



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
CURSO DE OCEANOGRAFIA

ADILSON MATHEUS BORGES MACHADO

DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES DISSOLVIDOS NA COLUNA DE
ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO DO
ESTUÁRIO DO RIO ANIL – MA

São Luís, Fevereiro/2017

ADILSON MATHEUS BORGES MACHADO

**DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES DISSOLVIDOS NA COLUNA DE
ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO DO
ESTUÁRIO DO RIO ANIL – MA**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão,
no formato de artigo como requisito
para obtenção do Grau de Bacharel
em Oceanografia.**

ORIENTADORA: SAMARA ARANHA ESCHRIQUE

São Luís, Fevereiro/2017

BIBLIOTECA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

MACHADO, Adilson Matheus Borges.

Distribuição dos nutrientes dissolvidos na coluna de água e caracterização do sedimento de fundo do Estuário do Rio Anil MA / Adilson Matheus Borges MACHADO. - 2017.
42 f.

Orientador(a): Samara Aranha ESCHRIQUE.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

1. Ambiente Estuarino. 2. Fosfato. 3. Matéria Orgânica. 4. Sedimentologia. 5. Silicato. I. ESCHRIQUE, Samara Aranha. II. Título.

ADILSON MATHEUS BORGES MACHADO

**DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES DISSOLVIDOS NA COLUNA DE
ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO DO
ESTUÁRIO DO RIO ANIL - MA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, no formato de artigo como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em 03 de Fevereiro de 2017

Banca Examinadora

Dra. SAMARA ARANHA ESCHRIQUE
(Orientadora/UFMA)

Dra. CLAUDIA KLOSE PARISE
(UFMA)

Dr. LEONARDO GONCALVES DE LIMA
(UFMA)

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Amarildo e Janilene, pelo
esforço e dedicação para minha
formação.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Janilene Borges Machado e Amarildo Machado, pela determinação e trabalho para minha formação, minha irmã Maria Karolyna e minha tia Janaina Borges que sempre estiveram ao meu lado me dando força e incentivos na minha vida.

A minha professora Samara Eschrique, minha mãe científica, que com sabedoria orientou-me e me convenceu a não desistir nos momentos mais críticos, me fazendo acreditar um pouco mais em mim mesmo.

A família LABCICLOS Samara Saraiva, Igor, Basilio, Hugo, Mariana, Jefferson, Thays, Caíque, Pedro, Potira, Suzy, Carla, uma equipe de qualidade, com membros sempre esforçados e dedicados e que contribuíram para que este trabalho fosse realizado. Desejo todo sucesso do mundo a eles.

A minha companheira Iara Ferreira, ajudou integralmente nas minhas análises de sedimento, em atividades de campo e fez dessa caminhada mais tranquila, tornando cada segundo mais doce me dando forças para continuar.

À toda equipe do LEOG (Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica) que me apoiou integralmente em minhas análises sedimentológicas, dando apoio e suporte, em especial Kassandra, Iara, Brunno, Daniel e Matheus. Desejo tudo de melhor a eles.

A todos os professores do departamento de Oceanografia principalmente o Dr. Leonardo Gonçalves de Lima e a Dra. Dra. Claudia Klose Parise pelas críticas construtivas neste trabalho, que me ajudaram, incentivaram e inspiraram.

Ao meu melhor amigo Matheus Seguins, desde o ensino médio sendo meu companheiro, que suportou minhas explosões e me aconselhou, ajudou nas minhas análises de sedimento e em campo, sempre paciente e competente.

Ao BD3 (Samara Saraiva e Matheus Seguins), irmãos que fizeram parte da minha vida acadêmica, sendo conselheiros, apassivadores e trazendo calma nessa árdua caminhada de estudante de graduação.

E aos demais funcionários do DEOLI, principalmente Suzy, Júnior e seu Davi (Papai Noel), aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível. Desejo rápida melhora ao Júnior que se recupera de um acidente.

RESUMO

O presente estudo tem o objetivo de caracterizar a distribuição dos nutrientes dissolvidos em 6 pontos no estuário do Rio Anil, e o papel do sedimento de fundo como fonte ou sumidouro em potencial das concentrações de matéria orgânica para a coluna de água. A área de estudo é influenciada por um clima tropical e sob um regime de macromarés semidiurnas. Em campo os dados de profundidade da lâmina de água, temperatura e salinidade foram obtidos utilizando o equipamento CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) de marca YSI CastAway®, o pH foi medido com a sonda modelo HANNA HI-8424, calibrada previamente. A transparência da água foi medida através do coeficiente de extinção de luz sugerido por Poole & Atkins (1929), determinado pela profundidade do desaparecimento do disco Secchi. Em laboratório a turbidez foi medida através do aparelho espectrofotômetro HACH DR/2000. A determinação do oxigênio dissolvido (OD) foi baseada na metodologia de Winkler (1888) como descrito em Strickland & Parsons (1972). Os percentuais de saturação em oxigênio dissolvido (%OD) foram calculados utilizando a tabela de Aminot & Chaussepied (1983). Os sólidos totais em suspensão (TSS) foram determinados pelas metodologias descritas em Strickland & Parsons (1972) e APHA (2001). A matéria orgânica em suspensão (MOS) foi determinada de acordo com APHA (2001). A granulometria foi determinada de acordo com Folk e Ward (1973) sendo processadas no *software* SYSGRAN 3.0® como descrito por Camargo (2006). A matéria orgânica volátil no sedimento foi baseada na metodologia de Wetzel (1975). Os nutrientes fosfato e silicato dissolvidos foram determinados pelo método colorimétrico descrito por Grasshoff et al. (1999). O silicato dissolvido apresentou mínimo e máximo de 5,13 a 14,34 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e o fosfato dissolvido variou de 0,13 a 2,19 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Os resultados sedimentológicos obtidos foram heterogêneos, de diâmetro médio, areia muito fina e areia média, variando de sedimentos muito pobremente a bem selecionados e com conteúdo de silte variando de uma campanha para outra. O percentual da matéria orgânica no sedimento de fundo do canal principal do estuário variou de 0,29 a 11,82%. A intensa presença de areia no canal principal indica que os sedimentos disponíveis no ambiente estuarino do Rio Anil estão expostos a condições de alta energia hidrodinâmica. O sedimento não mostrou capacidade retentora de material orgânico, devido à sua característica arenosa e ao fluxo intenso das correntes de marés, que dificultam a sedimentação de matéria orgânica, permitindo que a maior parte deste material seja exportado para fora do estuário. A distribuição dos nutrientes no estuário do Rio Anil mostrou que estes possuem fontes distintas no estuário, de acordo com o período semianual, sendo no período chuvoso (janeiro a junho), regido pelo aporte continental e fluvial, na estiagem (julho a dezembro), as concentrações dos nutrientes estão relacionadas à reciclagem de material orgânico no estuário.

Palavras-chaves: Fosfato, Silicato, Ambiente Estuarino, Matéria Orgânica, Sedimentologia.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the distribution of nutrients dissolved in 6 points in the Anil River estuary and the role of the bottom sediment as a potential source or sink for the concentrations of organic matter in the water column. The study area is influenced by a tropical climate and under a semidiurnal macrotidal regime. In the field, water depth, temperature, and salinity data were obtained using the equipment CTD (Conductivity, Temperature and Depth) of the brand YSI CastAway®; the pH was measured with the pre-calibrated HANNA HI-8424 probe. The water transparency was measured by the light extinction coefficient suggested by Poole & Atkins (1929), determined by the depth of the disappearance of the Secchi disk. In the laboratory, turbidity was measured using the HACH DR/2000 spectrophotometer. The determination of dissolved oxygen (OD) was based on the methodology of Winkler (1888) as described in Strickland & Parsons (1972). The percentages of saturation in dissolved oxygen (%OD) were calculated using the Aminot & Chaussepied (1983) table. Total suspended solids (TSS) were determined by the methodologies described in Strickland & Parsons (1972) and APHA (2001). Suspended organic matter (MOS) was determined according to APHA (2001). Granulometry was determined according to Folk and Ward (1973), being processed in SYSGRAN 3.0® software as described by Camargo (2006). The volatile organic matter in the sediment was based on the methodology of Wetzel (1975). The dissolved phosphate and silicate nutrients were determined by the colorimetric method described by Grasshoff et al. (1999). The dissolved silicate presented a minimum and maximum of 5.13 to 14.34 $\mu\text{mol L}^{-1}$ and the dissolved phosphate ranged from 0.13 to 2.19 $\mu\text{mol L}^{-1}$. The sedimentological results obtained were heterogeneous, of medium diameter, very fine sand, and medium sand, varying from sediments very poorly to well selected and with silt content varying from one campaign to another. The percentage of organic matter in the bottom sediment of the main channel of the estuary ranged from 0.29 to 11.82%. The intense presence of sand in the main channel indicates that the sediments available in the estuarine environment of the Anil River are exposed to high hydrodynamic energy conditions. The sediment did not show a retentive capacity of organic material, due to its sandy characteristic and the intense flow of the tidal currents, which hinder the sedimentation of organic matter, allowing most of this material to be exported outside the estuary. The distribution of nutrients in the estuary of the Anil River showed that they have different sources in the estuary, according to the semi - annual period, being in the rainy season (January to June), governed by the continental and fluvial supply, in the dry season (July to December) the concentrations of nutrients are related to the recycling of organic material in the estuary.

Keywords: Phosphate, Silicate, Estuarine Environment, Organic Matter, Sedimentology.

EPÍGRAFE

“O mar, o grande unificador, é a única esperança do homem. Agora, como nunca antes, a velha frase tem um significado literal: estamos todos no mesmo barco. ”

Jacques Yves Cousteau

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização dos pontos de amostragem no estuário do Anil. Fonte: Google Earth Pro e INPE.17
- Figura 2** - Variações da maré (m) registradas em São Luís-MA: a) 1ª Campanha (período chuvoso); b) 2ª Campanha (período de estiagem). As barras representam o intervalo de amostragem durante o período de maré.18
- Figura 3** - a) Comparação da média histórica da precipitação pluviométrica (mm) durante os anos de 1961 a 2015; b) precipitação dias antes das campanhas de coleta no estuário do Rio Anil para a cidade de São Luís (MA). 18
- Figura 4** - Análise dos componentes principais para os parâmetros hidroquímicos estudados ao longo do estuário do Rio Anil. a) Período chuvoso; b) Período de estiagem. 22
- Figura 5** - Distribuição pontual dos parâmetros físicos e químicos nas águas superficiais no estuário do Rio Anil durante o período chuvoso (1ª campanha) e período de estiagem (2ª campanha) de amostragem. 23
- Figura 6** - Frequência acumulada da distribuição granulométrica em phi entre as estações amostrais. a) período chuvoso (1ª campanha); b) período de estiagem (2ª campanha). 24

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Posicionamentos geográficos dos pontos de amostragens. 17
- Tabela 2** - Valores mínimos, máximos, médios e medianas de parâmetros hidrológicos, físicos e químicos na superfície do estuário do Rio Anil. 19
- Tabela 3** - Análise dos componentes principais (ACP) no estuário do Rio Anil: a) período chuvoso (1ª campanha); b) período de estiagem (2ª campanha). 22
- Tabela 4** - Porcentagem dos tamanhos dos grãos das estações para o sedimento de fundo da região estuarina do Rio Anil. Período chuvoso (1ª campanha) e período de estiagem (2ª campanha). 24
- Tabela 5** - Classificação verbal dos parâmetros estatísticos utilizando a análise de FOLK & WARD (1957) para as 6 estações de amostragem durante a 1ª campanha (período chuvoso) e 2ª campanha (período de estiagem). 25
- Tabela 6** - Percentual de Matéria Orgânica Volátil no sedimento de fundo do canal principal no estuário do Rio Anil, durante os períodos chuvoso e de estiagem. 25

LISTA DE SIGLAS E UNIDADES

%OD - Porcentual de Saturação em Oxigênio Dissolvido.

$\mu\text{mol L}^{-1}$ - Micromol por litro.

ACP - Análise dos Componentes Principais.

APHA - *American Public Health Association*.

CO₂ - Dióxido de Carbono.

Cond. – Condutividade.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DEOLI – Departamento de Oceanografia e Limnologia.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação.

et al. – Entre outros.

Fig. – Figura.

g kg^{-1} - Gramas por Quilogramas.

hab. km^{-2} - Habitantes por quilômetros quadrados.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

km^2 - Quilômetros Quadrados.

m - Metros.

$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ - Metros Cúbicos por Segundo.

MA - Maranhão.

mg L^{-1} - Miligramas por Litro.

mS cm^{-1} – milisiemen por centímetro.

mL - Mililitro.

MOS - Matéria Orgânica em Suspensão.

MOT – Matéria Orgânica Total.

NTU - Unidades Nefelométricas de Turbidez.

°C – Graus *Celsius*.

OD - Oxigênio Dissolvido.

P - Fósforo.

PA - Pará.

PE - Pernambuco.

pH - Potencial Hidrogeniônico.

Prof. - Profundidade

Qd - Maré de Quadratura.

Si - Silício.

Si (OH)₄ - Silicato.

Sz - Maré Sizígia.

Tab. - Tabela.

TSS - Sólidos Totais em Suspensão.

UFMA - Universidade Federal do Maranhão.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
ÁREA DE ESTUDO.....	15
METODOLOGIA.....	16
RESULTADOS.....	19
DISCUSSÃO.....	26
CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ANEXOS.....	40

INTRODUÇÃO

A zona costeira abriga uma combinação de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é caracterizada pela transição entre ambientes terrestres e marinhos. Esta região representa, também elevada importância no ciclo biogeoquímico de especiações químicas, onde a intensa ação antrópica tem sido responsável por alterações significativas nos fluxos destes compostos (VER et al., 1999; ACCORNERO et al., 2003). Inseridos nesta área estão os estuários, que são regiões de transição entre o rio e o mar. Eles são caracterizados pela comunicação com o mar, por gradientes de salinidade e densidade associados à mistura turbulenta de água do rio e água do mar (PRITCHARD, 1955).

Segundo Dalrymple et al. (1992), estuário é um sistema deposicional que tem seu limite definido à montante das fácies de maré até o limite à jusante das fácies costeiras, próximo à embocadura. A origem e evolução da grande maioria dos estuários modernos se devem a última transgressão marinha, que afogou as extensões dos vales fluviais escavados durante o último estágio glacial, permitindo o desenvolvimento de um amplo espaço de acomodação atrás da linha de costa.

Estes ambientes estuarinos podem ser caracterizados pela sua morfologia e padrão de estratificação de água. Fatores físicos e químicos, tais como, a composição dos sedimentos, a salinidade, as correntes de marés e o vento, influenciam na complexidade destes ambientes (MAO et al., 2004).

O Estado do Maranhão possui uma área territorial da ordem de 331.937,45 km², sendo que a cidade de São Luís, a capital maranhense, possui 834,7 km² de área que abriga uma população estimada em 1.073.893 habitantes (IBGE, 2015), na qual a bacia hidrográfica do Rio Anil está inserida na sua totalidade. Esta bacia é extremamente urbanizada e é fortemente influenciada pela entrada de águas marinhas, principalmente no período de estiagem local que ocorre de julho a dezembro, quando a contribuição fluvial diminui drasticamente em decorrência da baixa precipitação pluviométrica.

Os estuários funcionam como retentores de materiais e partículas de origem continental para o ambiente marinho adjacente, dentre estes materiais estão os nutrientes dissolvidos que são principalmente oriundos de rochas sedimentares, por isso o continente é a principal fonte desses elementos para o ambiente estuarino. O fósforo se agrega facilmente aos sólidos totais suspensos e à matéria orgânica pelo processo de adsorção, propiciando sua deposição no sedimento de fundo. Outras fontes do fósforo dissolvido para ambientes aquáticos são: excreta de animais, fluxo fluvial, depósitos de guanos em ilhas rochosas, além de atividades humanas. Os efluentes urbanos e outros subprodutos são responsáveis pelo aumento do aporte de nutrientes, como o fosfato (PO₄⁻³), trazendo sérios impactos ambientais, biológicos e socioeconômicos para os sistemas hídricos e a população do local (DA FONSECA, 2010; ESTEVES, 2011; BRAGA et al., 2009; BARCELLOS et al. 2012).

Segundo Esteves (2011) o silicato dissolvido [Si (OH)⁻]₄ é um nutriente limitante na produção primária, pois é de fundamental importância na composição das carapaças e frústulas de algumas classes de microalgas, principalmente as diatomáceas e radiolários. O silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e por ser mais abundante que os demais nutrientes, o silicato normalmente é conservativo nas águas estuarinas, pois sua absorção biológica é baixa se comparado ao aporte oriundo do continente, sendo assim, considerado um traçador de aportes continentais para a zona costeira (BRAGA et al., 2009).

Os sedimentos marinhos costeiros têm sido identificados como um importante alocador de nutrientes (DEMING & BAROSS, 1993). A poluição dos sedimentos está estreitamente ligada à poluição das águas e é oriundo de diversas fontes (CETESB, 2009). Como os sedimentos são transportados pelos rios para outro curso de água ou para o mar, as análises da distribuição pontual dos sedimentos de uma região são relevantes para monitorar possíveis fontes de contaminação. Neste aspecto, a fração lamosa dos sedimentos tem comportamento quase sempre associado a substâncias que se agregam aos mesmos, tais como os metais pesados, além da carga difusa urbana e agrícola (VERONEZ JÚNIOR et al., 2009).

Os sistemas estuarinos podem sofrer uma diminuição da sua profundidade em resposta a três processos deposicionais: entrada de areia e outros sedimentos marinhos, aumento dos deltas de areia na foz do rio e agradação de lama em toda a parte central do estuário (WOODROFFE, 2002). Estudos que visam identificar a morfologia e a distribuição sedimentar dos estuários são de suma importância para identificação de possíveis zonas de acúmulo sedimentar e de contaminantes, além de contribuir para o conhecimento dos sistemas estuarinos, em geral, e seu comportamento quanto à distribuição do sedimento submerso (VERONEZ JÚNIOR et al., 2009).

No que se refere ao estuário e a bacia hidrográfica do Rio Anil, o cenário de ocupação populacional irregular é evidente. Essa bacia foi a primeira a ser ocupada no início da colonização da Ilha do Maranhão e, atualmente, a bacia concentra a maior área urbanizada de São Luís (SOUZA, 2005; SILVA JÚNIOR et al. 2013). De acordo com Worsfold et al. (2005), a determinação dos nutrientes em ecossistemas estuarinos é essencial para a verificação do seu estado ecológico.

Dentre os autores que relataram o processo de urbanização e degradação ambiental do estuário do Rio Anil, Gomes (2001) mostrou que a construção de palafitas desordenadas nas margens do rio gerou o aterramento de manguezais, com lançamento de efluentes domésticos e de resíduos sólidos no canal fluvial, agravando a proliferação de doenças vectoriais, que atingem a população ribeirinha local. Serra (2003) determinou parâmetros físicos e químicos bem como a concentração de nutrientes no estuário do Rio Anil e demonstrou um crítico quadro ambiental e sanitário do estuário do rio Anil, através de avaliações microbiológicas e parâmetros ambientais. Martins & Lopes (2009) mostraram que existia lançamento *in situ* dos efluentes da indústria de remédios nas proximidades da região estuarina do Rio Anil, notou ainda, que além da fábrica, localiza-se também no local um hospital, que descarta seus efluentes sem tratamento prévio no estuário, destacando que estas irregularidades representam um risco para a população ribeirinha que consomem os peixes e crustáceos oriundos do estuário. Nunes (2013) caracterizou o fósforo e a distribuição granulométrica em uma estação de coleta no estuário do Rio Anil, destacando o sedimento como um importante compartimento ecológico.

Os estuários funcionam como retentores de materiais e partículas para o ambiente marinho adjacente, sendo que os sedimentos são o principal compartimento alocador destes materiais de origem continental dentre estes aportes estão os nutrientes dissolvidos. Assim, o presente estudo tem o objetivo de caracterizar a distribuição espacial dos nutrientes dissolvidos (fosfato e silicato) no estuário, e o papel do sedimento de fundo como fonte ou sumidouro das concentrações de matéria orgânica para a coluna de água, que são oriundos dos aportes antrópicos e continentais, como agentes modificadores da qualidade da água estuarina do Rio Anil – São Luís - Maranhão.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o estuário do Rio Anil, que está situado no quadrante NW da Ilha de São Luís – Maranhão, a ilha é composta pelos municípios de Paço do Luminar, São Luís, São José de Ribamar e Raposa. A bacia de drenagem do Rio Anil tem 40,94 km² de área, 33,39 km de perímetro e 12,63 km de comprimento (ARAÚJO et al., 2009; NUNES, 2013).

O estuário do Rio Anil é caracterizado como um ambiente estuarino bastante dinâmico, com a circulação determinada principalmente pelo regime de marés semidiurnas (ocorrência de duas baixamares e duas preamares por dia), com macromarés que podem chegar a aproximadamente 7,0 m de altura nas grandes sizígias, com média de 6,6 m nas preamares, as correntes de maré podem chegar a 2,5 m s⁻¹ e alturas das ondas entre 0,6 e 1,4 m (EL-ROBRINI et al., 2006).

A precipitação pluviométrica média anual na bacia de drenagem do estuário do Rio Anil é da ordem anual de 1.900 mm (CARIDADE & SANTOS, 2007), marcado por dois períodos bem distintos e não homogêneos, o período chuvoso que ocorre de janeiro a junho e o de estiagem, que ocorre de julho a dezembro. As temperaturas médias anuais da região são típicas de regiões tropicais equatoriais, com variação média entre 26 °C e 29 °C.

Geomorfologicamente a bacia do Rio Anil faz parte da Planície Flúvio-Marinha do Golfão Maranhense. Do ponto de vista estratigráfico, a bacia apresenta as sequências da Formação Itapecuru (em idade cretácica subdivididas em Membro Inferior Psamítico e Membro Superior Alcântara). O estuário do Rio Anil está inserido na Formação Itapecuru - Membro Superior Alcântara, composta em geral por arenitos, argilitos, folhelhos e calcários, tendo sua composição sedimentar: argila, silte, areia muito fina e calcário (PEREIRA, 2006).

Com o avanço populacional na capital do Maranhão, nos últimos 30 anos, o desmatamento e a ocupação irregular de regiões próximas ao aeroporto do Tirirical foram intensificados, fazendo com que os córregos e brejos, que até então eram considerados nascentes do Rio Anil, fossem aterrados, fato que teve como consequência a diminuição de 21 km no curso do rio (FEITOSA, 1989; TROVÃO, 1997; SOUZA, 2005).

Trovão (1994) afirma que as construções de bairros no entorno das nascentes do Rio Anil comprometeram ainda mais sua situação ecológica. Sua nascente foi transferida para brejões mais ao norte, próximo ao bairro Cohab Anil. Atualmente, consideram-se como suas nascentes, dois córregos: um maior, localizado no bairro Vila Isabel Cafeteira, próximo ao bairro COHAB Anil III, e outra menor, que fica no bairro da Aurora. Souza (2005) afirma ainda que estas nascentes estão localizadas em áreas de várzea e carregam uma enorme quantidade de esgoto doméstico ao passar por bairros com alta densidade demográfica.

Feitosa (1989) em seus estudos na bacia hidrográfica do estuário do Rio Anil observou que o rio possui aproximadamente $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de vazão durante o período chuvoso, e $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no período de estiagem local. Os principais afluentes do Rio Anil, pela margem direita, são: Igarapé da Ana Jansen, Igarapé do Jaracati, Igarapé do Vinhais, Igarapé do Turu e Igarapé Ingaúra, que são os maiores da bacia. Pela margem esquerda, os afluentes são menores, possuem maior declividade e sub-bacias extremamente urbanizadas, são estes: o Rio Jaguaré, Córrego da Vila Barreto, Córrego da Alemanha e Igarapé da Camboa (SOUZA, 2005).

METODOLOGIA

A amostragem de água no estuário do Rio Anil foi realizada com auxílio de uma embarcação da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) em 6 pontos distribuídos ao longo do estuário (Fig. 1) durante o período chuvoso (09 de maio) e de estiagem (05 de outubro) do ano de 2016, em maré de sizígia na superfície da lâmina de água. As amostras foram conservadas e refrigeradas para posterior análises laboratoriais. As localizações geográficas dos pontos de coleta no estuário do Anil são apresentadas na Tabela 1.

Em campo os dados de profundidade da lâmina de água, temperatura e salinidade foram obtidos utilizando o equipamento CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) de marca YSI CastAway®, o pH foi medido com a sonda modelo HANNA HI-8424, calibrada previamente. A transparência da água foi medida através do coeficiente de extinção de luz sugerido por Poole & Atkins (1929), determinado pela profundidade do desaparecimento do disco Secchi. Em laboratório a turbidez foi medida através do aparelho espectrofotômetro da marca HACH DR/2000. A determinação do oxigênio dissolvido (OD) foi baseada na metodologia de Winkler (1888) como descrito em Strickland & Parsons (1972). Os percentuais de saturação em oxigênio dissolvido (%OD) foram calculados utilizando a tabela de Aminot & Chaussepied (1983). Os sólidos totais em suspensão (TSS) foram determinados pelas metodologias descritas em Strickland & Parsons (1972) e Apha (2001). A matéria orgânica em suspensão foi determinada de acordo com Apha (2001). Os nutrientes fosfato e silicato dissolvidos foram determinados pelo método colorimétrico descrito por Grasshoff et al. (1999).

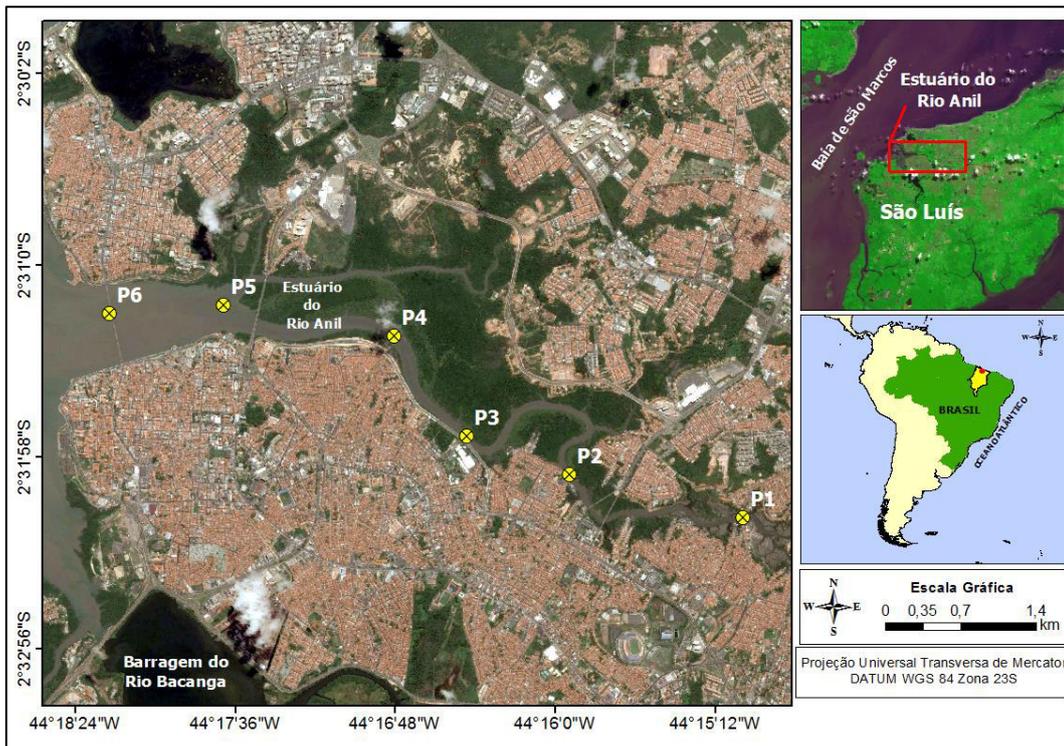


Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem (P1 a P6) no estuário do Anil. Fonte: Google Earth Pro e INPE.

Tabela 1 - Posicionamentos geográficos dos pontos de amostragens.

ESTAÇÕES	COORDENADAS	
	LATITUDE	LONGITUDE
P1	02°32'16,50"S	44°15'03,61"W
P2	02°32'03,42"S	44°15'55,71"W
P3	02°31'51,80"S	44°16'26,60"W
P4	02°31'21,64"S	44°16'48,43"W
P5	02°31'12,20"S	44°17'39,68"W
P6	02°31'14,84"S	44°18'14,00"W

Para a realização das coletas de sedimentos foi utilizado um amostrador de fundo de aço inoxidável do tipo *van Veen*. As coletas de sedimento no estuário do Rio Anil foram realizadas nos mesmos 6 pontos de amostragem de água (Tabela 1), no canal principal do rio, onde o sedimento não fica exposto durante a variação de marés, sendo que a coleta de sedimento só foi realizada após a coleta de água.

Logo após a coleta, as amostras foram devidamente lacradas e armazenadas em sacos de polietileno com capacidade volumétrica de 3 litros, depois armazenadas e levadas para análise granulométrica em laboratório. As amostras de sedimento foram transferidas para potes de vidro e lavadas até a retirada de todo sal presente na amostra, depois, foram colocadas na estufa a 60°C até secar completamente. Depois de secas, as amostras foram quarteadas, quando então foi pesado 50 g de sedimento para análise granulométrica.

O software SYSGRAN 3.0® (CAMARGO, 2006) foi utilizado para processamento dos dados granulométricos, segundo a metodologia descrita por Folk & Ward (1973), utilizando a técnica de peneiramento e pipetagem, os parâmetros considerados nas análises estatísticas foram média, mediana, seleção (desvio padrão), assimetria e curtose, e a classificação segundo Wentworth (1922). A Matéria Orgânica (MO) no sedimento foi determinada seguindo a metodologia descrita por Wetzel (1975). O teste estatístico usado no tratamento dos resultados foi análise de componentes principais (ACP), para avaliar a correlação entre os parâmetros hidrológicos, para cada campanha de coleta.

As amostragens realizadas no estuário do Rio Anil, foram nos dias 09 de maio de 2016 (1ª campanha) (Fig. 2a) e 05 de outubro de 2016 (2ª campanha) (Fig. 2b), sob as condições de maré de sizígia. As informações sobre horário e altura da maré foram obtidas pela DHN da Marinha do Brasil (2016), referentes a São Luís - MA para os dias da coleta. Na 1ª campanha de amostragem a altura da maré atingiu 6,4 m e 5,9 m na 2ª campanha.

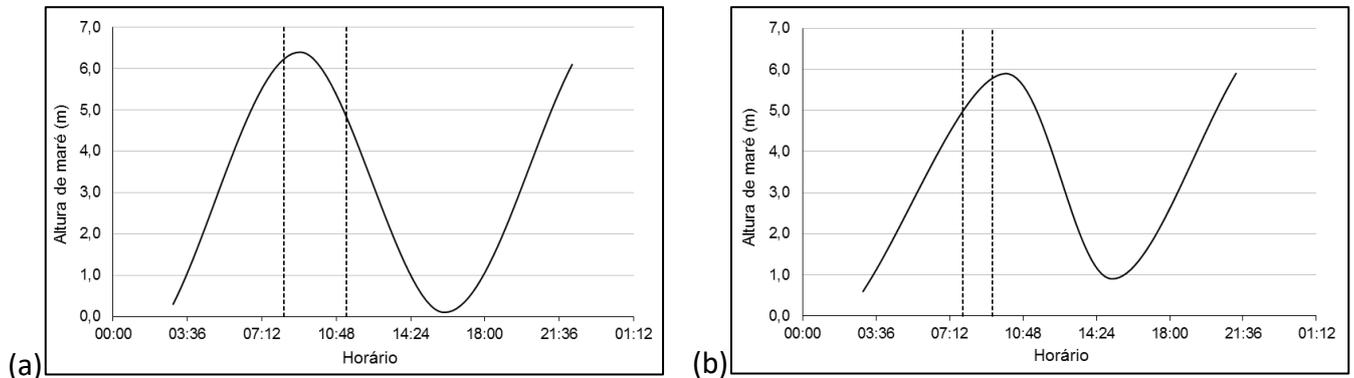


Figura 2 - Variações da maré (m) registradas em São Luís-MA: a) 1ª Campanha (período chuvoso); b) 2ª Campanha (período de estiagem). As barras representam o intervalo de amostragem durante o período de maré.

As informações sobre a pluviosidade local foram obtidas através dos registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), desde os períodos anteriores até o dia da coleta (Fig. 3a e 3b). Durante as coletas realizadas nos meses de maio e outubro do ano de 2016, a precipitação pluviométrica (mm) mensal foi abaixo da média histórica.

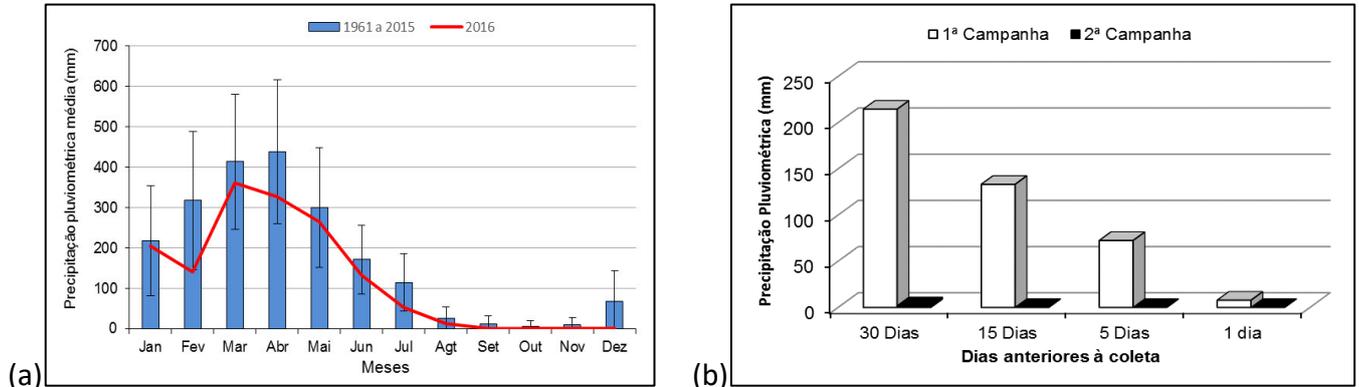


Figura 3 – a) Comparação da média histórica da precipitação pluviométrica (mm) durante os anos de 1961 a 2015; b) precipitação dias antes das campanhas de coleta no estuário do Rio Anil para a cidade de São Luís (MA).

RESULTADOS

DADOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Os valores mínimos, máximos, médios e medianas para parâmetros hidrológicos, físicos, químicos na superfície da coluna de água do estuário do Rio Anil para o período chuvoso (1ª campanha) e o período de estiagem (2ª campanha) serão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores mínimos, máximos, médios e medianas de parâmetros hidrológicos, físicos e químicos na superfície do estuário do Rio Anil.

Parâmetro	Valor	1ª Campanha	2ª Campanha
		Período chuvoso	Período de estiagem
Profundidade da lâmina de água (m)	Mín.	1,16	2,19
	Máx.	5,85	6,66
	Média	4,01	4,04
	Med.	4,67	3,93
Transparência (m)	Mín.	0,19	0,68
	Máx.	1,41	1,60
	Média	1,01	1,20
	Med.	1,35	1,35
Temperatura da água (°C)	Mín.	28,41	28,17
	Máx.	29,87	28,91
	Média	29,34	28,44
	Med.	29,52	28,25
Salinidade (g kg ⁻¹)	Mín.	3,94	18,33
	Máx.	29,17	34,41
	Média	21,94	30,70
	Med.	28,11	33,98
Condutividade (mS cm ⁻¹)	Mín.	7,64	31,80
	Máx.	49,29	55,40
	Média	37,39	50,07
	Med.	47,36	54,76
pH	Mín.	7,98	7,85
	Máx.	8,35	8,22
	Média	8,18	8,11
	Med.	8,23	8,16
OD (mg L ⁻¹)	Mín.	1,53	0,49
	Máx.	4,67	4,93
	Média	3,78	4,09
	Med.	4,42	4,82
%OD (%)	Mín.	29	10
	Máx.	103	109
	Média	83	90
	Med.	97	106
Turbidez (NTU)	Mín.	18,00	19,00
	Máx.	65,00	93,00
	Média	47,17	40,00
	Med.	53,50	24,00
TSS (mg L ⁻¹)	Mín.	54,33	46,00
	Máx.	123,33	156,67
	Média	90,33	74,01
	Med.	93,25	55,42
MOS (mg L ⁻¹)	Mín.	16,67	15,00
	Máx.	30,50	43,00
	Média	24,75	27,86
	Med.	24,59	23,67
%MOS (%)	Mín.	20	27
	Máx.	52	52
	Média	31	40

	Med.	29	38
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Mín.	0,13	0,13
	Máx.	0,65	2,19
	Média	0,23	0,68
	Med.	0,15	0,25
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Mín.	10,58	5,13
	Máx.	14,34	9,10
	Média	12,41	7,11
	Med.	12,04	7,02

A profundidade da lâmina de água no estuário do Rio Anil teve valor mínimo e máximo de 1,16 a 5,85 m durante a 1ª campanha e de 2,19 a 6,66 m na 2ª campanha (Tabela 2 e Fig. 5a). O ambiente de amostragem é considerado raso apresentando profundidade média de 4,03 m.

A transparência variou de 0,19 a 1,41 m na 1ª campanha e de 0,68 a 1,60 m na 2ª campanha, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 5b). A água mostrou uma boa penetração de luz, sendo que os maiores valores de transparência foram observados durante o período seco (2ª campanha) nos pontos mais a jusante.

A temperatura superficial do estuário do Rio Anil foi de 28,41 a 29,87 °C na 1ª campanha e de 28,17 a 28,91 °C na 2ª campanha, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 5c). Considerando os pontos de amostragem as temperaturas foram praticamente homogêneas na superfície da água, sendo os maiores valores de temperatura observados no período chuvoso (1ª campanha).

Os valores de salinidade mostraram características típicas de regiões estuarinas, os maiores valores foram no período de estiagem, quando a competência fluvial diminui, permitindo que a maré atue com maior intensidade no estuário. A salinidade variou de 3,94 a 29,17 g kg⁻¹ na 1ª campanha e de 18,33 a 34,37 g kg⁻¹ na 2ª campanha, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 5d).

A condutividade na superfície do estuário foi de 7,64 a 49,29 mS cm⁻¹ na chuva e de 31,80 a 55,40 mS cm⁻¹ na estiagem (Tabela 2 e Fig. 5e). Os dados mostram que a salinidade e a condutividade tiveram distribuição superficial e semianual similar aos observados para os períodos de amostragem.

O pH pontualmente e semianual mostrou valores típicos de regiões estuarinas a marinhas, devido à forte influência da maré e baixa competência fluvial do Rio Anil. Os valores de pH variaram de 7,98 a 8,35 na 1ª campanha e de 7,85 a 8,22 na 2ª campanha, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 5f).

O oxigênio dissolvido (OD) apontou um gradiente ao longo do curso do rio para a foz do estuário, é verificado diferença entre os pontos de amostragem, variando de 1,53 a 4,67 mg L⁻¹ durante a 1ª campanha e de 0,49 a 4,93 mg L⁻¹ na 2ª campanha na superfície do estuário do Rio Anil, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 5g).

Para a saturação do oxigênio dissolvido (%OD) obtida, as águas superficiais no estuário do Rio Anil são classificadas como poluída a saturada para este gás, com valores variando entre 29 e 103% para a 1ª campanha e de 10 a 109% na 2ª campanha (Tabela 2 e Fig. 5g).

A turbidez mostrou diferença pontual e semianual na superfície do estuário do Rio Anil considerando as duas campanhas de coleta, com valores variando de 18 a 65 NTU para a 1ª campanha e de 19 a 93 NTU na 2ª campanha (Tabela 2 e Fig. 5h).

As concentrações de TSS apresentaram gradiente em direção à foz durante a 1ª campanha, no sentido a jusante do estuário (estações P4, P5 e P6). Na 2ª campanha, ocorreu o contrário, os menores valores foram observados para estas mesmas estações. Os sólidos totais suspensos (TSS) tiveram concentrações variando de 54,33 e 123,33 mg L⁻¹ na 1ª campanha e de 46,00 a 156,67 mg L⁻¹ na 2ª campanha (Tabela 2 e Fig. 5i).

A concentração de MOS (Tabela 2 e Fig. 5j) observada neste estudo apresentou valores mínimo e máximo, respectivamente, de 16,67 e 30,50 mg L⁻¹ na 1ª campanha e de 15,00 e 43,00 mg L⁻¹ referente a 2ª campanha. Na 1ª campanha as concentrações de MOS não apresentaram diferenças pontuais, já na 2ª campanha os maiores valores observados foram à montante do estuário.

O percentual de MOS (%) no TSS (Tabela 2 e Fig. 5j) teve sua variação entre 20 a 52% no estuário do Rio Anil na 1ª campanha e de 27 a 52% para a 2ª campanha. Os maiores valores percentuais de MOS foram observados à montante onde há maior contribuição antrópica (efluentes domésticos e industriais).

O Silicato apresentou concentrações mínimo e máximo de 10,58 e 14,34 µmol L⁻¹ durante o período chuvoso, na estiagem os valores foram de 5,13 a 9,10 µmol L⁻¹, na superfície do estuário do Rio Anil, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 5l). As maiores concentrações foram durante o período chuvoso da região quando há maior lixiviação da crosta continental.

Para o Fosfato foram obtidas concentrações mínima e máxima de 0,13 e 0,65 µmol L⁻¹ no período chuvoso e de 0,13 a 2,19 µmol L⁻¹ referente a estiagem, sendo o maior valor encontrado no Ponto 2 no período de estiagem (Tabela 2 e Fig. 5m). No período chuvoso as concentrações de fosfato não apresentaram diferenças pontuais, no período de estiagem o maior valor foi encontrado na estação P2, essa estação recebe forte influência de efluentes domésticos.

A análise dos componentes principais (ACP) foi aplicada para todos os parâmetros estudados sendo separados entre período chuvoso e de estiagem. Os parâmetros foram: transp. (transparência), temp. (temperatura), sal. (salinidade), cond. (condutividade), pH, OD, turbidez, TSS, MOS e os nutrientes fosfato silicato.

De acordo com os resultados estatísticos da ACP para o período chuvoso (Tab. 3 e Fig. 4a), os fatores explicaram 92,52% da variação dos dados: o fator 1 explicou 70,91% e o fator 2 explicou 21,61%. Foi observado que o fator 1 correlacionou diretamente com a transp. (transparência), temp. (temperatura), sal. (salinidade), cond. (condutividade), pH, OD, TSS e inversamente com o silicato e o fosfato. O fator 2 relacionou inversamente com turbidez e MOS.

Para o período de estiagem (Tab. 3 e Fig. 4b), os fatores explicaram 93,62% da variação dos dados: o fator 1 explicou 69,37% e o fator 2 explicou 24,25%. O fator 1 correlacionou diretamente com a transparência, salinidade, condutividade, pH, OD, %OD, silicato e inversamente com a temperatura, turbidez, TSS, MOS, Fosfato e Nitrito. O fator 2 relacionou diretamente o TSS e nitrito e inversamente o %MOS.

Tabela 3 – Análise dos componentes principais (ACP) no estuário do Rio Anil: a) período chuvoso (1ª campanha); b) período de estiagem (2ª campanha).

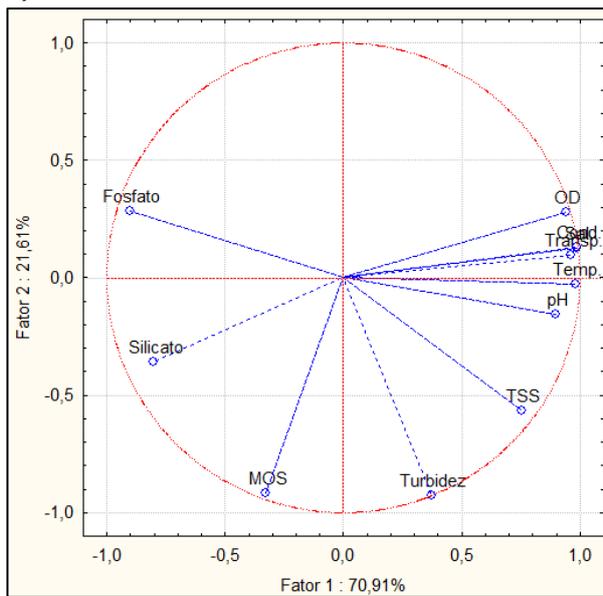
a)

Parâmetros	Fator 1 (70,91%)	Fator 2 (21,61%)
Transparência	0,96	0,10
Temperatura	0,98	-0,03
Salinidade	0,99	0,13
Condutividade	0,99	0,13
pH	0,90	-0,16
OD	0,94	0,28
Turbidez	0,37	-0,93
TSS	0,75	-0,57
MOS	-0,33	-0,92
Silicato	-0,90	0,28
Fosfato	-0,80	-0,36

b)

Parâmetros	Fator 1 (78,37%)	Fator 2 (24,25%)
Transparência	-0,95	0,16
Temperatura	0,95	-0,25
Salinidade	-0,94	-0,35
Condutividade	-0,93	-0,37
pH	-0,89	-0,44
OD	-0,78	-0,63
Turbidez	0,84	-0,52
TSS	0,68	-0,71
MOS	0,96	-0,19
Silicato	-0,80	0,34
Fosfato	0,97	0,23

a)



b)

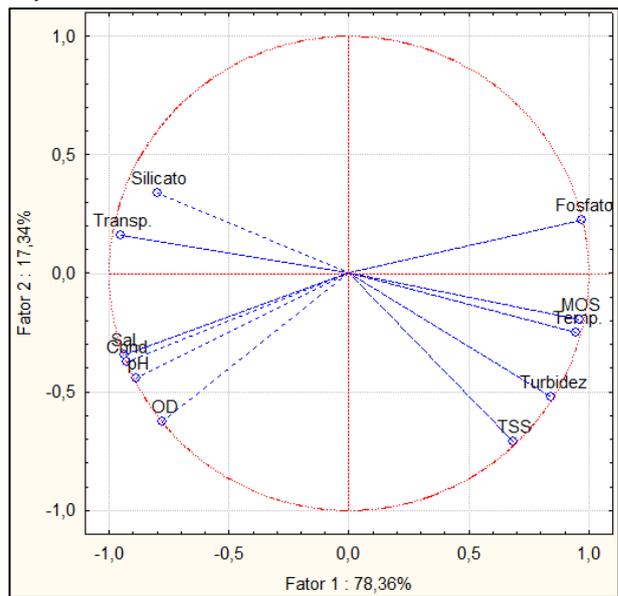


Figura 4 – Análise dos componentes principais para os parâmetros hidroquímicos estudados ao longo do estuário do Rio Anil. a) Período chuvoso; b) Período de estiagem.

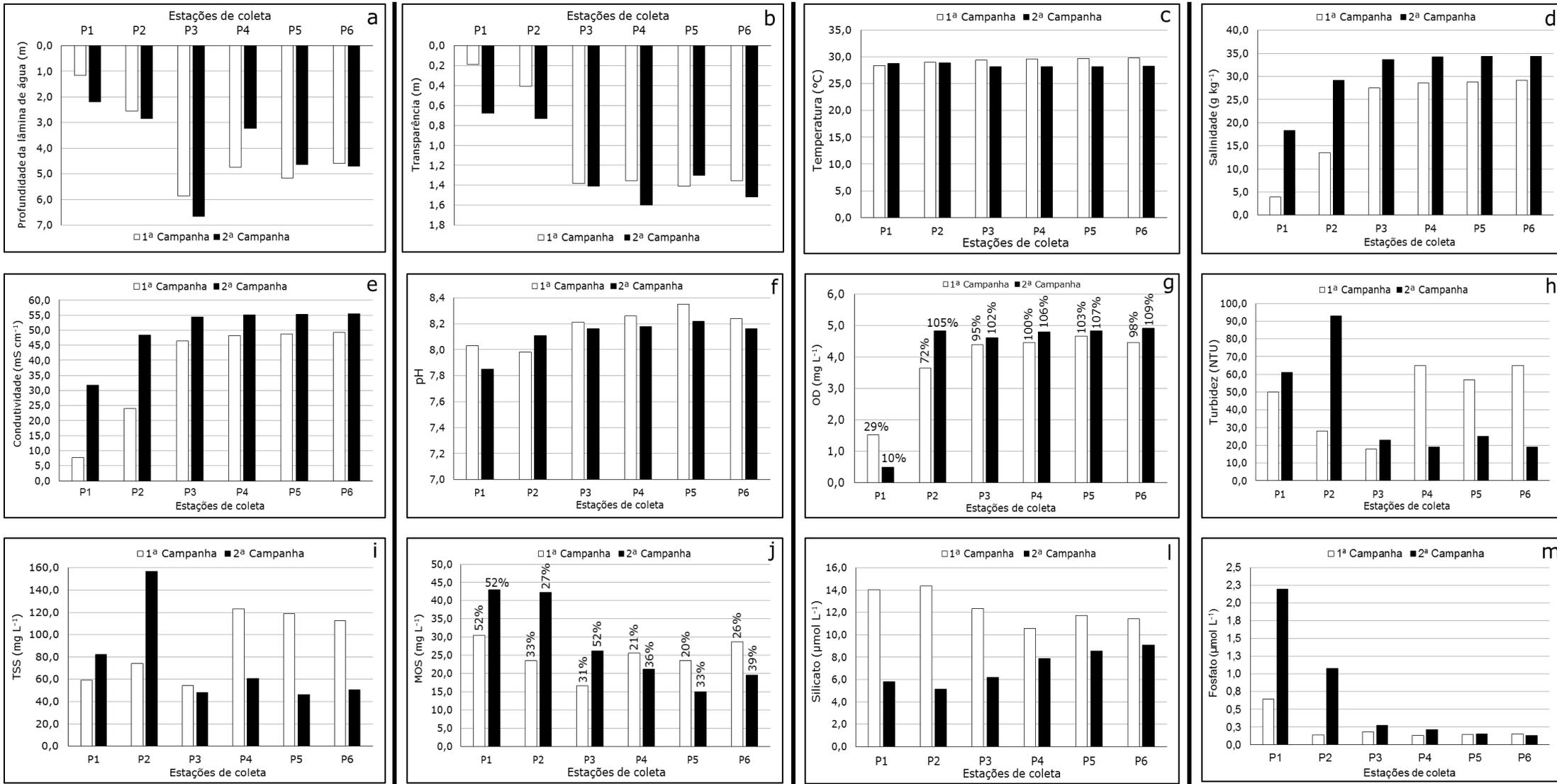


Figura 5 - Distribuição pontual dos parâmetros físicos e químicos nas águas superficiais no estuário do Rio Anil durante o período chuvoso (1ª campanha) e período de estiagem (2ª campanha) de amostragem.

DADOS SEDIMENTOLÓGICOS

Os resultados granulométricos para o período chuvoso mostraram similaridades e diferenças entre as estações de amostragem, considerando suas classificações quanto à distribuição média do grão, sendo observadas similaridades nas estações P2 e P3, classificadas como areia média. Nas estações P4, P5 e P6 a média foi de areia muito fina. A estação P1 foi diferente das demais estações, pois apresentou média de areia fina, em geral, foi observado baixo percentual de argila como mostra a curva de frequência acumulada (Fig. 6a, Tabela 4) assim como a classificação verbal (Tabela 5). Com relação à seleção, as estações P1, P5 e P6 foram pobremente selecionadas, o P2 foi moderadamente selecionado, o P3 foi bem selecionado e a estação P4 foi muito pobremente selecionado (Tabela 5).

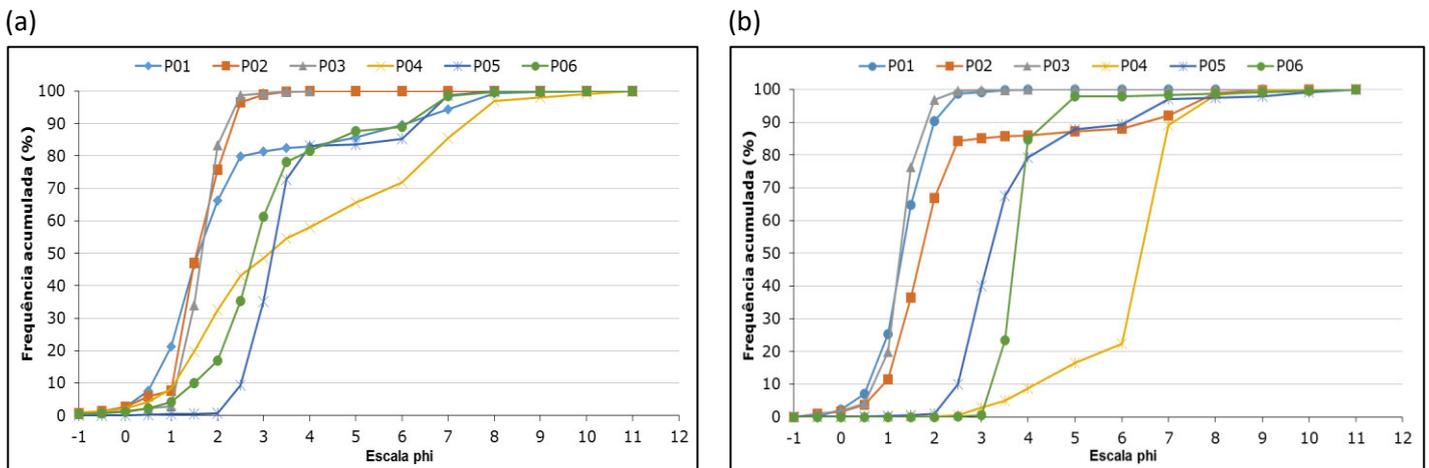


Figura 6 – Frequência acumulada da distribuição granulométrica em phi entre as estações amostrais. a) período chuvoso (1ª campanha); b) período de estiagem (2ª campanha).

Tabela 4 – Porcentagem dos tamanhos dos grãos das estações para o sedimento de fundo da região estuarina do Rio Anil. Período chuvoso (1ª campanha) e período de estiagem (2ª campanha).

1ª CAMPANHA				
AMOSTRAS	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
P1	0,44	82,46	16,37	0,73
P2	0,68	99,32	0	0
P3	0,57	99,43	0	0
P4	0,83	57,14	39,06	2,97
P5	0,03	83,08	16,80	0,1
P6	0,48	81,05	18,23	0,23
2ª CAMPANHA				
AMOSTRAS	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
P1	0	100	0	0
P2	0	86,02	12,88	1,10
P3	0	100	0	0
P4	0	8,68	89,68	1,64
P5	0,09	79,06	18,28	2,58
P6	0	84,62	14,06	1,32

No período de estiagem os resultados granulométricos mostram similaridades quanto a sua distribuição média, entre as amostras coletadas nas estações P1, P2 e P3, classificadas como areia média. Nas estações P5 e P6 a média foi de areia muito fina. A diferença foi observada na estação P4, classificada como silte fino, como mostra a curva de frequência acumulada (Fig. 6b), e neste período também foi observado baixo percentual de

argila (Tabela 4), confirmada pela classificação verbal (Tabela 5). Com relação à seleção, a estação P1 foi moderadamente selecionada, P2, P4 e P5 foram pobremente selecionadas, o P3 e o P6 foram bem selecionados (Tabela 5).

Tabela 5 – Classificação verbal dos parâmetros estatísticos utilizando a análise de FOLK & WARD (1957) para as 6 estações de amostragem durante a 1ª campanha (período chuvoso) e 2ª campanha (período de estiagem).

1ª CAMPANHA				
AMOSTRAS	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
P1	Areia fina	Pobremente selecionado	Muito positiva	Muito leptocúrtica
P2	Areia média	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica
P3	Areia média	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P4	Areia muito fina	Muito pobremente selecionado	Muito positiva	Muito platicúrtica
P5	Areia muito fina	Pobremente selecionado	Muito positiva	Muito leptocúrtica
P6	Areia muito fina	Pobremente selecionado	Muito positiva	Muito leptocúrtica
2ª CAMPANHA				
AMOSTRAS	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
P1	Areia média	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica
P2	Areia média	Pobremente selecionado	Muito positiva	Muito leptocúrtica
P3	Areia média	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica
P4	Silte fino	Pobremente selecionado	Muito negativa	Muito leptocúrtica
P5	Areia muito fina	Pobremente selecionado	Muito positiva	Muito leptocúrtica
P6	Areia muito fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Muito leptocúrtica

O percentual de matéria orgânica volátil no sedimento está apresentado na tabela 6, sendo que o valor máximo ocorreu durante no período de estiagem na estação P4 (11,89%) e o valor mínimo obtido ocorreu na estação P3 (0,29%), esta estação teve os menores valores considerando ambos os períodos amostrais.

Tabela 6 – Percentual de Matéria Orgânica Volátil no sedimento de fundo do canal principal no estuário do Rio Anil, durante os períodos chuvoso e de estiagem.

PARÂMETRO	Estações	1ª Campanha	2ª Campanha
		Período chuvoso	Período de estiagem
Matéria Orgânica Volátil no Sedimento (%)	P1	3,86	0,71
	P2	2,84	1,54
	P3	1,09	0,29
	P4	4,54	11,89
	P5	4,83	2,70
	P6	4,48	1,57

DISCUSSÃO

Os ambientes costeiros estuarinos são considerados um dos mais heterogêneos do mundo devido às variações significativas dos parâmetros físicos, químicos e sedimentológicos que são influenciados pela hidrodinâmica (fluvial e marinha), fatores climatológicos locais, bem como a influência antrópica, como é o caso do estuário do Rio Anil.

A profundidade da lâmina de água variou pontualmente de uma campanha para outra, sendo seu menor valor na estação P1 (1,16 metros) e seu maior valor na estação P3 (6,66 metros) considerando as duas campanhas de coleta. Isso acontece, pois, segundo Feitosa (1989), neste estuário a contribuição fluvial é baixa e a circulação de água é dominada pelas correntes de maré, oriundas da Baía de São Marcos, tornando esses fatores condicionantes da profundidade do canal sendo a navegabilidade mais fácil durante a condição de preamar no estuário do Rio Anil pois o volume de água é maior.

A transparência da água varia em função do grau de insolação, ângulo de incidência, nebulosidade, sendo que nas áreas tropicais equatoriais há disponibilidade de luz durante o ano todo, quando comparado às outras áreas do planeta (MACÊDO et al. 2009). A transparência varia também em função da produtividade primária, sólidos totais em suspensão, turbidez, além do horário da coleta.

Os menores valores de transparência no presente estudo foram observados nas estações P1 e P2, nas estações a jusante, durante o período chuvoso e de estiagem, sendo menores durante o período chuvoso (1ª campanha), quando há maior transporte de materiais terrígenos para dentro do estuário, em consequência da maior lixiviação da crosta terrestre e a maior quantidade de efluentes domésticos recebida nestas estações, inserindo altas cargas orgânicas para dentro do sistema estuarino durante este período. Para essas estações, os baixos valores também podem estar associados à presença de sedimento lamoso nas margens, que pelo fluxo e refluxo das marés (enchente e vazante) facilmente remobilizam os materiais anteriormente depositados, disponibilizando estes para a coluna de água, e pela nebulosidade que durante este período diminui a incidência de luz consequentemente diminuindo a penetração de luz. Outro fator, que deve ser considerado, é baixa profundidade no estuário do Rio Anil nas estações à montante (P1 e P2), facilitando processos de remobilização de fundo pelo intenso hidrodinamismo.

Os maiores valores de transparência observados na superfície do estuário do Rio Anil foram durante o período de estiagem (2ª campanha) à jusante do estuário, sendo influenciados diretamente pelos *inputs* de água marinha, que favorecem o processo de floculação, promovendo a deposição do material que está em suspensão, aumentando assim a penetração de luz na água.

Honorato da Silva et al. (2004), em seus estudos no estuário do Rio Formoso – PE, observaram valores de pH que variaram entre 0,25 a 3,67 metros, e associou os maiores valores às preamares e ao período de estiagem sendo, portanto, influenciada ciclo e prisma de maré. Azevedo-Cutrim (2008) em seus estudos no Golfão Maranhense, observou valor mínimo e máximo de 0,18 a 0,61 m, respectivamente, no período chuvoso, e afirma que estuários em geral possuem baixa transparência em virtude da baixa profundidade e da alta hidrodinâmica, sendo controlados por ação fluvial e de marés, sendo que este padrão corrobora também com os do presente estudo. Noronha et al. (2010) registraram valores que variaram entre 0,15 a 1,40 metros de transparência, com gradiente em direção a jusante e associou os baixos valores de transparência em seus estudos no Rio Timbó – PE ao aumento da carga de matéria orgânica oriunda de efluentes domésticos, este padrão corrobora também com os do presente estudo.

A temperatura na superfície do estuário do Rio Anil pouco variou de uma campanha para outra, com amplitude térmica de 1,7 °C entre as campanhas ao longo do estuário do Rio Anil, os maiores valores foram obtidos no período chuvoso, que podem estar associados ao horário de coleta, que neste período se prolongaram mais, chegando próximo das 12h, quando há o pico de insolação para a região. Esta distribuição da temperatura mostra grande estabilidade térmica para a região, que não possui grandes variações de temperatura da água em virtude da proximidade da linha do Equador.

A temperatura pode modificar a qualidade da água, pois possui influência direta no metabolismo dos organismos aquáticos e possui relação com a solubilidade dos gases dissolvidos. Portanto, suas anomalias positivas diminuem, por exemplo, as concentrações de oxigênio dissolvido, gás carbônico, pH e a viscosidade (HAMMER, 1979; SAWYER et al., 1994).

Feitosa et al. (2014) no estuário do rio Timbó (Itamaracá - PE) encontraram temperaturas que variaram de 26,5 a 29 °C. Eschrique & Marins (2006), em seus estudos no estuário do Jaguaribe - CE, encontraram valores que variaram entre 27,2 a 29,8 °C. Monteiro et al. (2015) em seus estudos no estuário do rio Paracauari, na margem leste da Ilha do Marajó - PA, encontraram valores de temperatura variando entre 28,1 a 29,1 °C, os valores observados pelos autores corroboram com os dados observados neste estudo.

Os valores de salinidade obtidos na superfície do estuário do Rio Anil foram predominantemente influenciados pela maré, apresentando um gradiente crescente em direção à jusante. A salinidade apresentou seu menor valor para este estudo na estação P1, durante o período chuvoso, isto mostra que o Rio Anil aumenta sua vazão neste período (Feitosa, 1989), que facilita o processo de diluição dos íons salinos na água, causando a redução dos valores de salinidade nas estações à montante. Altos valores de salinidade foram observados durante o período de estiagem, quando a competência fluvial diminui em decorrência da baixa precipitação pluviométrica, que facilita a entrada da maré estuário acima, bem como processos de evaporação, que concentram os sais na água, elevando os valores de salinidade. Segundo a classificação da Resolução CONAMA nº357/05 (CONAMA, 2005), o ambiente apresentou águas variando de doce a salinas durante as campanhas de amostragem.

Processos biogeoquímicos como produção primária e/ou remineralização não influenciam na salinidade, devido à sua propriedade conservativa na água, uma vez que sua concentração não sofre alteração em função dos processos químicos, ou seja, a variação da salinidade ocorre pelo processo de diluição (descarga fluvial ou precipitação pluviométrica), além da evaporação intensa que concentra os íons de sais na superfície da água (MIRANDA et al., 2002). Outro fator ecológico importante, decorrente da elevação da salinidade na água, é a floculação, precipitação de materiais particulados em suspensão e de íons dissolvidos, muitos dos quais possuem grande importância para a biota aquática (ESTEVES, 2011).

Eschrique & Marins (2006) em seus estudos no estuário do Jaguaribe - CE encontraram valores de salinidade que variaram entre 1,2 a 39,2 g kg⁻¹, estes valores foram fortemente influenciados pela entrada da maré e taxas de evaporação que concentram os sais na água aumentando a salinidade local. Santos (2015), em seus estudos na Baía de São Marcos, observou salinidades variando entre 6 e 35 g kg⁻¹, relacionou os menores valores observados no período chuvoso com a maior contribuição fluvial do Rio Mearim, no período de estiagem, os maiores valores foram ocasionados pela entrada de águas marinhas no sistema estuarino. Os valores observados pelos autores corroboram com os deste estudo.

A condutividade elétrica também é um parâmetro conservativo, ela variou em função da entrada e saída de água no sistema estuarino do Rio Anil, apresentando um gradiente crescente em direção à jusante. O menor valor de condutividade foi na estação P1, durante o período chuvoso, quando há maior entrada de água doce para o sistema estuarino, aumentando a vazão do rio e o seu volume de água, diluindo os íons de sais na água. Durante o período de estiagem, a condutividade foi maior, pois os processos de evaporação da água são intensificados, concentrando os íons de sais, elevando os valores de salinidade e, conseqüentemente, de condutividade. A condutividade depende das concentrações iônicas e indica a quantidade de sais existentes na água. Sua concentração aumenta à medida que sólidos dissolvidos são adicionados, possuindo estreita relação com a salinidade. Altos valores podem caracterizar propriedades corrosivas da água (CETESB, 2009).

Sousa (2009) observou uma variação entre 32,6 a 42,6 mS cm⁻¹ da condutividade em seu estudo na Baía de São Marcos, atribuiu esses valores a entrada e saída da maré e a

tipologia climática da região. Torres (2016) obteve valores de 18,72 a 52,98 mS cm⁻¹ e associou os altos valores a forte dinâmica de águas salinas neste estuário.

O pH obtido ao longo do estuário do Rio Anil foi levemente básico, essa distribuição indica que o estuário é fortemente regido pela ação das marés e, possivelmente, pela produção fotossintética, que pode elevar os valores de pH à montante mascarando valores menores de pH. O pH apresentou uma diminuição pouco expressiva nas estações à montante (estações P1 e P2), devido à influência fluvial, que possuem águas com pH mais ácido, ricas em ácidos úmidos (ESTEVES 2011). Ainda nestas estações os valores de pH podem ter diminuído levemente pois, nessa área há um forte adensamento de palafitas e bairros com elevados índices populacionais que despejam diretamente seus efluentes nesta região do estuário, sem nenhum tratamento prévio aumentando a carga de materiais orgânicos que diminuem os índices de pH.

Para Dickson & Millero (1987), um pH típico de água marinha está na faixa de 7,8 a 8,5 dependendo da temperatura, salinidade e pressão parcial do dióxido de carbono na atmosfera, eles afirmam em seus estudos que a faixa de pH típica do Oceano Atlântico está entre 8,0 e 8,2.

Azevedo-Cutrim (2008) no Golfão Maranhense e Sousa et al. (2013) na costa maranhense, registraram pH maior que 8,0 para a região atribuindo a influência direta das marés. Monteiro et al. (2015) observaram valores de 5,80 e 7,86 em seus estudos no estuário do rio Paracauari, na margem leste da Ilha do Marajó – PA, atribuindo os maiores valores a entrada de marés no período de estiagem, quando a competência de transporte fluvial diminui.

O OD obtido na superfície do estuário do Rio Anil apresentou valores baixos na estação P1 (1,53 e 0,49 mg L⁻¹) durante o período chuvoso e de estiagem, respectivamente. Os baixos valores de OD podem indicar forte atividade bacteriana que vão requerer altas concentrações do gás oxigênio, observado na estação P1 nas duas campanhas de coleta no estuário do Rio Anil, pode significar também intensa atividade microbiológica e/ou oxidação da matéria orgânica, respiração de organismos aquáticos, por perdas para a atmosfera, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias como íons metálicos – ferro (Fe) e manganês (Mn) que utilizam o gás oxigênio dissolvido na água na formação de óxidos metálicos (MORUZZI & REALI, 2012).

Os níveis de OD iguais ou menor que 4 mg L⁻¹, em águas naturais, favorecem os processos anaeróbicos, que produzem grande quantidade de substâncias redutoras, que consomem grande quantidade de oxigênio disponível para a sua oxidação (ESTEVES, 2011).

Lima (2016) em seus estudos realizados no Golfão Maranhense, na Baía do Arraial, obteve valores mínimos e máximos de 0,4 a 6,2 mg L⁻¹ e justificou as baixas concentrações de OD em virtude da alta carga de material orgânico no estuário e os valores elevados à entrada e saída das marés que promovem oxigenação e trocas gasosas com a atmosfera. Monteiro et al. (2015) obtiveram concentrações variando entre 2,85 a 6,18 mg L⁻¹ em seus estudos no estuário do rio Paracauari-PA, associando os maiores valores à influência das altas taxas de sedimentação que aumentam a transparência da água e favoreceram a penetração de luz solar na coluna de água, principalmente no período menos chuvoso, intensificando a atividade fotossintética, a qual influencia diretamente na elevação das concentrações desse gás.

O percentual de OD (%OD) é a quantidade de oxigênio que pode ser dissolvido na água em determinada salinidade e temperatura, de modo que sua determinação auxilia na compreensão e classificação do ambiente quanto à sua qualidade. Valores de oxigênio abaixo da saturação na coluna de água indicam que pode estar havendo poluição química, física e/ou biológica (FEITOSA et al., 2014). Macêdo & Costa (1978) apresentaram uma classificação para os estuários do Nordeste Brasileiro de acordo com o percentual de saturação de OD, onde $\geq 100\%$ é uma zona saturada; entre 50 e 100% é uma zona de baixa saturação; entre 25 e 50% é uma zona semipoluída e $\leq 25\%$ é uma zona poluída.

No período chuvoso o estuário do Rio Anil foi caracterizado como um ambiente de baixa saturação a saturado e no período de estiagem caracterizado apenas como saturado, com exceção da estação P1, que foi caracterizada como semipoluída e poluída,

respectivamente. Os baixos valores nesta estação podem estar associados aos lançamentos constantes de efluentes domésticos, gerando uma alta oxidação da matéria orgânica, que são intensificados quando associados à baixa competência de transporte do Rio Anil, pois o tempo de permanência dessas cargas no ambiente, aumenta. Os índices de vazão fluvial são muito baixos, contribuindo ainda mais para o estado de depuração do estuário. Os sedimentos depositados nas margens deste ponto de coleta recebem grandes quantidades de efluentes domésticos, que são descartados *in situ*, e podem liberar material orgânico para a coluna de água, intensificando processos de oxidação.

Os maiores valores do %OD foram observados durante o período de estiagem, tendo um gradiente crescente em direção à jusante, indicando maior influência marinha. Águas marinhas possuem maiores concentrações de OD e a variação diária das marés no estuário aumenta a hidrodinâmica, que facilita as trocas gasosas com a atmosfera. Em geral, o ambiente estuarino do Rio Anil, foi caracterizado como saturado de oxigênio, os valores não são limitantes para os organismos aquáticos.

Em seus estudos no estuário do rio Timbó (Itamaracá – PE), Feitosa et al. (2014) encontraram percentual de OD variando entre 41,6 a 170,3% sendo que ele atribuiu os maiores valores de oxigênio dissolvido e de sua saturação ao período chuvoso e os valores reduzidos ocorreram durante o período de estiagem local. O contrário foi observado no presente estudo. Corrêa (2015), no Complexo Estuarino de São Marcos encontrou mínimo de 44,8% e máximo de 136,8% de saturação do oxigênio dissolvido.

Durante o período chuvoso os maiores valores de turbidez no estuário do Anil (57 e 65 NTU) foram nas estações a jusante do estuário, podendo estar relacionados ao intenso aporte continental e/ou fluvial, pelas contribuições de afluentes do Rio Anil e pela intensa presença de manguezais próximo as estações. Outros fatores que também podem influenciar na distribuição da turbidez no estuário do Anil são: quantidade de fitoplâncton presente na água, entrada de efluentes domésticos e industriais, além da matéria orgânica dissolvida e particulada.

A turbidez, juntamente com a temperatura, salinidade, pH e OD, pode influenciar diretamente a distribuição e abundância de organismos planctônicos, influenciando diretamente na cadeia trófica, como também na migração, predação e competição de organismos. A alta turbidez pode reduzir a penetração de luz solar na água, causando a redução da zona fótica, que influencia negativamente na fotossíntese das algas e outros organismos que dependem da luz (CHRISTO et al., 2016; WETZEL, 2001). Este parâmetro é essencial na caracterização e monitoramento das variáveis abióticas de um ambiente aquático, pois possui estreita relação com a concentração dos sólidos totais em suspensão, influenciando diretamente na ecologia do ambiente aquático (GÖRANSSON et al., 2013).

Sousa et al. (2013) para a região da Baía de São Marcos, que também está inserida no Golfão Maranhense, encontraram valores máximos de 13,0 NTU, tanto no período seco quanto no chuvoso. Mafalda Junior et al. (2004) na costa norte da Bahia, observaram valores de turbidez mínimos e máximos de 0,0 a 9,3 NTU. Borges (2011) observou valores de turbidez no estuário do rio Massangana (PE) entre 1,89 e 64,54 NTU, sendo mais elevados durante o período chuvoso.

Os sólidos totais em suspensão (TSS) apresentaram as maiores concentrações nas estações à jusante durante o período chuvoso, estes valores podem estar associados ao desmatamento de manguezais, que são desmatados e retirados para venda da madeira na fabricação de carvão, na margem direita do canal e que são diretamente influenciados pelo hidrodinamismo oriundos da Baía de São Marcos.

No período de estiagem, os TSS apresentaram as menores concentrações, pois neste período a competência fluvial diminui e o estuário do Rio Anil é mais influenciado por águas marinhas, que possuem menores concentrações de materiais particulados em suspensão. Porém, a estação P2 apresentou o maior valor de TSS nas duas campanhas de amostragem, o que pode estar relacionado com as altas cargas de esgoto doméstico. As estações localizadas à montante do estuário que estão sujeitos à maior influência do material terrígeno, até mesmo por contribuições antrópicas, como construção de pontes e aterramento de manguezais para construção de palafitas.

Medeiros (2015) em seus estudos baixo São Francisco no Nordeste do Brasil observou concentração média dos sólidos totais em suspensão de $4,8 \text{ mg L}^{-1}$, porém, ele afirma que em 2004 houve máxima de $148,9 \text{ mg L}^{-1}$ e atribuiu as altas concentrações a localização geográfica das precipitações pluviométricas na bacia hidrográfica. Monteiro et al. (2015) registraram concentrações variando entre $12,14$ a $115,67 \text{ mg L}^{-1}$ no estuário do rio Paracauari, na margem leste da Ilha do Marajó – PA, apresentou um gradiente crescente da foz à montante, com variações mais significativas no período chuvoso, corroborando com o observado no presente estudo.

A concentração de MOS presente no TSS na superfície da água foi um pouco maior durante o período de estiagem, porém, não apresentando grandes diferenças entre as campanhas. As maiores concentrações obtidas foram nas estações P1 e P2, a montante do estuário, podendo estar relacionado à carga de efluentes domésticos e industriais, a baixa capacidade de transporte do Rio Anil no período de estiagem ou mesmo a morte de organismos fitoplanctônicos.

A matéria orgânica no ambiente aquático pode ser originada fora do ambiente (alóctone), através do escoamento superficial que transporta uma grande quantidade de partículas orgânicas para dentro do canal ou através de descartes pontuais de efluentes domésticos. Já os autóctones, formada no próprio ambiente através do sedimento de fundo que contribui com MOS para a coluna de água e/ou funcionando como sumidouros, pelo aprisionamento em sedimentos finos, a mortandade excessiva de organismos em decorrência dos baixos valores de OD podem ser fonte de material orgânico para o ambiente.

Eschrique (2011), em seus estudos no estuário do Rio Jaguaribe (CE), observou valores de MOS de até $23,0 \text{ mg L}^{-1}$, e associou estes maiores valores com os menores valores de salinidade, indicando que quando há maior aporte fluvial, ocorre os maiores valores de MOS. A concentração máxima encontrada é inferior aos obtidos no estuário do Rio Anil. Corrêa (2015), em seu trabalho no Complexo Estuarino de São Marcos, obteve valores de matéria orgânica em suspensão variando de $3,0$ a $104,0 \text{ mg L}^{-1}$ e associou seus valores ao maior consumo, decomposição e transporte do material orgânico durante o período chuvoso bem como a elevada evaporação durante o período de estiagem, com consequente aumento da matéria orgânica dissolvida.

O percentual de matéria orgânica (%MOS) na superfície do estuário do Rio Anil teve comportamento similar entres as campanhas de amostragem, sendo os maiores valores encontrados nas estações P1 e P3. Altos percentuais de material orgânico em suspensão podem significar entradas pontuais de esgoto doméstico, industrial, ressuspensão de fundo, alta mortalidade de organismos, intensa hidrodinâmica local, que pode remobilizar o sedimento fino nas margens do canal com altas cargas de material orgânico, além da presença de manguezais na margem direita do estuário.

Eschrique (2011) observou, em seus estudos no estuário superior, Aracati, do Rio Jaguaribe (CE), valores máximos percentuais de MOS de até 72% durante o período de estiagem. Serejo (2015) em seus estudos realizados no Golfão Maranhense, com ênfase à Baía do Arraial, obteve valores variando de 13 a 49,7%, caracterizando o ambiente como depurador, pois apesar de ter algumas fontes de matéria orgânica como os manguezais e o aporte terrígeno, os percentuais estão baixos. Os valores se aproximam dos observados no estuário do Rio Anil.

No estuário do Rio Anil, o silicato dissolvido apresentou concentrações mais elevadas durante o período chuvoso, com concentração máxima de $14,34 \mu\text{mol L}^{-1}$. Isto ocorre, pois, o processo de lixiviação da crosta terrestre é intensificado durante esse período, carreando materiais terrígenos para dentro do estuário. Altas concentrações de silicato são decorrentes fluxo e refluxo das marés sob as planícies de manguezais, causando a ressuspensão do sedimento fino, liberando altas concentrações de silicato e outros compostos aprisionados na fração particulada. A hidrodinâmica intensa e a baixa profundidade da região estuarina facilitam a ressuspensão do sedimento de fundo do canal principal, que também podem liberar silicato para a coluna de água. Esgotos domésticos e industriais, desmatamento de vegetação de manguezais, também podem ser fontes para

este nutriente, bem como a morte de organismos fitoplanctônicos, especialmente a classe diatomácea, que absorve boa parte deste nutriente, quando disponibilizado.

Durante o período de estiagem, apesar das concentrações de silicato terem diminuído quando comparados ao período chuvoso, mostrando que este nutriente é um bom traçador de aportes continentais (pluviais e/ou fluviais), os valores mostraram uma distribuição atípica, com as maiores concentrações observadas nas estações à jusante, mostrando que quanto maior a salinidade, maior as concentrações de silicato, sugerindo que a fonte deste nutriente pode estar relacionada a processos de reciclagem da matéria orgânica na coluna de água e/ou transporte eólico de areias de praias. Neste período, a pluviosidade é muito baixa ou inexistente para carrear materiais terrígenos para a região estuarina e disponibilizá-los em altas concentrações para a coluna de água, então altos valores durante o período de estiagem podem estar relacionados diretamente com a hidrodinâmica, aterramento e desmatamento irregular de manguezais, que deixam o solo exposto e disponibilizam mais facilmente os compostos para a coluna de água, além de não ignorar também as possíveis contribuições da entrada de esgoto doméstico e industrial.

O silicato dissolvido pode entrar no ambiente aquático por fontes naturais e/ou antrópicas, um exemplo de fonte natural é o transporte eólico de areia, depois de adentrar ao sistema, ele pode ser absorvido pelos organismos e, após a morte destes, o silicato pode ser novamente assimilado por diatomáceas, esponjas e/ou silicoflagelados, pode também ser depositado no sedimento e/ou transportado para outro local.

Mendes Filho (2009) observou concentrações de silicato de 9,13 a 223,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ no estuário do Rio Paciência em São Luís – MA e associou seus valores à lixiviação, fluxo e refluxo dos sedimentos pela ação das marés. Monteiro et al. (2015), encontraram valores de 14,98 a 83,10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ no estuário do rio Paracauari-PA. As concentrações de silicato observadas pelos presentes autores são superiores às observadas no estuário do Rio Anil.

A concentração de fosfato dissolvido apresentou baixos valores durante as duas campanhas de coleta, sua concentração máxima foi de 2,19 $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação P1 durante o período de estiagem.

A baixa concentração do fosfato com relação ao silicato se deve a forte afinidade que este nutriente possui aos sólidos totais em suspensão, mudando rapidamente da fração dissolvida para a particulada pelo processo de adsorção, tendendo a ser depositado no sedimento de fundo, principalmente sedimentos do tipo silte e argila, que os agregam com mais facilidade se comparado a sedimentos arenosos. Outra possível explicação está relacionada às altas temperaturas, que nos ecossistemas tropicais equatoriais levam a uma rápida assimilação e incorporação do fosfato a biomassa, para a composição das moléculas de ATP, tornando muito baixa a concentração deste nutriente no ambiente, com exceção a ambientes eutrofizados (ESTEVEZ, 2011).

Parâmetros físicos e químicos interferem na precipitação dos íons fosfato no ambiente aquático, como por exemplo: alumínio, sulfeto, compostos orgânicos, carbonatos, pH, condições de oxirredução e a concentração dos íons ferro. Em ambientes de pH elevado, o cálcio pode influenciar diretamente na adsorção do fosfato ao material particulado em suspensão. O íon fosfato é precipitado como fosfato de cálcio ou adsorvido a cristais de carbonato de cálcio (FENZL, 1988; MENDES FILHO, 2009). Ambientes como estuários e lagos são considerados rasos e por isso os sedimentos também fazem parte de processos de disponibilização do fosfato para a coluna de água (FISHER et al., 1982; SOUNDY, 1992).

De acordo com o teste de ACP, durante o período chuvoso o fator 1 evidenciou que a salinidade exerce uma correlação significativa positiva direta sobre a distribuição da transparência, temperatura, condutividade, pH, OD e TSS mostrando que a entrada e saída de águas marinhas no estuário do Rio Anil influencia diretamente nestes parâmetros e estes exercem influência inversa sobre a distribuição dos nutrientes dissolvidos fosfato e silicato, mostrando que estes nutrientes apresentam como fontes: o continente, o próprio Rio Anil, que tem sua vazão aumentada durante esse período e/ou efluentes domésticos/industriais que entram no estuário. O fator 2 mostrou uma correlação negativa significativa entre MOS e a turbidez, indicando que estes parâmetros provavelmente são influenciados pelas altas cargas de material orgânico, oriundo de efluentes domésticos e industriais, pela lixiviação

da crosta continental, ressuspensão do sedimento de fundo pelo fluxo e refluxo das marés, aliada a baixa profundidade do canal estuarino e/ou a produção primária.

Durante o período de estiagem, o fator 1 evidenciou uma correlação positiva significativa entre os parâmetros temperatura, turbidez, MOS e fosfato, indicando que as altas temperaturas da água elevaram a sua turbidez, e conseqüentemente as concentrações de MOS, que aumentam também os processos oxidativos, esses fatores fazem com que o fósforo seja liberado para a coluna de água, evidenciando que a origem do fosfato dissolvido neste período está relacionada com a alta carga de matéria orgânica (MOS). Os seguintes parâmetros apresentaram correlação negativa significativa: salinidade, transparência, condutividade, pH, OD e silicato, indicando que estes parâmetros são regidos pelas forçantes marinhas. A influência da salinidade sobre o silicato indica que pode estar havendo processos de oxidação da matéria orgânica, que remineralizam os nutrientes fosfato e silicato, repondo estes na sua forma dissolvida para a coluna de água. O fator 2 mostra que o TSS não foi influenciado por nenhum dos parâmetros utilizados no teste estatístico, podendo estar relacionados a ressuspensão de fundo, fluxo e refluxo das marés intensificados pela baixa profundidade do local, erosão das margens ou mesmo os efluentes domésticos.

SEDIMENTOLOGIA

As amostras de sedimento analisadas mostram uma distribuição heterogênea quanto à sua granulometria, pois teve percentuais de tamanhos de grãos variando de argila a cascalho, sendo a classe arenosa predominante no canal principal do estuário do Rio Anil. No período chuvoso a granulometria variou de areia média à areia muito fina, na estiagem, as amostras foram de areia média a silte fino o que esperado durante este período em virtude da diminuição da hidrodinâmica fluvial no canal principal. Quanto à seleção as amostras foram classificadas no período chuvoso como bem selecionadas a muito pobremente selecionadas, e no período de estiagem de bem selecionadas a pobremente selecionadas, devido à presença de lama e areia em algumas estações, principalmente na estação P4, confirmando a heterogeneidade das amostras.

As amostras tiveram a presença de grãos no tamanho cascalho, composto por restos de materiais biogênicos de origem marinha (carbonatados) e fluvial (restos de folhas e outros compostos orgânicos), principalmente durante o período chuvoso. A baixa presença de argila em ambos os períodos de coleta, mostram que as partículas com tamanho menores (silte e argila) podem estar constituindo os sólidos em suspensão na água, que devido à intensa hidrodinâmica local, são remobilizados do sedimento de fundo do canal principal e das margens. Em regiões de regime de marés semidiurnas, como no estuário do Rio Anil, ocorrem quatro condições diárias de maré (2 enchentes e 2 vazantes), onde as velocidades de corrente são nulas durante a estufa da maré (estufa de preamar e de baixamar), permitindo a sedimentação de finos (BRITO et al., 2009). Porém, o tempo de duração das estufas de maré não é suficiente para que ocorra a deposição dos sedimentos do tipo argila (que precisam de um tempo superior a 60 horas), fazendo com que a granulometria seja influenciada pelas correntes de marés, com classificação majoritariamente arenosa.

Esta distribuição granulométrica e o mau selecionamento das amostras estão relacionados à intensa hidrodinâmica atuantes nas águas estuarinas do Anil, que apresentam diversas forçantes marinhas e fluviais, como fluxo e refluxo das marés, aportes continentais, lixiviação continental, entradas de efluentes domésticos e industriais, além da presença de manguezais nas margens do canal principal. Regiões de alta energia hidrodinâmica, como estuários, levam a um mau selecionamento dos grãos, impedindo a sedimentação de partículas mais finas, que só conseguem se depositar em ambientes de baixa energia. Em ambientes estuarinos e/ou fluviais, fatores físicos serão fundamentais para a composição granulométrica do sedimento, tais como: profundidade da coluna de água, aliados a intensidade e velocidade das correntes que geram turbulência nos sedimentos depositados (MARTINS, 2008).

No período de estiagem as amostras tiveram comportamento similar ao período chuvoso, porém as estações P1 e P4 mostraram distribuição diferente entre os períodos de coleta, mudando do período chuvoso para a estiagem, respectivamente, de areia fina para areia média no P1 e de areia muito fina para silte fino no P4. Esta mudança pode estar relacionada à fonte sedimentar autóctone, tais como: presença de manguezais, retrabalhamento hidrodinâmico de partículas depositadas no fundo pelas correntes de maré, altas cargas pontuais de efluentes domésticos, aliados à baixa competência de transporte fluvial, sendo determinantes para a deposição de sedimentos mais lamosos nesta estação. Brito et al. (2009) afirmam que mudanças na granulometria de amostras de uma mesma estação podem ocorrer em decorrência de degradação da mata ciliar e/ou influências das correntes de maré.

Alves (2016) em seus estudos no sistema estuarino do Rio Goiana (PE-PB) registrou o predomínio de sedimentos da fração arenosa com média de 76,38%, sendo em sua maioria do tipo terrígeno. Silva (2008) no estuário do Rio Formoso (PE), registrou percentuais de areia superiores a 80%. Os autores citados afirmam que altas concentrações de areia indicam que os sedimentos disponíveis no ambiente estuarino estão expostos a condições de alta energia hidrodinâmica, corroborando com os resultados do presente estudo.

Brito et al. (2009) estudando o Rio Urumajó no nordeste paraense, observou diminuição do tamanho médio de grão e um aumento no grau de seleção da nascente em direção à foz, esta distribuição também foi observada no estuário do Rio Anil. Lima et al. (2014) em seus estudos no Furo da Laura, localizado próximo a Baía do Marajó-PA, encontraram granulometria com predominância de areia fina e concluíram que o ambiente era dinâmico, exercendo influência direta na composição dos sedimentos.

A matéria orgânica volátil (MO) nos sedimentos superficiais no canal principal do estuário do Rio Anil apresentou baixos percentuais, mostrando que o sedimento do canal principal, em geral, não aloca grandes quantidades de material orgânico. No período chuvoso, a vazão fluvial influencia diretamente no percentual de MO nas estações, exportando este tipo material para as estações a jusante, que apresentaram os maiores percentuais. As altas concentrações de agentes contaminantes que entram no estuário do Rio Anil são rapidamente exportadas da região estuarina, devido à intensa hidrodinâmica. As estações a jusante apresentaram um leve aumento de MO em virtude da maior contribuição fluvial, que é maior nesse período. Também existe a contribuição por fonte natural, que estão relacionadas com o sedimento lamoso erodido dos manguezais, em virtude da forte hidrodinâmica. Sedimentos arenosos não agregam grandes quantidades de materiais orgânicos, então a cada ciclo de marés a hidrodinâmica exporta as concentrações de matéria orgânica com facilidade.

Durante o período de estiagem, os percentuais de MO sedimentado foram mais baixos se comparados ao outro período, pois a vazão diminuiu e o Rio Anil é totalmente influenciado por correntes de marés. A exceção ocorreu na estação P4, que apresentou o maior percentual de MO deste estudo, que está associado à predominância de sedimento mais fino (silte fino), que apresenta características retentoras de MO, que entram no estuário do Rio Anil por fontes difusas, oriundos de vários bairros populosos de São Luís, como: Liberdade, Fé em Deus, Camboa e Floresta, além do hospital próximo, que descartam todos seus efluentes sem tratamento prévio no canal estuarino.

As atividades antrópicas contribuem na modificação da descarga de sedimento que adentram sistemas aquáticos em geral, principalmente estuários, que são ambientes transicionais e alocam altas quantidades de partículas de origem continental e fluvial, modificando os processos sedimentares que ocorrem naturalmente, causando uma série de impactos no ambiente, tais como: alteração na tipologia do sedimento de fundo, que consequentemente alteram a capacidade de retenção de elementos químicos da água (SOUZA et al., 2013; BÜHLER & SOUZA, 2012).

Souza (2013) em seus estudos através de análise de testemunhos no Rio Megaó (PE), encontrou valores de matéria orgânica total no sedimento variando de 5,30 a 22,30%, e atribui os menores valores à alta hidrodinâmica da região e os maiores valores associados à baixa hidrodinâmica, que favorece a deposição de sedimentos finos e, consequentemente,

maiores concentrações de MO, estes valores foram superiores aos encontrados na maioria das estações no estuário do Rio Anil. Alves (2016) em seus estudos no sistema estuarino do Rio Goiana (PE-PB), encontrou valores variando de 0,72 a 9,28% e atribuiu os valores obtidos à ação antrópica, que induzem anomalias na distribuição espacial da matéria orgânica sedimentar. Oliveira et al. (2014) em seus estudos no complexo estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (PE) encontrou percentuais de matéria orgânica no sedimento variando de 1,2 a 15,2% e atribuiu seus maiores valores à tipologia lamosa do sedimento, associou também os altos teores aos grandes aportes de efluentes *in natura*, lançados pela população nos cursos d'água do complexo, e às fontes naturais de material advindas do Manguezal do Pina, bem como, aos aportes fluviais terrígenos do Rio Capibaribe.

CONCLUSÃO

No geral, o estuário do Rio Anil foi caracterizado como um ambiente raso e com baixos valores de transparência da água. A temperatura foi elevada, caracterizando o estuário como homogêneo, por se tratar de uma região tropical equatorial.

A salinidade foi influenciada pela variabilidade semianual da região, com os menores valores no período chuvoso, sendo classificados como águas doces a salinas, e as maiores salinidades na estiagem, sendo classificadas como águas salobras a salinas, de acordo com a resolução CONAMA. A condutividade foi diretamente proporcional a salinidade, sendo também influenciada pelo fluxo de águas marinhas no estuário do Rio Anil. O pH apresentou valores levemente básicos, sendo fortemente influenciado pelas marés.

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou baixos teores nas estações à montante, ocasionados pela oxidação das altas cargas orgânicas que entram no sistema. A jusante, o estuário mostrou ser bem oxigenado, por se tratar de um ambiente bastante dinâmico, com intensas trocas gasosas com a atmosfera. O TSS indicou que suas concentrações foram regidas pelo período amostral, com seus maiores valores no período chuvoso, devido à alta pluviosidade, bem como o aumento expressivo da vazão fluvial do Anil, que contribui com sólidos em suspensão. A matéria orgânica em suspensão no TSS também apresentou valores mais elevados nas estações à montante, podendo estar relacionado a altas cargas orgânicas antrópicas, somados as remobilizações do sedimento de fundo e erosão das margens.

A distribuição dos nutrientes no estuário do Rio Anil mostrou que estes possuem fontes distintas no estuário, de acordo com a variabilidade semianual. No período chuvoso, o silicato dissolvido foi regido pelo aporte continental e fluvial e o fosfato dissolvido apresentou baixos valores, associados à rápida mudança da sua forma dissolvida para a particulada, depositando-se rapidamente no sedimento de fundo. Durante o período de estiagem, o silicato e o fosfato dissolvido indicam ter a mesma fonte, podendo estar relacionados à reciclagem de material orgânico no estuário, disponibilizando nutrientes dissolvidos para a coluna de água.

O canal principal do estuário do Rio Anil mostrou uma tipologia sedimentar predominantemente arenosa, com granulometria influenciada pela intensa hidrodinâmica e pela variabilidade semianual da região. O sedimento não mostrou capacidade retentora de material orgânico, devido à sua característica arenosa e ao fluxo intenso das correntes de marés, que dificultam a sedimentação do fino, permitindo que a maior parte deste tipo de material fique na coluna de água, facilitando a exportação destes para fora do estuário.

Os parâmetros estudados e as observações de campo indicam que a área estudada apresentou uma série de vulnerabilidades ambientais, em virtude da interferência antrópica, com entradas pontuais de efluentes domésticos sem tratamento prévio. Para a maior conservação da área estudada é recomendado o tratamento destes efluentes, a recuperação das áreas de manguezais que foram aterrados na construção das palafitas e a conscientização social a respeito dos impactos gerados. O intenso fluxo e refluxo hidrodinâmico das correntes de marés (macromarés semidiurnas), características da região, impedem que os contaminantes fiquem na água, fazendo com que este ambiente não seja tão degradado frente às intensas pressões antropogênicas que atuam neste estuário.

AGRADECIMENTOS

A FAPEMA pelo financiamento do projeto "Condições Ambientais das Águas Estuarinas do Rio Anil (SÃO LUÍS-MA) (APP-UNIVERSAL 00529/15) ", onde este trabalho está inserido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCORNERO, A.; MANNO, C.; ARRIGO, K. R.; MARTINI, A.; TUCCI, S. The vertical flux of particulate matter in the polynya of Terra Nova Bay. Part I. Chemical constituents. **Antarctic Science**, 15, 119–132, 2003.

ALVES, C. S. **Sedimentação Atual e Comportamento da Matéria Orgânica no Sistema Estuarino do Rio Goiana (PE-PB)**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Programa de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. Paris: CNEXO, 1983. 395 p.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: Port City Press, 2001. p. 34-38.

ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 4631-4638. 2009.

AZEVEDO-CUTRIM, A. C. G. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica no Golfão Maranhense-Brasil**. 2008. 128 f. Tese (Doutorado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

BARCELLOS, R. L.; BERBEL, G. B. B.; BRAGA, E. D. S.; FURTADO, V. V. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 19(1), 2012.

BORGES, G. C. P. **Comunidade fitoplanctônica do estuário do Rio Massangana (Pernambuco – Brasil)**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Programa de pós-graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

BRAGA, E. S., ESCHRIQUE, S. A., BASTOS, A., COELHO, L. Silicato dissolvido e seu papel traçador de aportes terrestres/sedimentares em sistemas estuarinos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Geoquímica, Ouro Preto-MG**. 2009.

BRITO, R. N. R.; ASP, N. E.; BEASLEY, C. R.; SANTOS, H. S. S. D. Características sedimentares fluviais associadas ao grau de preservação da mata ciliar-Rio Urumajó, Nordeste Paraense. **Acta Amazonica**, 39(1), 173-180. 2009.

BÜHLER, B. F. & SOUZA, C. A. Aspectos sedimentares do rio Paraguai no perímetro urbano de Cáceres, MT. **Geociências**, Vol. 31(3), 339-349. 2012.

CAMARGO, M. G. SysGran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas de sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, 36(2): 371-378. 2006.

CARIDADE, E. O. & SANTOS, M. C. F. V. Análise Espacial da Situação Sanitária e sua Consequência na Distribuição de Casos de Hepatite A na Bacia do Rio Anil, São Luís-MA. **Revista Brasileira de Cartografia**, no. 59/02. 2007. (ISSN 1808-0936).

CETESB – **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Série Relatórios, São Paulo, p. 9 2009. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>>. Acesso em 10 ago 2016.

CHRISTO, S. W., de OLIVEIRA, J. H. C., FERREIRA-JR, A. L., ABSHER, T. M. Occurrence of larvae of bivalves and gastropods in the euhaline sector of the Paranaguá Estuarine Complex-Paraná, Brazil. **Tropical Oceanography**, 44(1). 2016.

- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357/05 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 03 de abril 2016.
- CORRÊA, M. C. **Hidrogeoquímica dos Sólidos Totais em Suspensão no Estuário do Rio Mearim**. 2015. 111 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2015.
- DA FONSECA, G. A. B. **Contribuição Antrópica na Poluição de Reservatórios Hidrelétricos: o Caso da Usina Hidrelétrica de São Simão-GO/MG**. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.
- DALRYMPLE, R.W. **Tidal depositional systems**. In: WALKER, R.G., JAMES, N.P. (Eds.), *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, St. John's, p. 195–218. 1992.
- DEMING, J. W. & BAROSS, J. A. The early diagenesis of organic matter bacterial activity. In: M. H. Engel, S. A. (ed.) **Macko Organic Geochemistry** – Principles and Applications, Plenum Press p. 119-144, 1993.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábuas de maré para o Porto do Itaqui nos anos de 2016**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br>>. Acesso em: 5 de mar. 2016.
- DICKSON, A. G. & MILLERO, F. J. A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. **Deep-sea Res.**, v. 34, p. 1733-1743, 1987.
- EL-ROBRINI, M.; ALVES, M. A. M. S.; MARQUES JR., V.; EL-ROBRINI, M. H. S.; FEITOSA, A. C.; TAROUCO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S.; VIANA, J. R. Maranhão. In: Dieter Muehe. (Org.). **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. p. 87-130. 2006.
- ESCHRIQUE, S. A. & MARINS, R. V. Hidrogeoquímica do fósforo no estuário do Jaguaribe – CE/Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, III, São Paulo – SP. **Anais**. São Paulo, 2006. v. 8, p 107-110. 2006.
- ESCHRIQUE, S. A. **Estudos do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil**. 2011. 231 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 826 p. 2011.
- FEITOSA, A. C. **Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão**. Rio Claro. 1989. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Departamento de Geografia. Universidade Estadual de São Paulo. 1989.
- FEITOSA, F. A. N.; FLORES MONTES, M. J.; SANTANA, J. R., SILVA, L. M., & Jorge FILHO, S. **Biomassa fitoplanctônica e variáveis hidrológicas do estuário do Rio Timbó (Pernambuco-Brasil)**. Recife, v. 42, n. 2, p. 156-169, 2014.
- FENZL, N. **Introdução à Hidrogeoquímica**. Belém: Gráfica e Editora Universitária da Universidade Federal do Pará. 1988. 189p.
- FISHER, T. R.; CARLSON, P. R.; BARBER, R. T. Sediment nutrient regeneration in three North Carolina estuaries. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, 14: 101-116, 1982.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. Brazos River Bar: Study and the significance of grain size parameters: **Journal Sedimentary Petrology**. v. 27, p. 3 1957.
- GOMES, C. M. T. **Degradação ambiental urbana e qualidade de vida nas áreas de manguezais ocupadas por palafitas em São Luís - MA**. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2001.

- GÖRANSSON G., LARSON M., BENDZ D. Variation in the turbidity with precipitation and flow in a regulated river system – river Göta Älv, SW Swedem. **Hidrology and Earth System Sciences**, 17:2529-2542. 2013.
- GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods Of Seawater Analysis**. 3rd ed. Florida: Verlage Chermie, 1999. 417 p.
- HACH COMPANY, **Proceddure Manual** – DR/2500 Spectrophotometer, 2001.
- HAMMER, M. J., **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos**. Livros Técnicos e Científicos, Editora S. A., São Paulo, 561 p. 1979.
- HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA CUNHA, M. G. G.; NASCIMENTO VIEIRA D. A; GREGO C. K. S & MUNIZ K. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso, (Rio Formoso, Permnabuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 32, n. 1, 89-106, 2004.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 2015**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 14/jul/2016.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Rede de Estações e Previsão Climática dos anos de 2014 e 2015**. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 5 de mar. 2016.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens**. Disponível em: <www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 11 de mar. 2016.
- LIMA, H. P. **Silicato Dissolvido e os Sólidos Totais em Suspensão como Traçadores de Aporte Fluvial no Complexo Estuarino da Baía do Arraial (MA)**. 2016. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- LIMA, M. W.; SANTOS, M. L. S.; MONTELO, D. J.; NUNES, D. M., ALVES, I. C. C.; SILVA, M. S. F. Análise temporal da composição granulométrica de um estuário amazônico, Pará, Brasil. **Scientia Plena**, 11(1). 2014.
- MACÊDO, S. J. & COSTA, K. M. P. Estudo ecológico da região de Itamaracá Pernambuco - Brasil, condições hidrológicas do estuário do rio Botafogo. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 30, n. 7, 368 p. 1978.
- MACÊDO, S.; FLORES-MONTES, M.; COSTA, K. M. **Condições hidrológicas da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil. Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Geológica (Programa REVIZEE-SCORE Nordeste, v. 1)**, (Ed Hazin, F.), p. 104-136, 2009.
- MAFALDA JUNIOR, P. O.; P., SINQUE, C.; BRITO, R. R. C.; SANTOS, J. J. Biomassa Planctônica, Hidrografia e Pluviosidade na Costa Norte da Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 32, n. 2, 2016.
- MAO, Q.; SHI, P.; YIN, K.; GAN, J.; QI, Y. Tides and tidal currents in the Pearl River Estuary. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 16, p. 1797-1808, 2004.
- MARTINS A. L. P. & LOPES M. J. S. Caracterização da população ribeirinha do estuário do rio anil (SL-MA), com base em aspectos sociais, econômicos e ambientais. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 22, pp. 9–16. 2009.
- MARTINS R. F. **Avaliação da presença de metais e de biomarcadores fecais em Sedimentos do rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba-PR**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Pará, 2008.
- MEDEIROS, P. P. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, 29(1), 35, 2015.
- MENDES FILHO, N. E. **Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio Paciência em Iguaiá – Paço do Lumiar (MA)**.

2009. 162 f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- MIRANDA L. B.; CASTRO B. M.; KJERFVE B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP. 2002. 424 p.
- MONTEIRO, S. M.; EL-ROBRINI, M.; ALVES, I. C. C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. **Mercator (Fortaleza. Online)**, v. 14, p. 151, 2015.
- MORUZZI, R. B. & REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, p. 29-43, 2012.
- NORONHA, T. J. M.; SILVA, H. K. P.; DUARTE, M. M. M. B. Avaliação dos impactos antrópicos e a qualidade da água do Estuário do Rio Timbó, Pernambuco, Brasil. **Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, Recife, v. 2, n. 1. 2010.
- NUNES, M. L. F. **Distribuição e Fracionamento do Fósforo nos Sedimentos do Rio Anil e Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.
- OLIVEIRA, T. S.; BARCELLOS, R. L.; SCHETTINI, C. A. F.; CAMARGO, P. B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **J. Integr. Coast. Zone Manag.**, v. 14, n. 3, p. 399-411, 2014.
- PEREIRA, E. D. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação do Solo e Aquífero do Reservatório Batatã - São Luís (MA)**. 2006. 133 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2006.
- POOLE, H. H.; ATKINS, W. R. G. Photo-electric measurements of submarine illumination through-out the year. **J. Mar. Biol. Assoc. U.K.**, v. 16, n. 1, p. 297-324. 1929.
- PRITCHARD, D. W. Estuarine Circulation Patterns. **Proc. Am. Soc. Civ. Eng.**, v. 81, n. 717, p. 1-11. 1955.
- SANTOS, T. T. L. **Fluxos de Nutrientes Dissolvidos para o Complexo Estuarino do Rio Mearim, Maranhão**. 2015. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2015.
- SAWYER, C. N.; MACCARTY, P. L. & PARKIN, G. F. Chemistry of Environmental Engineering. 4. ed. International Student Edition. **MacGraw-Hill Book Company**, 858 p. 1994.
- SEREJO, J. H. F. **Dinâmica Sedimentar das Águas Costeiras do Estado do Maranhão: Baía do Arraial**. 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2015.
- SERRA, C. L. M.; CAVALCANTE, P. R. S.; ALVES, A. M. C.; NASCIMENTO, A. R.; DINIZ, S. C. S. Avaliação de parâmetros físicos e químicos e pesquisa de *Vibrio parahaemolyticus* em águas do estuário do rio Anil (São Luís, MA). **Acta Scientiarum. Biological Sciences (Online)**, v. 25, p. 261-266, 2003.
- SILVA JÚNIOR, C. H. L.; SILVA, F. B.; PEREIRA, D. C. A. Caso da Bacia Hidrográfica; São Luís – MA, Rio Anil. Uso de Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico–AHP no Zoneamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamento Utilizando o Operador Fuzzy Média Ponderada AHP. **Revista de Geografia**, v. 3, n. 2, 2013.
- SILVA, J. P. **Estudos sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando à evolução e os aspectos ambientais associados do estuário do Rio Formoso – PE**. 2008. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 146 p. 2008.
- SOUNDY, B. The phosphorus cycle in coastal marine sediments, **Limnology and Oceanography**, 37: 1129-1145, 1992.

- SOUSA, D. B. P.; ALMEIDA Z. S.; CARVALHO-NETA R. N. F. Biomarcadores histológicos em duas espécies de bagres estuarinos da costa maranhense, Brasil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 65.2: 369-376. 2013.
- SOUSA, J. K. C. **Avaliação de impactos ambientais causados por metais-traço em água, sedimento e material biológico na Baía de São Marcos, São Luís – Maranhão.** 2009. 87 f. Tese (Doutorado em Química). Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- SOUZA, B. B. G. **Caracterização de Indicadores Socioambientais na Bacia do Rio Anil, São Luís – MA, como Subsídio à Análise Econômica-Ambiental do Processo de Desenvolvimento.** 2005. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Universidade Federal Fluminense. 2005.
- SOUZA, N. G. A. **Estudo Geoquímico e Geocronológico dos Sedimentos de Fundo do Sistema Estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco.** 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2013.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis.** 2 ed. Bulletin Fisheries Research Board of Canada. 1972.
- TORRES, T. A. **Estudo das Características Físicas e Químicas das Águas do Complexo Estuarino da Baía do Arraial (MA).** 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- TROVÃO J. R. **Transformações sociais e econômicas no espaço rural da Ilha do Maranhão.** Rio Claro, 1994. 405 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, (SP). 1994.
- VER, L. M. B.; MACKENZIE, F. T., LERMAN, A. Carbon cycle in the coastal zone: effects of global perturbations and change in the past three centuries. **Chemical Geology**, 159: 283-304, 1999.
- VERONEZ JÚNIOR, P.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S. Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória, ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 4, p. 609-624, 2009.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, 30: 377-392. 1922.
- WETZEL R. G. **Limnology.** 3. ed. Philadelphia, W.B. Sandres, 743 p. 2001.
- WETZEL, R. G. W. B. Saunders Company, Philadelphia, London, and Toronto. Xii. **Limnology.** 743 p. 1975.
- WINKLER, L. W. Die Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffes. **Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft**, v. 21, p. 2843–2855. 1888.
- WOODROFFE, C. D. **Coasts – form, process and evolution.** 1 ed. New York: Cambridge University Press. Cambridge. 2002. 623p.
- WORSFOLD, P. J.; GIMBERT, L. J.; MANKASINGH, U.; OMAKA, O. N.; HANRAHAN, G., GARDOLINSKI, P. C. F. C.; HAYGARTH, P. M.; TURNER, B. L.; KEITHROACH, M. J.; MCKELVIE, I. D. Sampling, sample treatment and quality assurance issues for the determination of phosphorous species in natural waters and soils. **Talanta**, Vol. 66, p. 273-293, 2005.

ANEXOS

NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS: REVISTA "Tropical Oceanography"

Tabela 4 - Informações sobre a revista.

ISSN	Nome	Área de Avaliação	Qualis	Volumes por ano
1679-3013	Tropical Oceanography (Online)	Geociências	B4	2

Revista de fluxo contínuo.

Envie o seu artigo para artigo.oceanography@gmail.com

Editor Chefe

t.oceanography@gmail.com

Templat

Usar o presente modelo (templat) para submeter o seu artigo.

O texto deve ser editado no Word. Fonte: Verdana. Tamanho: 10.

TÍTULO (em português; inglês, francês ou espanhol)

Autor(es) sobrenome em maiúsculo e negrito¹

(ver rodapé)

O artigo deve ser redigido com no máximo 30 folhas incluindo o texto, figuras e tabelas (espaçamento simples de linhas)

ABSTRACT e RESUMO

(Artigo em inglês ou português) contendo no máximo 150 palavras.

A

O abstract deve conter o Key Word com três a seis palavras que não conste no título.

O Resumo deve conter as palavras chave com três a seis palavras que não conste no título.

INTRODUCTION/INTRODUÇÃO

A....

STUDY AREA/ÁREA ESTUDADA

A.... Texto (Fig.1).

As figuras – preferencialmente coloridas (mapas, gráficos, fotografias) devem ser colada em uma tabela (ver abaixo). As legendas das figuras devem ser inseridas abaixo de cada figura e numerada consecutivamente em algarismos arábico.

Observação: cada figura deve esta referenciada no texto.

Colar a figura em cola especial (imagem - PNJ) e inserir no local definitivo do corpo do texto.

Figura 1 – Study área...

MATERIAL AND METHODS/MATERIAO E METODOS

RESULTS/RESULTADOS

As **figuras** – preferencialmente coloridas (gráficos, fotografias, organismos. etc) devem se colada em uma tabela (ver abaixo). As legendas das figuras devem ser inseridas abaixo de cada figura e numerada consecutivamente em algarismos arábicos.

Observação: cada figura deve esta referenciada no texto.

Colar a figura em cola especial (imagem - PNJ) e inserir no local definitivo do corpo do texto.

Figura 2 – Legenda...

As **Tabelas**, preferencialmente coloridas devem seguir as normas da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, 1993.

Observação: construir as tabelas e inserilas no texto, no final ou entre os resultados como o(s) autor(es) achar(em) mais conveniente, devendo ser numerada consecutivamente em algarismo arábico. Deve esta referenciada no texto

A **legenda** fica acima de cada tabela.

Table/Tabela 1 – Legenda

Quadro 1 - Legenda (se for necessário).

DISCUSSION/DISCUSSÃO

A...

CONCLUSION/CONCLUSÃO

A....

1. a;

2. a;

AKNOWLEDGEMENTS/AGRADECIMENTOS

A....

REFERENCES/REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OBSERVAÇÃO:

Seguir as normas da ABNT – Última versão (justificado a esquerda etc. Acesse <http://www.leffa.pro.br/textos/abnt.htm>, <http://www.abnt.org.br/>)

Maiores detalhes em como publicar (<http://www.ufpe.br/tropicaloceanography/comopublicar.html>).

Enviar para artigo.oceanography@gmail.com.