



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

Dissertação de Mestrado

**INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA
CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES INORGÂNICOS
DISSOLVIDOS NO ENTORNO DA CIDADE DE BELÉM-PA.**

**Dissertação apresentado por:
YURI PAIXÃO SANTA ROSA PORTO
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic – UFPA**

**BELÉM - PA
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- P839i Porto, Yuri Paixão Santa Rosa.
Investigação da influência antrópica na concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos no entorno da cidade de Belém- PA. / Yuri Paixão Santa Rosa Porto. — 2024.
xi, 34 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rollnic
Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Belém, 2022.
1. Estuário. 2. Efluentes domésticos. 3. Fluxo de nutrientes. 4. Amazônia. I. Título.

CDD 551.466



INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS NO ENTORNO DA CIDADE DE BELÉM-PA.

Dissertação apresentada por

YURI PAIXÃO SANTA ROSA PORTO

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre na Área de OCEANOGRAFIA e Linha de Pesquisa Processos em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Data da defesa: 30/09/2022

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

MARCELO ROLLNIC
Data: 06/05/2024 18:13:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Orientador
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente

LILIAN LUND AMADO
Data: 07/05/2024 08:06:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Lílian Lund Amado – Membro interno
Universidade Federal do Rio Grande



Documento assinado digitalmente

SURY DE MOURA MONTEIRO
Data: 07/05/2024 08:58:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Sury de Moura Monteiro – Membro interno
Universidade Federal do Pará



Documento assinado digitalmente

SARITA NUNES LOUREIRO
Data: 06/05/2024 23:17:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Sarita Nunes Loureiro – Membro externo
Universidade Federal do Pará

*Dedico este trabalho à minha mãe
que me viu começá-lo, mas não pôde
me ver terminá-lo.*

*A todes que fazem a oceanografia e
as ciências em geral seguirem
apesar dos contratempos que surgem
e pessoas e governos que tentam nos
atrasar.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À minha família que sempre me apoiou em todos os projetos que me proponho a começar, mesmo que eu não saiba como terminá-los e se manteve unida em tempos tão sombrios.

Aos meus amigos que me aguentaram falando sobre nutrientes inorgânicos durante mais de dois anos.

Ao meu orientador Professor Dr. Marcelo Rollnic pela paciência, apoio, orientação e pelos ensinamentos que têm me transmitido desde a graduação.

Ao meu coorientador, Dr. Rafael Aquino, por toda orientação, apoio, amizade e tranquilidade que me repassou durante esses anos.

À Universidade Federal do Pará por ser um ambiente acolhedor e de resistência contra a anticiedade que tem crescido nos últimos anos.

Aos amigos do LAPMAR por terem me ajudado nas coletas, nas análises, tratamentos de dado e por terem me proporcionado momentos extremamente felizes em sua companhia (Glenda, Rayane, Rodrigo, Suzana, amo vocês).

À Daiane Aviz e Roseanne Figueira por me apoiarem e ajudarem em momentos que pensei em desistir.

Minhas amigas Anna Beatriz e Ana Paula, por me fazerem rir em momentos bem tenebrosos e por todo carinho e amor que têm comigo.

Meu amigo Wellington que também está terminando seu mestrado. Conseguimos amigo.

À Ana Flávia e sua mãe dona Fátima que desde a graduação sempre estão presentes mesmo que distante.

Ao Jonatas, ao Victor Hugo (Victinho) e ao Paulo Victor por serem os melhores amigos que eu poderia ter pedido.

À minha mãe Edna, minha avó Maria José, meu tio Edson e minha prima Samara que sempre acreditaram em mim e agora me dão forças do plano espiritual.

Às minhas irmãs Caroline e Yasmin, meu pai Sebastião, meu sobrinho Gael, meu tio Edvaldo, minha tia Estaçula, meu primo Eduardo e sua esposa Elyene, meu primo Pécio e seus filhos Maria Clara e João Pedro. Não há palavras no mundo pra dizer o quanto vocês são preciosos para mim.

À Deus por ter colocado pessoas maravilhosas em minha vida.

*"Em algum lugar, alguma coisa
incrível está esperando para ser
descoberta." - Carl Sagan*

RESUMO

A água é um dos recursos naturais mais importantes, sobretudo no contexto amazônico. O aumento demográfico desordenado e consequente má gestão desse recurso provoca alterações ambientais preocupantes quanto à sua qualidade. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, a região norte do país trata cerca de 22,0% dos esgotos gerados e na Região Metropolitana de Belém esse índice fica abaixo da média nacional, com 11,3% de coleta de esgoto. A área de estudo engloba a baía do Guajará e as áreas adjacentes como os rios Guamá e Acará. As coletas de água foram realizadas durante o período chuvoso (maio), em 4 seções divididas em margem esquerda (ME), meio (M) e margem direita (MD) com coletas em superfície e fundo, a cada 4 horas durante 13 horas para analisar todo o ciclo de maré. Foram analisados parâmetros *in situ* (Temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, turbidez, OD, %OD e sólidos totais dissolvidos) e em laboratório (Silicato, fosfato, nitrato e nitrito), além da determinação da intensidade, velocidade e direção da corrente com o auxílio um ADCP para obter a vazão e calcular o fluxo de nutrientes. A área de estudo, possui alguns locais mais afastados com pouca ou nenhuma influência humana em toda sua extensão, e outros com pontos de descarga de efluentes domésticos e industriais sem tratamento. O objetivo deste trabalho é investigar uma possível contribuição antrópica no fluxo de nutrientes inorgânicos dissolvidos dos corpos d'água que banham a cidade de Belém-PA e adjacências. O rio Guamá próximo à alça viária apresentou os menores valores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, diferente do rio Acará que, apesar de sua distância geográfica da RMB, demonstrou os valores mais altos de concentração de nutrientes. A foz do rio Guamá teve valores mais altos de nutrientes em sua margem direita e a baía do Guajará em sua porção central, por influência de despejos domésticos e industriais. O rio Guamá próximo à alça viária encontra-se relativamente preservado, com baixa concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos, aumentando somente próximo à sua foz, já o Acará apresentou valores mais altos principalmente devido à intensa atividade agropecuária no entorno de sua bacia. A baía do Guajará, apesar de receber despejos dos rios Acará e Guamá, possui valores menores de nutrientes que os dois locais, demonstrando sua capacidade de autodepuração e diluição.

Palavras-chave: estuário; efluentes domésticos; fluxo de nutrientes; Amazônia.

ABSTRACT

Water is one of the most important natural resources, especially in the Amazon context. The disorderly population increase and consequent mismanagement of this resource causes worrying environmental changes in terms of its quality. According to the National Sanitation Information System - SNIS, the northern region of the country treats about 22.0% of the sewage generated and in the Metropolitan Region of Belém, below the national average, with 11.3% of sewage collection. The study area encompasses Guajará Bay and adjacent areas such as the Guamá and Acará rivers. Water collections were carried out during the rainy season (May), in 4 sections divided into left bank (ME), middle (M) and right bank (MD) with surface and bottom collections, every 4 hours for 13 hours to analyze the entire tidal cycle. Parameters were analyzed in situ (Temperature, pH, Eh, electrical conductivity, turbidity, OD, %OD and total dissolved solids) and in the laboratory (Silicate, phosphate, nitrate and nitrite), in addition to determining the intensity, speed and direction of the current. with the aid of an ADCP to obtain the flow and calculate the nutrient flow. The study area has some more remote places with little or no human influence throughout its extension, and others with untreated domestic and industrial effluent discharge points. The objective of this work is to investigate a possible anthropic contribution in the flow of dissolved inorganic nutrients from the water bodies that bathe the city of Belém-PA and surroundings. The Guamá River near the “alça viária” showed the lowest values of dissolved inorganic nutrients, unlike the Acará River which, despite its geographical distance from the RMB, showed the highest values of nutrient concentration. The mouth of the Guamá river had higher nutrient values on its right bank and the Guajará bay in its central portion, due to the influence of domestic and industrial waste. The Guamá river near the “alça viária” is relatively preserved, with a low concentration of dissolved inorganic nutrients, increasing only near its mouth, while the Acará presented higher values mainly due to the intense agricultural activity in the surroundings of its basin. The Guajará Bay, despite receiving discharges from the Acará and Guamá rivers, has lower nutrient values than the two locations, demonstrating its capacity for self-purification and dilution.

Keywords: estuary; domestic effluents; nutrient flow; Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da área de estudo com as seções de coleta	7
Figura 2 - Seção 1 – Alça Viária	10
Figura 3 - Seção 3 – Acará	11
Figura 4 - Seção 4 – Baía do Guajará	11
Figura 5 - Pluviosidade durante o ano de 2021	16
Figura 6 - Análise PCA dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e parâmetros abióticos...18	
Figura 7 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) no rio Acará de acordo com as margens e as marés dos locais analisados	20
Figura 8 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) no rio Guamá próximo à Alça Viária de acordo com as margens e as marés dos locais analisados	22
Figura 9 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na foz do rio Guamá de acordo com as margens e as marés dos locais analisados	24
Figura 10 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na baía do Guajará de acordo com as margens e as marés dos locais analisados	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva dos parâmetros abióticos	15
Tabela 2 - Análise ANOVA para os nutrientes inorgânicos dissolvidos e parâmetros abióticos	15
Tabela 3 - Teste de correlação de Spearman (r_s) mostrando valores significativos entre variáveis abióticas e nutrientes	16
Tabela 4 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré, no rio Acará.	19
Tabela 5 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré, no rio Guamá próximo à alça viária	21
Tabela 6 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré, na foz do rio Guamá	23
Tabela 7 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré, na baía do Guajará.....	25
Tabela 8 - Fluxo de nutrientes inorgânicos dissolvidos nos locais de coleta. Valores expressos em negativo (-) indicam importação e positivo (+) exportação em 10^3 t. yr^{-1}	27

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 NUTRIENTES X ATIVIDADE ANTRÓPICA	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3 OBJETIVOS	6
3.1 OBJETIVOS GERAIS	6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4 MATERIAIS E MÉTODOS	7
4.1 ÁREA DE ESTUDO	7
4.2 VEGETAÇÃO, SOLO E GEOLOGIA	8
4.3 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS	9
4.4 METODOLOGIA DE COLETA	9
4.4.1 Parâmetros analisados	12
4.4.1.1 Fosfato	12
4.4.1.2 Silicato	13
4.4.1.3 Nitrito	13
4.4.1.4 Nitrato	13
4.5 CÁLCULO DO TRANSPORTE DE VOLUME	14
4.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	14
5 RESULTADOS	15
6 DISCUSSÃO	28
7 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso mais importante do nosso planeta pois é essencial à manutenção da vida de todo e qualquer organismo. Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2018), cerca de 2,5% da água em nosso planeta é doce e desses, 30% é subterrânea (presente em aquíferos) e somente 1% está presente em rios, com isso é fundamental importância o bom uso e manutenção de tais fontes. O aumento demográfico desordenado e consequente má gestão desse recurso provoca alterações ambientais preocupantes quanto à sua qualidade principalmente quando destinada ao consumo humano.

Um dos maiores problemas provocados pela má gestão do uso da água é a entrada excessiva de nutrientes que podem levar à eutrofização. Os aportes antrópicos de nutrientes, geralmente estão associados aos despejos de efluentes domésticos e industriais, os quais têm impactado os ecossistemas aquáticos e terrestre em todo o planeta, não sendo diferente no Brasil (Lamparelli 2004, Tundisi & Tundisi 2002).

Cerca de 99,9% dos esgotos domésticos é composto de água, a fração restante corresponde a sólidos orgânicos e inorgânicos que estão suspensos ou dissolvidos, além de microrganismos, o que torna necessário o tratamento de esgotos antes do despejo na natureza (Von Sperling 2014). De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2019), a região norte do país trata cerca de 22,0% dos esgotos gerados, já os investimentos em saneamento na região, se comparados com o total nacional, tem o pior índice com apenas 3,7%. Levando em consideração a Região Metropolitana de Belém (RMB) a situação é mais grave: cerca de 11,3% da população tem coleta de esgoto e desse índice, 3,8% recebem tratamento adequado.

Segundo o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – Datasus (2019), em 2019 houve 5.349 internações e 35 óbitos por doenças de veiculação hídrica. Um dos problemas relacionados à presença de grandes centros urbanos nas proximidades de rios e estuários, é a descarga de esgoto doméstico sem qualquer tratamento nestes corpos d'água. Muitos problemas socioambientais resultam do lançamento de águas residuais, principalmente por conta da grande quantidade de matéria orgânica, nutrientes, organismos patogênicos e material em suspensão que acabam por impactar não somente o corpo d'água que recebe diretamente tais resíduos, mas também os corpos d'água adjacentes em sua totalidade (Bishop 1983, Carvalho *et al.* 2015).

A presença de nutrientes inorgânicos dissolvidos na coluna d'água se deve, principalmente, às péssimas condições de coleta e tratamento do esgoto despejado nos

Igarapés e rios no entorno da capital e na baía do Guajará. Alguns nutrientes inorgânicos, como a amônia, apresentam concentrações variáveis de acordo com o período, outros se devem às diferentes maneiras as quais os despejos são realizados, sem uma distância mínima ou máxima determinada (Moura 2007, Silva 2006).

O meio, antes de receber as descargas de efluentes ou outro poluente, encontra-se em equilíbrio com a biota. A tentativa de o meio tentar se reequilibrar é chamada de autodepuração, que é o fenômeno no qual os compostos orgânicos presentes no despejo de esgoto se convertem em compostos inertes e não prejudiciais, reestabelecendo assim o equilíbrio ecológico no ambiente aquático. Esse fenômeno está ligado a alguns fatores como: volume de água do ambiente receptor, distância da fonte poluidora e o tempo de permanência do esgoto na água (Branco 1983, Schäfer 1985, Von-Sperling 1996).

1.1 NUTRIENTES X ATIVIDADE ANTRÓPICA

Muitos nutrientes inorgânicos tem origem terrígena ou são inseridos em corpos hídricos através de despejos antrópicos, entre eles o nitrogênio (N), o silício (Si) e o fósforo (P) que são essenciais para o crescimento de organismos, porém, a entrada de tais nutrientes de maneira desequilibrada pode afetar negativamente o meio.

O nitrogênio (N) é essencial para a formação de proteínas, composto básico da biomassa de organismos, podendo atuar como fator limitante da produção primária. Em estuários é possível encontrar o nitrogênio inorgânico dissolvido de 3 maneiras diferentes: como amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), sendo este o mais estável e comum no meio aquático (Esteves 1998). A entrada do nitrogênio em meio estuarino é resultado de fluxo terrestre, antropogênico, de produção biológica ou por decomposição da matéria orgânica, sendo o amônio um dos compostos mais nocivos aos organismos aquáticos pois além de sua toxicidade, no processo de conversão de amônio a nitrito e deste a nitrato, há o consumo de O_2 , aumentando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Dias & Álvarez 1996, Melo 1998).

O silício (Si) entra no meio aquático através da erosão e intemperismo de rochas e margens fluviais, sendo um dos principais constituintes do material particulado em suspensão (MPS) e considerado a maior fonte de silicato em estuários (Esteves 1998). O silicato (SiO_2 ou SiO_4), é limitante à produção primária pois participa da formação de carapaças de algumas algas, como as diatomáceas, sendo que a deficiência desse nutriente pode levar à interrupção da floração desse grupo de algas (Muller 1977, Esteves 1998).

Segundo Esteves (1998), o fósforo é um dos elementos mais importantes nos ecossistemas aquáticos principalmente por fazer parte de processos metabólicos, sendo apontado como principal fator da eutrofização artificial destes ecossistemas. Já Rocha (2004) relata que o fosfato está presente em estuários convencionalmente por fontes antropogênicas, na forma de fertilizantes, anticorrosivos, detergentes e efluentes domésticos.

No processo de fotossíntese, os pigmentos principais utilizados por algas e plantas superiores são as clorofilas, que agem como fotorreceptores atuando na conversão de energia luminosa em energia química, sendo a clorofila-a o principal e mais comum deles (Soares 2006, Lourenço 2007).

O processo fotossintético é o principal responsável pela produção de matéria orgânica e liberação de oxigênio para a atmosfera e os organismos que realizam o processo estão na base da teia alimentar, sendo chamados de produtores dos ecossistemas aquáticos. Nos estuários temos os organismos fitoplanctônicos como principais produtores primários que, além de realizarem a fotossíntese, atuam como indicadores de condições ambientais pois respondem às alterações físico-químicas do ambiente devido sua sensibilidade e caráter dinâmico (Brandini *et al.* 1997, Santana 2004).

Nos corpos d'água no entorno da RMB, são realizadas diversas atividades que vão desde o lazer até a subsistência de povos ribeirinhos da região, com isso é de suma importância saber quanto o aporte de efluentes urbanos afeta o ecossistema ao redor. Devido à falta de coleta e tratamento adequados do sistema de esgoto da cidade de Belém-PA e região metropolitana, o objetivo deste trabalho é investigar uma possível contribuição antrópica no fluxo de nutrientes inorgânicos dissolvidos dos corpos d'água que banham a cidade de Belém-PA e adjacências.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como observado por Silva *et al.* (2017), devido à dimensão e variedade de biomas no nosso país, se torna muito difícil elaborar normas ambientais aplicáveis em todo o território nacional. Para a região amazônica a problemática é maior já que estudos de gestão de recursos hídricos são praticamente inexistentes.

Muitos autores, ao estudarem a qualidade da água em diversos corpos hídricos utilizam a classificação disponível na resolução CONAMA 357/05 que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e as diretrizes ambientais onde eles se enquadram, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes assim como outras providências. Como mencionado anteriormente, a aplicação desse dispositivo é arriscada já que não leva em conta características naturais dos corpos hídricos de cada região que podem apresentar, naturalmente, concentrações de nutrientes acima do estipulado na referida resolução.

Lamparelli (2004) utiliza o Índice de Estado Trófico (IET) para ambientes tropicais, uma adaptação do trabalho de Carlson (1977) para ambientes temperados. O índice utiliza as concentrações de clorofila-a e fósforo total medidos à superfície da água para classificar o ambiente em ultraoligotrófico ($IET \leq 47$); oligotrófico ($47 < IET \leq 52$); mesotrófico ($52 < IET \leq 59$); eutrófico ($59 < IET \leq 63$); supereutrófico ($63 < IET \leq 67$); hipereutrófico ($IET > 67$).

De maneira semelhante, Passavante (2003) utiliza somente as concentrações de clorofila-a para estabelecer o estado trófico de estuários, classificando-os em:

I. Oligotrófico ou baixa produção fitoplanctônica, com concentrações de 0 a 5 mg m⁻³.

II. Mesotrófico ou média produção fitoplanctônica, com concentrações de 5 a 10 mg m⁻³.

III. Eutrófico ou alta produção fitoplanctônica, com concentrações de 10 a 20 mg m⁻³.

IV. Hipereutrófico ou altíssima produção fitoplanctônica, com concentrações acima de 20 mg m⁻³.

Muitos trabalhos relacionados a fluxo de nutrientes inorgânicos dissolvidos já foram realizados previamente. Lazzari *et al.* (2012) em seu trabalho, coletou e analisou o fluxo de nutrientes em uma baía estuarina, notando que, apesar da maré vazante, a concentração de alguns nutrientes como amônio (NH₄⁺) se mantiveram altas. Isso se deve principalmente pela presença de esgotos clandestinos e a distância do emissário na baía.

Na região amazônica os trabalhos mais comuns sobre nutrientes inorgânicos dissolvidos se dedicam a estudar a variação da concentração nos ambientes aquáticos havendo uma escassez de estudos referentes ao fluxo de nutrientes.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar espaço-temporalmente, levando em consideração a influência do ciclo de maré, se há alteração no gradiente de concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos (fosfato, silicato, nitrato, nitrito e amônia) e clorofila-a, por meio de ação antrópica, em corpos d'água no entorno da cidade de Belém-PA.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Avaliar se há variação espaço-sazonalmente nos nutrientes inorgânicos dissolvidos em diferentes corpos d'água por intermédio de ação antrópica;
- ii) Investigar a variabilidade dos nutrientes inorgânicos dissolvidos nos corpos d'água no entorno da cidade de Belém ao longo do ciclo de maré;
- iii) Quantificar o fluxo de nutrientes em diferentes corpos d'água para discriminar as possíveis contribuições natural e antrópica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo engloba as áreas adjacentes à baía do Guajará, como o rio Guamá e o rio Acará. A área está limitada pelas latitudes $1^{\circ}39'56.52''\text{S}$ e $1^{\circ}8'27.24''\text{S}$ e pelas longitudes $48^{\circ}41'39.48''\text{O}$ e $48^{\circ}18'15.84''\text{O}$ (Figura 1).

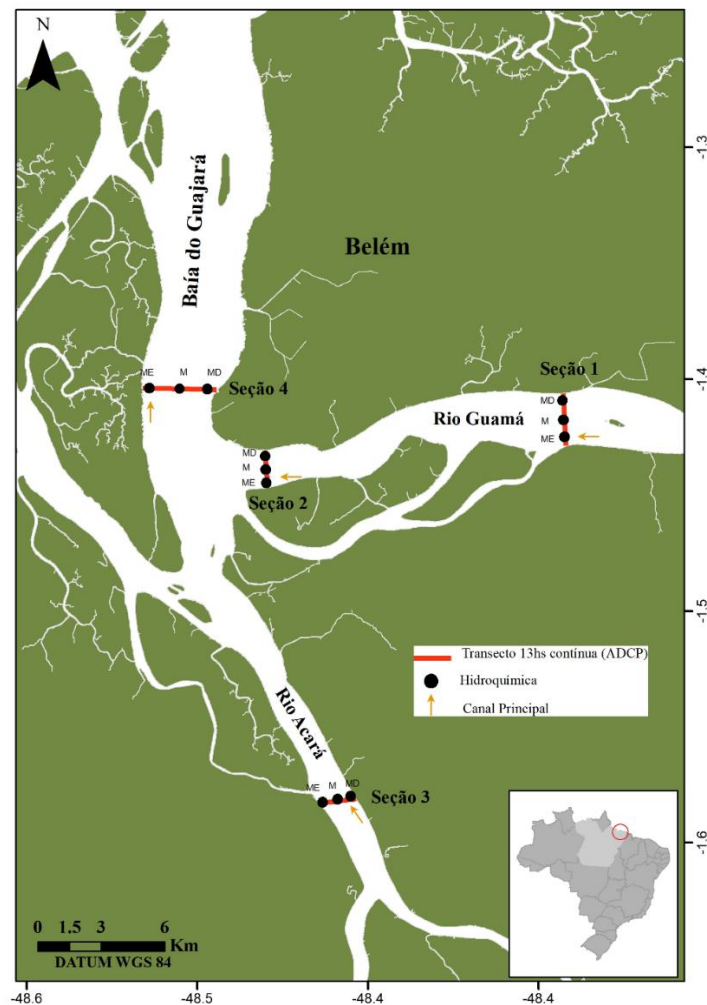


Figura 1- Mapa da área de estudo com as seções de coleta.

A cidade de Belém localiza-se às margens da Baía do Guajará e na foz do Rio Guamá, o clima na região é equatorial quente e úmido, sem estação fria, classificação “Afi” segundo a escala de Köppen, com temperaturas acima de 18°C no período chuvoso, marcado pelo favorecimento da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), decorrente da convergência de ventos alísios de nordeste e sudeste, onde há pouca corrente atmosférica e intensa pluviosidade, superior a 2000 mm na média anual (60 mm na média mensal) (Alencar *et al.* 2019, Bastos 1972, 1982, Vianello & Alves 1991). Segundo o censo de 2010, Belém possui cerca de 1.393.399 habitantes (com estimativas de

1.499.641 habitantes em 2020) e uma área territorial de cerca de 1.059,466 km², resultando em uma densidade demográfica com cerca de 1.315,26 hab/km² (Ibge 2010).

A Baía do Guajará, possui aproximadamente 87.400 km², banhando a cidade de Belém em sua margem leste. Os principais rios que deságuam na baía são o Guamá e o Acará, que recebem influência da maré até cerca de 120 km da baía (Gregório & Mendes 2009).

O rio Guamá possui uma extensão de cerca de 380 km, e uma bacia de drenagem de cerca de 87.389,5 km², correspondendo a cerca de 7% do território do estado do Pará. Sua nascente está localizada nas matas dos municípios de Ipixuna e Nova Esperança do Piriá, servindo como divisor natural entre diversos municípios e tendo como principais afluentes os rios Capim, Acará e Moju até desaguar na baía do Guajará (Torres 2007).

O rio Acará está localizado no nordeste paraense, na Amazônia Oriental. Possui uma extensão longitudinal de cerca de 398,7 km e uma bacia hidrográfica de cerca de 13.537,5 km², abrangendo nove municípios: Acará, Aurora do Pará, Bujaru, Concórdia do Pará, Ipixuna do Pará, Moju, São Domingos do Capim, Tailândia e Tomé-Açu (Dias *et al.* 2020).

As seções de coleta foram selecionadas devido suas características: as localizadas próximo à Baía do Guajará e à foz do rio Guamá foram escolhidas pois possuem em seu entorno uma grande quantidade de residências e empreendimentos que despejam efluentes nos canais coletores de esgoto sem nenhum tratamento, escoando na baía do Guajará posteriormente. As seções próximas à Alça Viária e o Acará foram escolhidas devido à sua distância da RMB, com isso o gradiente de influência antrópica na concentração de nutrientes nos locais tende a ser menor que próximo à cidade de Belém, já que sofrem menos a ação humana.

4.2 VEGETAÇÃO, SOLO E GEOLOGIA

A vegetação da área se constitui de Florestas Secundárias e capoeiras que substituíram a antiga Floresta Densa, ainda sendo encontradas em Mosqueiro, Caratateua e áreas adjacentes, além de mangues e siriubais nas porções fluviais e semilitorâneas do setor estuarino e por Floresta Ombrófila nos tratos marginais dos cursos d'água e baixadas, onde notam-se formações herbáceas, subarbustivas e arbustivas (Fapespa 2017).

A área apresenta restos da Formação Barreiras e terrenos do Quaternário Subatual e do Recente. As formas de relevo presente têm as características de baixos

platôs e planícies litorâneas, fazendo parte neste contexto, junto com áreas limítrofes, na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas (Baixo Amazonas) e o solo é semelhante ao bragantino, com Latossolo Amarelo distrófico textura média, concrecionários Lateríticos Indiscriminados textura indiscriminada; Gleys eutrófico e distrófico, e aluvial eutrófico e distrófico, texturas indiscriminadas e Hidromórficos Indiscriminados eutróficos e distróficos, em associações (Fapespa 2017).

4.3 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS

Os ventos ocorrentes na área são predominantemente de direção E (Leste), chamados de “terral”, atuando no período matutino (até 14:00) e os de N-NE (Norte-Nordeste), também chamados de “geral” que atuam predominantemente no período vespertino até o fim da noite (Pinheiro 1987).

O vento incidente na região pode ocasionar na mudança das condições meteorológicas sazonais e ocasionais, além da formação de ondas, responsáveis pela ressuspensão de sedimentos de fundo nos bancos e margens, atuando também na deposição de sedimentos em locais específicos (Pinheiro 1987).

Segundo Gregório & Mendes (2009), a baía do Guajará recebe influência das marés, com correntes entrando pelo contorno norte da baía, fluindo para sul e pela descarga fluvial dos rios Guamá e Acará. Em média, as marés na região atingem 3,6 m nos períodos de sizígia, tendo a baixamar um período maior que a preamar devido a área ser de domínio fluvial sob impacto de marés.

Cordeiro (1987) e Pinheiro (1987) relatam que a região está sujeita a marés semidiurnas mais acentuadas no período seco, onde é perceptível a maior influência das marés, levando aproximadamente 5 horas para a subida do nível da água enquanto a descida tem uma duração de cerca de 7 horas; essa diferença se dá por conta do atrito com o fundo. Para o ano de 2021, a maré apresentou altura média de 1,81 m, com as maiores marés nos meses de março e abril, atingindo 3,6 m (DHN 2021).

4.4 METODOLOGIA DE COLETA

As coletas de água foram realizadas em 4 locais: dois próximos a Belém (Baía do Guajará -1° 27' 46.4003" S, 48° 32' 08.6365" W- e Foz do Guamá -1° 29' 38.6900" S, 48° 28' 58.1046" W-) e dois mais distantes (Alça -1° 28' 45.8392" S, 48° 18' 12.6654" W- e Acará -1° 37' 35.7261" S, 48° 26' 42.7968" W-), durante ~13 horas para que as análises fossem feitas durante todo o ciclo de maré e durante o período chuvoso (maio/2021). As

amostras foram coletadas com o auxílio de uma garrafa do tipo Van Dorn, nas Margem Esquerda (ME), Meio (M) e Margem Direita (MD) de cada seção; as amostras foram coletadas a cada 4 horas, em superfície e fundo, armazenadas em garrafas de 1 L previamente limpas com HCl a 10% v/v, totalizando 96 amostras por campanha; nas seções 1 (Alça), 2 (Foz do Guamá) e 4 (Baía do Guajará) o canal principal está localizado na Margem Direita (MD), já na seção 3 (Acará), o canal principal está localizado na Margem Esquerda (ME) (Figuras 2-4).



Figura 2 - Seção 1 – Alça Viária.



Figura 3 - Seção 3 – Acará.



Figura 4 - Seção 4 – Baía do Guajará.

Os parâmetros hidroquímicos: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, turbidez, OD, %OD e sólidos totais dissolvidos foram obtidos *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparâmetros da marca Horiba, modelo U-52.

Uma alíquota das amostras foi separada para determinação em laboratório dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (silicato, fosfato, nitrato e nitrito). Foi feita a determinação da velocidade, intensidade e direção da corrente em cada seção com o auxílio de perfiladores acústicos de corrente (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP) da marca RD Instruments, modelo Rio grande 1200 KHz, para determinar a vazão do rio nos pontos coletados onde posteriormente os dados foram utilizados para o cálculo do fluxo de nutrientes.

O fluxo de nutrientes é utilizado para avaliar os balanços de materiais (saídas menos entradas) e, mais recentemente, para avaliar o estado de degradação ou melhoria em corpos hídricos, com a finalidade de auxiliar os gestores de recursos terrestres e hídricos. O fluxo de massa (F, massa por tempo) combina a concentração (C, massa por volume) de um soluto, sólido ou composto com a descarga ou fluxo (Q, volume por tempo) e é comumente determinado para os íons principais, material particulado em suspensão (MPS), substâncias tóxicas, nutrientes, espécies de carbono e matéria orgânica e vários compostos orgânicos sintéticos comumente usados, como PHAs, PCBs, herbicidas e pesticidas (Anderson 2005).

Logo após a coleta, as amostras foram devidamente filtradas com membranas de fibra de vidro com porosidade de $0,45 \mu\text{m}$, onde a alíquota filtrada e a membrana contendo material retido foram refrigeradas até análise nas dependências do Laboratório de Monitoramento Ambiental Marinho (LAPMAR) da Universidade Federal do Pará.

4.4.1 Parâmetros analisados

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos (fosfato, silicato, nitrato e nitrito) foram determinados de acordo com as metodologias descritas por Grasshoff *et al.* (1999).

Todas as análises foram realizadas com a confecção de brancos, curvas analíticas e triplicatas. Além, da limpeza com solução de HCl a 10% v/v de todo o material utilizado durante as análises.

4.4.1.1 Fosfato

O fosfato foi dosado nas formas de íons ortofosfato (PO_4^{3-} , HPO_3^- e H_2PO_4^-) que reagem com molibdato de amônio em meio ácido, forma o complexo fosfomolibdato, o

qual é reduzido pelo ácido ascórbico e produz um outro complexo, o fosfomolibdênio, de coloração azul. Para análise foram medidos 35 mL da amostra em uma proveta, adicionado 1 mL da mistura de reagente (molibdato de amônio, ácido sulfúrico e tartarato de antimônio e potássio) e 1 mL de ácido ascórbico, com agitação vigorosa a cada adição. Para leitura da absorbância no espectrofotômetro deverá ser aguardado de 5 a 30 minutos, no comprimento de onda de 880 nm.

4.4.1.2 Silicato

O silicato foi obtido a partir da reação com o molibdato de amônio em meio ácido, produzindo o complexo silicomolibdico, o qual foi reduzido pelo ácido ascórbico para o azul de silicomolibdato. Para inibir a interferência do fosfato presente na amostra foi adicionado ácido oxálico. Para análise foram medidos 7 mL da amostra, em seguida adicionados 0,2 mL de reagente misto (heptamolibdato de amônio e ácido sulfúrico) e após 10 minutos foi adicionado 0,2 mL de ácido oxálico e 0,2 mL ácido ascórbico. No período de 10 minutos a até 2 horas foi realizada a leitura no espectrofotômetro, onde a máxima absorbância é no comprimento de onda de 810 nm.

4.4.1.3 Nitrito

O nitrito presente nas amostras reage com a sulfanilamida em meio ácido e forma o íon diazótico. Por fim, esse íon reage com N-(1-naftil)-etilenodiamina dicloroidrato (NED) e produz um composto colorido (rosa avermelhado), cuja absorção máxima é no comprimento de onda de 534 nm. Para análise foram medidos 25 mL das amostras em provetas, adicionado 0,5 mL do R1 (solução de sulfanilamida) e aguardados de 2 a 8 minutos para adição de 0,5 mL do R2 (solução de NED). É necessário aguardar no mínimo 10 minutos e no máximo 2 horas para realização da leitura das absorbâncias no comprimento de onda de 543 nm.

4.4.1.4 Nitrato

Para a determinação do nitrato o método se baseia na redução quantitativa dos íons nitrato a partir da dosagem dos íons nitrito. Esta redução ocorre após a passagem das amostras por uma coluna redutora preenchida por grãos de cádmio tratados com solução cúprica (cádmio envelopado com cobre). Em provetas de 50 mL, coloca-se 20 mL de amostra para análise. Em seguida, adiciona-se 0,4 mL de NH_4Cl (cloreto de amônio) concentrado à amostra. Após a lavagem da coluna, deve-se escoar os 20 mL da proveta,

sobre a abertura superior da coluna e coletar os mesmos com a mesma proveta na saída invertida da coluna da seguinte maneira: coleta-se primeiro os 10 mL e despreza-os, em seguida coleta-se os 10 mL restantes. Em seguida, adiciona-se 0,2 mL de sulfanilamida e aguada 3 minutos. Por fim adiciona-se 0,2 mL de NED.

4.5 CÁLCULO DO TRANSPORTE DE VOLUME

O transporte de volume (Tv) foi realizado a partir das equações de fluxo e transporte de propriedades para um perfil vertical (h) conhecido numa seção transversal de Miranda *et al.* (2002).

$$Tv = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{u}(t) h(t) dt = \langle \bar{u}h \rangle; (1)$$

Substituindo na equação 1 o $h(t)$ pelo $A(t)$, temos a nova equação de transporte de volume (Tv) usada nesse trabalho para uma seção transversal de um rio:

$$Tv = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{u}(t) A(t) dt; (2)$$

Onde;

$u(t)$ = velocidade longitudinal média;

$A(t)$ = área total da seção (m^2);

dt = tempo ao longo do ciclo de maré.

4.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Após as análises em laboratório das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, os dados foram organizados em planilhas no programa Excel. Utilizou-se os testes Shapiro-Wilk e Levene para testar a normalidade e homogeneidade dos dados, respectivamente. O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar se haviam diferenças espaciais e sazonais entre as amostras, sendo considerado significativo $p < 0,05$. Todos os testes e gráficos foram realizados no programa Statistica 14.0.0.

Como ferramentas estatísticas para tratamento dos dados foram empregadas análises de estatística descritiva (máximo, mínimo, média, moda, mediana, variância, desvio padrão e erro padrão). Além, da utilização dos testes não paramétricos ($\alpha = 0,05$) de Mann-Whitney com o intuito de avaliar as diferenças sazonais dos parâmetros investigados e Kruskal-Wallis que permitirá verificar as diferenças espaciais.

5 RESULTADOS

i. Nutrientes X Parâmetros abióticos

A tabela 1 apresenta os resultados da estatística descritiva para os nutrientes inorgânicos dissolvidos e para os parâmetros abióticos, sendo o silicato o nutriente com as maiores concentrações, mínimas e máximas.

Tabela 1- Estatística descritiva dos parâmetros abióticos.

Variável	Estatística descritiva			
	Média	Mínima	Máximo	Dev.Pad.
T (°C)	29,32	27,45	31,48	0,70
pH	4,57	2,05	7,54	0,70
ORP (mV)	447,83	378,00	506,00	30,66
Cond. (mS/cm)	0,02	0,00	0,03	0,01
Turb (NTU)	27,09	6,90	230,00	25,82
DO (mg/L)	2,84	1,48	7,21	0,85
Oxigênio umol	88,89	46,25	225,31	26,68
DO%	37,37	19,30	95,20	10,59
DOconc pra_100%	238,00	230,90	243,81	2,48
TDS (g/L)	0,01	0,00	0,02	0,00

A tabela 2 mostra os valores de p para a análise ANOVA, demonstrando que os nutrientes não apresentaram diferenças significativas quanto às camadas de superfície e fundo analisadas individualmente, fato que não se repete com os fatores abióticos.

Tabela 2- Análise ANOVA para os nutrientes inorgânicos dissolvidos e parâmetros abióticos

ANOVA	P						
	Local	Ponto	Camada	L x P	L x C	P x C	L x P x C
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,000	0,008	-	0,005	-	-	-
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,000	-	-	0,000	-	-	-
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,000	0,009	-	0,001	-	0,004	0,000
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,000	-	-	-	-	-	-
T (°C)	0,000	0,013	0,035	0,014	-	-	-
pH	0,000	-	0,045	-	0,010	-	-
ORP (mV)	0,000	-	-	-	-	-	-
Cond. (mS/cm)	0,000	-	-	-	-	-	-
Turb (NTU)	0,000	-	-	-	-	-	-
DO (mg/L)	0,008	-	0,009	-	-	-	-
Oxigênio μmol	0,008	-	0,009	-	-	-	-
TDS (g/L)	0,000	-	-	-	-	-	-

A tabela 3 mostra os valores significativos de r_s no teste de correlação de Spearman. É possível perceber que todos os nutrientes tiveram uma correlação positiva com os locais de coleta, indicando que os nutrientes inorgânicos dissolvidos e sua distribuição sofrem influência de acordo com o local, sendo o silicato o nutriente com a maior correlação. Já a maior correlação negativa se deu entre o TDS e o Nitrito.

Tabela 3- Teste de correlação de Spearman (r_s) mostrando valores significativos entre variáveis abióticas e nutrientes

Variáveis correlacionadas	r_s
Local x Silicato	0,67
Local x Fosfato	0,67
Local x Nitrito	0,23
Local x Nitrato	0,37
Silicato x Fosfato	0,59
Silicato x Nitrato	0,38
Fosfato x Nitrito	0,38
Fosfato x Nitrato	0,38
T (°C) x Nitrito	-0,44
pH x Nitrito	-0,26
ORP (mV) x Silicato	0,28
ORP (mV) x Silicato	0,39
Cond. x Fosfato	-0,29
Cond. X Nitrito	-0,56
Turb. (NTU) x Fosfato	-0,26
Turb. (NTU) x Nitrito	-0,44
DO (mg/L) x Silicato	-0,30
DO (mg/L) x Fosfato	-0,26
Oxigênio umol x Silicato	-0,30
Oxigênio umol x Fosfato	-0,26
TDS (g/L) x Fosfato	-0,26
TDS (g/L) x Nitrito	-0,59

No mês de maio de 2021, durante o período chuvoso, a pluviosidade acumulada para o mês de maio registrou 498 mm, terceira maior para aquele ano (Figura 5).

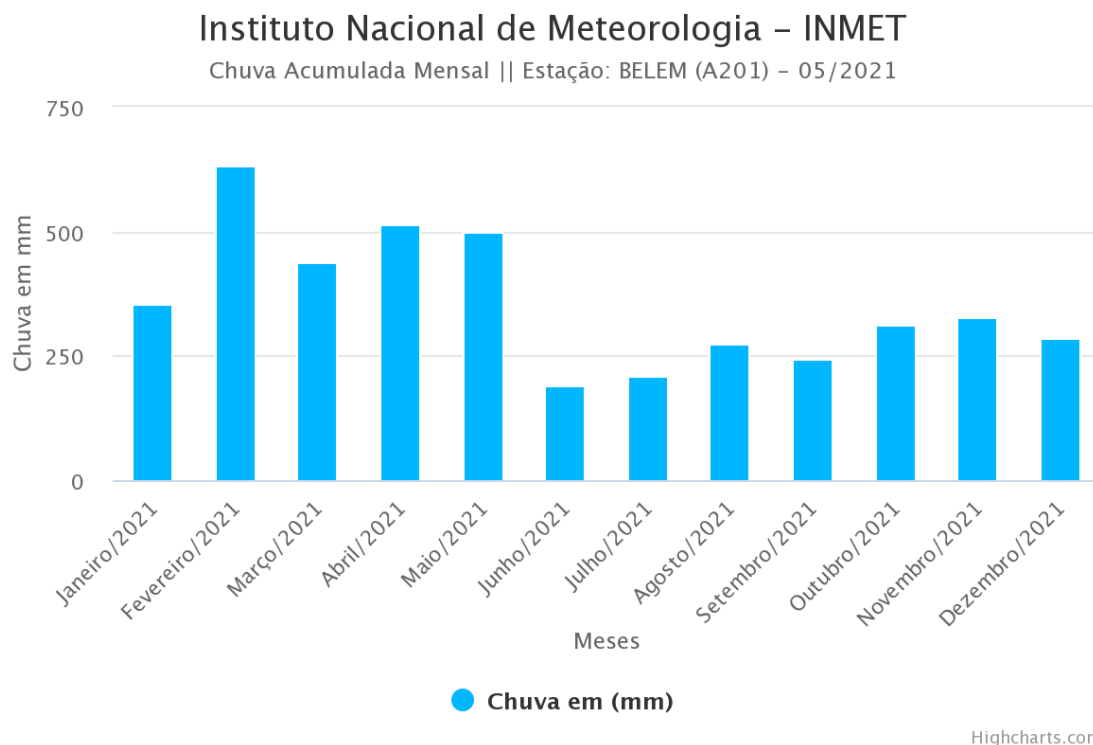


Figura 5 - Pluviosidade durante o ano de 2021.

O eixo 1 da análise PCA foi mais correlacionado com o oxigênio e com a turbidez no lado positivo e com o potencial redox (ORP) no lado negativo, explicando 48,26% da variância total dos dados. Já o eixo 2, que explicou 26,72% da variância total dos dados, está mais correlacionado com o oxigênio, com a turbidez e com o ORP, todos no lado positivo (Figura 6). A maior concentração de nitrato em comparação com a de nitrito, além da correlação da análise PCA, podem indicar uma reação de nitrificação da coluna d'água, onde o amônio é oxidado a nitrito e este a nitrato (Eça 2009).

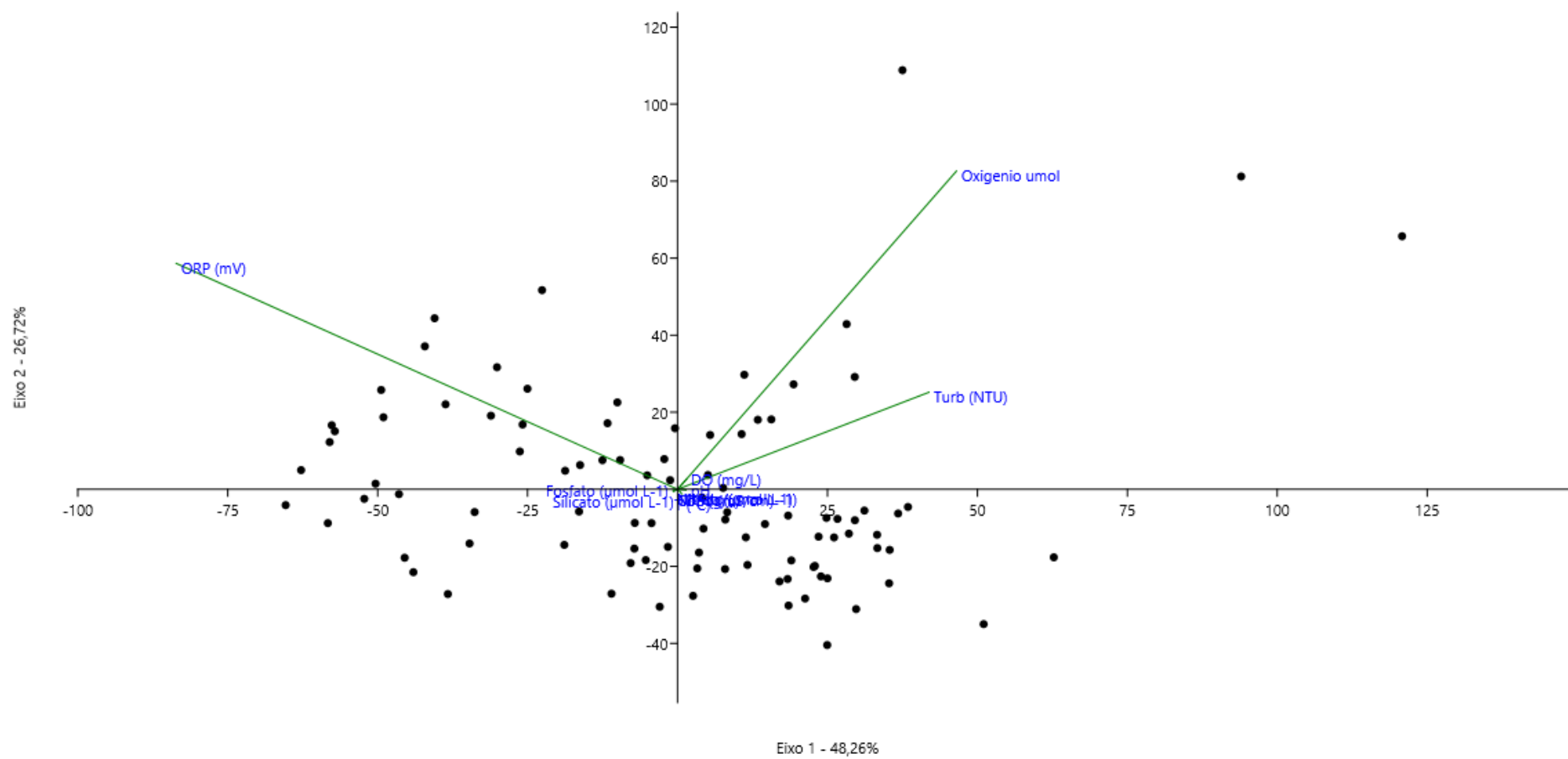


Figura 6 - Análise PCA dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e parâmetros abióticos.

De acordo com a análise estatística ANOVA (tabela 2), os nutrientes não apresentaram diferenças significativas entre as camadas de nenhum local analisado ($p > 0,05$), com isso, as concentrações destes nutrientes coletados em superfície e fundo foram agrupadas.

Rio Acará

No rio Acará (figura 7), em ambos os períodos de maré, o silicato foi o nutriente com a maior concentração, mínima e máxima. Na maré vazante a máxima concentração de silicato foi de $8,79 \pm 0,49 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima foi de $7,40 \pm 0,49 \mu\text{mol L}^{-1}$ enquanto a maré enchente a máxima concentração foi de $8,72 \pm 0,91 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima foi de $5,74 \pm 0,91 \mu\text{mol L}^{-1}$.

O fosfato apresentou as maiores concentrações durante a maré enchente com maior concentração de $3,73 \pm 0,76 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor de $1,32 \pm 0,76 \mu\text{mol L}^{-1}$ já na maré vazante a maior concentração de fosfato foi de $3,08 \pm 0,66 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor de $0,49 \pm 0,66 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Durante a maré vazante o nitrito apresentou respectivamente as maiores e menores concentrações com maior concentração de $0,87 \pm 0,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor de $0,28 \pm 0,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ já na maré enchente o nitrito apresentou concentrações de $0,78 \pm 0,14 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,42 \pm 0,14 \mu\text{mol L}^{-1}$.

O nitrato apresentou as maiores concentrações durante a maré enchente com o máximo sendo $1,51 \pm 0,35 \mu\text{mol L}^{-1}$ e o mínimo $0,49 \pm 0,35 \mu\text{mol L}^{-1}$ já na maré Vazante o máximo foi de $0,87 \pm 0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ e o mínimo de $0,45 \pm 0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré, no rio Acará.

Acará	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv. Pad.
Vazante					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	7,40	8,79	7,95	8,05	0,49
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,49	3,08	2,11	2,25	0,66
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,28	0,87	0,64	0,69	0,17
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,45	0,87	0,64	0,62	0,11
Enchente					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	5,74	8,72	7,80	8,26	0,91
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	1,32	3,73	2,40	2,43	0,76
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,42	0,78	0,65	0,71	0,14
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,49	1,51	0,82	0,64	0,35

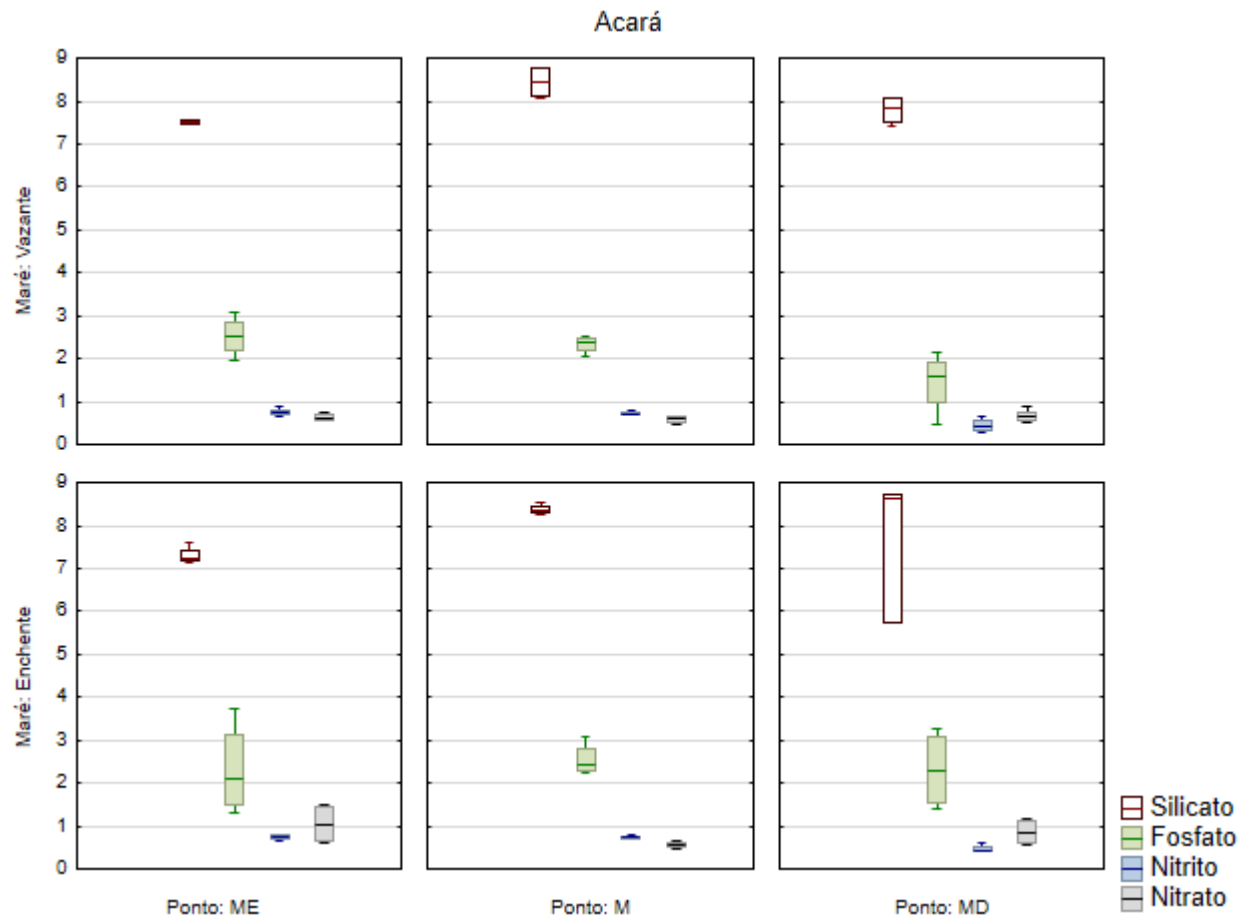


Figura 7- Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) no rio Acará de acordo com as margens e as marés dos locais analisados.

Alça Viária

No rio Guamá próximo a alça viária a concentração dos nutrientes tanto na maré enchente quanto na maré vazante foi bastante similar (tabela 5). A máxima concentração de silicato na maré vazante foi de cerca de $7,5 \pm 0,08 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima foi de $7,23 \pm 0,08 \mu\text{mol L}^{-1}$ já na maré enchente foi de $7,58 \pm 1,28 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a máxima concentração e $3,07 \pm 1,28 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a mínima concentração.

O fosfato apresentou concentrações máximas de $1,97 \pm 0,36 \mu\text{mol L}^{-1}$ na maré vazante e mínimas de $0,74 \pm 0,36 \mu\text{mol L}^{-1}$ enquanto que na maré enchente a máxima concentração foi de $1,56 \pm 0,31 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima de $0,53 \pm 0,31 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Na maré vazante o nitrito apresentou a máxima concentração de $0,42 \pm 0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima de $0,03 \pm 0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ enquanto na maré enchente a máxima concentração foi de $0,45 \pm 0,09 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima de $0,12 \pm 0,09 \mu\text{mol L}^{-1}$.

O nitrato tanto em maré vazante quanto em enchente apresentou concentração semelhante, com $0,83 \pm 0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ para maré vazante e $0,83 \pm 0,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a maré enchente. Já a mínima foi de $0,38 \pm 0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ em maré vazante e $0,34 \pm 0,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ em maré enchente.

É possível perceber que as máximas concentrações destes nutrientes inorgânicos foram bastante semelhantes (figura 8) tanto em enchente quanto em maré vazante, exceto pelo fosfato. Já as mínimas concentrações foram bastante diferentes.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré no rio Guamá, próximo à Alça Viária.

Alça Viária	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv. Pad.
Vazante					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	7,23	7,50	7,35	7,35	0,08
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,74	1,97	1,12	0,95	0,36
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,03	0,42	0,30	0,32	0,11
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,38	0,83	0,67	0,72	0,13
Enchente					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	3,07	7,58	6,91	7,27	1,28
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,54	1,56	1,12	1,15	0,31
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,13	0,45	0,27	0,26	0,09
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,34	0,83	0,60	0,66	0,17

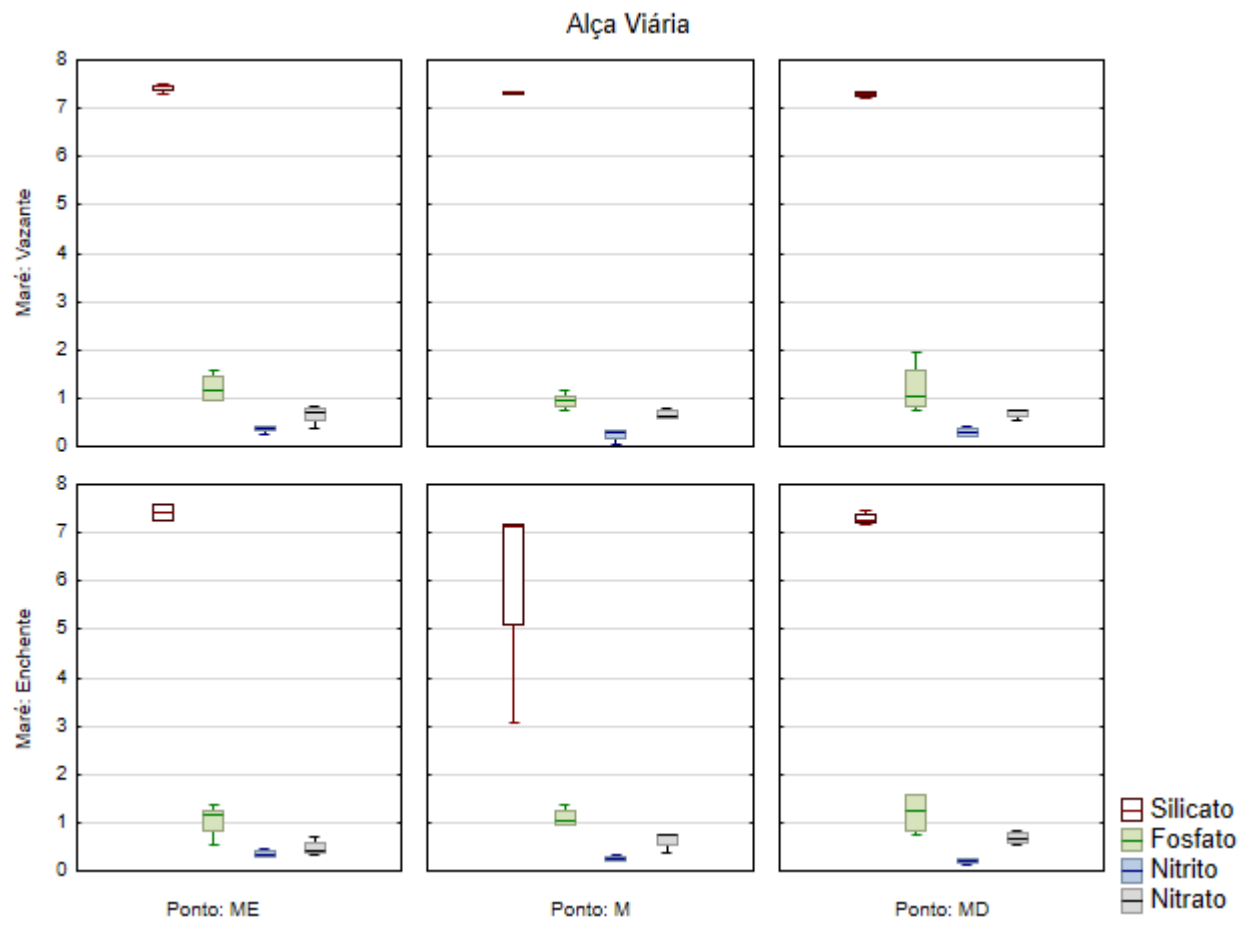


Figura 8 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) no rio Guamá próximo à Alça Viária de acordo com as margens e as marés dos locais analisados.

Foz do Rio Guamá

Na foz do rio Guamá (tabela 06) a concentração dos nutrientes, de modo geral, foi menor durante a maré vazante do que durante a maré enchente. A maior concentração de silicatos na maré vazante foi de $11,99 \pm 1,33 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor foi de $7,23 \pm 1,33 \mu\text{mol L}^{-1}$. A maior concentração de fosfato foi de $3,32 \pm 0,52 \mu\text{mol L}^{-1}$ enquanto a menor foi de $1,53 \pm 0,52 \mu\text{mol L}^{-1}$. O nitrito apresentou maior concentração de $0,51 \pm 0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ enquanto a menor foi $0,06 \pm 0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ e o nitrato teve uma concentração máxima de $1,06 \pm 0,18 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima de $0,45 \pm 0,18 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Na maré enchente a concentração de silicato máxima foi de $13,57 \pm 2,2 \mu\text{mol L}^{-1}$ enquanto a mínima foi de $6,49 \pm 2,2 \mu\text{mol L}^{-1}$; já a máxima concentração de fosfato foi de $4,22 \pm 0,96 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a mínima foi de $1,54 \pm 0,96 \mu\text{mol L}^{-1}$. Para o nitrito vemos a maior concentração em $0,58 \pm 0,15 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor de $0,19 \pm 0,15 \mu\text{mol L}^{-1}$ e para o nitrato a maior concentração obtida foi $1,36 \pm 0,29 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor $0,45 \pm 0,29 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré na foz do rio Guamá.

Foz do Guamá	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv. Pad.
Vazante					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	7,23	11,99	10,95	11,40	1,33
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	1,54	3,32	2,24	2,25	0,52
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,06	0,51	0,32	0,32	0,12
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,45	1,06	0,83	0,85	0,18
Enchente					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	6,49	13,57	10,43	11,47	2,20
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	1,54	4,22	2,51	2,07	0,96
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,19	0,58	0,33	0,26	0,15
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,45	1,36	0,91	0,92	0,29

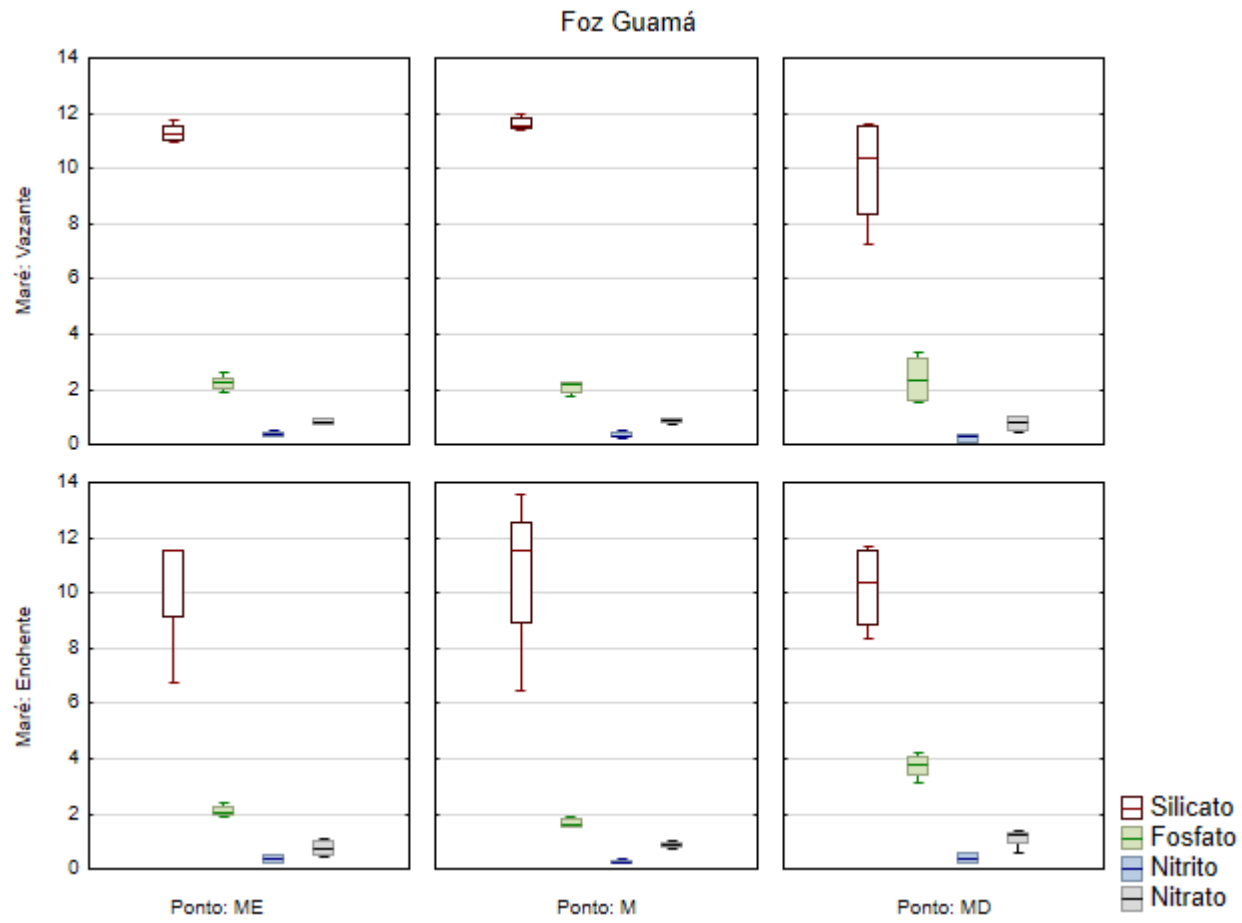


Figura 9 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na foz do rio Guamá de acordo com as margens e as marés dos locais *analisados*.

Baía do Guajará

Na baía do Guajará praticamente todos os nutrientes tiveram os maiores valores de concentração durante a maré vazante (figura 10). As maiores concentrações de silicato encontradas na maré vazante foram de $7,05 \pm 0,54 \mu\text{mol L}^{-1}$ já as menores foram de $5,47 \pm 0,54 \mu\text{mol L}^{-1}$; para a maré enchente os maiores valores de concentração de silicato foram de $7,12 \pm 0,85 \mu\text{mol L}^{-1}$ e os menores de $4,07 \pm 0,85 \mu\text{mol L}^{-1}$ (tabela 07).

Durante a maré vazante as maiores concentrações de fosfato foram de $3,01 \pm 0,83 \mu\text{mol L}^{-1}$ e as menores de $0,19 \pm 0,83 \mu\text{mol L}^{-1}$ já durante maré enchente as maiores concentrações de fosfato foram de $1,99 \pm 0,54 \mu\text{mol L}^{-1}$ e as menores se mantiveram constante em $0,19 \pm 0,54 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Durante a maré vazante o nitrito apresentou maiores concentrações de $0,82 \pm 0,24 \mu\text{mol L}^{-1}$ e menores de $0,05 \pm 0,24 \mu\text{mol L}^{-1}$ já durante maré enchente e o nitrito apresentou com as maiores concentrações de $0,68 \pm 0,21 \mu\text{mol L}^{-1}$ e as menores se mantiveram constantes em $0,05 \pm 0,21 \mu\text{mol L}^{-1}$.

O nitrato durante a maré vazante foi menor apresentando maiores concentrações de $0,64 \pm 0,07 \mu\text{mol L}^{-1}$ e as menores em $0,45 \pm 0,07 \mu\text{mol L}^{-1}$ já na maré enchente maior concentração foi de $1,02 \pm 0,19 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a menor de $0,42 \pm 0,19 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Tabela 7 - Estatística descritiva dos nutrientes inorgânicos dissolvidos de acordo com a maré na foz da baía do Guajará.

Baía do Guajará	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv. Pad.
Vazante					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	5,47	7,05	6,38	6,42	0,54
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,19	3,01	1,15	0,96	0,83
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,05	0,82	0,46	0,50	0,24
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,45	0,64	0,54	0,53	0,07
Enchente					
Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	4,07	7,12	6,03	5,94	0,85
Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,19	1,99	0,91	0,96	0,54
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,05	0,68	0,28	0,23	0,21
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,42	1,02	0,56	0,49	0,19

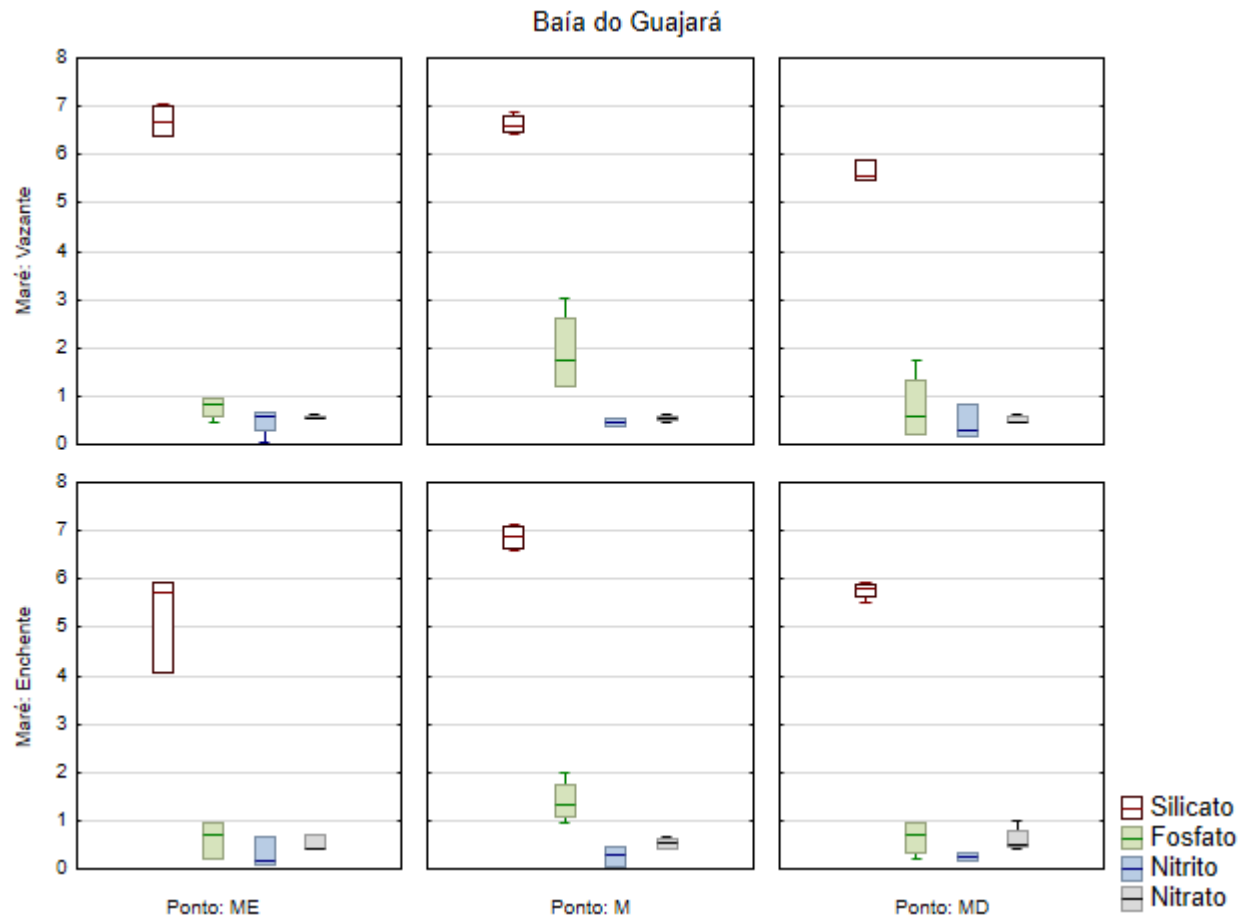


Figura 10 - Gráfico boxplot das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na baía do Guajará de acordo com as margens e as marés dos locais analisados.

ii. Fluxo de nutrientes

O fluxo de nutrientes foi calculado de acordo com a equação descrita na metodologia de Miranda *et al.* (2002). A tabela 8 indica os fluxos de nutrientes obtidos no presente estudo.

Tabela 8 - Fluxo de nutrientes inorgânicos dissolvidos nos locais de coleta. Valores expressos em negativo (-) indicam importação e positivo (+) exportação em 10^3 t.yr^{-1} .

Local	Nutrientes	Ciclo de maré	Por dia	Transporte resultante
Acará	Fosfato	0,472	0,944	169,947
	Silicato	0,594	1,189	213,987
	Nitrito	0,054	0,109	19,604
	Nitrato	0,061	0,122	22,012
	NID			41,616
Foz Guamá	Fosfato	0,322	0,644	115,975
	Silicato	1,175	2,349	422,824
	Nitrito	0,023	0,046	8,230
	Nitrato	0,070	0,140	25,160
	NID			33,390
Baía do Guajará	Fosfato	0,142	0,284	51,197
	Silicato	0,440	0,880	158,424
	Nitrito	-0,002	-0,005	-0,841
	Nitrato	0,055	0,109	19,688
	NID			18,847

É possível perceber que todos os nutrientes são exportados em todos os locais de coleta, exceto o nitrito na Baía do Guajará que recebe importação resultante anual de cerca de $0,84 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$.

O silicato foi o nutriente com a maior concentração e transporte nos 3 locais de estudo, sendo o rio Guamá o local com maior exportação anual, de cerca de $422,82 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$ e a Baía do Guajará com a menor de cerca de $158,42 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$.

O rio Acará foi o local com maior concentração de nutrientes, exceto o silicato e nitrato, com exportação anual de fosfato de cerca de $169,95 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$, nitrito com cerca de $19,60 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$ e NID de cerca de $41,61 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$.

A Baía do Guajará foi o local com a menor concentração de nutrientes de todos os locais analisados e o único local que apresentou importação de nutrientes, com o nitrito. O fosfato teve uma exportação de cerca de $51,20 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$, $19,69 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$ e $18,85 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$.

O rio Guamá exportou todos os nutrientes analisados, com cerca de $115,98 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$ para o fosfato, $8,23 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$ para o nitrito, $25,16 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$ para o nitrato e NID de $33,4 \times 10^3 \text{ ty}^{-1}$.

6 DISCUSSÃO

i. Nutrientes

As concentrações de fosfato na baía do Guajará e na Alça Viária foram as menores de todo o período em cada um dos pontos de coleta, tanto em superfície quanto no fundo. O que era esperado para a Alça Viária devido à distância do local da região metropolitana de Belém e da influência antrópica, porém, o fato de a baía do Guajará apresentar valores baixos de concentração deste nutriente, demonstra sua capacidade de autodepuração e diluição (Moura 2007). Por outro lado, o Acará, longe da RMB, apresentou concentrações maiores de fosfato tanto em superfície quanto em fundo se comparado com a alça viária mesmo sendo um ponto afastado da influência Urbana. Isso se dá devido à intensa atividade agropecuária, desflorestamento e carência de saneamento básico e abastecimento de água nos municípios que compõem a bacia do Rio Acará (Dias *et al.* 2020), o que faz com que este Rio tenha concentração de fosfato semelhante às encontradas na foz do rio Guamá, local que recebe muitos efluentes domésticos da região metropolitana de Belém e apresentou as maiores concentrações deste nutriente no período de análise.

O silicato teve comportamento semelhante ao fosfato com valores de concentração menores na baía do Guajará e na Alça Viária e um pouco maiores no rio Acará, já na foz do rio Guamá a concentração de silicato foi muito maior se comparado aos outros locais. O silicato no meio é um fator limitante para o crescimento de diatomáceas. O impacto antrópico, como aterros, desmatamento, construções, além da erosão, são fatores que aumentam o aporte de sedimentos argilosos (fontes de silicato) para o ambiente (Cordeiro 2017).

Em seu trabalho, Souza *et al.* (2017) descreveram que não houve correlação significativa entre o nitrito e o TDS, divergindo deste trabalho cuja correlação de Spearman foi significativa, apesar de negativa, indicando que há uma relação inversamente proporcional entre o nutriente e o parâmetro abiótico. Cordeiro (2017) em seu estudo em um estuário detectou concentrações de nitrito no período chuvoso variando de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0,28 \mu\text{mol L}^{-1}$. Neste trabalho, as maiores concentrações de nitrito estavam presentes na margem esquerda do rio Acará, que sofre com desmatamento para servir de pasto para a pecuária na região, agricultura ostensiva de dendê (Dias *et al.* 2020), o que explica o aumento na concentração deste nutriente. O menor valor de nitrito foi

encontrado próximo à Alça Viária, mais afastada da Região Metropolitana de Belém e consequentemente recebendo menos despejos domésticos e menos influência antrópica.

De Miranda *et al.* (2016) encontraram concentrações mínimas de nitrato em Mosqueiro de cerca de $0,002 \text{ mgN.L}^{-1}$ ($2,8 \cdot 10^{-5} \mu\text{mol L}^{-1}$) e máximas de $0,180 \text{ mgN.L}^{-1}$ ($2,52 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol L}^{-1}$), enquanto Santos *et al.* (2020) encontraram concentrações máximas de $2,07 \text{ mg.L}^{-1}$ ($1,47 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol L}^{-1}$) no período de maior pluviosidade, no estuário Guajará-Mirim, além de concentrações máximas de $7,55 \text{ mg.L}^{-1}$ ($5,39 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol L}^{-1}$) de oxigênio dissolvido no mesmo período, o que propicia maior nitrificação do nitrito em nitrato. Apesar de a maior concentração de nitrato encontrada neste trabalho não coincidir com a maior concentração de oxigênio, o ponto com a maior concentração de nitrato foi na margem direita da baía do Guajará, onde é possível encontrar despejos de efluentes domésticos da RMB, o que explicaria a concentração elevada do referido nutriente.

ii. Fluxo de nutrientes

A presença massiva do silicato, era esperada devido a esse nutriente estar intimamente relacionado ao aporte continental, ocasionado pela lixiviação dos sedimentos devido ao intemperismo de rochas nas margens e ao longo dos rios, especialmente durante o período chuvoso (Bianchi 2010; Berredo 2008).

Na Baía do Guajará e na foz do rio Guamá, o nitrato esteve em concentrações muito maiores se comparado ao nitrito, exceto no rio Acará, onde as concentrações de nitrito foram quase semelhantes às de nitrato, o que pode evidenciar que o rio Acará está recebendo muito mais nitrito do que a sua capacidade de nitrificação deste nutriente em nitrato.

O transporte resultante de fosfato no rio Acará, é maior do que nos outros pontos somados, mostrando que há uma descarga muito grande desse nutriente no rio. Em contraponto, a baía do Guajará apresentou a menor concentração deste nutriente, mostrando que, no geral, a sua capacidade de diluição e autodepuração é maior do que a descarga destes nutrientes pelos rios que a banham.

7 CONCLUSÃO

- O rio Acará, apesar de sua distância da RMB, apresenta valores de concentração de nutrientes muito altos, maior do que a dos outros locais de coleta, principalmente devido à intensa atividade agropecuária em seu entorno.
- A concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos no rio Guamá foi maior na margem direita, o que era esperado devido à descarga intensa de efluentes domésticos provenientes da cidade de Belém e região metropolitana.
- A baía do Guajará apresentou os maiores valores de concentração de nutrientes na sua porção central, diferente do esperado, já que o maior contato com despejos domésticos e industriais está em sua margem direita. Isso poderia ser explicado pelos emissários submarinos que não ficam mais distantes da margem.
- O rio Guamá, na altura da alça viária, foi o local com menor concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos em todos pontos coletados, indicando uma relativa preservação do meio.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas - ANA (Brasil). 2018. *Água no mundo*. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/agua-no-mundo/agua-no-mundo>. Acesso em: 10 nov. 2020
- Allan J.D. 1996. *Stream ecology: structure and function of running waters*. London, Chapman & Hall. 388 p.
- Alencar V. E. S. A., Rocha E. J. P., Souza Júnior J. A., Carneiro B. S. 2019. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na Baía de Guajará – Belém – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **12** (2): 661-680.
- Anderson M. G. 2005. *Encyclopedia of hydrological sciences*. [S.l.], J. Wiley,
- Bastos T. X. 1972. *O estado atual do conhecimento das condições climáticas da Amazônia brasileira*. Belém, IPEAN. p. 68-122.
- Bastos T. X. 1982. *O clima da Amazônia brasileira segundo Köppen*. Belém, EMBRAPA-CPATU. 4 p.
- Berrêdo J. F., Costa M. L., Progene M. D. P. S. 2008. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. *Acta Amazonica*, **38**: 473-482.
- Bianchi T. S. 2007. *Biogeochemistry of estuaries*. Nova York, Oxford University Press, 706 p.
- Bishop P.L. 1983. *Marine pollution and its Control*. [S.l.], McGraw-Hill. 358p.
- Brandini F. P. et al. 1997. *Planctologia na Plataforma Continental do Brasil, diagnose e revisão bibliográfica*. Paraná, Revizze. 196 p.
- Carvalho B. G. P., Mendonça N. M., Andrade F. S., Ise J. I. S., Barbosa P. A. V.; Dias L. C. 2015. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de esgoto durante o período de estiagem – estudo de caso na ETE Vila da Barca, Belém, Pará. In: 7º Congresso Nacional de Meio Ambiente, Poços de Caldas. *Anais[...]*. Disponível em: <http://www.meioambientepocos.com.br/anais/>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. *Resolução. 357*, de 17 de março de 2005.
- Cordeiro C. A. 1987. *Estudo da salinização no estuário do rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Belém, 119 p.
- Cordeiro I. A. 2017. *Condições ambientais da área do complexo estuarino-portuário de Suape (Pernambuco, Brasil): biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos*. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, 50 p.

Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde - Datasus. *Tabnet*. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>. Acesso em: 21 maio 2021.

Diretoria de Hidrografia e Navegação- DHN. 2021. *Tábuas de maré*. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/blem.pdf. Acesso em: 22 jun. 2021.

Dias L.E, Álvarez V.H.V. 1996. *Fertilidade do solo*. Viçosa-MG, UFV, 204p.

Dias F. G., Lima A. M. M. de, Silva E. V. da, Souza H. E. N. 2020. Diagnóstico geoambiental da paisagem da bacia hidrográfica do rio Acará, Amazônia oriental. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, **9**(3): 320-342.

Eça G. F. 2009. *Biogeoquímica de nutrientes e Clorofila-a na plataforma continental rasa entre Itacaré e Canavieiras–Bahia*. MS Dissertation, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brazil. 57pp

Esteves F. A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro, Interciência, 602 p.

Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). 2017. *Estatísticas de 2017. Municípios paraenses*. Belém, Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. 97p.

Gregório A. M. S., Mendes A. C. 2009. Batimetria e sedimentologia da baía de Guajará, Belém, estado do Pará. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, Belém, **5** (9): 53-72, jul./dez.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010. *População no último censo, censo demográfico*. [S.l.].

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Mapas de precipitação*. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada>. Acesso em: 10 set. 2022.

Lamparelli M. C. 2004. *Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. PhD Theses, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 235p.

Lazzari L. O. F. C., Baêta A. S. C. R., Wagener A. D. L. R. 2012. Flux of nutrient species and organic material in an eutrophic bay over tidal cycles. *In: 13º Congresso Latino Americano de Geoquímica Orgânica, Santa Marta/Colombia. Memórias*. Santa Marta/Colombia, Associação Latino-Americana de Geoquímica Orgânica.

Lourenço R. A. 2007. *Aplicação de marcadores orgânicos moleculares em estudos oceanográficos e paleoceanográficos: estudo de caso da margem continental superior do sudeste do Brasil*. PhD Theses, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 158 p.

- Melo O. T. 1998. *Comportamento biogeoquímico de nutrientes no estuário do Rio Bacanga - Ilha de São Luís*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 118 p.
- Miranda L. B., Castro B. M., Kjerfve B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, EDUSP, 424p.
- Miranda M. V. T., Santos M. D. L. S., Pereira J. A. R., Mesquita K. F. C. 2016. *Índices de qualidade da água da Ilha de Mosqueiro-PA*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285747538_Indices_de_qualidade_da_agua_da_Ilha_de_Mosqueiro-PA/fulltext/569275d008aee91f69a6f978/Indices-de-qualidade-da-agua-da-Ilha-de-Mosqueiro-PA.pdf. Acesso em: 23 jul. 2021.
- Moura E. M. 2007. *Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na baía do Guajará no trecho compreendido entre o bairro de Val-de-Cães e o distrito de Icoaraci*. MS Dissertation, Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 80 f.
- Muller U. 1977. *Stoffhaushalt, Phytoplankton und Primarproduktion in drei ostholsteinnischer Seen unterschiedlichen Trophiegrades*. Germany University, Kiel. 227 p.
- Passavante J. Z. de O. 2003. *Produção fitoplanctônica do Estuário Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil)*. In: 10º Congresso Nordestino de Ecologia, Recife. *Anais*. Recife, v. Único. CD-ROM.
- Pinheiro R. V. L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA)*. MS Dissertation, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 185 f.
- Rocha J. C.; Rosa A. H.; Cardoso A. A. 2004. *Introdução à química ambiental*. 1 ed. São Paulo, Bookman. 256p.
- Santana D. S. 2004. *Composição florística e variação espaço-temporal dos parâmetros ambientais e da biomassa fitoplanctônica do estuário do rio Marapanim (Pará-Brasil)*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 113 f.
- Santos A. S. D., Sousa P. H. C., Melo N. F. A. C. D., Mesquita K. F. C., Pereira J. A. R., SANTOS M. D. L. S. 2020. Distribuição espaço-temporal dos parâmetros abióticos e bióticos em um Estuário Amazônico (Brasil). *Arq. Ciên. Mar*, Fortaleza, **53**(1): 82-97.
- Schafer A. 1985. *Fundamentos da ecologia e biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre, UFRGS. 533p.
- Silva D. F. 2006. *Utilização de indicadores biológicos na avaliação da qualidade da água da baía do Guajará e do rio Guamá (Belém-Pará)*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará, Belém, 72 f.
- Silva M. D. S. R. D., Miranda S. Á. F., Santana G. P. 2016. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: condições de suas águas versos. *Resolução n° 357/CONAMA/2005*. v. 6, p. 83-90.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS). 2019. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto*. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/index?id=151>. Acesso em: 22 ago. 2021.

Soares R. R. da S. 2006. *Estudo de propriedades da clorofila a e da feofitina a visando a terapia fotodinâmica*. MS Dissertation, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Maringá, 92 p.

Souza C. A.de, Santos S. M. dos, Costa R. A., Oliveira W. A., Scalize P. S. 2017. Correlação entre variáveis abióticas e biótica em água de abastecimento público em Goiás. In: ABES, 27º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. *Anais[...]*. I-376. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/abastecimento-publico-goias/> Acesso em: 22 ago. 2021

Torres M. F. 2007. Pesca Ornamental na Bacia do Rio Guamá: Sustentabilidade e Perspectivas ao manejo. PhD Theses em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará, Belém, 264 p.

Tundisi J. G. & Tundisi-Matsam U.R.A.T. 2002. *Lagos e reservatórios. Qualidade de água: o impacto de eutrofização*. v.3 Disponível em: <http://www.rimaeditora.com.br/lagos.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

Vianello R. L. & Alves A. R. 1991. *Meteorologia e aplicações*. Viçosa, UFV. 449 p.

Von Sperling Marcos. 2014. *Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais.