.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada utilizando ~ 80 g de sedimento seco à temperatura ambiente por 48 horas, homogeneizado e quarteadado para separação de 40 gramas para análise granulométrica. Essas amostras foram lavadas com água destilada para remoção dos sais solúveis. O teor de matéria orgânica (MO) foi obtido por oxidação com peróxido de hidrogênio 30%

(H₂O₂) e o de carbonato (CO₃) por ácido clorídrico 30% (HCl). Em cada etapa, as amostras foram neutralizadas, secas e pesadas para calcular as porcentagens de MO e carbonato. Essas amostras foram secas em estufa a 60 °C e peneiradas em sistema Ro-tap (agitador de peneira) com peneiras de 2,00 mm; 1,41 mm; 1,00 mm; 0,71 mm; 0,50 mm; 0,35 mm; 0,25 mm; 0,177 mm; 0,125 mm; 0,083 mm e 0,063 mm. Sedimentos menores que 0,063 mm (silte e argila)

foram analisados pelo Método de Amostragem por Pipeta, com base na lei de Stokes. Os dados foram processados no Excel® por meio do Gradistat, conforme proposto por Blott & Pye (2001) para cálculo do tamanho de partícula.

3.3 Carbono orgânico total (COT) e Enxofre total (ST)

Para as análises de COT e ST foi realizada pulverização do sedimento com auxílio de gral e pistilo, seleção da fração < 80 µm com pesagem de 0,250 g ± 0,005 g. Em seguida foi realizado o ataque ácido utilizando HCl 37% e posterior lavagem com repetição do processo por seis vezes. Após secagem em banho de luz por 24 horas e pesagem do sedimento remanescente, foi realizada a análise do percentual de COT e ST com o analisador LECO SC 632, de acordo com as metodologias padronizadas pela Sociedade Americana para Materiais e Testes - Método ASTM D4239 (ASTM, 2008) e Agência de proteção ambiental dos EUA - Método NCEA-C-1282 (USEPA 2002).

3.4 Análise estatística

A análise de componentes principais (PCA) é uma ferramenta padrão na exploração de dados moderna, pois é um método simples e não paramétrico para extrair informações relevantes de um conjunto de dados complexo. Através da PCA, é possível identificar quais fatores estão impactando as estações amostrais e assim agrupá-las por similaridade dentro do estuário do rio Oiapoque. Os parâmetros utilizados na análise do estuário do rio Oiapoque foram T, pH, OD, TDS, Sal, COT, ST e as frações granulométricas (argila, silte, areia e cascalho). A PCA foi realizada através do software PCORD 5 utilizando-se o log x para normalizar os dados.

3.5 Mapas de Interpolação

A interpolação usa pontos vetoriais com valores conhecidos para prever dados em locais desconhecidos, criando uma superfície preenchida com esses valores (Chai-Coetzer et al. 2011). Na interpolação foram utilizados os métodos Spline com Barreiras e IDW foram testados para realizar a interpolação. O método que demonstrou melhor distribuição espacial foi o Spline com Barreiras, que consiste na interpolação de uma superfície usando barreiras pontuais através da técnica de Spline de curvatura mínima (Azpurua e Ramos 2010). Como resultado, existe um padrão espacial que pode ser usado para medir a similaridade de amostras ou estações dentro de uma área e o nível de interdependência, natureza e força entre as variáveis, usando coordenadas métricas de acordo com o referencial WGS84 (UTM 23S). Os mapas de interpolação foram criados como o pacote de software ArcMap® 10.5.1.

4. Resultados

4.1 Parâmetros físico-químicos

As temperaturas foram mais altas na região da foz próximo a baía do Oiapoque, e as menores na região mais interna do estuário (Figura 2). A temperatura variou de 25,5° C em OP11 a 31,1° C em OP25, com média de 26,8° C (Tabela 1). Valores mais ácidos foram encontrados na região mais interna do estuário, enquanto na região mais externa, próximo à baía do Oiapoque, os valores foram mais neutros (Figura 2), com variações entre 5,6 (OP04) e 6,74 (OP25) e média de 6,0 (Tabela 1). O OD na maioria das estações ficou abaixo de 5 mg/L, porém, nas regiões mais internas do estuário foram registrados valores mais elevados, alcançando 8,56 mg/L em OP04 (Figura 2). O valor mínimo de 2,44 mg/L foi medido na estação OP29 (Tabela 1). A estação OP33 localizada na baía do Oiapoque (Figura 2) foi a única que apresentou salinidade acima de zero (2 %) (Tabela 1). Em relação ao TDS foi encontrada uma maior variação dos valores na parte mais externa do estuário, enquanto na parte mais interna do estuário os valores não ultrapassam 14 g/L (Figura 3). Na região mais externa, na estação OP33 foi registrado o valor de 60,93 g/L (Tabela 1).

4.2 Análise Sedimentológicas

A fração predominante nas amostras do estuário do rio Oiapoque foi o silte, com algumas estações isoladas apresentando teores mais expressivos de areia, argila e cascalho (Figura 3). A estação OP14 obteve a maior percentagem de silte, atingindo 91,7%, e as demais com média de 81,96% (Tabela 2). Algumas estações localizadas na porção média do estuário tiveram altas porcentagens de frações de argila (Figura 3), variando de 40% a 45%, nas estações OP20 e OP21, respectivamente (Tabela 2). Os sedimentos arenosos ficaram acima de 5% apenas em cinco estações do estuário (Tabela 2): OP01(16,7%), OP02 (10%), OP05 (7,2%) e OP29 (23,1%).

Os valores de COT no estuário do rio Oiapoque tiveram uma baixa variação. Os valores mais elevados foram encontrados na porção mais interna do estuário, com o maior valor encontrado de 8.77% em OP02, e os menores valores encontrados na porção mais externa, com o valor mínimo registrado de 0.15% na estação OP29 (Fig. 4).

Em relação ao ST, a maioria das estações do estuário apresentaram valores menores que 0,01%, e algumas com valores próximos a 0. O maior valor, 0,15%, foi registrado na estação OP02, localizada na parte mais interna do estuário. (Fig. 4). As estações que apresentaram valores acima de 0,01% foram OP02, OP10, OP11, OP31, OP32 e OP33, sendo 0,15, 0,015, 0,015, 0,016, 0,076 e 0,081, respectivamente (Tab. 2).

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos e sedimentológicos registrados nas estações estudadas do estuário do rio Oiapoque (T – temperatura, DO – oxigênio dissolvido, TDS - total de sólidos dissolvidos, Sal – salinidade, COT – carbono orgânico total, ST – enxofre total).

Estações	T	pH	DO (mg/L)	TDS (g/L)	SAL (‰)	Areia	Silte	Argila	Cascalho	COT	ST
OP01	28,2	5,9	6,6	11,02	0	16,72	73,50	9,77	0	1,04	<0,01
OP02	26,2	5,8	5,6	10,04	0	9,92	66,10	23,97	0	8,77	0,15
OP03	26,4	5,9	4,9	11,89	0	3,08	86,10	10,20	0,61	1	<0,01
OP04	25,7	5,6	8,56	10,1	0	0,97	90,02	9,01	0	1,3	<0,01
OP05	26,7	5,97	4,74	11,57	0	7,22	82,48	9,79	0,49	0,99	<0,01
OP06	25,8	5,7	3,93	10,73	0	2,91	86,09	10,42	0,58	1,41	<0,01
OP07	27,5	6	4,79	12,68	0	1,74	89,47	8,78	0	1,14	<0,01
OP09	27,2	6,03	4,42	10,72	0	0,67	90,39	8,93	0	1,22	<0,01
OP10	28,9	6,24	4,55	10,99	0	4,04	85,85	8,29	1,81	2,48	0,015
OP11	25,5	5,83	3,05	10,83	0	0,89	90,16	8,94	0	1,56	0,015
OP12	26,1	5,73	3,54	9,81	0	1,98	88,52	8,69	0,80	0,93	<0,01
OP13	26,1	6,1	3,7	12,2	0	0	72,18	27,82	0	2,04	<0,01
OP14	25,9	6,03	3,62	10,67	0	0,16	91,68	8,14	0	0	0
OP15	27,1	5,64	3,11	10,07	0	2,58	86,99	8,49	1,93	0,71	<0,01
OP16	26	6,05	4,05	10,01	0	3,00	86,13	10,21	0,65	2,03	<0,01
OP18	26,1	5,8	3,57	13,3	0	1,74	86,39	10,96	0,91	0,87	<0,01
OP19	26	5,81	3,61	12,45	0	0	80,92	19,08	0	0,77	<0,01
OP20	27,4	5,7	3,2	11,8	0	0	59,10	40,90	0	0	0
OP21	26,7	6,1	3,8	12,3	0	0	54,97	45,03	0	1,23	<0,01
OP22	27	6,01	2,77	31,37	0	0	64,80	35,20	0	0,89	<0,01
OP23	27	6,2	3,54	12,91	0	1,53	87,02	10,65	0,79	0,68	<0,01
OP24	27,1	5,9	2,7	16,88	0	1,59	86,69	10,87	0,83	0,67	<0,01
OP25	31,1	6,74	2,7	44	0	0,35	88,03	11,61	0	0,72	<0,01
OP26	27	6,41	3	18,89	0	0,59	87,77	11,64	0	0,88	<0,01
OP27	27,2	6,11	3,21	18,03	0	0,08	90,56	9,43	0	0,71	<0,01
OP29	28,3	6	2,44	27,39	0	23,15	70,03	6,82	0	0,15	<0,01
OP33	27,1	6,29	3,62	60,93	2	0,20	91,09	8,70	0	0,84	0,081

4.3 Análise estatística dos dados

A análise de PCA apresentou coeficiente de variância de 17% para o Eixo 1 e 25% para o Eixo 2 (Figura 4).

Na análise foi possível observar que os parâmetros físico-químicos da coluna d'água (OD, TDS, pH e T) se relacionaram diretamente ao Eixo 1, enquanto os parâmetros sedimentológicos se relacionaram ao Eixo 2 (granulometria, COT e ST) (Figura 5). A PCA mostra a divisão do estuário em sete grupos distintos: o grupo I (OP13, OP19 e OP21) foi predominantemente influenciado por frações argilosas; o grupo II, representado apenas pela estação OP02 foi influenciado principalmente por frações argilosas, OD e pelos teores de COT e ST; o grupo III, representado somente pela estação OP01 foi influenciado pelo OD; grupo IV (OP03, OP04, OP05, OP06, OP11, OP12, OP15, OP16 e OP18) foi influenciado pelas frações granulométricas de cascalho e areia, e pelo OD; o grupo V (OP07, OP09, OP10, OP23 e OP24) foi influenciado pelo silte;

grupo VI (OP26, OP27 e OP29) foi associado principalmente a temperatura; e grupo VII (OP22, OP25 e OP33) foi influenciado pelo TDS, pH e Temperatura (Figura 4).

5. Discussão

No período chuvoso, no mês de maio, quando as amostras foram coletadas foi observado, de uma maneira geral, o gradiente crescente dos parâmetros físico-químicos da região mais interna do estuário para a foz. De acordo com a resolução 357 do CONAMA (2005), todas as estações amostrais do estuário apresentaram valores classificados como água doce (salinidade igual ou inferior a 0,5‰), com exceção da estação OP33 na parte mais externa do estuário na baía do Oiapoque, com valor 2‰ de salinidade. Este resultado pode estar relacionado ao período amostral que foi no mês de maio, dentro da estação chuvosa onde a média de precipitação foi de 982 mm (Portela et al. 2018). Um estudo mais amplo e com uma malha amostral mais distribuída ao longo da baía do Oiapoque

poderia ajudar a entender mais sobre a variação de salinidade durante o período chuvoso na região.

A temperatura apresentou o valor mais alto na estação OP25, de 31,1°C, o que pode ser decorrência da baixa profundidade da estação (< 50 cm). Ao longo do estuário, a temperatura apresentou valores mais

elevados nas estações do estuário inferior, o que é similar aos encontrados em outro estuário amazônico como no rio Araguari (Laut et al. 2010) e de outras regiões com regime climático diferente (Laut et al. 2015; 2021a, b).

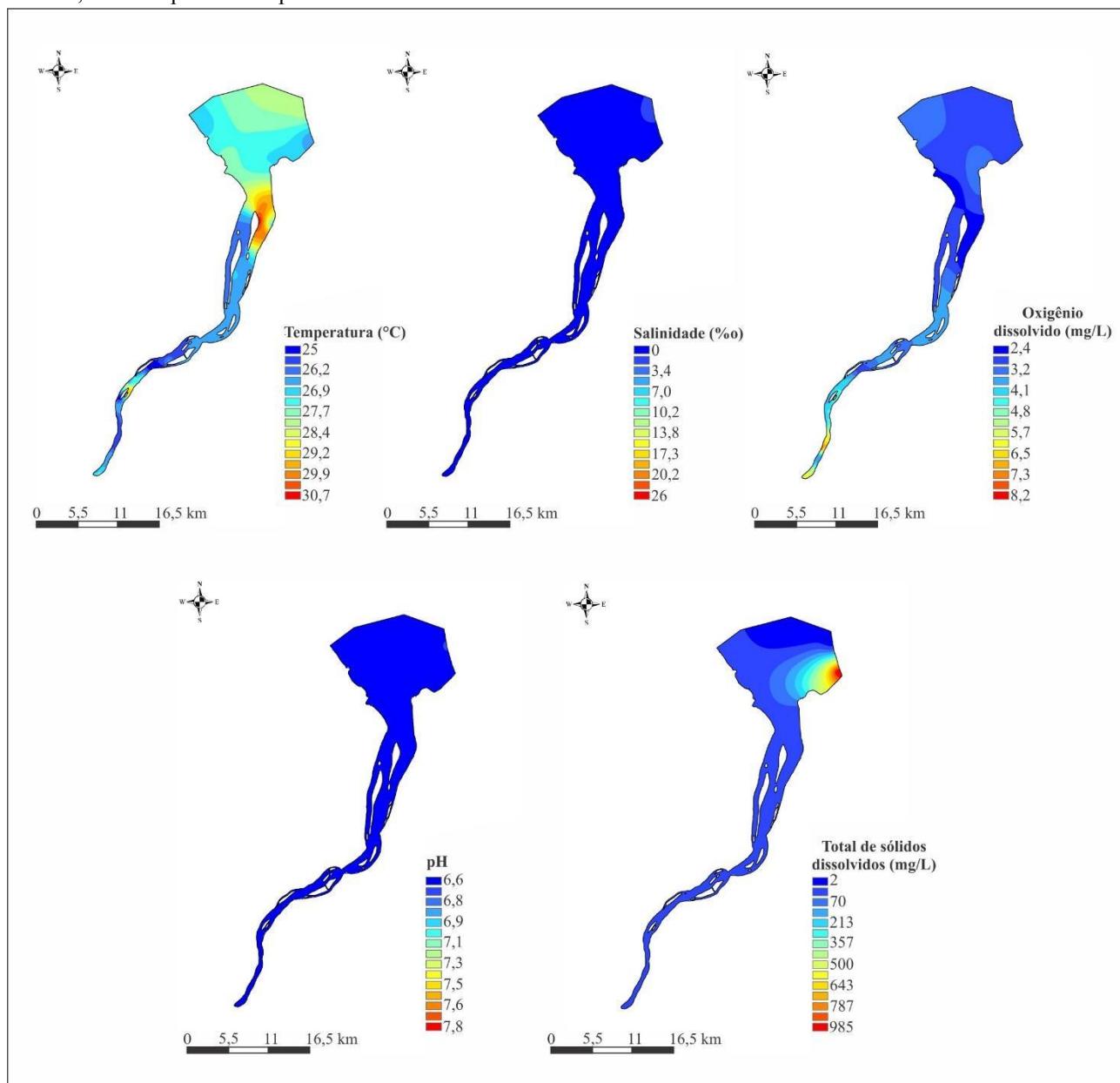


Figura 2. Mapa de distribuição dos parâmetros físico-químicos da interface água-sedimento do estuário do rio Oiapoque.

Os valores mais baixos de pH foram registrados na parte mais interna do estuário, e mostraram um aumento em direção ao oceano, provavelmente devido a influência da água do mar (Fritzsons et al. 2009). As águas do estuário do rio Oiapoque apresentam um pH levemente mais ácido ao encontrado em outros estuários amazônicos como o do rio Caeté (Laut et al. 2016a). As pequenas oscilações nos valores de pH podem estar relacionadas às características da vegetação de margem como no estuário do rio Araguari (Laut et al. 2010).

O OD é um fator muito importante para a manutenção da vida em ambientes aquáticos, e é um dos principais indicadores da qualidade da água (Imhoff & Klaus 1985). Na maior parte das estações de amostragem, os valores registrados variaram entre 2 e 4 mg L^{-1} , exceto na região mais interna do estuário ($4,74 \text{ mg L}^{-1}$ - $8,56 \text{ mg L}^{-1}$), que reflete uma região mais hidrodinâmica próximo ao povoado de Vila Vitória. A maior hidrodinâmica nesta região é induzida pelo tráfego de barco com a cidade de Saint Georges l'Oyapock. Os valores de OD encontrados foram

considerados normais para um ambiente estuarino, sendo similares aos encontrados em outro estuário amazônico (Laut et al. 2010, 2016a). A porção mais interna do estuário foi o ambiente mais oxigenado (OD igual ou superior a $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$), ao passo que, na porção média a externa do estuário a região é mais anóxica

(OD entre $3,0$ e $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$). Na região mais externa, os valores de OD foram inferiores a $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ o que pode ser o resultado da grande quantidade de material em suspensão que inibe a atividade fitoplanctônica.

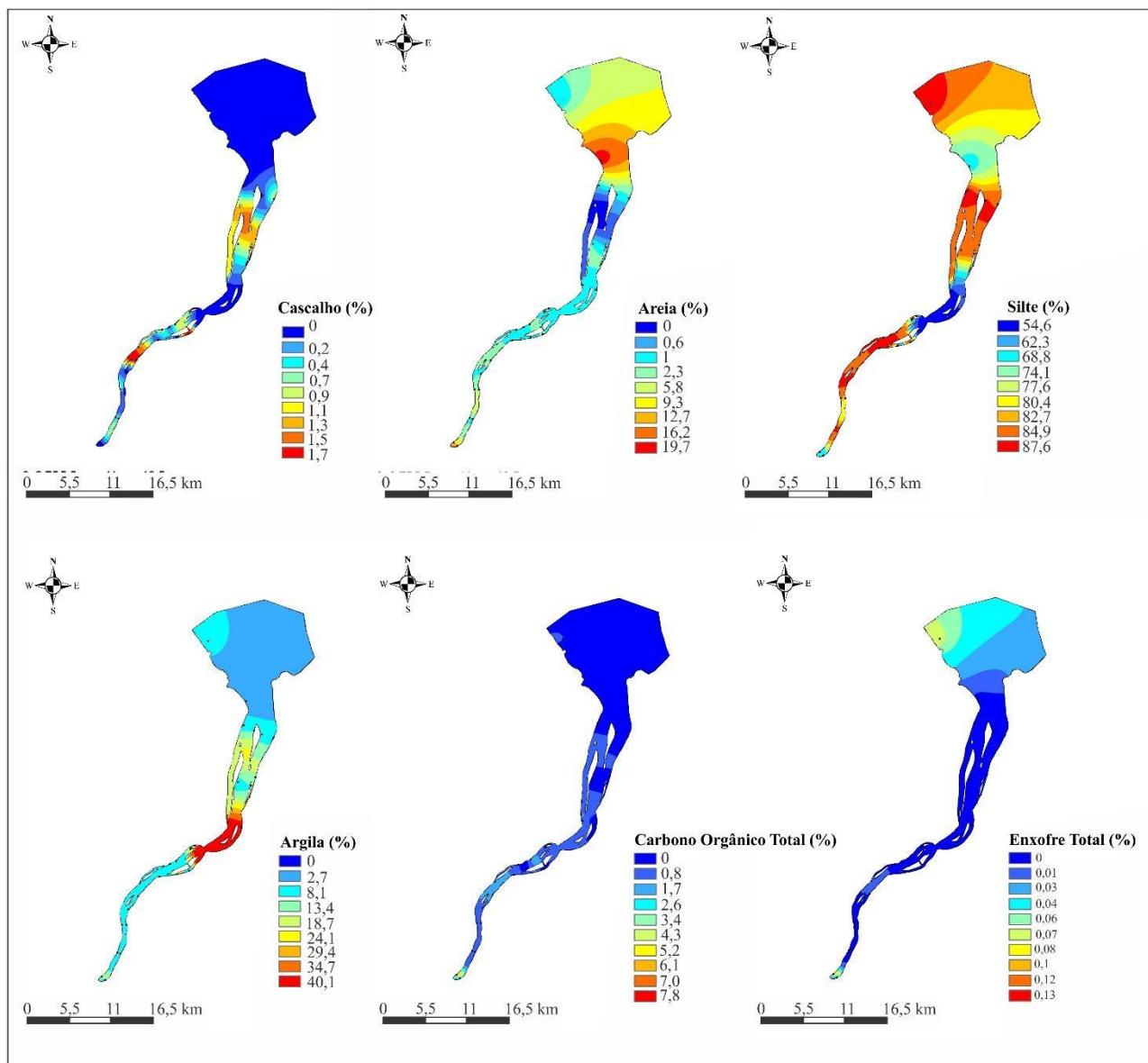


Figura 3. Mapas de distribuição de parâmetros sedimentológicos do estuário do rio Oiapoque.

Comumente, os valores dos parâmetros físico-químicos da água são diretamente influenciados pela cunha salina e pelo material em suspensão (Xavier 2012). A presença de cunha salina ou gradiente de salinidade não pode ser identificada com as análises realizadas. Contudo o TDS apresentou a maior variação dentre os parâmetros mensurados com valores mais elevados (985 g.L^{-1} e $60,93 \text{ g.L}^{-1}$) na confluência com o rio Uaçá. Os valores mais elevados de TDS encontrados nesta região podem ser em decorrência do rio margear toda a região de mangue do Cabo Orange e possivelmente transportar uma grande quantidade

material em suspensão para a baía do Oiapoque, ou esta ser a região onde o sedimento proveniente da pluma do rio Amazonas fica aprisionado.

A pluma de sedimentos do rio Amazonas margeia toda a costa do platô das Guianas (Gensac et al. 2016), e o efeito de maiores velocidades de maré enchente do que da vazante, tornam esses estuários armadilhas de sedimentos (Silva et al. 2017). Ademais, o rio Oiapoque encontra-se na zona do maior cinturão de bancos lamosos do mundo (Gensac et al., 2016) com formação de extensas planícies de marés ao largo da linha de costa, que se desenvolvem a partir do Cabo

Cassiporé em direção à costa da Guiana Francesa (Gensac et al. 2016).

Segundo Zhang et al. (1999), os estuários tropicais tendem a apresentar baixas concentrações de material em suspensão, devido ao bom desenvolvimento da vegetação de margem, que atua como atenuador dos processos de erosão, evitando que este material seja carreado para o rio. Dessa forma é provável que os altos valores de TDS na baía do Oiapoque estão associados à remobilização e migração dos bancos lamosos. Segundo Anthony et al. (2013), o rio Oiapoque age como um quebra-mar hidráulico na migração dos bancos lamosos.

A dominância de sedimentos siltosos comumente indica condições hidrodinâmicas reduzidas em corpos d'água de maior profundidade (Teodoro et al. 2010), o que não é o contexto do rio Oiapoque, pois grande

parte das estações localiza-se em baixa profundidade (<1 m). Os estuários da costa do Amapá comumente apresentam alta hidrodinâmica, porém com porcentagem baixa da fração arenosa, em decorrência da distância da área fonte, como apontado por Laut et al. (2010) para o rio Araguari.

A distância entre a área fonte e a foz pode ser evidenciada pela ocorrência das frações arenosas concentradas nas estações mais a montante (Figura 3), ao passo que na região intermediária do rio há a deposição das frações argilosas que pode ser resultado de flocação (França et al. 2007) promovida pela mistura da água fluvial com a água proveniente do oceano adjacente, sobrecarregada de material em suspensão da pluma do rio Amazonas durante a maré alta. Esta região pode representar o limite interno do transporte de maré no estuário.

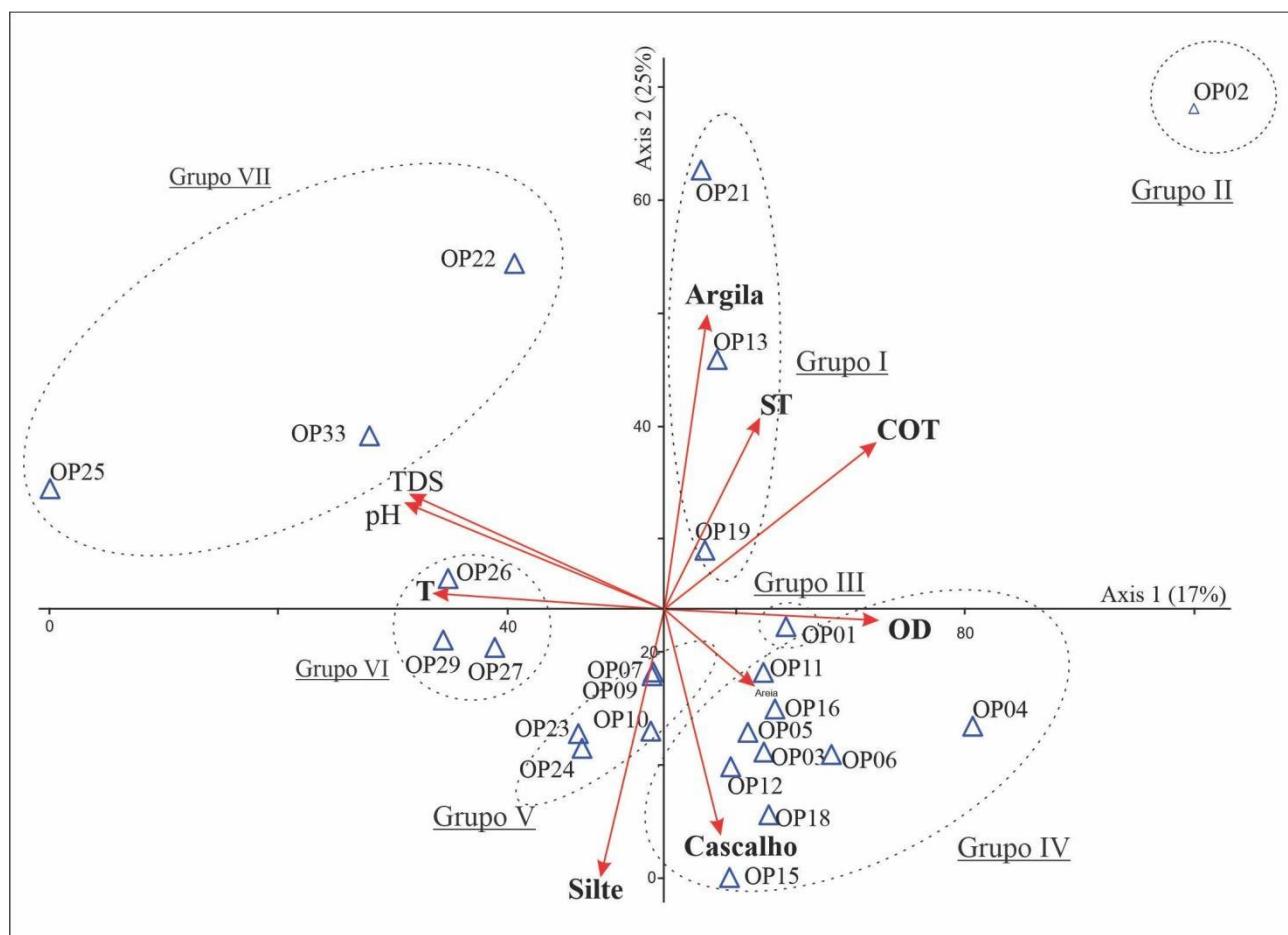


Figura 4. PCA com base nas estações em relação aos parâmetros abióticos do estuário do rio Oiapoque (COT – carbono orgânico total, OD – oxigênio dissolvido, TDS – total de sólidos dissolvidos, T – temperatura e ST – enxofre total).

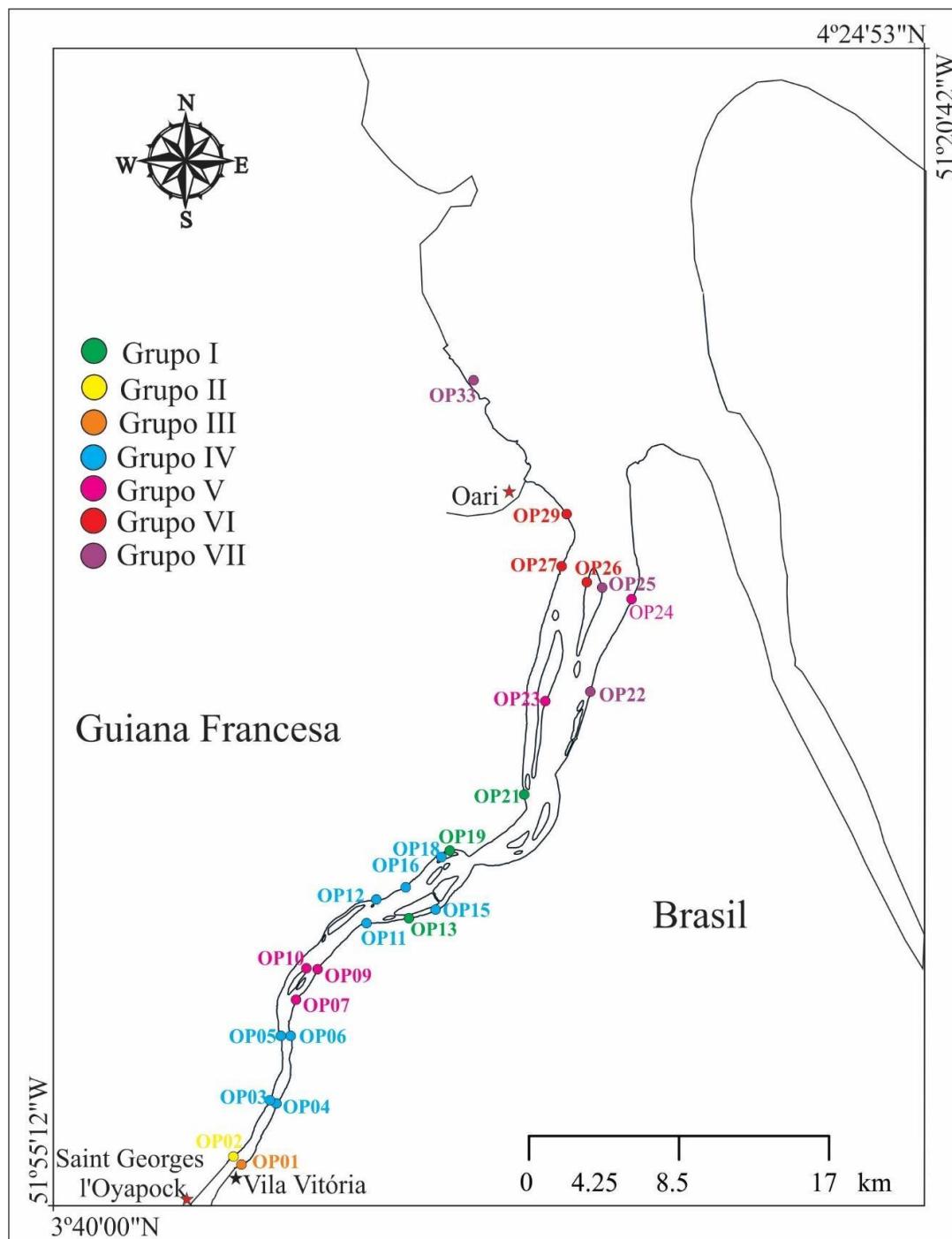


Figura 5. Distribuição dos sete grupos de estações obtidas com a PCA que representam diferentes condições ambientais no estuário do rio Oiapoque.

Na maioria das estações o COT se apresentou moderado (<1%), o que ressalta condições hidrodinâmicas relativamente fortes, que oxidam a matéria orgânica, mesmo com a predominância de sedimentos finos (Laut et al. 2010; Dias et al. 2017). Os valores registrados no estuário do rio Oiapoque foram similares, ou abaixo aos registrados em estuários de clima mediterrâneo, como o rio Arade (Laut et al. 2015) em Portugal (0,3% e 1,6%) e, também se mostraram, no geral, abaixo dos valores observados em outros estuários da costa Amazônica como o Marapanim (Matos et al. 2020). Apenas as estações OP10, OP13 e OP16 na porção média do estuário

apresentaram valores entre 2% e 3%, que são considerados altos e associados a áreas costeiras com acúmulo de poluentes (Bergin et al. 2006; Clemente et al. 2015; Martins et al. 2016). Valores de COT acima de 2,5%, como em OP02 (8,77%) indicam áreas anóxicas ou com baixa disponibilidade de oxigênio (Mendonça Filho et al. 2003), possivelmente esta região é o depocentro dos efluentes da cidade de São Saint Georges l'Oyapock (margem francesa), e da Vila Vitória (margem brasileira). Contudo, os valores de oxigênio nesta região são altos, o que indica que a matéria orgânica depositada pode ser degradada pelos processos hidrodinâmicos do rio.

Os valores de ST na maioria das estações permaneceram <0,01%, exceto nas proximidades com a baía do Oiapoque (OP32 e OP33), na porção média do estuário (OP10 e OP11) e em OP02, próximo à cidade de Saint Georges l'Oyapock. Contudo, os valores encontrados são similares aos de outros estuários com baixo impacto antropogênico e/ou clima mais árido como nos estuários do rio Guadiana e do rio Arade no sul da Península Ibérica, onde os valores variaram de 0,04% a 0,3% (Laut et al. 2016b, 2015).

Os sete grupos de estações analisadas ordenadas pela PCA caracterizam diferentes condições ambientais no estuário do Oiapoque (Figura 5). O grupo I representou a região com maior deposição de argila, mesmo com uma hidrodinâmica relativamente forte, e acúmulo de matéria orgânica. Esta região possivelmente representa o depocentro de deposição e argilas que são trazidas da baía do Oiapoque pela maré. O grupo II representou a região mais interna do estuário que é mais impactada pela ação antrópica indicada pelos altos teores de COT e ST. Essa região recebe efluentes provenientes da cidade de Saint Georges l'Oyapock, e da Vila Vitória. O grupo III, também na região mais interna do estuário (OP01), se destaca por apresentar valores mais altos de OD que representa uma margem mais hidrodinâmica. O grupo IV está relacionado a temperaturas relativamente mais baixas, com teores de OD relativamente mais altos. Esse grupo representa a transição entre a porção interna do estuário e a porção média. A fração de cascalho está presente nas estações desse grupo, podendo remeter a maior hidrodinâmica na região ou a processos erosivos na margem (Medeiros 2018). Com efeito esse trecho apresenta afloramentos rochosos no leito do rio. O grupo V está relacionado a frações de silte e a temperaturas mais altas que podem indicar regiões de margem com menor hidrodinâmica. O grupo VI é composto por estações na parte mais externa do estuário, próximas à foz do rio, sendo influenciado pela temperatura mais elevada da água. O grupo VII, também é uma região de maior influência costeira, pois apresenta altas temperaturas e maior concentração de sólidos em suspensão como resultado da remobilização dos bancos lamosos e da entrada da pluma do rio Amazonas na baía do Oiapoque, assim como também por valores de pH mais neutros.

6. Conclusões

O estuário do rio Oiapoque apresentou, de maneira geral, um gradiente crescente dos parâmetros físico-químicos da região mais interna do estuário para a foz. Contudo, o gradiente de salinidade não foi identificado. Pode-se considerar que o estuário durante a estação chuvosa se mantém praticamente como um ambiente fluvial, possivelmente influenciado pelo período chuvoso no qual foi realizada a amostragem e pela grande influência do rio Amazonas na zona costeira adjacente. Ao longo do estuário foi observada a dominância de sedimentos siltosos, e a deposição de areias ocorre a montante próximo a cidade de Saint

Georges l'Oyapock e da Vila Vitória. As frações argilosas são depositadas na região do estuário médio como resultado da flocação promovida pela mistura da água fluvial com a água proveniente do oceano durante a maré alta. A maior concentração de COT e ST no estuário superior, próximos aos centros urbanos, indicando possivelmente um depocentro de efluentes provenientes da cidade de Saint Georges l'Oyapock e da Vila Vitória.

O tratamento estatístico dos dados permitiu a identificação de sete regiões com características ambientais distintas ao longo do estuário do Oiapoque. Esses resultados obtidos podem auxiliar nos estudos de monitoramento e gerenciamento da região, não só na região do estuário do rio Oiapoque, mas também no litoral do Estado do Amapá. Contudo, uma análise mais detalhada que contemple também o período menos chuvoso do ano se faz necessária para refinar o conhecimento dos padrões ambientais e hidrodinâmicos do estuário.

Agradecimentos

O presente estudo foi realizado no âmbito do projeto “Sistemas Estuarinos Amazônicos: variabilidade ambiental e mudanças climáticas - SEAM” (Universal-CNPq nº 432285/2016-4). A expedição de campo foi realizada com o apoio do ICMBio utilizando a embarcação Peixe Boi. O autor agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa (processo no. 302582/2019-3) e pela bolsa de Iniciação Científica do aluno Gabriel da Matta. À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado ao aluno Pierre Belart (cod. 001) e de Pós-doutorado da Dr. a Fernanda Souza. Agradece ao Laboratório de Palinofacies & Fácies Orgânica – LAFO/UFRJ e sua equipe pelas análises de carbono orgânico total e enxofre total.

Referências

- ALLISON M.A, NITTROUER C.A, FARIA JR., L.E.C. 1995. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. *Marine Geology*, 125: 373–39.
- ALMEIDA, C.S., RAUBER A.L. Oiapoque, aqui começa o Brasil: a fronteira em construção e os desafios do Desenvolvimento Regional. Redes - Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, 22(1): 474-493. <http://dx.doi.org/10.17058/redes.v22i1.8532>
- ALVES, J.R.P., PEREIRA FILHO, O, PERES, R.A.R. 2001. Aspectos geográficos, históricos e socioambientais dos mangues. Manguezais: educar para proteger. FEMAR: SEMADS Rio de Janeiro, p. 9-18.
- ANA, Agência Nacional de Águas, 2006. Topografia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11. Superintendência de Gestão da Informação, SGI, Brasília, p. 29.
- ANTHONY, E.J., GARDEL, A., PROISY, C., FROMARD, F., GENASAC, E., PERON, C., WALCKER, R., LESOURD, S. 2013. The role of fluvial sediment supply and river-mouth hydrology in the dynamics of the muddy, Amazon-dominated Amapá-Guianas coast, South America: A three-point research agenda. *Journal of South American Earth Science*, 44: 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.005>
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2008. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and

- Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods - ASTM D4239. Disponível em: <https://www.astm.org>.
- ATTRILL, M.J., POWER, M 2002. Climatic influence on a marine fish assemblage. *Nature*, 417, 275–278. <https://doi.org/10.1038/417275a>
- AZPURUA, M.A., RAMOS, K.D., 2010. A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress In Electromagnetics Research*, 14: 135–145.
- BARROS, D.F., ALBERNAZ, A.L.M. 2014. Possíveis impactos das mudanças climáticas em áreas úmidas e sua biota na Amazônia Brasileira. *Brazilian Journal of Biology*, 74(4): 810–820.
- BECK, M.W., HECK, K.L., ABLE, K.W., CHILDERS, D.L., EGGLESTON, D.B., GILLANDERS, B.M., HALPERN, B., HAYS, C.G., HOSHINO K., MINELLO, T.J., ORTH R.J., SHERIDAN, P.F., WEINSTEIN, M.P. 2001. The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. *BioScience*, 51(8), 633. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0633:TICAMO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2)
- BERGIN, F., KUCUKSEZGIN, F., ULUTURHAN, E., BARUT, I.F., MERIC, E., AVSAR, N., NAZIK, A., 2006. The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Easter Aegean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66: 368–386.
- BLOTT, S.J., PYE, K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms* 26: 1237–1248.
- CHAI-COETZER, C.L., ANTIC, N.A., ROWLAND, L.S., CATCHESIDE, P.G., ESTERMAN, A., REED, R., WILLIAMS, H., DUNN, S., MCEVOY, R.D. 2011. A simplified model of screening questionnaire and home monitoring for obstructive sleep apnoea in primary care. *Thorax*; 66: 213 - 219. <https://doi.org/10.1136/thx.2010.152801>
- CLEMENTE, I.M.M.M., SILVA, F.S., LAUT, L.L.M., FRONTALINI, F., COSTA, V.L., RODRIGUES, M.A.C., PEREIRA, E., BERGAMASCHI, S., FILHO, J.G.M., MARTINS, M.V.A., 2015. Biochemical Composition and Foraminiferal Content of Sediments for Determining Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Coastal Research* 315: 1190–1204. <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00104.1>
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente -, 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Brasília-DF.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILLIT, R.V., JOSE PARUELO, J.J.J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DER BEL, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630): 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2021. Rio Negro atinge a maior cheia em 119 anos em Manaus. <https://www.cprm.gov.br/publice/Noticias/Rio-Negro-atinge-a-maior-cheia-em-119-anos-em-Manaus-6726.html>, 2021 (Acesso em 20 de Agosto de 2021).
- DIAS, P.P.B., MARTINS, M.V.A., CLEMENTE, I.M.M.M., CARELLI, T.G., SILVA, F.S., FONTANA, L.F., LORINI, M.L., PANIGAI, G., PINHEIRO, R.H., MENDONÇA-FILHO, J.G., LAUT, L.L.M., 2017. Assessment of the Trophic State of Saquarema Lagoonal System, Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 2 (1): 49–64. <http://dx.doi.org/10.12957/jse.2017.28194>
- FEARNSIDE, P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*, 36(3): 395–400. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>
- FISCH, G., MARENKO, J.A., NOBRE, C.A. 1998. Uma visão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28(2): 101–126.
- FRANÇA, C.F., SOUZA FILHO, P.W.M., EL-ROBRINI, M. 2007. Análise faciológica e estratigráfica da planície costeira de Soure (margem leste da ilha de Marajó - PA), no trecho compreendido entre o canal do Cajuána e o estuário Paracauari. *Acta Amazônica*, 37(2): 261–268.
- FRITZSONS, E., MANTOVANI, L.E., NETO, A.C., HINDI, E.C. 2009. A influência das atividades mineradoras na alteração do pH e da alcalinidade em águas fluviais: o exemplo do rio Capivari, região do carste paranaense. *Artigos Técnicos, Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(3): 381–390. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300012>
- GENSAC, E., MARTINEZ, J.M., VANTREPOTTE, V., & ANTHONY, E.J. 2016. Seasonal and inter-annual dynamics of suspended sediment at the mouth of the Amazon River: The role of continental and oceanic forcing, and implications for coastal geomorphology and mud bank formation. *Continental Shelf Research*, 118: 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.02.009>
- GUIA PHILIPS 2001. Amazônia Brasil. Publifolha, Rio de Janeiro, p. 336.
- HACON, S.S., OLIVEIRA, C.M., GAMA, C.S., FERREIRA, R., BASTA, P.C., SCHRAMM, A., YOKOTA, D. 2020. Mercury Exposure through Fish Consumption in Traditional Communities in the Brazilian Northern Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17: 5269. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155269>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2021. Estimativas da População. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e> (Acessado em: 5 de setembro de 2021).
- IMHOFF, K., KLAUS, R. 1985. Manual de Tratamento de Águas Residuárias. Ed. Edgar Blucher, São Paulo, p. 599.
- INSEE - Institut National de la Statistique et des Études Économiques, 2018. Disponível em: <https://www.insee.fr/en/accueil> (Acessado em 25 de novembro de 2021).
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2021. Parna do Cabo Orange. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidad-e-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-do-cabo-orange> (Acessado em 5 de setembro de 2021).
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (eds). IPCC, Geneva, 151 p.
- LAUT, L., DA MATTA, G., CAMARA, G., BELART, P., CLEMENTE, I., BALLALAI, J., VOLINO, E., COUTO, E.C.G. 2021b. Living and dead foraminifera assemblages as environmental indicators in the Almada River Estuary, Ilhéus, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 105: 102883. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102883>
- LAUT, L., RAPOSO, D., CLEMENTE, I., CORREIA, F.V., PEREIRA, E., VASCONCELOS, S.C., BALLALAI, J., BELART, P., COUTO, E.C.G., 2021a. Indicadores geoquímicos e biodisponibilidade de elementos-traço em sedimentos do estuário do rio Cachoeira, Ilhéus – BA. *Anuário de Geociências UFRJ*, 44: 35952. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_35952
- LAUT, L.L.M., CLEMENTE, I.M.M.M., BELART, P., MARTINS, M.V.A., FRONTALINI, F., LAUT, V.M., GOMES, A., BOSKI, T., LORINI, M.L., FORTES, R.R., RODRIGUES, M.A.C., 2016b. Multiproxies (benthic foraminifera, ostracods and biopolymers) approach applied to identify the environmental partitioning of the Guadiana River Estuary (Iberian Peninsula). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(2): 178–195. <https://doi.org/10.12957/jse.2016.22534>
- LAUT, L.L.M., FERREIRA, D.E.S., SANTOS, V.F., FIGUEIREDO JR., A.G., CARVALHO, M.A., MACHADO, O.F. 2010. Foraminifera, Thecamoebians and Palynomorphs as Hydrodynamic Indicators in Araguari Estuary, Amazonian Coast, Amapá State Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 33: 52–65.
- LAUT, L.L.M., MARTINS, M.V.A., FRONTALINI, F., BELART, P., SANTOS, V.F., LORINI M.L., FORTES, R.R., SILVA, F.S., VIEIRA, S.S.S., SOUZA FILHO, P.W.M. 2016a. Biotic (foraminifera and thecamoebians) and abiotic parameters as proxies for indication of the environmental heterogeneity in Caeté River Estuary, Amazon Coast, Brazil. *Journal of Sedimentary Environments*, 1(1): 1–16. <https://doi.org/10.12957/jse.2016.21264>
- LAUT, L.L.M., RODRIGUES, M.A.C., SILVA, F.S., MENTZINGEN L.G., MARTINS, V., BOSKI, T., GOMES, A.I., DIAS, J.M.A., FONTANA, L.F., CLEMENTE, I.M.M.M.,

- MENDONÇA-FILHO, J.G., RAPNÃ, L.C., 2015. Ostracods from Arade River Estuary, Algarve - Portugal. Anuário do Instituto de Geociências, 38: 115-126. https://doi.org/10.11137/2015_2_115_126
- MARENKO J.A., AMBRIZZI, T., ROCHA, R.P., ALVES, L.M., CUADRA, S.V., VALVERDE, M.C., TORRES, R.R., SANTOS, D.C., FERRAZ, S.E.T. 2010. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, 35, 1073–1097. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0721-6>
- MARENKO, J.A. 2007. Cenários de Mudanças Climáticas para o Brasil em 2100. *Ciência & Ambiente*. 34:100-125.
- MARENKO, J.A. 2009. Vulnerabilidade, Impactos e adaptação às mudanças de clima no semi árido do Brasil. In: Parcerias Estratégicas/Centro de Gestão de Estudos Estratégicos - Ministério da Ciéncia e Tecnologia, 1(1), Brasília, p. 149-176.
- MARENKO, J.A., ALVES, L.M., BESERRA, E.A., LACERDA, F.F. 2011a. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *Instituto Nacional do Semiárido*, 383-422.
- MARENKO, J.A., TOMASELLA, J., ALVES, L.M., SOARES, W.R., RODRIGUEZ, D.A. 2011b. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12): L12703. <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- MARTINS, M.V.A., ZAABOUB, N., ALEYA, L., FRONTALINI, F., PEREIRA, E., MIRANDA, P., MANE, M., ROCHA, F., LAUT, L., EL BOUR, M., 2016. Environmental quality assessment of Bizerte Lagoon (Tunisia) using living foraminifera assemblages and a multiproxy approach. *PLoS ONE*, Public Library of Science, 10(9), 1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118077>
- MATOS, C.R.L., BERRÉDO, J.F., MACHADO, W., SANDERS, C.J., METZGER, E., COHEN, M.C.L. 2020. Carbon and nutrient accumulation in tropical mangrove creeks, Amazon region. *Marine Geology*, 429: 106317. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106317>
- MEDEIROS, D.H.M., CAVALCANTE, A.A., PINHEIRO, L.S., ROCHA, R.M. 2018. Variação Longitudinal da Salinidade do Estuário Hipersalino do Rio Apodi/Mossoró (Rio Grande do Norte, Brasil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11: 1-10. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p850-863>
- MENDONÇA-FILHO, J.G., MENEZES, T.R., OLIVEIRA, E., IEMMA, M.B. 2003. Caracterização da contaminação por petróleo e seus derivados na Baía de Guanabara: aplicação de técnicas organogeocíquicas e organopetrográficas. *Anuário de Geociências – UFRJ*, 26(1): 69-78.
- MENEZES, M.P.M., BERGER, U., MEHLIG, U. 2008. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão states, north Brazil. *Acta Amazonica*, 38(3): 403-420. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000300004>
- MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO AMAPÁ, 2021. Unidades de Conservação do Amapá - uma visão geral. Disponível em: <http://mpap.mp.br/2013-06-24-13-10-10/2013?view=article&id=197:unidades-de-conservacao-do-amapa-uma-visao-geral&catid=111> (Acessado em 5 de setembro de 2021)
- MONFORT, M., RUF, L. 2005. Régime hydrologique des fleuves guyanais: étude fréquentielle des débit. *Direcção régionale de l'environnement de Guyane*. Cayenne, p. 33.
- MORAES, J.M. 1964. O rio Oiapoque. *Revista Brasileira de Geografia*, 24(1): 3-61..
- NEVES, D.G., OLIVEIRA, L.L., CUNHA, A.C., JESUS, E.S., AMANAJÁS, J.C., MARQUES A.D. 2007. Estimativa do balanço hídrico normal para o município de Oiapoque localizado no setor costeiro do Amapá. In: VIII Workshop Ecolab Brasil, Macapá, p 1-5.
- PALHARES, J.M., GUERRA, A.J.T. 2016. Potencialidades no Município de Oiapoque, Amapá, para o desenvolvimento do Geoturismo. *Espaço Aberto*, Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, 6(2): 51-72. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5219>
- PEREIRA, L.C.C., DIAS, J.A., CARMO, J.A., POLETTI, M. 2009. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 9(2): 3-7. <http://dx.doi.org/10.5894/rgci172>
- PORTELA, G., VILHENA, J., ANDRADE, U.; ROCHA, A. 2018. Monitoramento das chuvas e níveis dos rios nas bacias hidrográficas do Estado do Amapá, Núcleo de Hidrometeorologia e energias renováveis - NHMET/IEPA, 2º trimestre de 2018. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/meteorologia/relatorios/relatorio-10-2-trimestre-2018.pdf>
- RICARDO, B., RICARDO F. 2011. Povos indígenas no Brasil – 2006-2010, CEDI, São Paulo, p. 764.
- SANTOS, V.F. 2021. L'estuaire transfrontalier de l'Oyapock. In: Gardel, A. & Davy, D. (eds.) Oyapock et Maroni: Portraits d'estuaires amazoniens. LEEISA-CNRS/UG/IFREMER, p.112-113.
- SANTOS, V.F., FIGUEIREDO JR., A.G., SILVEIRA, O. F.M., POLIDORI, L. 2010. The ENSO Influence on the Amazonian Coastal Plain, Brazil. In: AGU Meet. Americas, 2010, Eos Trans. AGU, Foz do Iguaçu, p. 91.
- SANTOS, V.F., FIGUEIREDO JR., A.G., SILVEIRA, O. F.M., POLIDORI, L. 2010. The ENSO Influence on the Amazonian Coastal Plain, Brazil. In: EOS Trans. AGU, 91(26) Meet Am Suppl, Abstract OS13B-07.
- SILVA JÚNIOR, O.M. FUCKNER, M.A. FREITAS, M.A.V. 2014. Gestão de recursos hídricos fronteiriços na Amazônia - Estudo de caso na bacia do Rio Oiapoque. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP)*, Belém, 1(02): 115-136. <http://dx.doi.org/10.17648/ihgp.v1i02.17>
- SILVA, L.M., PORTELA, B.T.T. 2006. Um estudo da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar na costa norte-nordeste do Brasil. In: XIV Congresso Brasileiro da Meteorologia, Florianópolis.
- SILVA, S.L.F., SILVA, L.M.A., ZORRO, M.C., ROSÁRIO, J.M.L. 2016. Análise espacial dos conflitos da pesca artesanal no litoral do Oiapoque, Amapá, Brasil. *Biota Amazônia*, Macapá, 6(3): 63-69. dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotamazonia.v6n3p63-69
- TEODORO, A.C., DUQUE, W., GUBITOSO, S., PRADA, S.M., LAMPARELLI, C.C., BEVILACQUA, J.E., 2010. Analysis of foraminifera assemblages and sediment geochemical properties to characterise the environment near Araçá and Saco da Capela domestic sewage submarine outfalls of São Sebastião Channel, São Paulo State, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 60: 536–553. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.11.011>
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. 2002. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments. Ecological Risk Assessment Support Center. Las Vegas: Office of Research and Development NCEA-C- 1282. Disponível em: <https://bit.ly/2BdnACL>.
- VENTURIERI, R., OLIVEIRA-DA-COSTA, M., GAMA, C., JASTER, C.B. 2017. Mercury Contamination within Protected Areas in the Brazilian Northern Amazon-Amapá State. *American Journal of Environmental Sciences*, 13(1): 11-21. <http://dx.doi.org/10.3844/ajessp.2017.11.21>
- WWF, 2021. Temporada seca começa com recorde de queimadas e devastação em alta na Amazônia e no Cerrado. <https://www.wwf.org.br/?78808/Temporada-seca-comeca-com-recorde-de-queimadas-e-devastacao-em-alta-na-Amazonia-e-no-Cerrado> (Acesso em 5 de Setembro de 2021).
- XAVIER, D.A. 2012. Características sedimentológicas e físico-químicas do rio Sucuriú, Cabo Norte, Amapá, Brasil. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Pernambuco, p. 100.
- ZHANG, J., YU, Z.G., WANG, J.T., REN, J.L., CHEN, H.T., XIONG, H., DONG, L.X., XU, W.Y. 1999. The subtropical Zhujiang (Pearl River) Estuary: Nutrient, Trace Species and Their Relationship to Photosynthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49: 385-400. <https://doi.org/10.1006/ecss.1999.0500>.

¹Recebido 07 de dezembro de 2021
Aceito 19 de julho de 2023