



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

FÁBIO SALIMOS SILVA

DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO E FÓSFORO EM SEDIMENTOS DA BAÍA
DO GUAJARÁ E NA FOZ DOS PRINCIPAIS CANAIS DE DRENAGEM
(BELÉM - PARÁ)

Belém - Pará

2014

FÁBIO SALIMOS SILVA

DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO E FÓSFORO EM SEDIMENTOS DA BAÍA
DO GUAJARÁ E NA FOZ DOS PRINCIPAIS CANAIS DE DRENAGEM
(BELÉM - PARÁ)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento as exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Oceanografia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Silvia Keiko
Kawakami.

Belém – Pará
2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S586d Silva, Fábio Salimos

Distribuição de carbono orgânico e fósforo em sedimentos da baía do Guajará e na foz dos principais canais de drenagem (Belém, Pará) / Fábio Salimos Silva – 2014

56 f. : il

Orientadora: Silvia Keiko Kawakami

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2014.

1 Biogeoquímica–Pará. 2. Carbono orgânico. 3. Fósforo sedimentar. 4. Extração sequencial. I. Título.

CDD 22. ed.: 577.140981

FÁBIO SALIMOS SILVA

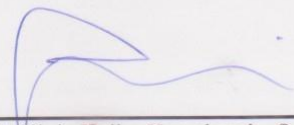
DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO E FÓSFORO EM SEDIMENTOS DA BAÍA
DO GUAJARÁ E NA FOZ DOS PRINCIPAIS CANAIS DE DRENAGEM
(BELÉM - PARÁ)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Oceanografia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento
as exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Oceanografia.

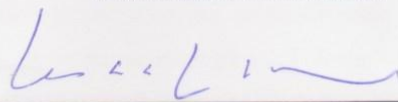
Data de aprovação: 28/02/2014

Conceito: EXCELENTE

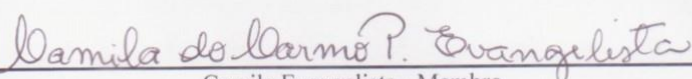
Banca examinadora:



Prof.^a Silvia Keiko Kawakami - Orientadora
Doutora em Oceanografia Química
Universidade Federal do Pará



Prof. Maamar El-Robrini - Membro
Doutor em Geologia Marinha
Universidade Federal do Pará



Camila Evangelista - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e minha família por tudo.

A Professora Silvia Kawakami, pelas oportunidades no Laboratório de Oceanografia Química, pela paciência e sugestões no decorrer deste trabalho.

A Camila Evangelista, por toda ajuda em laboratório, em especial na análise de carbono e granulometria.

A Rafael Aquino, por toda ajuda em laboratório, em especial na análise de fósforo.

A todos os amigos da turma de 2010, pelos 4 anos de convívio.

A todos os amigos do Laboratório de Oceanografia Química.

A todos os amigos e colegas de curso.

RESUMO

A Baía do Guajará é o principal corpo hídrico de Belém, caracterizado por forte hidrodinâmica, juntamente com o Rio Guamá é utilizado como receptor dos dejetos da população. O carbono orgânico é um dos mais importantes macronutrientes presentes em sistemas aquáticos, pois fornece energia, atuando nas comunidades biológicas. O fósforo presente no ambiente é proveniente do intemperismo de rochas, principalmente na forma de apatita e também aportado através de dejetos, é um importante macronutriente, porém quando presente em altas concentrações pode acelerar o processo de eutrofização. Este trabalho teve como objetivo a investigação do carbono orgânico total, fósforo total e suas frações, bem como a granulometria de sedimento na foz dos principais canais de drenagem ao longo do Rio Guamá e da Baía do Guajará. Foi avaliado um total de 7 pontos (Miramar, Ilha das Onças, Una, Doca, Combu, Tucunduba e Maguari). Amostras de água foram coletadas para se determinar os parâmetros físico-químicos básicos *in situ*, como: temperatura, pH, condutividade e sólidos totais dissolvidos, através de um analisador multiparâmetros. A temperatura atingiu média de 29,5 °C, característica de um estuário tropical, os valores de pH tiveram média de 6,37, refletindo uma maior influência de águas fluviais frente às marinhas. A condutividade elétrica possuiu valor médio de 0,12 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto a média de sólidos totais dissolvidos foi de 0,05 g L^{-1} . O COT foi determinado pelo método de Gaudette, os valores apresentaram média de 3,5 %, com mínimo de 2,8 % no canal do Una e máximo de 3,8 % no porto de Miramar. A granulometria foi composta por sedimentos finos, onde os teores de areia indicaram uma forte hidrodinâmica. A determinação de fósforo baseou-se no método de Ruttenberg por espectrofotometria de absorção, com obtenção de 5 frações: P-biodisponível, P-ligado ao ferro, P-ligado a apatita biogênica, P-ligado a apatita detrítica e P-orgânico, que somadas resultam no fósforo total. A concentração de fósforo total variou entre 22,86 a 31,91 $\mu\text{mol P g}^{-1}$, na Ilha das Onças e Miramar, respectivamente. A fração menos representativa em geral foi o P-biodisponível, enquanto a fração do fósforo ligado a apatita biogênica foi responsável por mais de 50 % dos valores de fósforo. Os resultados do COT mostraram-se próximos a trabalhos anteriores na região, os valores de fósforo quando comparados a estudos de outras regiões mostram que o Estuário Guajará não indica uma influência antrópica intensa devido a elevada hidrodinâmica local. Porém comparando-se os parâmetros encontrados, a orla de Belém diferencia-se dos pontos mais afastados.

Palavras-chave: Biogeoquímica. Carbono orgânico. Fósforo sedimentar. Extração sequencial.

ABSTRACT

The Guajará Bay is the main water body of Belém, characterized by strong hydrodynamic, and coupled with the Guamá River is used as a receiver of the waste of the population. The organic carbon is one of the most important macronutrients in aquatic systems, as it provides energy, acting on biological communities. The phosphorus in the environment comes from the weathering of rocks, mainly in the form of apatite and also contributed through manure, when present at high concentrations, phosphorus can accelerate the process of eutrophication. This study aimed to investigate the total organic carbon and total phosphorus and its fractions, as well as granulometry, at the mouths of the major drainage channels along the Guamá River and Guajará Bay and correlate the values obtained with the particle size characteristics of the points. Water samples were collected to determine in situ the basic physicochemical parameters such as temperature, pH, conductivity and dissolved solids through a multiparameter analyzer. The average temperature was 29.5 °C, characteristic of a tropical estuary, pH values had a mean of 6.37, reflecting a greater influence of river water to the sea front. The electrical conductivity had average value of 0.12 mS cm⁻¹, while the total dissolved solids average's was 0.05 g L⁻¹. The TOC was determined by the method of Gaudette in 7 points along the edge of Belém, the average values found were 3.54 %, with a minimum of 2.80 in the Una's channel and maximum of 3.88 at the port of Miramar. The granulometry was composed by fine sediments, where the sand content indicated a strong hydrodynamic. The determination of phosphorus was based on Ruttenberg's method by absorption spectrophotometry, obtaining 5 fractions: P- bioavailable iron bound to the P, switched biogenic apatite connected to P and P detrital organic apatite, the sum of these fractions results in total phosphorus. The value of total phosphorus ranged from 22.86 to 31.91 μmol P g⁻¹, on the Island of the Jaguars and Miramar, respectively. Unless representative fraction was in general P- bioavailable as the fraction of bound phosphorus biogenic apatite was responsible for over 50% of phosphorus values at all points. The results of TOC were remarkably close to previous works in the region, the values of phosphorus when compared to studies from other regions show that the estuary Guajará is not strongly influenced by human action, but this action shows already present when comparing values of the edge of Belém with the most distant points.

Keywords: Biogeochemistry. Organic carbon. Sedimentary phosphorus. Sequential extraction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização e pontos de coleta.	18
Figura 2 – Ilha do Combu Figura 3 – Maguari.....	19
Figura 4 – Miramar Figura 5 - Tucunduba.....	19
Figura 6 – Granulômetro a laser.	21
Figura 7 – Fluxograma para o método de análise granulométrica.	21
Figura 8 – Desagregação do material.	22
Figura 9 – Branco do método.	23
Figura 10 – Fluxograma para o método de determinação de carbono orgânico.....	24
Figura 11 – Fracionamento do fósforo.	25
Figura 12 – Amostras pulverizadas para análise do fósforo.....	25
Figura 13 – Diagrama de Shepard para as amostras superficiais.	33
Figura 14 – Diagrama de Pejrup para as amostras superficiais.	33
Figura 15 – Valores de COT e MO para as amostras de sedimento.....	36
Figura 16 – Porcentagens das frações de fósforo nas amostras de sedimento da Baía do Guajará.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização dos pontos de amostragem e parâmetros físico-químicos.....	31
Tabela 2 – Características granulométricas das amostras.	32
Tabela 3 – Porcentagens médias de COT e MO em sedimentos coletados na Baía do Guajará por diferentes pesquisadores.....	36
Tabela 4 – Concentrações das frações de fósforo em $\mu\text{mol g}^{-1}$ para as amostras da Baía do Guajará.....	38
Tabela 5 – Comparação das frações de fósforo com outros estudos ($\mu\text{mol g}^{-1}$).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO - carbono orgânico

COD - carbono orgânico dissolvido

COP - carbono orgânico particulado

COT - carbono orgânico total

M - molaridade

MO - matéria orgânica

N - normalidade

P - fósforo

P-CFAP - fósforo ligado à apatita biogênica

P-FAP - fósforo ligado à apatita autigênica

P-Fe - fósforo ligado ao ferro

pH - potencial hidrogeniônico

P-org - fósforo orgânico

P-total - fósforo total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral	14
1.1.1 Objetivos específicos	14
1.1.2 Justificativa	14
2 ÁREA DE ESTUDO	15
2.1 Clima	15
2.2 Geologia	15
2.3 Vegetação	16
2.4 Parâmetros oceanográficos	16
2.5 Vias de drenagem de Belém	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Localização	18
3.2 Amostragem	19
3.3 Análises laboratoriais	20
3.3.1 Granulometria	20
3.3.2 Carbono orgânico	22
3.3.3 Extração sequencial do fósforo	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Parâmetros físico-químicos	29
4.2 Granulometria	32
4.3 Carbono orgânico	35
4.4 Fósforo	38
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXOS	50
ANEXO A – Valores totais de carbono orgânico e fósforo.....	51
ANEXO B – Fluxogramas para o método da extração sequencial do fósforo.....	52
ANEXO C – Curvas de calibração da extração sequencial do fósforo.....	55

1 INTRODUÇÃO

Segundo Fairbridge (1980) os estuários podem ser divididos em três partes: estuário inferior ou parte marinha em comunicação com o mar aberto; estuário intermediário, sujeito a forte mistura da água doce com a água salgada; e estuário superior ou fluvial, caracterizado pela água doce, mas sujeito diariamente à ação das marés. Pinheiro (1987) ressalta que no Estuário Guajará a hidrodinâmica é dominada pela forçante fluvial, especialmente no período chuvoso. Os estuários apresentam elevada produtividade primária que ocorre principalmente pelo enriquecimento de nutrientes devido à lixiviação e ao intemperismo das rochas e a ação antropogênica, como introdução de esgotos e resíduos agrícolas. O estuário age como um filtro biogeoquímico reciclando nutrientes e outras substâncias que chegam até ele em concentrações elevadas, antes de transferi-las ou exportá-las para a zona marinha (CHESTER, 1993).

Com o estabelecimento de grandes cidades nas margens de estuários, a contaminação desses ambientes se tornou mais evidente em decorrência do despejo de efluentes domésticos e industriais nos mesmos, que são lançados nos ambientes aquáticos sem o tratamento adequado e podem gerar modificações ambientais. Segundo censo do IBGE em 2010, a população da cidade de Belém era de 1.392.031 habitantes, nessa situação o Estuário Guajará é caracterizado como o principal corpo hídrico receptor da drenagem de Belém, recebendo um volume de 18.294 m³/dia da rede de esgotos, que são despejados *in natura* (COHAB, 1997). O esgoto sanitário é constituído por material sólido em suspensão, matéria orgânica e microorganismos, sendo suas características físicas, químicas e biológicas variáveis com o padrão sócio-econômico da comunidade, condições climáticas e as características da rede coletora (MENDES; PEREIRA, 2003).

Parte do material despejado se incorpora ao sedimento, um importante compartimento no estuário, pois reflete todos os processos que ocorrem no mesmo, os sedimentos desempenham um papel de destaque na dinâmica funcional do meio, participa de processos internos que incluem a sedimentação, ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica e podem ainda armazenar informações sobre as formas e uso da bacia de drenagem (FAIRBRIDGE, 1989).

Um dos principais elementos presentes nos resíduos despejados nesses ambientes é o carbono, um dos mais abundantes elementos na natureza e constituinte essencial dos seres

vivos, sendo o macronutriente mais abundante nos organismos aquáticos, agindo como “esqueleto” das estruturas bioquímicas. Suas transformações bioquímicas entre formas orgânicas e inorgânicas via produção primária ou secundária, são os principais processos de armazenagem e transporte de energia na teia trófica (STERNER; ELSER, 2002).

O carbono é o principal constituinte da matéria orgânica, sendo cerca de 50 % do seu peso orgânico seco (BRAGA, 2002). A matéria orgânica em ambientes naturais se apresenta na forma particulada ou dissolvida (hidrocarbonetos, ácidos húmicos e fúlvicos) sendo utilizada como fonte de nutrição, formação de depósitos fósseis e registro das condições ambientais (HEDGES; PRAHL, 1993).

O CO de um ecossistema aquático continental pode ser agrupado em duas categorias: carbono orgânico detrital e COP da biota que, em conjunto, formam o COT. O carbono orgânico detrital é, por sua vez, composto de duas frações: COD e COP, muitos autores determinam os dois conjuntamente e os denominam carbono orgânico particulado total, a distinção entre as moléculas de COD e de COP ocorre por filtração, que é realizada entre as porosidades de 0,45, 0,7 e 1,2 μm (ESTEVES, 2011).

O conteúdo de CO nos sedimentos superficiais depende de fatores como características granulométricas, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana e condições oceanográficas locais. A maioria das bacias oceânicas é caracterizada por uma baixa concentração, enquanto que os sedimentos próximos à costa são enriquecidos deste constituinte (BARCELLOS, 2005).

O fósforo possui grande relevância nos sistemas biológicos, devido à participação em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular, através dos fosfolípidios (LIBES, 2009). Esse elemento ocorre em ambientes da superfície terrestre, sobretudo na forma de ortofosfato, sendo um nutriente essencial para a síntese orgânica no ambiente marinho (BARCELLOS et al., 2003). Quando presente nas águas é assimilado pelos organismos aquáticos, principalmente os produtores primários, sob a forma de fósforo inorgânico dissolvido, incorporando assim na parte viva do ecossistema (fósforo orgânico).

O fósforo de origem antrópica encontra-se especialmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos nos solos ou pelas emissões de efluentes urbanos, que contêm polifosfatos dos produtos de limpeza, ortofosfato e fosfatos inorgânicos condensados dos esgotamentos sanitários não tratados (MARINS et al., 2007).

Alguns dos principais fatores naturais que aportam fosfato (HPO_4^{2-}) podem ser apontados, tais como material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone, porém a fonte básica de fosfato são as rochas da bacia de drenagem (ESTEVEZ, 2011).

Os fosfatos têm função relevante na produtividade aquática e na qualidade de águas interiores, devido aos fenômenos de eutrofização que contribui para o excessivo crescimento de algas alterando a troca de matéria e energia entre os compartimentos (litosfera, hidrosfera e atmosfera) com a consequente deterioração dos mananciais (ROCHA, 2004). Para se diferenciar essas frações é necessário um método de extração sequencial, que é definido com base na reatividade da fração que se deseja extrair, espécie alvo em relação a uma solução extratora conhecida (RUTTENBERG, 1992).

1.1 Objetivo geral

Avaliar a distribuição espacial de carbono orgânico total e de fósforo em sedimentos da Baía do Guajará e na foz dos principais canais de drenagem de Belém.

1.1.1 Objetivos específicos

- ❖ Determinar os teores de carbono orgânico total e da matéria orgânica em 7 pontos superficiais.
- ❖ Determinar as frações de fósforo sedimentar em 7 pontos superficiais através de extração sequencial.
- ❖ Fornecer subsídios para futuros estudos de monitoramento ambiental.

1.1.2 Justificativa

Tanto o COT quanto o fósforo são parâmetros utilizados na investigação das condições tróficas de ambientes aquáticos. Desta forma a determinação dos mesmos auxilia nos estudos de monitoramento ambiental de ecossistemas aquáticos. O desenvolvimento urbano na região metropolitana de Belém ocorre de forma desenfreada e desorganizada, destacando-se em bairros periféricos sem saneamento básico necessário, os dejetos da população são lançados diretamente nos corpos d'água (Rio Guamá e Baía do Guajará) sem o tratamento necessário.

De acordo com Schumacher (2002), o carbono orgânico presente no sedimento possui importantes características devido a sua habilidade em formar complexos solúveis e insolúveis na água a partir da sua união a íons metálicos (quelação), em especial o ferro, sua interação com argilo-minerais, participar de processos de adsorção com compostos orgânicos naturais e antrópicos.

Além de sua relevância como macronutriente para os seres vivos, o interesse pelo ciclo do fósforo nas pesquisas deve-se à frequente escassez do elemento na forma biologicamente disponível, comparado a outros nutrientes, como o carbono. Isto explica por que em muitos ecossistemas de águas continentais o fósforo é o principal fator limitante da produtividade (WETZEL, 2001).

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Clima

A região guajarina possui certas particularidades quando comparada ao restante da Amazônia. De acordo com Penteado (1968) isso se deve à proximidade com o Oceano Atlântico, seu relevo e sua baixa altitude. Segundo Köppen, o clima de Belém é quente e úmido, com precipitação média anual alcançando os 2.834 mm correspondendo à categoria Af, com temperatura média de 26 °C, mínima de 20 °C e máxima de 38 °C, coincidindo com o clima de floresta tropical, permanentemente úmido (em torno de 85 %), sem estações climáticas bem definidas e caracterizado por um período mais chuvoso e outro menos chuvoso.

Esses dois períodos são conhecidos na região como “inverno” e “verão” amazônico e exercem grande importância sobre os rios, modificando o aporte sedimentar e também os parâmetros hidroquímicos do estuário. Com precipitações pluviométricas frequentes, desenvolvendo-se com maior intensidade de dezembro a junho. A “estação seca”, período de menor índice pluviométrico, é representada por certa estiagem, que se caracteriza de julho a novembro (LIMA, 1979). Deve-se considerar, no entanto, que vazões elevadas dos rios podem ser observadas além do período de máxima pluviosidade, com um a dois meses de defasagem de acordo com os dados do INMET para o período de 1984 a 2012 (Carmo, A. M. C. 2014, comunicação pessoal).

2.2 Geologia

Rossetti (2001) caracteriza o arcabouço estratigráfico da região de Belém entre as formações Pirabas e Barreiras, constituindo as sequências A e B (Mioceno), e os sedimentos Pós-Barreiras, como a sequência C (Plioceno-Quartenário).

A sequência A corresponde à Formação Pirabas, predominantemente carbonática e constituída por calcários diversificados, esta unidade é encontrada em várias profundidades, a continuação da sequência é a parte inferior da Formação Barreiras, de depósitos arenosos e argilosos.

A sequência B, exclusivamente siliciclástica, corresponde à parte superior da Formação Barreiras, seus sedimentos são interpretados como produtos de amplas planícies entrecortados por canais de maré. A sequência C é argilo-arenosa.

Os sedimentos Pós-Barreiras foram mapeados por Farias, Nascimento e Ferreira (1992), que caracterizaram duas fácies sedimentares: a) arenito ferruginizado, envolvidos por uma matriz areno-argilosa; b) arenitos diversos, aparentemente desprovidos de estruturas; granulometria predominantemente fina e bem selecionados.

2.3 Vegetação

Segundo Lima (1956) a vegetação regional é reflexo da geomorfologia, pode-se distinguir três tipos de vegetação: várzea, típica de área inundável, floresta densa, associada aos terrenos mais elevados e floresta secundária associada a áreas desmatadas, que ocupa uma boa distribuição na região.

A floresta densa, tipo de vegetação associada aos terrenos mais elevados ditos de terra firme tem maior diversidade de espécies, como a seringueira (*Hevea brasiliensis*), o ingá (*Inga cinnamômea*) e a samaúma (*Ceiba pentrandia*).

A floresta secundária, bastante frequente na área de estudo, surge logo após a destruição da floresta primária, com a implementação de uma vegetação arbustiva e em menor número, podendo posteriormente, se assemelhar com a floresta primária, onde irá ser habitada por arbustos maiores, palmeiras e árvores.

Segundo Pinheiro (1987), a vegetação de várzea se relaciona aos processos naturais de colmatação, provocados pelos períodos de maré enchente, sendo causado pela grande quantidade de material em suspensão presente nas águas estuarinas, associadas a essas áreas predominam espécies como: aninga (*Montrichardia arborescens Schott*), mururé (*Eichhornia azurea kunth*), canarana (*Panicum elephantipes*).

2.4 Parâmetros oceanográficos

A superfície da água da Baía do Guajará se caracteriza como um ambiente relativamente agitado, mesmo em condições de ventos fracos, com ondulações irregulares, definindo claramente um regime de fluxo turbulento. Apesar da forte atuação das correntes de maré, as ondas geradas pelo vento representam um importante agente da dinâmica do estuário, ocasionando a mistura das águas e a ressuspensão praticamente constante dos sedimentos de fundo nos bancos e margens (PINHEIRO, op. cit.).

Segundo Cordeiro (1987) o estuário Guajará está sujeito a marés semidiurnas, mais acentuadas no período menos chuvoso, onde se tem a penetração da cunha salina. Pinheiro

(op. cit.) descreve que na Baía do Guajará são comuns velocidades de corrente de $2,1 \text{ m s}^{-1}$, no Rio Guamá foram determinadas velocidades máximas de $1,89 \text{ m s}^{-1}$.

O pH das águas da Baía do Guajará está normalmente entre 6 e 7, valores de 4,5 podem ser encontrados em drenagens pequenas e não poluídas, sob influência de MO (MAZZEO, 1991). A condutividade elétrica do Rio Guamá é da ordem de 20 a $40 \mu\text{S cm}^{-1}$, na Baía do Guajará são mais comuns valores de 100 a $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ (RIBEIRO, 2002), enquanto nos canais interiores de Belém, devido a poluição, a condutividade pode alcançar valores maiores que $500 \mu\text{S cm}^{-1}$.

2.5 Vias de drenagem de Belém

O município de Belém possui uma rede de drenagem bem distribuída, do tipo dentrítico, que deságua na Baía do Guajará a norte e a oeste, e ao sul no Rio Guamá (ARANTES et al., 1972).

De acordo com Sudam (1976) as áreas de baixadas foram divididas em 5 bacias de drenagem, denominadas: áreas A, B, C, D e E.

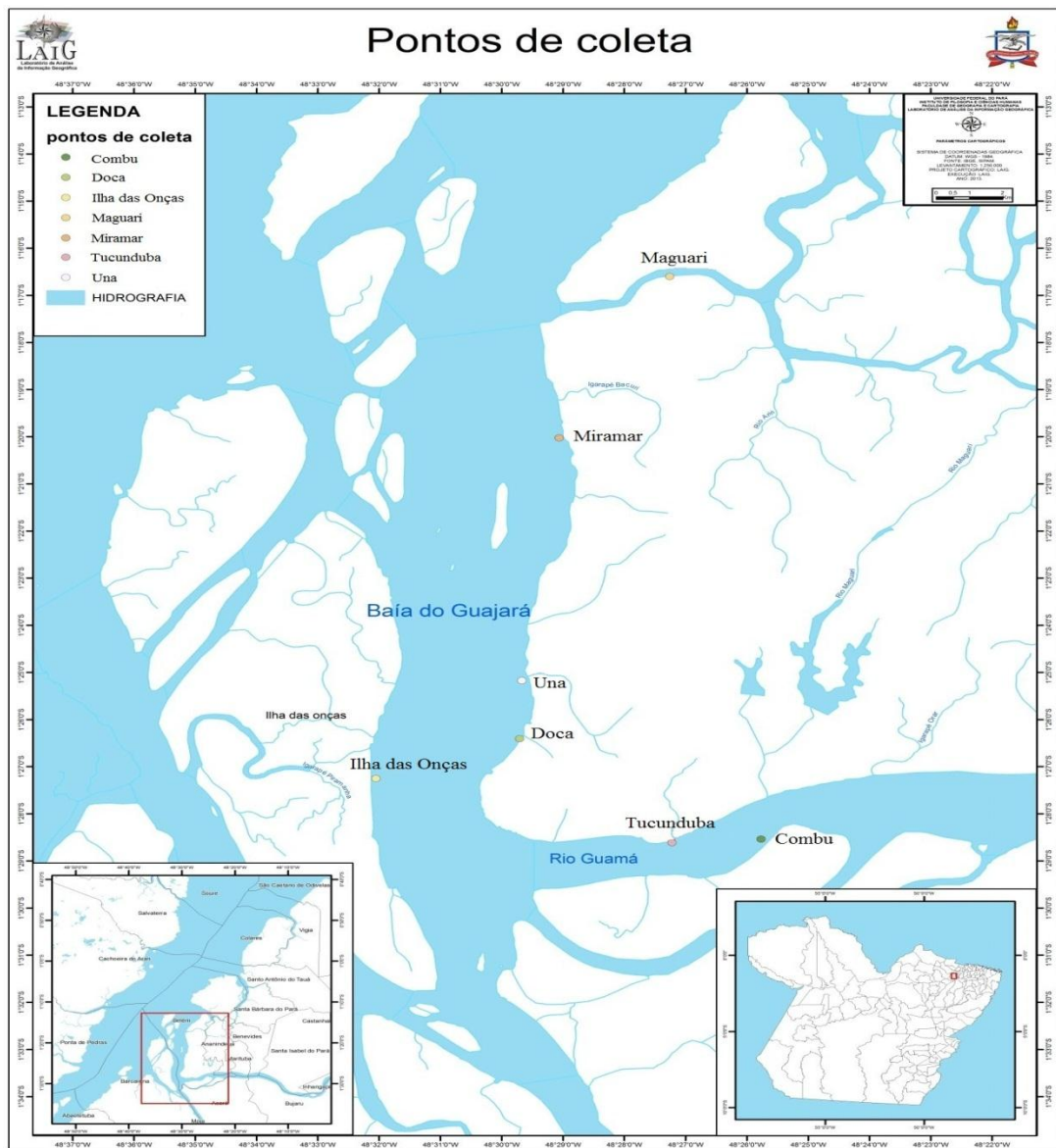
- área A é a bacia do Una, a maior em extensão com aproximadamente 2.531 ha , inclui os bairros de São Braz, Umarizal, Pedreira, Telégrafo, Sacramento e Marambaia. Recebendo efluentes de esgoto doméstico;
- área B é formada pelos canais do Reduto e da Doca de Souza Franco, possuindo 274 ha de área, canais abertos e revestidos de cimento;
- área C está o canal da Tamandaré, com 361 ha de área, englobando os bairros de Batista Campos, Jurunas, Comércio e Cidade Velha;
- área D envolve a bacia da Estrada Nova, com 797 ha de área, é a região com as terras mais baixas da cidade, com os bairros da Condor, Guamá, Jurunas, Cremação;
- área E envolve a bacia do Tucunduba, com 1.055 ha de área, nos bairros da Terra Firme, Guamá e Canudos, é a mais primitiva de todas as bacias.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização

A cidade de Belém, no estado do Pará, está localizada na confluência do Rio Guamá com a Baía do Guajará. Possui uma área de 720 km² e é recortada por cerca de 30 km de drenagens naturais, canalizadas ou não, que deságuam no Rio Guamá e na Baía do Guajará. A região metropolitana localiza-se no quadrante entre os paralelos 10° 10' S e 10° 30' S e os meridianos 48° 25' O e 48° 35' O, fazendo limite ao sul com o Rio Guamá, ao norte com a baía do Marajó até o extremo oriental da ilha do Mosqueiro e a oeste com as baías do Marajó, Guajará e Santo Antônio (CODEM, 1975).

Figura 1 – Mapa de localização e pontos de coleta.



Fonte: Laboratório de análises da informação geográfica.

3.2 Amostragem

As amostras superficiais foram coletadas durante os dias 02, 05 e 08 de agosto de 2013. O material utilizado para a coleta foi uma draga do tipo van Veen, uma basqueta de alumínio, uma espátula metálica e um isopor com gelo para armazenagem e facilitar o transporte das amostras até o Laboratório de Oceanografia Química, onde se realizariam todas as análises.

A draga foi lançada até se coletar sedimento suficiente para as análises, as amostras para o COT foram acondicionadas em potes de alumínio, a fim de se evitar o contato com materiais derivados de hidrocarbonetos e desse material foi retirada uma alíquota para a determinação da granulometria. As amostras para análise de fósforo foram acondicionadas em sacos plásticos. Para obtenção dos dados hidroquímicos de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e sólidos totais dissolvidos (g L^{-1}), foi utilizado um analisador multiparâmetros da marca HANNA.

Em laboratório as amostras permaneceram em freezer a uma temperatura de -20°C até que fossem realizadas as análises.

Figura 2 – Ilha do Combu.



Figura 3 – Maguari.



Figura 4 – Miramar.

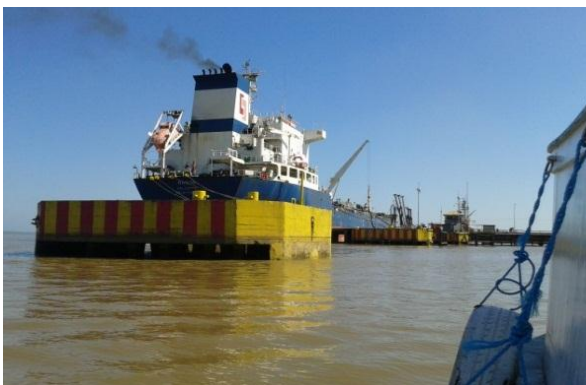


Figura 5 – Tucunduba.



3.3 Análises laboratoriais

3.3.1 Granulometria

Para realização da análise granulométrica foram retirados 5 gramas de cada amostra sedimentar e disposta em béquer de 250 mL, foi adicionada água deionizada até a completa submersão do material sedimentar e agitada com bastão de vidro, o intuito deste processo foi a remoção do sal presente, então foram inseridos 10 mL de pirofosfato de sódio a uma concentração de $0,9 \text{ g L}^{-1}$ a fim de se evitar a floculação na amostra, que permaneceu por uma noite em descanso, após isso se trocou a água.

Depois de 2 dias para a remoção de sal presente na amostra, deixou-se em estufa durante 2 horas a uma temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ até que ficasse completamente seca, possibilitando a desagregação da amostra sem que ocorresse perdas, após isso se iniciou o processo de remoção da matéria orgânica presente no sedimento, utilizando o método químico de oxidação, com o uso do peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Para a oxidação da MO utilizou-se uma alíquota de 3 gramas do sedimento num béquer, e então foram adicionados 8 mL do peróxido de hidrogênio juntamente com 32 mL de água deionizada, após a adição do peróxido agitou-se a solução com bastão de vidro para que ocorresse a completa homogeneização da amostra, no dia seguinte este procedimento foi repetido.

Depois de 2 dias de remoção da MO adicionou-se água deionizada no béquer até que o volume de 80 mL fosse alcançado e então o mesmo foi levado ao ultrassom por 15 minutos para que ocorresse a ressuspensão do sedimento, após isso foi levado à centrífuga em frascos do tipo Falcon por meia hora a uma velocidade de 5.000 rpm, afim de que o sedimento decantasse e o material sobrenadante fosse descartado, esse procedimento foi realizado duas vezes, sempre evitando a perda de amostra, após essa etapa o peróxido de hidrogênio já não estava presente no sedimento, o material retido nos frascos foi recuperado com água deionizada e repassado para o béquer.

Após a centrifugação e recuperação do sedimento, a amostra voltou à estufa a uma temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas, após a completa secagem ocorreu uma nova desagregação do material e então foi pesado 1 grama do sedimento num béquer. Na véspera da análise granulométrica 6 mL de pirofosfato de sódio a $44,6 \text{ g L}^{-1}$ foram adicionados para que não ocorresse a floculação e imediatamente antes da análise se utilizou o agitador Vortex para que ocorresse a ressuspensão da amostra.

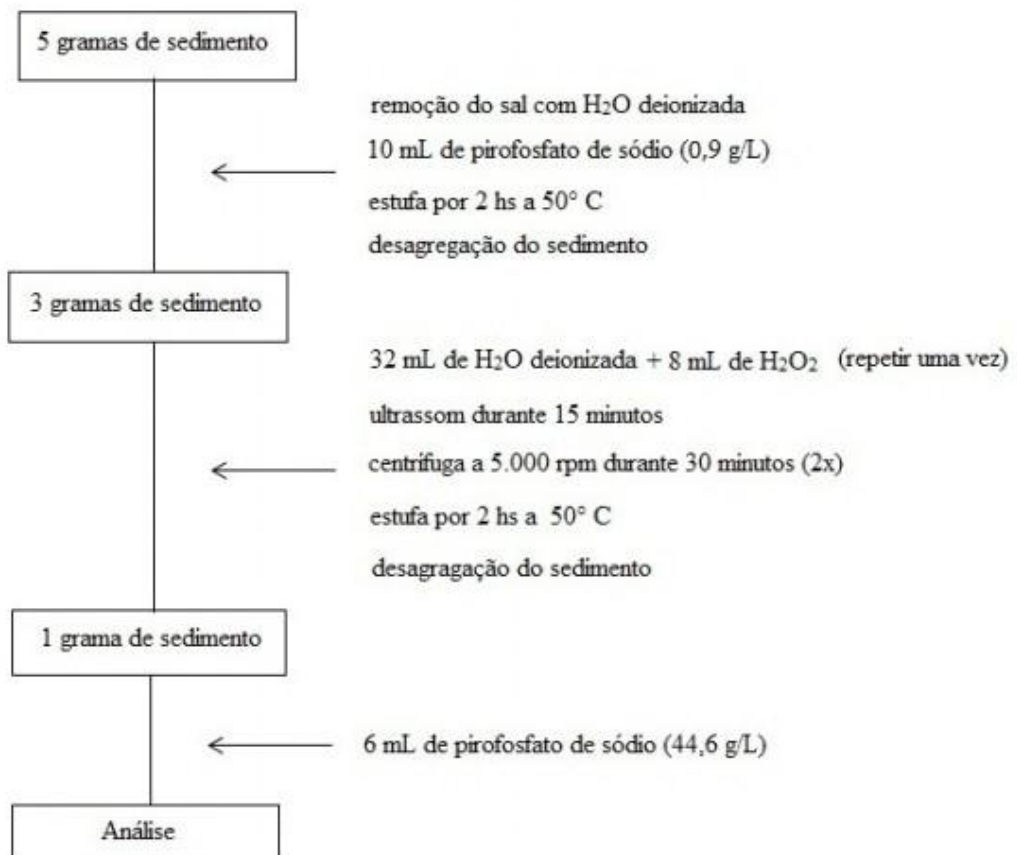
A análise foi realizada pelo granulômetro a laser da marca SHIMADZU, modelo SALD-2201. Os dados gerados foram analisados pelo programa SysGran 3.0.

Figura 6 – Granulômetro a laser.



Fonte: Do autor.

Figura 7 – Fluxograma para o método de análise granulométrica.



Fonte: Do autor.

3.3.2 Carbono orgânico

Em laboratório o material permaneceu nos potes de alumínio em um freezer a uma temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até seguirem para a estufa da marca QUIMIS, onde permaneceram durante 50 horas descontínuas a uma temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 8 – Desagregação do material.



Fonte: Do autor.

Após a secagem ocorreu a desagregação da amostra com almofariz e pistilo e todo resto vegetal como raízes, galhos e restos de folhas foram retirados com a ajuda de pinça, a fim de que somente o carbono presente no sedimento fosse quantificado, depois da desagregação houve o peneiramento da amostra numa malha de 2 mm , para que então o procedimento químico fosse realizado. Toda a vidraria utilizada (erlenmeyer, proveta, béquer, pipeta, almofariz, pistilo) permaneceu em banho Extran 2 % v/v.

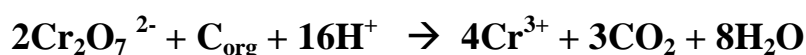
O presente trabalho utilizou como referência Gaudette (1974), que consiste num método analítico titulométrico de oxi-redução, envolvendo um agente oxidante enérgico como o dicromato de potássio em meio sulfúrico, atuando sobre a matéria orgânica (agente redutor), na presença de um indicador adequado, a titulação refere-se a um processo no qual o reagente padrão é adicionado à solução de um analito até que a reação entre os dois seja julgada completa (SKOOG et al., 2005).

Este método consiste na oxidação do carbono orgânico pelo Cr^{+6} na presença de H_2SO_4 concentrado, no qual o excesso de Cr^{+6} é titulado com Fe^{+2} .

Após a secagem e pesagem da amostra, adicionou-se 1 grama do sedimento peneirado a um erlenmeyer de 500 mL, logo após adicionou-se 10 mL do dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) através de pipeta e 20 mL do ácido sulfúrico (H_2SO_4) por meio de proveta, após

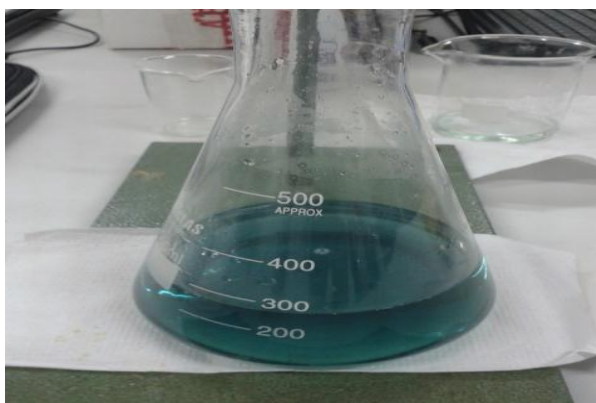
isso a amostra foi agitada durante um minuto e permaneceu em repouso durante meia hora. Após esse período adicionou-se 200 mL de água deionizada e em seguida através de pipeta 10 mL de ácido ortofosfórico (H₃PO₄).

A utilização do indicador difenilamina ocorreu com a adição de 5 gotas do mesmo com o uso de pipeta Pasteur, homogeneizou-se a amostra até que esta atingisse uma coloração azulada, a mesma foi então titulada com sulfato ferroso amoniacal [Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O] a 0,5 N até que a solução atingisse uma coloração esverdeada, sendo a equação geral da reação:



O branco do método foi feito seguindo todo o procedimento anterior, porém não ocorre a utilização do analito (sedimento), tratando-se de uma técnica colorimétrica, a coloração atingida é diferente de quando se utiliza o sedimento, no caso do branco a coloração que se atinge é verde esmeralda, a partir do volume gasto de sulfato ferroso amoniacal se determina o fator usado nos cálculos da porcentagem de COT.

Figura 9 – Branco do método.



Fonte: Do autor.

Para se determinar o conteúdo de COT presente na amostra faz-se necessário o uso da equação:

$$\%C = \frac{(10 - V_2 \times f \times 0,5) \times 0,4}{p}$$

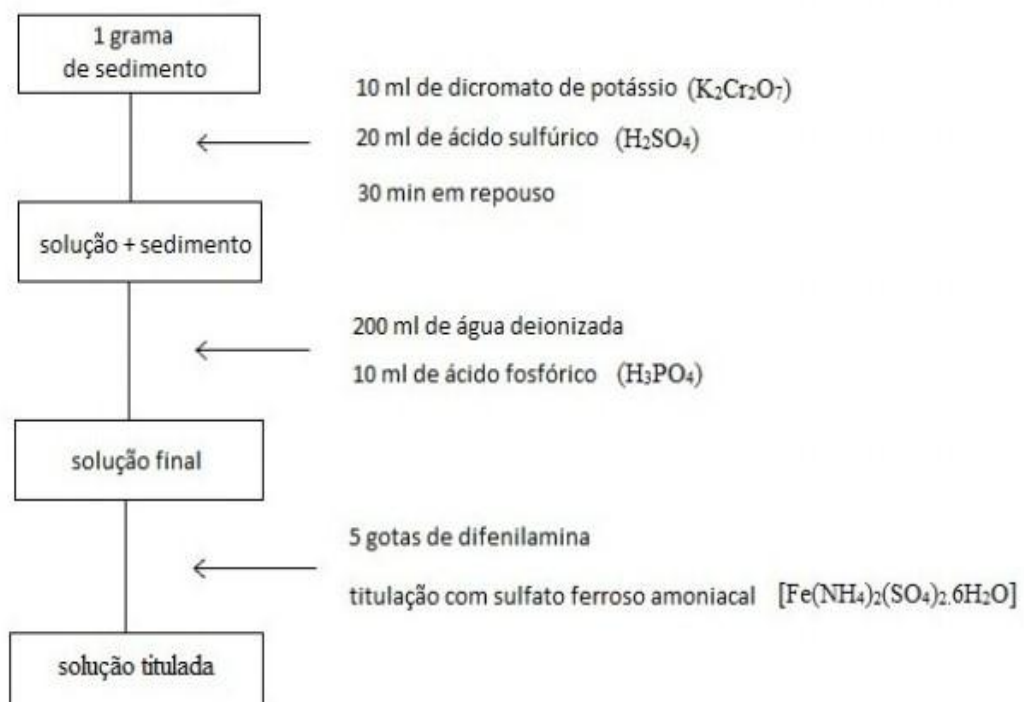
Onde V_2 é o valor gasto de sulfato ferroso amoniacal na titulação, p é o peso da amostra em gramas e f é o fator, que age como o branco do método e se calcula pela seguinte equação:

$$f = \frac{\text{meq } K_2Cr_2O_7}{\text{meq sulfato ferroso amoniacal}} = \frac{10 \times 1}{V_1 \times 0,5}$$

Onde V_1 é o volume gasto na titulação. A partir disso se determina a quantidade de MO presente na amostra pela seguinte relação:

$$\% \text{ M.O} = \% \text{ C} \times 1,725$$

Figura 10 – Fluxograma para o método de determinação de carbono orgânico.

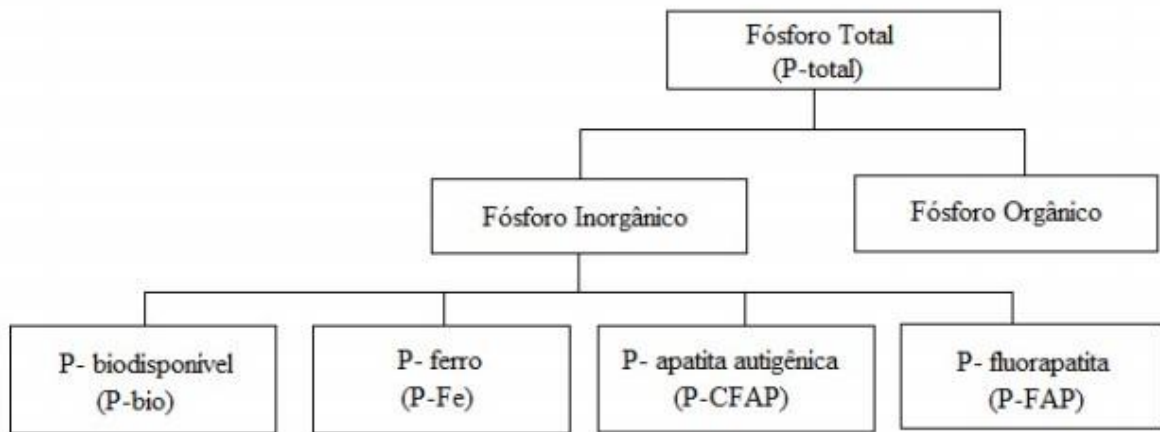


Fonte: Do autor.

3.3.3 Extração sequencial do fósforo

A análise seguiu de maneira adaptada, os procedimentos para uma extração sequencial das formas de fósforo presentes em sedimento de acordo com Ruttenberg (1992).

Figura 11 – Fracionamento do fósforo.



Fonte: Do autor.

Uma alíquota de 20 gramas foi colocada em cadinho para que ocorresse a secagem da amostra, que permaneceu durante 24 horas a 105 °C em estufa, sem que os resultados da análise do fósforo biodisponível ou fracamente ligado fossem prejudicados. Após isso a amostra foi desagregada com a utilização de graal e pistilo, e peneirada em uma malha de 63 µm, para retirada das partículas a fim de minimizar possíveis interferências, além do fato de se ter uma maior eficiência na extração de P-Bio e P-Fe nesta faixa granulométrica (ANDRIEUX; AMINOT, 2001). Foi então pesado 0,5 grama da amostra de sedimento e colocado em erlenmeyer de 50 mL.

Figura 12 – Amostras pulverizadas para análise do fósforo.



Fonte: Do autor.

❖ **Fósforo biodisponível (fracamente ligado)**

Ao erlenmeyer que continha 0,5 grama da amostra foi adicionado 50 mL de $MgCl_2$ (cloreto de magnésio) a 1M, tendo seu pH ajustado até 8 com a adição de 10 gotas de NaOH (hidróxido de sódio) a 10 M e deixou-se na mesa agitadora por um período de 2 horas, após esse período a amostra sofreu centrifugação por 5 minutos a 4.000 rpm, o material sobrenadante foi repassado para um erlenmeyer. Esse procedimento foi realizado duas vezes, totalizando a extração com $MgCl_2$ durante 4 horas, resultando em 100 mL de extrato.

Após a lavagem com $MgCl_2$ ocorreu a lavagem com água deionizada, onde se adicionou 50 mL de água ao erlenmeyer contendo a amostra, permanecendo em mesa agitadora por 2 horas, sendo novamente centrifugado por 5 minutos a 4.000 rpm, após isso o material sobrenadante foi transferido para o erlenmeyer que continha o extrato do procedimento anterior, esta etapa foi realizada novamente, totalizando 100 mL da lavagem com água deionizada, resultando em 200 mL de extrato ($H_2O + MgCl_2$), que foi acidificado com o HCl (ácido clorídrico) até atingir um pH na faixa entre 2 e 3, caracterizando a condição ideal para que ocorra a reação do molibdato com o fosfato presente no extrato.

O volume total foi filtrado em filtro Millipore de fibra de vidro com porosidade de $0.47 \mu m$ e diâmetro de 47 mm, a fim de evitar a presença de material particulado na amostra a ser analisada no espectrofotômetro da marca BIOSPECTRO.

Da solução filtrada retirou-se 100 mL nos quais foram adicionados 2 mL de ácido ascórbico e agitou-se o frasco, então foram adicionados 2 mL da mistura de reagentes (molibdato de amônio + ácido sulfúrico + antimonil tartarato de potássio), deixou-se a amostra em repouso durante 20 minutos para ser lida no espectrofotômetro no comprimento de onda de 880 nm (GRASSHOFF et al., 1999).

❖ **P-Fe (fósforo fortemente ligado a oxi-hidróxidos de ferro)**

O resíduo anterior foi extraído de acordo com a metodologia descrita por Huerta-Diaz et al., (2005), onde foram utilizados 50 mL da solução CDB (citrato de sódio 0,22 M; bicarbonato de sódio 0,11 M; ditionito de sódio 0,13 M) a um pH= 7,6. As amostras permaneceram em mesa agitadora durante 6 horas e sofreram centrifugação por 10 minutos a 4.000 rpm, após isso transferiu-se a alíquota para um erlenmeyer.

Depois de 6 horas de extração com o CDB, foi feita uma extração com 50 mL de MgCl_2 a 1M durante 2 horas, para a total dissolução do fósforo presente na amostra que possa ter sido adsorvido no material particulado, e por fim uma lavagem de 2 horas com 50 mL de água deionizada.

Devido a interferência do citrato com o molibdato de amônio, foi necessário um tratamento para eliminar ou minimizar essa reação, descrito por Huerta-Diaz et al. (op. cit.).

Foi colocado em um frasco previamente pesado e limpo, 10 mL da solução do extrato (CDB + MgCl_2 + H_2O deionizada). O frasco foi novamente pesado e adicionado a ele 0,5 mL de NaOH a 10 M, tapado e agitado, então se formou um precipitado branco [$\text{Mg}(\text{OH})_2$]. Os frascos foram centrifugados a uma velocidade de 4.000 rpm durante 30 minutos e o sobrenadante descartado. Adicionou-se 10 mL de hidróxido de amônio a 10 % v/v para lavagem do precipitado, com o auxílio de um agitador vortex, e fez-se a centrifugação e descarte do sobrenadante. Repetiu-se a lavagem para remoção do citrato.

Em seguida foi adicionado 10 mL de HCl 10 % v/v para dissolução do precipitado, utilizando um agitador Vortex até a completa solubilização e novamente pesado para realizar os cálculos da concentração de fósforo. De acordo com Huerta-Diaz et al. (2005) deve ser misturado 1 mL da solução de HCl ligado ao fósforo, com 0,5 mL da mistura de reagentes e 1 mL de ácido ascórbico. A solução é diluída para um volume final de 5 mL com água deionizada.

Foi feita então uma diluição de 1:4 (10 mL do extrato tratado e aferido até 50 mL, com água deionizada), posteriormente foram adicionados 2 mL de ácido ascórbico e 2 mL da mistura de reagentes e aguardados 20 minutos para a leitura da absorbância no espectrofotômetro a 880 nm.

❖ **P-CFAP (fósforo ligado à apatita biogênica, carbonato fluorapatita e adsorvido a CaCO_3)**

O resíduo do procedimento anterior foi tratado com a solução tampão acetato acético/acetato de sódio (pH = 4), com 50 mL por 6 horas e centrifugado. Retirou-se a alíquota. Foi realizada a extração com 50 mL de MgCl_2 a 1 M (pH = 8) por duas horas, para recuperar o fósforo adsorvido e então uma lavagem com água deionizada (50 mL), por 2 horas, resultando num volume de 150 mL, após 10 horas de extração.

O extrato final (acetato acético/acetato de sódio + $MgCl_2$ + H_2O deionizada) foi filtrado com filtro de porosidade de $0.47 \mu m$ e diâmetro de 47 mm. Assim como na etapa anterior, para realizar a análise o extrato também foi diluído, desta vez numa proporção de 1:8 (10 mL do extrato e aferido a 90 mL com H_2O deionizada).

Então foram adicionados 2 mL de ácido ascórbico e 2 mL da mistura de reagentes e aguardados de 20 minutos para que se realizasse a leitura da absorbância no espectrofotômetro a 880 nm.

❖ **P-FAP (fósforo ligado à apatita detrítica de origem ígnea e metamórfica)**

Para extração do fósforo ligado a apatita detrítica foi utilizado o resíduo do passo anterior, foram adicionados 50 mL de HCl a 1M ao extrato, sendo mantido em mesa agitadora por 16 horas, após isso foi centrifugado, e o sobrenadante transferido para um erlenmeyer.

Por fim, a solução extrato foi filtrada e posteriormente foi medido 5 mL da solução em proveta e aferido até 115 mL com água deionizada (diluição em uma proporção de 1:20). Então foram adicionados 2 mL de ácido ascórbico e 2 mL da mistura de reagentes e aguardados 20 minutos para a leitura da absorbância no espectrofotômetro a 880 nm.

❖ **P- Orgânico**

O resíduo final das etapas de extração do sedimento foi calcinado em mufla a uma temperatura de $550 \text{ }^\circ C$ durante 1 hora 30 minutos, para a completa remoção da matéria orgânica e extraído com 50 mL de HCl a 1M, as amostras permaneceram em mesa agitadora por 16 horas, posteriormente foram centrifugadas a 5.000 rpm durante 10 minutos e retirada a alíquota.

O extrato foi filtrado em filtro de fibra de vidro com porosidade de $0.47 \mu m$ e diâmetro de 47 mm, então foi medido 10 mL do mesmo e aferido até 50 mL com água deionizada (proporção de 1:4). Para a análise foram adicionados 2 mL de ácido ascórbico e 2 mL da mistura de reagentes, após 20 minutos foi realizada a leitura da absorbância no espectrofotômetro a 880 nm. A soma de todas as frações resulta no P-total.

$$\mathbf{P-bio + P-Fe + P-CFAP + P-FAP + P-org = P-total}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros hidroquímicos obtidos encontram-se na tabela 1. A temperatura é um parâmetro de grande importância, pois sua variabilidade tem influência em diversos processos, dentre eles ocorre o controle das taxas de reações químicas e biológicas (BAUMGARTEN et al., 2010). A temperatura média encontrada foi de 29,5 °C, com máxima de 30,8 °C na Ilha das Onças e mínima de 28,7 °C nos pontos Doca e Miramar, de acordo com Berredo et al., (2003) os estuários equatoriais possuem temperaturas típicas entre 28 a 30 °C. A mesma homogeneidade foi observada por Pinheiro (1987), os resultados obtidos pelo autor mostraram a existência de variações sazonais muito baixas nas águas estuarinas, sendo as variações horárias mais significativas.

O pH das águas do Estuário Guajará apresentou valores entre 6 e 7 (BERREDO et al., op. cit.). Valores de 4,5 podem ser encontrados em drenagens pequenas e não poluídas, sob influência de matéria orgânica (MAZZEO, 1991). Os valores de pH obtidos durante o presente trabalho se mantiveram na faixa de 6, com máximo de 6,66 no canal do Una e mínimo de 6,08 na ilha do Combu, esses valores mostram a influência que os ácidos orgânicos (húmicos e fúlvicos) exercem sob as águas na região, o ponto com menor pH fica na área mais vegetada, ou seja, que mostra um maior potencial na produção desses ácidos resultantes da degradação da MO, enquanto os outros pontos mesmo não possuindo proximidade com áreas vegetadas também sofrem influência de esgotos, o que segundo Moura (2007) também torna o pH ácido, uma vez que a decomposição da matéria orgânica libera gás carbônico que por sua vez reage com a água para formar ácido carbônico e conseqüentemente baixa o pH do sistema aquático.

A condutividade elétrica é a medida que expressa a capacidade da água em conduzir corrente elétrica, devido à presença de íons dissolvidos na água. A condutividade elétrica em águas estuarinas pode indicar a influência de águas marinhas, por meio da presença dos elementos maiores (CUNHA; PASCOALOTO, 2006). A média dos valores encontrados de condutividade foi de 0,12 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com máximo de 0,25 no canal da doca e mínimo de 0,03 na ilha das onças. Moura (op. cit.) encontrou no fim período de estiagem valores entre 736 a 1.600 $\mu\text{S cm}^{-1}$, porém segundo Carmo (comunicação pessoal), vazões elevadas dos rios podem ser observadas além do período de máxima pluviosidade compreendido entre 1983 a 2012, com meses de defasagem, então o mês de agosto, mesmo estando no período seco,

ainda sofre influência fluvial maior do que em novembro, mesmo assim os valores se mostraram bem menores que resultados anteriores.

Os sólidos totais dissolvidos atingiram concentração média de $0,05 \text{ g L}^{-1}$, com máxima de 0,09 no Maguari e mínima de 0,01 na Ilha das Onças. Em estudo realizado na mesma área, Gomes (2012) obteve valores entre 0,03 a $0,05 \text{ g L}^{-1}$, que são característicos da região e confirmam a influência da drenagem amazônica sobre a área de estudo (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Tabela 1 – Localização dos pontos de amostragem e parâmetros físico-químicos.

Ponto	Hora	Data	Latitude	Longitude	Temperatura (°C)	pH	STD (g L⁻¹)	Condutividade (μS cm⁻¹)
Miramar	09:40	02/ago	1°20'06,62"S	48°29'03,61"O	28,7	6,39	0,02	0,05
Ilha das Onças	13:54	02/ago	1°27'15,32"S	48°32'03,18"O	30,8	6,09	0,01	0,03
Una	14:27	02/ago	1°25'10,39"S	48°29'40,22"O	30	6,66	0,05	0,11
Doca	17:54	02/ago	1°26'24,41"S	48°29'42,46"O	28,7	6,7	0,08	0,25
Combu	08:25	05/ago	1°28'32,00"S	48°25'45,99"O	29,4	6,08	0,06	0,11
Tucunduba	14:13	05/ago	1°28'36,43"S	48°27'13,28"O	30	6,15	0,07	0,15
Maguari	09:55	08/ago	1°16'37,88"S	48°27'15,10"O	29,5	6,54	0,09	0,19

Fonte: Do autor.

4.2 Granulometria

Os resultados da granulometria estão apresentados na Tabela 2. A análise da granulometria pelo programa SysGran 3.0 possibilitou tomar conhecimento das principais características granulométricas como tamanho do grão, grau de seleção, assimetria, além das porcentagens de areia, silte e argila, além de fornecer histogramas de distribuição das escalas granulométricas.

Tabela 2 – Características granulométricas das amostras.

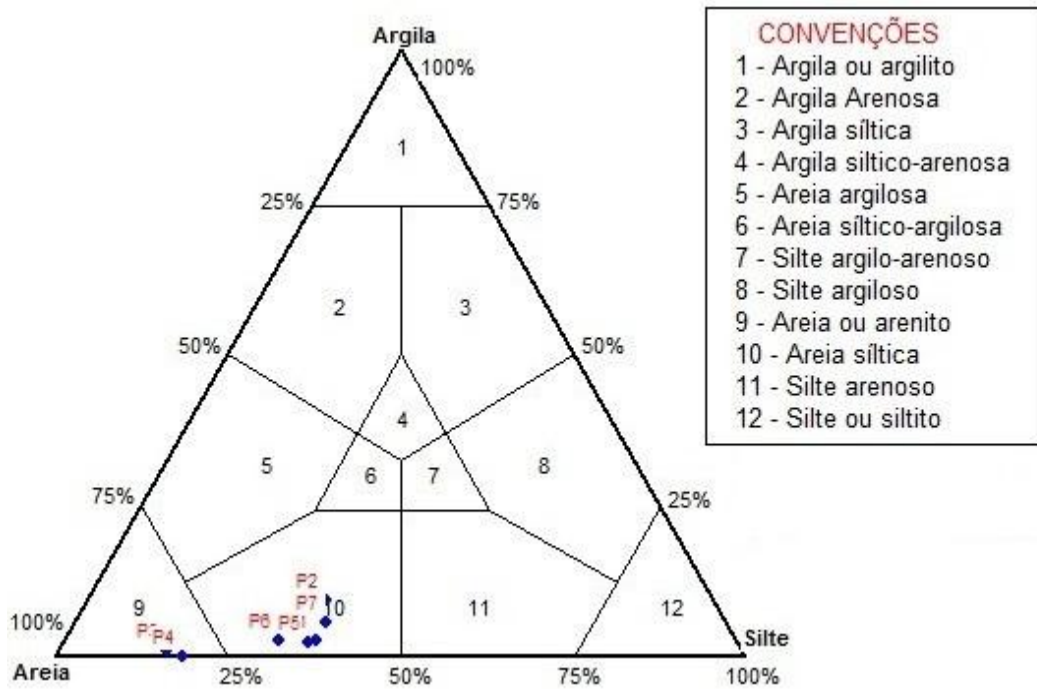
Ponto	Classificação	Grau de Seleção	% Areia	% Silte	% Argila
Miramar	Areia muito fina	Pobrementemente selecionado	60,79	36,42	2,79
Ilha das Onças	Silte grosso	Muito pobrementemente selecionado	56,12	34,52	9,37
Una	Areia muito fina	Pobrementemente selecionado	83,20	15,45	1,35
Doca	Areia fina	Pobrementemente selecionado	81,22	18,44	0,35
Combu	Areia muito fina	Pobrementemente selecionado	62,05	35,35	2,60
Tucunduba	Areia muito fina	Pobrementemente selecionado	66,36	30,93	2,71
Maguari	Areia muito fina	Muito pobrementemente selecionado	57,86	36,35	5,79

Fonte: Do autor.

O diagrama de Shepard, apresentado na figura 9 foi utilizado por se tratar de um modelo clássico em análises granulométricas, caracterizando basicamente o tamanho da partícula. O diagrama de Pejrup (Figura 10) foi utilizado para a interpretação baseada na granulometria e na hidrodinâmica local.

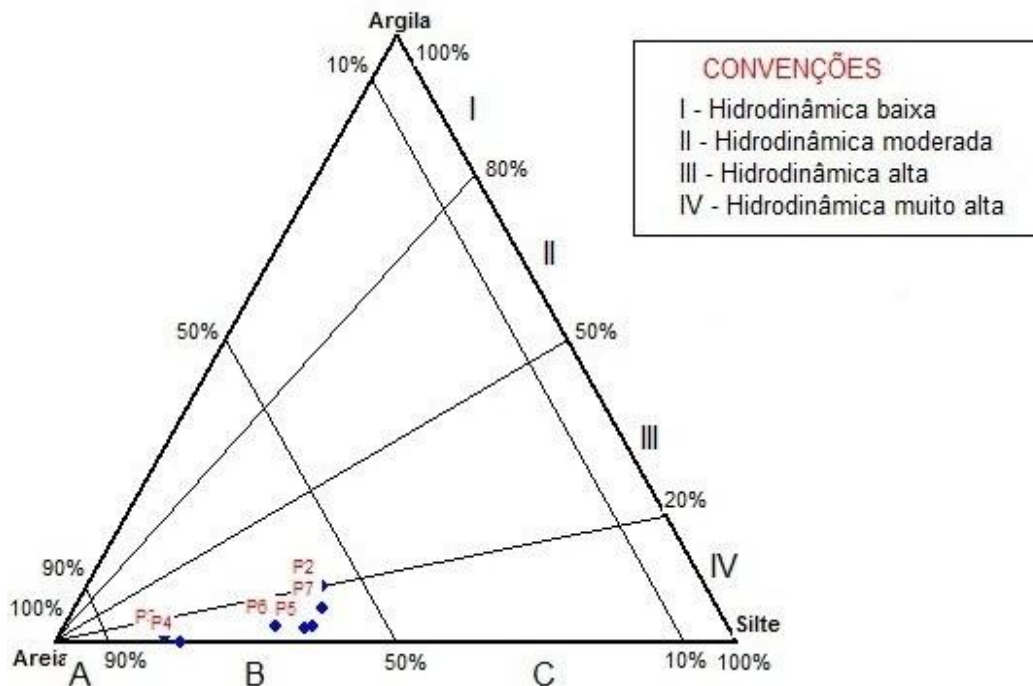
As amostras superficiais coletadas nas desembocaduras dos canais de drenagem de Belém apresentaram resultados ligeiramente diferentes entre si, sendo 5 pontos na classificação de areia muito fina, entre 25 e 50 % de areia (Miramar, Una, Combu, Tucunduba, Maguari), um ponto de areia fina (Doca) e um ponto de silte grosso (Ilha das Onças), classificados em pobrementemente e muito pobrementemente selecionados (Maguari e Ilha das Onças). O grau de seleção dos sedimentos mostra a medida da variação de tamanho de grãos nas amostras, sedimentos bem selecionados foram submetidos à ação prolongada da água, sedimentos pobrementemente selecionados não dispuseram de um transporte prolongado, estando estes próximos de sua origem.

Figura 13 – Diagrama de Shepard para as amostras superficiais.



Fonte: Do autor.

Figura 14 – Diagrama de Pejrup para as amostras superficiais.



Fonte: Do autor.

A distribuição do material granulométrico é fortemente relacionada à dinâmica das marés e das correntes na Baía do Guajará e no Rio Guamá. Pinheiro (1987) descreve que em zonas com forte hidrodinâmica pode ocorrer a erosão de substratos mais antigos bem como a deposição de areias mais grosseiras, em zonas de correntes mais fracas e moderadas ocorre deposição de areias finas a silicosas e nas áreas fora dos trajetos das correntes, que é o caso das margens mais protegidas ocorre o depósito de sedimentos finos (siltico-argilosos).

Considerando a distribuição dos sedimentos arenosos, acredita-se que há contribuição da Baía do Marajó e do Rio Pará. Através de correntes de maré, sedimentos arenosos podem ser trazidos para a baía, uma vez que se estabelece uma série de conexões e canais nos setores onde predominam as areias (GREGÓRIO, 2007), o que pode explicar os teores de areia nos pontos no setor oeste da cidade de Belém.

Na zona central ocorre uma bifurcação das correntes, uma segue o fluxo de enchente enquanto a outra acompanha o fluxo da vazante, o choque entre essas correntes acaba dissipando a energia, assim os sedimentos lamosos e/ou arenosos que estavam sendo carregados pelos rios Guamá e Acará são depositados ao longo da margem direita da baía, formando bancos lamosos e areno-lamosos com baixo grau de seleção, por conta dessa dissipação de energia ocorre uma extensa planície lamosa ao sul da cidade de Belém (GREGÓRIO, op. cit.).

O diagrama de Pejrup para as amostras superficiais as enquadraram no grupo IV-B, possuindo uma forte hidrodinâmica, com percentual de areia entre 50 a 90 %, no mês da coleta as marés atingiram amplitude média de 3 metros (DHN, 2014).

Segundo Pinheiro (op. cit.) as correntes apresentam valores de $2,1 \text{ m s}^{-1}$ na Baía do Guajará e velocidades máximas de $1,89 \text{ m s}^{-1}$ no Rio Guamá, estar presente num ambiente dominado por marés possibilita a deposição de sedimentos mais finos.

Os dados de granulometria obtidos estão de acordo com trabalhos anteriores, como Gregório (op. cit.) e Pinheiro (op. cit.), que caracterizam os sedimentos presentes na Baía do Guajará em duas fácies texturais: a fácies lamosa (com argila e silte) correspondendo às regiões marginais do estuário, enquanto a fácies arenosa (areia e areias siltosas) preenchem os principais canais e toda área central do Rio Guamá e da Baía do Guajará.

4.3 Carbono orgânico

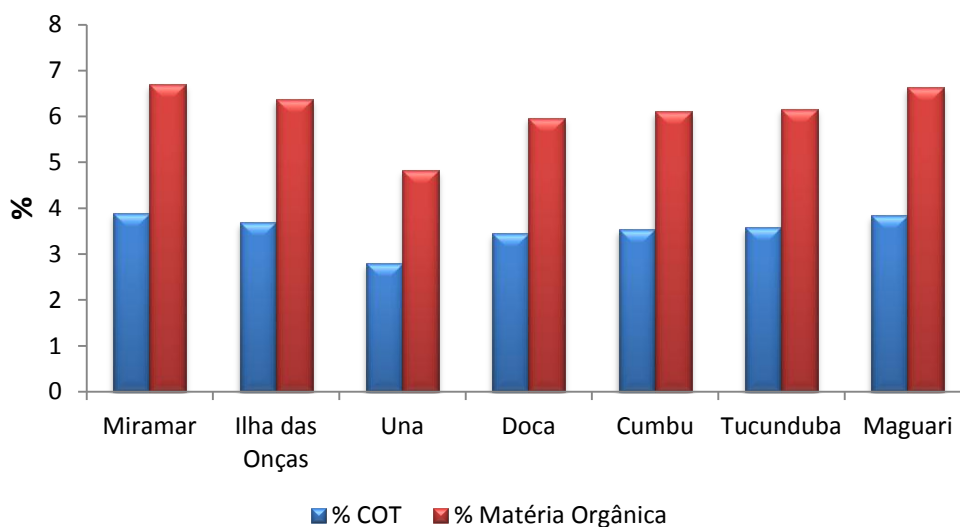
Os resultados obtidos no presente trabalho para COT e MO estão dispostos na Figura 11. Os conteúdos de COT variaram entre 2,8 % no canal do Una a 3,8 % no porto de Miramar, com média de 3,5 % na área de estudo. MO apresentou valores entre 4,8 e 6,7, com média de 6,1 %, se mostrando um pouco acima de valores encontrados em trabalhos anteriores na mesma área (Tabela 3).

No furo do Maguari o valor de COT foi de 3,8 %, para isso deve ser considerado que as margens do mesmo ainda possui vegetação, sendo bem preservada em sua margem direita e alterada em sua margem esquerda, cabe ressaltar que mesmo os pontos que não exibem vegetação nas margens recebem aporte de MO drenada de áreas vegetadas, Gregório (2007) ressalta a contribuição de indústrias madeireiras e estaleiros presentes nessa margem, colaborando para o enriquecimento de COT no sedimento desse ponto, outro fator a ser considerado é que a amostragem foi realizada na parte interna do furo do Maguari, sofrendo menor hidrodinâmica, segundo Tucker (1991), os teores de MO no sedimento, como os apresentados em áreas mais abrigadas, é indicativo de ambientes redutores ou de baixa degradação de MO, portanto, de ambientes de águas calmas e de baixa velocidade de correntes.

Segundo Gregório (2007) a área oeste de Belém (local onde se encontra o canal do Una, o porto de Miramar e o canal da Doca) está mais sujeita a ação de correntes de maré do que sua área sul e de acordo com Tucker (op. cit.), quando as correntes são mais efetivas, há uma maior oxigenação na área propiciando condições para oxidação da MO, reduzindo sua percentagem no sedimento.

A amostra coletada em Miramar apresentou 3,8 % de COT, o maior valor obtido, mesmo possuindo granulometria de areia fina, o que sugere um alto aporte na área. O principal motivo para isso é o Porto Petroquímico ali instalado, além do aporte de dejetos residenciais e de indústrias presentes na área. Gregório (op. cit.) destacou que no porto ocorre a movimentação de cargas como óleo diesel, querosene para avião, gasolina comum e outros derivados de petróleo.

A concentração de MO é afetada por muitas variáveis oceanográficas, como a profundidade da coluna d'água, a hidrodinâmica local, o diâmetro das partículas e outros (SOMMARUGA & CONDE, 1990).

Figura 15 – Valores de COT e MO para as amostras de sedimento.

Fonte: Do autor.

Tabela 3 – Porcentagens médias de COT e MO em sedimentos coletados na Baía do Guajará por diferentes pesquisadores.

% COT	% MO	Referência	Observação
2,4	4,2	Mazzeo, 1991	
7,8	13,4	Nascimento, 1995	Sedimentos de dentro dos canais da Quintino, Tamandaré, Reduto e Una
8,8	15,2	Santos, 1997	Sedimentos de dentro dos canais da Tamandaré e Doca
4,8	9,4	Gregório, 2007	
1,5	2,5	Holanda, 2010	
2,6	4,5	Gomes, 2012	Sedimentos coletados em frente ao Porto da palha, Tamandaré, Miramar e Ver-O-Peso
3,5	6,1	Presente estudo	

Fonte: Do autor.

O valor obtido no canal do Una esteve aquém do esperado, sendo de apenas 2,8 %, devido as correntes, já que a oxigenação ocasiona a degradação do COT. De acordo com Sudam (1976) se trata da foz da maior bacia de drenagem do município de Belém, por receber grande quantidade de dejetos residenciais, além de estar próximo a algumas indústrias. Sendo a granulometria de areia muito fina colabora para uma menor capacidade do sedimento em reter o COT. Saraiva (2007) obteve nesse ponto 1,1 % de COT e o atribuiu ao despejo de efluentes sem tratamento adequado.

O canal da Doca foi o único ponto a possuir a granulometria de areia fina, o que indica menor capacidade de reter COT, porém seu valor foi de 3,4 %, considerado alto quando comparado a média de trabalhos anteriores. Santos (1997) obteve 10,6 % de COT, porém sua amostragem foi realizada dentro do canal, que recebe pouca influência da maré, comparando-se a sua foz, a autora ressalta a influência que os dejetos residenciais exercem nesse ponto.

O canal do Tucunduba apresentou 3,5 % de COT, para isso deve ser levado em consideração o fato de ser uma grande bacia de drenagem, recebendo efluentes domésticos em alta quantidade (SUDAM, op. cit.) fazendo com que o aporte terrestre tenha grande influência nesse ponto, pois de acordo com Rodrigues (2009), atualmente a área é marcada pela concentração de casas construídas sobre os cursos d'água (palafitas), onde inexistem ou é insuficiente a infra-estrutura e os serviços básicos como: saneamento, tratamento dos esgotos domiciliares, industriais e comerciais e coleta e tratamento de lixo.

Além de toda a influência antrópica nos teores de COT, a vegetação em parte preservada em suas margens colabora para esse valor, mesmo sua granulometria sendo de areia muito fina. Mazzeo (1991) obteve nesse ponto valor de 2,8 % e o atribuiu ao despejo de resíduos sem tratamento adequado.

Os pontos Combu e Ilha das Onças foram tomados como referências, já que possuem pouca influência antrópica e contam com vegetação preservada em comparação com os demais pontos. O Combu apresentou 3,5 % de COT e granulometria de areia muito fina, a Ilha das Onças teve valor de 3,6 % de COT e silte grosso, nesse ponto Gregório (2007) encontrou valores médios de 5,6 % para o COT.

4.4 Fósforo

As concentrações obtidas para as frações de fósforo estão sumarizados na Tabela 4, a concentração de P-total foi máxima na amostra de Miramar e mínima na Ilha das Onças. O fósforo biodisponível apresentou as menores concentrações dentre todas as formas, teve em média a concentração de $0,7 \mu\text{mol g}^{-1}$, com máximo de 1 no Miramar e mínimo de 0,29 na Ilha das Onças. Andrieux & Aminot (2001) obtiveram valor similar em estudo no estuário de Gironde (França), com as maiores concentrações nas frações mais finas do sedimento, porém o oposto aconteceu, o máximo esteve em areia muito fina e o mínimo em silte grosso, porém essa fração independe da granulometria por se tratar da forma mais reativa, já que é rapidamente assimilada pelo fitoplâncton (BERBEL, 2008).

Tabela 4 – Concentrações das frações de fósforo em $\mu\text{mol g}^{-1}$ para as amostras da Baía do Guajará.

Ponto	P-Bio	P-Ferro	P-CFAP	P-FAP	P-Org	P-Total
Miramar	1,00	7,93	19,03	2,81	1,15	31,91
Ilha das Onças	0,29	2,93	16,78	1,48	1,39	22,86
Una	0,92	4,33	17,53	1,64	0,88	25,30
Doca	0,92	6,83	17,53	1,98	1,54	28,80
Combu	0,68	3,93	17,28	1,89	1,24	25,02
Tucunduba	0,53	6,53	20,28	1,73	1,78	30,85
Maguari	0,58	4,83	17,78	4,48	1,00	28,66

Fonte: Do autor.

Os resultados encontrados são comparáveis a de estudos similares em diferentes zonas costeiras (Tabela 5), e os percentuais de suas frações encontram-se na figura 12. Gaspar (2009) cita ainda que o fosfato lixiviado de plantações e provenientes de adubação chegam aos rios em sua maior parte na forma biodisponível, fato muito comum em sua área de estudo, porém pouco observado as proximidades da Baía do Guajará.

O P-Fe teve média de $5,3 \mu\text{mol g}^{-1}$, com máximo de 7,9 no Miramar e mínimo de 3,9 no Combu, a fração P-Fe foi a segunda em termos de representatividade no P-total, este fato pode ser explicado pela geologia regional, tendo em vista que uma das facies dos sedimentos Pós-Barreiras é a do arenito ferruginizado.

Berner et al., (1993) em estudo na foz do Rio Amazonas obtiveram valores próximos aos da Baía do Guajará, e notaram um enriquecimento dessa fração em partículas mais finas, pois possuem maior área de superfície para a adsorção de óxidos férricos coloidais, assim elevando o teor de P-Fe, o mesmo foi notado por Andrieux & Aminot (2001) no estuário de Gironde, porém resultados inferiores foram obtidos nesse trabalho. Berner et al., (1993) consideram ainda que processos microbianos no solo, que incluem a decomposição da MO e a solubilização do P-Fe, devem conduzir à diminuição nos valores dessa fração em sedimentos.

Tabela 5 – Comparação das frações de fósforo com outros estudos ($\mu\text{mol g}^{-1}$).

Local	P-bio	P-Fe	P-CFAP	P-FAP	P-org	Total	Referência
Estuário do Rio Jaguaribe/CE	*	1	0,8	1	2	5	Paula Filho, 2004
Foz do Rio Amazonas	*	6,6	4,1	2,8	6,7	20,2	Berner; Rao, 1994
Estuário de Gironde - França	1,6	3	5,9		6,8	25,4	Andrieux; Aminot, 2001
Estuário de Santa Cruz/PE	10,6		9,7		13,4	33,7	Gaspar, 2009
Plataforma de SC	*	6,9	7,7		7,3	18,7	Pellens et al., 1998
Baía do Guajará/PA	0,7	5,3	18	2,2	1,2	27,6	Presente estudo

*fração não determinada

Fonte: Do autor.

Paula Filho (2004) em estudo no estuário do rio Jaguaribe/CE afirma que a fração do P-Fe representa até 36 % do P-total, sendo o maior depósito de P nos sedimentos do estuário e mostrou forte relação com o oxigênio, dependendo das condições óxicas do sedimento, levando-se em conta a alta hidrodinâmica do estuário Guajará, pode-se inferir que esse fator contribui para os altos teores dessa fração. Berner et al., (op. cit.) citam ainda que se a decomposição microbiana da MO levar a anoxia no sedimento, em seguida, a redução e solubilização de oxi-hidróxidos férricos coloidais podem levar a perda de P-Fe.

Pellens et al., (1998) obtiveram valores próximos para essa fração em estudo realizado na plataforma continental de Santa Catarina, para isso atribuiu o fato da disponibilidade do ferro nas regiões costeiras, que apresentam condições favoráveis para a deposição desse constituinte, além de correlacionar os maiores teores as frações mais finas, e cita ainda que o material em suspensão auxilia nos valores dessa fração, já que favorece os processos de adsorção, o que também é válido para a Baía do Guajará, pois segundo Moura (2007) mesmo durante a estiagem possui valores de material em suspensão entre 14 a 22 g L⁻¹.

A P-CFAP atingiu valores em média de $18 \mu\text{mol g}^{-1}$, máximo de 20,2 no Tucunduba e mínimo de 16,7 na Ilha das Onças. A formação da hidroxiapatita e da fluorapatita ocorre sob condições aeróbicas, com o pH variando de 6 a 9, valores encontradas na região, a fração P-CFAP obteve os maiores valores percentuais em todas as amostras, o que pode ser atribuído a geologia local, já que a Formação Pirabas é rica em carbonatos e constituída por calcários diversificados e arenitos calcíferos, esta unidade é encontrada em várias profundidades ao longo do perfil litológico da região.

Paula Filho (2004) obteve valores muito abaixo dos observados na Baía do Guajará, porém ressalta que no estuário do Rio Jaguaribe em virtude da menor contribuição fluvial e da manutenção de altas salinidades durante a estiagem em todo o estuário, os processos biogeoquímicos nesta região são mais fortemente influenciados pelas condições marinhas do meio aquático, o que favorece a formação de depósitos de fósforo carbonáticos, sendo a fração P-CFAP a predominante. O mesmo não pode ser considerado para a região, já que a forçante fluvial supera a marinha, a salinidade somente é perceptível na Baía do Guajará durante o período menos chuvoso (junho a novembro), Cordeiro (1987) obteve salinidade na ilha de Mosqueiro no valor de 7.

Outro fator que colabora para concentrações da fração P-CFAP é a passagem do P-org, que se mantém preso no material húmico, sendo removida em curto prazo do ciclo do P e transformado em P-apatítico, nas camadas mais profundas e anóxicas do sedimento, através da ação de microorganismos e processos químicos de redução (PETTERSSON et al., 1988).

A fração P-FAP foi a terceira em termos de representatividade, logo acima das frações orgânica e biodisponível, porém obteve baixos valores, tendo concentração média de $2,2 \mu\text{mol g}^{-1}$, com máximo de 4,4 no Maguari e mínimo de 1,4 na Ilha das Onças. A apatita ígnea e metamórfica ocorre como grânulos e é comum em minerais pesados encontrados na areia e no silte dos sedimentos relativamente não retrabalhados (BERBEL, 2008).

Paula Filho (2004) considera que a fração P-FAP seja essencialmente fluvial, estando presente em maiores concentrações na parte continental do estuário, caracterizando essa fração como essencialmente natural. As características granulométricas indicaram pouco retrabalhamento nos sedimentos coletados, o que pode elevar os teores da fração P-FAP, porém esperava-se baixas concentrações, pois rochas ígneas e metamórficas estão fora do contexto regional.

A fração orgânica de fósforo em sedimentos estuarinos resulta da contribuição de diferentes fontes; sua variabilidade de composição dificulta a identificação e quantificação de

seus constituintes (RUTTENBERG, 1992), sendo proveniente de ácidos húmicos e de uma série de compostos orgânicos resultantes da excreção e morte de animais, senescência de folhas e lançamentos de esgotos (REDDY et al., 1999). O P-org teve média de $1,2 \mu\text{mol g}^{-1}$, com máximo de 1,7 no Tucunduba e mínimo de 0,8 no Una, possuiu baixa representatividade no P-total, além de estar em concentrações muito menores comparando-se a trabalhos em outras regiões estuarinas, o que indica pouca influência antrópica, já que essa fração é em geral proveniente de esgotos lançados nos corpos hídricos bem como das lixiviações que ocorrem nos solos de áreas agrícolas.

De acordo com Andrieux & Aminot (2001), as maiores concentrações de fósforo total estiveram diretamente relacionadas ao conteúdo silte-argila devido aos processos de retenção dos fosfatos nas superfícies das partículas do sedimento através de ligações iônicas. Em partículas maiores, como as de areia, esses fosfatos são facilmente retirados pelas correntes de fundo em contato com o sedimento, que os remobilizam de volta pra coluna d'água. Gaspar (2009) encontrou os maiores valores de P-org nos pontos próximos a efluentes domésticos e/ou agrícolas, nas áreas de menor hidrodinâmica e de sedimento mais fino.

As concentrações de P-total foram em média de $27,6 \mu\text{mol g}^{-1}$, com máximo de 31,9 no Miramar e mínimo de 22,8 na Ilha das Onças. O fósforo se adere mais facilmente a sedimentos de menor granulometria, porém esse comportamento não foi notado, pois a amostra com menor granulometria (Ilha das Onças, caracterizado como silte grosso), foi a que possuiu a menor concentração de P-total.

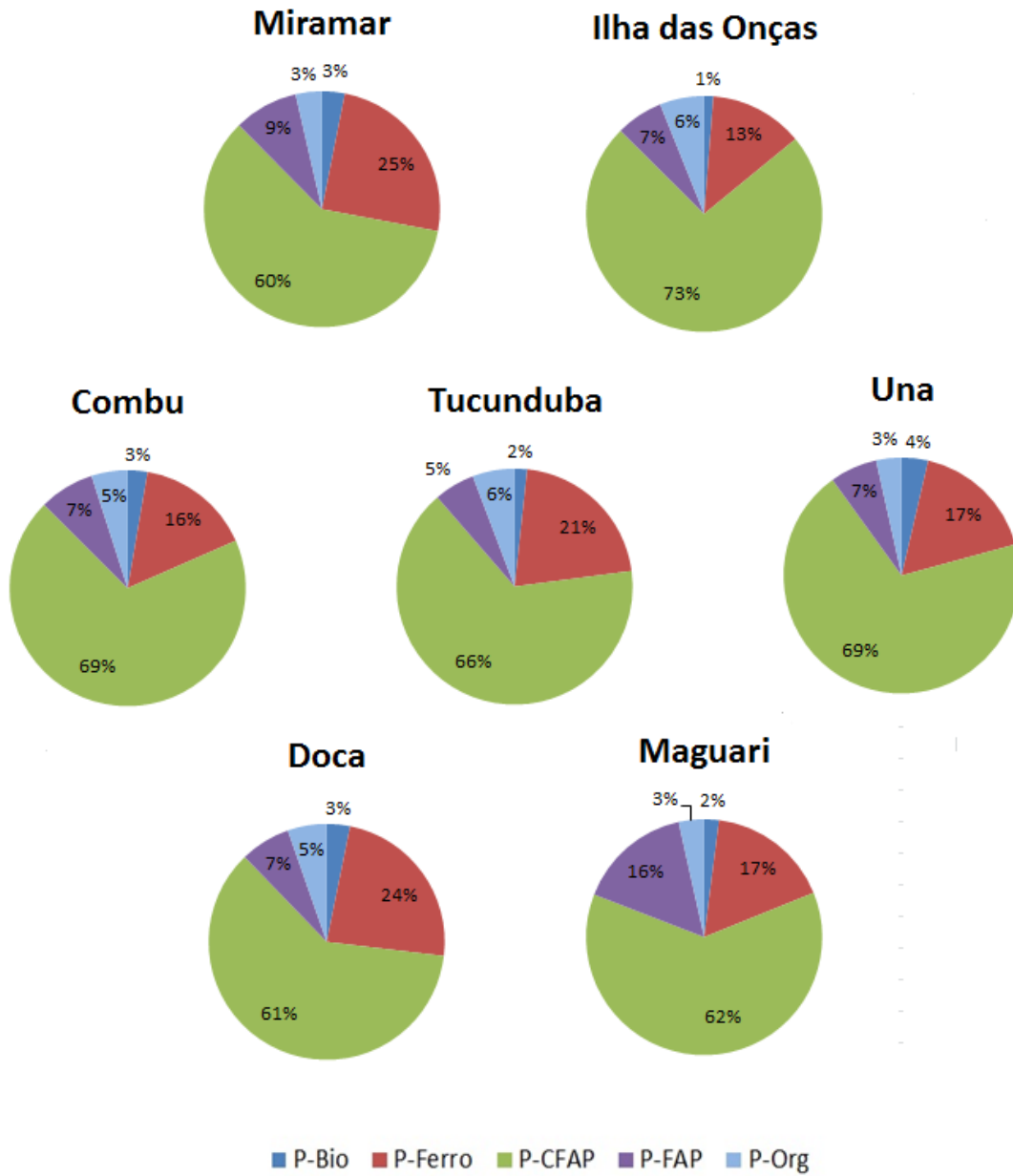
Parte do valor de P-total se deve a degradação de MO, uma outra parte é proveniente do despejo de esgotos, a essa razão pode-se creditar a baixa concentração no ponto, já que sofre menos impacto desse tipo, o mesmo é válido para a ilha do Combu, que obteve o segundo menor valor de P-total no estudo, sendo de $25 \mu\text{mol g}^{-1}$, além da distância dos meios poluidores outro fator que colabora para a baixa concentração é a granulometria, que nesse caso é de areia muito fina.

Miramar apresentou a maior concentração de P-total, provavelmente por ser uma área sujeita às intensas atividades do porto petroquímico, além de receber efluentes domésticos e estar próximo de áreas industriais. O ponto Tucunduba apresentou concentração de $30,85 \mu\text{mol g}^{-1}$, próxima a de Miramar, porém essa é a bacia drena regiões com elevado adensamento populacional e que não conta com saneamento básico, na área não há presença de indústrias, porém residências e curtumes lançam seus dejetos sem nenhum tratamento no

igarapé, o que deve resultar nesse alto valor de P-total. Em estudo recente, Gomes (2012) observou contribuição de matéria orgânica fecal nos sedimentos desses locais.

Pellens et al., (1998) determinou o fosfato de cálcio como a fração predominante entre as formas inorgânicas na maioria das estações da plataforma de Santa Catarina, apresentando maiores concentrações próximo à foz dos rios, porém os autores não separaram o fosfato de cálcio entre as frações P-CFAP e P-FAP, o que permite inferir que esses altos valores próximos a foz dos rios tenham sido provocados pela fração P-FAP que é essencialmente fluvial. Os autores citam ainda a importância de sedimentos marinhos e a disponibilidade de seu material carbonático para a composição da fração do fósforo ligada ao cálcio.

Figura 16 – Porcentagens das frações de fósforo nas amostras de sedimento da Baía do Guajará.



Fonte: Do autor.

5 CONCLUSÕES

Os resultados de COT e MO são comparáveis aos de trabalhos pretéritos. Comparando-se os dados com os de Mazzeo (1991), obtidos há duas décadas, percebe-se que o aumento da população da região metropolitana de Belém e o conseqüente aumento no volume de material despejado parecem não ter alterado os teores de COT sedimentar. Isso sugere que a principal fonte de COT está relacionada com a abundância da vegetação.

O presente trabalho resultou em dados inéditos com relação à distribuição das frações de P nos sedimentos da Baía do Guajará e Rio Guamá. Alguns trabalhos quantificaram apenas o P-total ou o P-org, como Holanda (2010) que avaliou o P-org na Baía do Guajará e encontrou valores médios de 126 mg kg^{-1} , com mínimo de 19 e máxima de 399, próximo ao Una e ao Miramar, em contraste com o presente trabalho cujos pontos foram os que demonstraram as menores concentrações para essas frações. As concentrações de P-total atingiram um máximo de $31,9 \text{ } \mu\text{mol g}^{-1}$, porém não se pode fazer qualquer afirmação quanto a influência antrópica no sistema, apenas suposições, já que esse é a primeira análise do gênero na área de estudo em questão.

Segundo a resolução CONAMA, o limite de fósforo total em águas doces é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, não havendo essa determinação de valor para o sedimento, o que dificulta ainda mais a análise.

Isto mostra a necessidade de pesquisas que abordem o tema na região, tendo em vista a importância que o fósforo exerce no ambiente aquático. Levando isso em consideração, pode-se supor que a área de estudo não sofre influência a ponto de ser caracterizado como degradada, pelo menos não em relação ao elemento fósforo.

A granulometria variou entre silte grosso a areia fina nos pontos de amostragem, onde as altas porcentagens de areia demonstram a forte hidrodinâmica atuante na Baía do Guajará e conseqüentemente no Rio Guamá, sendo as marés os principais agentes, o que possibilita a deposição de partículas finas, além de serem pobremente selecionados, indicando uma proximidade de sua fonte.

Ao contrário do esperado, as maiores concentrações de COT e fósforo não foram em sedimentos de menor granulometria, esses valores são fortemente influenciados pela hidrodinâmica, mostrando uma relação inversa com a mesma.

REFERÊNCIAS

- ANDRIEUX, L. F.; AMINOT, A. Phosphorus forms related to sediment grains size and geochemical characteristics in French coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.52, p. 617 – 629. 2001.
- ARANTES, J. L. G.; DAMASCENO, B. C.; KREBS, A. S. *Projeto Argila Belém*. Belém, CPRM/DNPM, 1972. 39p. (Relatório).
- BARCELLOS, R. L. *Distribuição da matéria orgânica sedimentar atual do sistema estuarino – lagunar de Cananéia-Iguape*. 2005. 185f. Tese (Doutorado) USP, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, São Paulo. 2005.
- BARCELLOS, R. L.; BERBEL, G. B. B.; BRAGA, E. S.; FURTADO, V. V. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia – Iguapé. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 4., 2003, Belém – PA. *Livro de resumos expandidos*. Belém – PA: ABGq, 2003. v.6, p.502-504.
- BAUMGARTEN, M. G. Z. *et al. Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande: Editora FURG, 2010. 174p.
- BERBEL, G. B. B. *Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e Plataforma Continental Sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região Antártica) considerando suas relações biogeoquímicas*. 2008. 102f. Tese (Doutorado) USP, Programa de Pós-Graduação em Ciências, área de Oceanografia Química e Geológica, São Paulo, 2008.
- BERNER, R. A.; RUTTENBERG, K. C.; INGALL, E. D.; RAO, J. L. The nature of phosphorus burial in modern marine sediments. In: WOLLAST, R.; MACKENZIE, F. T.; CHOU, L [eds.], *Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change*. Melreux, Belgium: Springer-Verlag, 1993. p.365 – 378.
- BERREDO, J. F. *et al. Caracterização química, físico-química, microbiológica da água superficial da Baía do Guajará (Belém, Pará)*. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/temp1/IEPA/CPAq/PETRORISCO/OUTROS/JoseBerredo_resumo_Petrorisco_PA.pdf>. Acesso em: 02/01/2013. 2003.
- BRAGA, E. S. *Bioquímica marinha - efeitos da poluição nos processos bioquímicos*. bioq. 2. ed. São Paulo: Fundespa, 2002. 108p.
- CHESTER, R. *Marine geochemistry*. London: Unwin Hyman, 1993. 698p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM (CODEM). *Plano de desenvolvimento da grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos de desenvolvimento*. Belém, 1975. v.1, 623p.

COOPERATIVA HABITACIONAL (COHAB). *Levantamento do quadro ambiental da região metropolitana de Belém – produto 3*. Ed. Belém: PNUB/IPESP/FADESP/COHAB. 1997. 158p.

CORDEIRO, C. A. *Estudo da salinização no estuário do rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro*. 1987. 119f, Dissertação (Mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Belém, 1987.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó – PA. *Pesquisas em Geociências*, UFRGS, v.32, n. 2, p. 109-118. 2005.

CUNHA, H. B. da; PASCOALOTO, D. *Hidroquímica dos rios da Amazônia*. Manaus : Centro Cultural dos Povos da Amazônia, 2006.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). *Tábuas de maré*. Disponível em: < <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2014.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de limnologia*. 3^a ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001.

FAIRBRIDGE, R. W. The Estuary: its identification and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I (Ed.). *Chemistry and biochemistry of estuaries*. N. York: Wiley, 1980. p. 1-36.

_____. Estuary. In: FAIRBRIDGE, R.W. (Ed). *The encyclopedia of geomorphology*. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 1989. v.3. p. 325-330. (Encyclopedia of Earth Sciences Series).

FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F. S. do; FERREIRA, M. A. A. *Estágio de Campo III. Relatório Final, área Belém/Outeiro*. Belém/UFPA: Centro de Geociências. Departamento de geologia, 1992. 247p.

GASPAR, F. L. *Análise da concentração de fosforo em sedimentos dos rios Botafogo e Carrapicho, no sistema estuarino do canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE*. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado). UFPE. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Recife, 2009.

GAUDETTE, H.; MULLER, G.; STOFFERS, P. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology.*, v.44, n.1, p.249-253. 1974.

GOMES, H. G. *Esteróides como biomarcadores de contaminação orgânica em sedimentos superficiais e testemunhos do estuário Guajará-PA*. 2012, 65f, Dissertação (Mestrado) - UFPA, PPGG, Belém, 2012.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M; KREMLING, K. *Methods of seawater analysis*. 3rd ed. Weihein: Verlag Chemie, 1999.

GREGÓRIO, A. M. da S. *Contribuição à gestão ambiental da baía de Guajará (Belém – Pará - Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico*. 2008, 128f. Dissertação (Mestrado) - UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, 2008.

HEDGES, J. I.; E PRAHL, F. G. Early diagenesis: consequences for applications of molecular biomarkers. In: ENGEL, M. H.; MACKO, S. A. (Eds.). *Organic geochemistry – principles and applications*. New York: Plenum Press, 1993. 861p.

HOLANDA, N. S. *Comportamento de metais pesados e nutrientes nos sedimentos de fundo da baía do Guajará e baía do Marajó*. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado) – UFPA, PPGG, Belém, 2010.

HUERTA-DIAZ, M. A.; TOVAR-SANCHEZ, A.; FILIPPELLI, G.; LATIMER, J.; SAÑUDO-WILHELMY, S.A. A combined CDB-MAGIC method for the determination of phosphorus associated with sedimentary iron oxyhydroxides. *Applied Geochemistry* v.20, p. 2108–2115. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo 2010*. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>. Acesso em: 23 jan. 2014.

LIBES, S. M. *Introduction to marine biogeochemistry*. 2nd ed, San Diego: Elsevier, 2009. 965p.

LIMA, R. R. A Agricultura da várzea do estuário do Amazonas. *IAN – Boletim Técnico*, n. 33. 19p. 1956.

_____. *Influência da água do mar no Rio Pará*. Belém, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP). 1979. (Inf. Téc, 3).

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe – Costa Nordeste Oriental brasileira, *Química Nova*, v.30, p.1208-1212. 2007.

MAZZEO, T. E. *Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém (PA) quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn*. 1991.164f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, PPGG, Belém, 1991.

MENDES, F. da C.; PEREIRA, J. A. R. Programas de esgotamento sanitário na região metropolitana de Belém. In: PEREIRA, J. A. R. (Ed.). *Saneamento ambiental em áreas urbanas: esgotamento sanitário na região metropolitana de Belém*. Belém: [s.n.], 2003. 203p.

MOURA, E. M. *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*. 2007. 80f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, PPGG, Belém, 2007.

NASCIMENTO, F. S do. *Dinâmica da distribuição do poluentes metálicos e orgânicos nos sedimentos de fundo dos canais de drenagem de Belém, PA*. 1995. 135f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, PPGG, Belém, 1995.

PAULA FILHO, F. J. *Distribuição e partição geoquímica de fósforo em sedimentos estuarinos do rio Jaguaribe/CE*. 2004. 88f. Dissertação (Mestrado) - UFCE, Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2004.

PELLENS, I. C.; BELLOTTO, V. R.; KUROSHIMA, K. N.; ABREU, J. G. N. *Resultados preliminares da distribuição de fósforo e suas formas nos sedimentos da plataforma continental do estado de Santa Catarina*. CTTMar-UNIVALI, NOTAS TEC. FACIMAR, 2:51-60, 1998.

PENTEADO, A. R. *Geografia urbana de Belém*. Belém: UFPA, 2v. 1968.

PETTERSSON, K. BOSTRÖM, B. JACOBSEN, O. S. Phosphorus in sediments: speciation and analysis. *Hydrobiologia*, v.170, p.91-101, 1988.

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)*. 1987. 185f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Belém, 1987.

REDDY, K. R.; KADLEC, R. H.; FLAIG, E.; GALE, P. M. Phosphorus retention in streams and wetlands: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and technology*, v.29, p.83-146, 1999.

RIBEIRO, K. T. S. *Qualidade sanitária da água em área de influência de duas bacias hidrográficas e saúde humana em Belém – Pará*. 2002, 280f. Tese (Doutorado) – UFPA, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2002.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. *Introdução à química ambiental*. 1ª ed. São Paulo: Bookman, 2004.

RODRIGUES, E. *De lugar de exclusão à força do lugar: a favela em uma "baixada" de Belém vista pela ótica da resistência*. Rio de Janeiro, s/e. 2009.

ROSSETTI, D. F. Late cenozoic sedimentary evolution in Northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, v.14, p.77-89. 2001.

RUTTENBERG, K. C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. *Limnol. Oceanog.* v.37, p.1460–1482. 1992.

SANTOS, M. T. P dos. *Avaliação ambiental da matéria orgânica degradada nos canais de drenagem da Região Metropolitana de Belém (PA)*. 1997. 118f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, PPGG, Belém, 1997.

SARAIVA, A. L de L. *Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na baía de Guajará-Belém (PA)*. 2007. 122f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, PPGG, Belém, 2007.

SCHUMACHER, B. A. *Methods for determination of total organic carbon in soil and sediments*. 2002.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. *Princípios de análise instrumental*. 5ª ed., Bookman, Porto Alegre, 2005.

SOMMARUGA, R; CONDE, D. Distribución de matéria orgânica em los sedimentos recientes de la Laguna de Rocha (Rocha, Uruguay). *Atlântica*, Rio Grande, v.12, n.1, p.35-44, 1990.

STERNER, R. W.; ELSER, J. J. *Ecological stoichiometry*. Princeton Univ. Press. 584p. 2002.

SUDAM. *Monografias da baixada de Belém*. 2ª ed. Belém. 2V. 1976.

TUCKER, M. E. *Sedimentary/Petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks*. 2ª ed. London Blackwell. Scientific Publication. 260p. 1991.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M., 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos. São Paulo.

WETZEL, R. G. *Limnology of lake and river ecosystems*. 3rd ed. Academic Press, San Diego, CA. 1006p. 2001.

ANEXOS

ANEXO A – Valores totais de carbono orgânico e fósforo.

Valores de COT e MO nos pontos superficiais e granulometria.

Ponto	Classificação	% COT	% Matéria Orgânica
Miramar	Areia muito fina	3,88	6,70
Ilha das Onças	Silte grosso	3,69	6,37
Una	Areia muito fina	2,80	4,83
Doca	Areia fina	3,46	5,97
Combu	Areia muito fina	3,54	6,11
Tucunduba	Areia muito fina	3,57	6,17
Maguari	Areia muito fina	3,85	6,63

Porcentagem de cada fração no fósforo total.

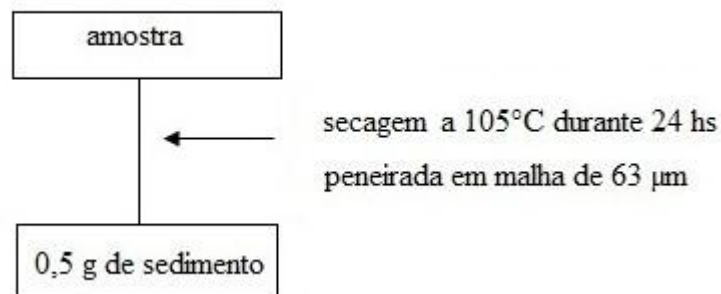
Ponto	P-Bio	P-Ferro	P-CFAP	P-FAP	P-Org
Miramar	3,13	24,85	59,63	8,80	3,60
Ilha das Onças	1,26	12,81	73,40	6,47	6,08
Una	3,63	17,11	69,28	6,48	3,47
Doca	3,19	23,71	60,86	6,87	5,34
Combu	2,71	15,70	69,06	7,55	4,95
Tucunduba	1,71	21,16	65,73	5,60	5,76
Maguari	2,02	16,85	62,03	15,63	3,48

Valor de fósforo total e granulometria.

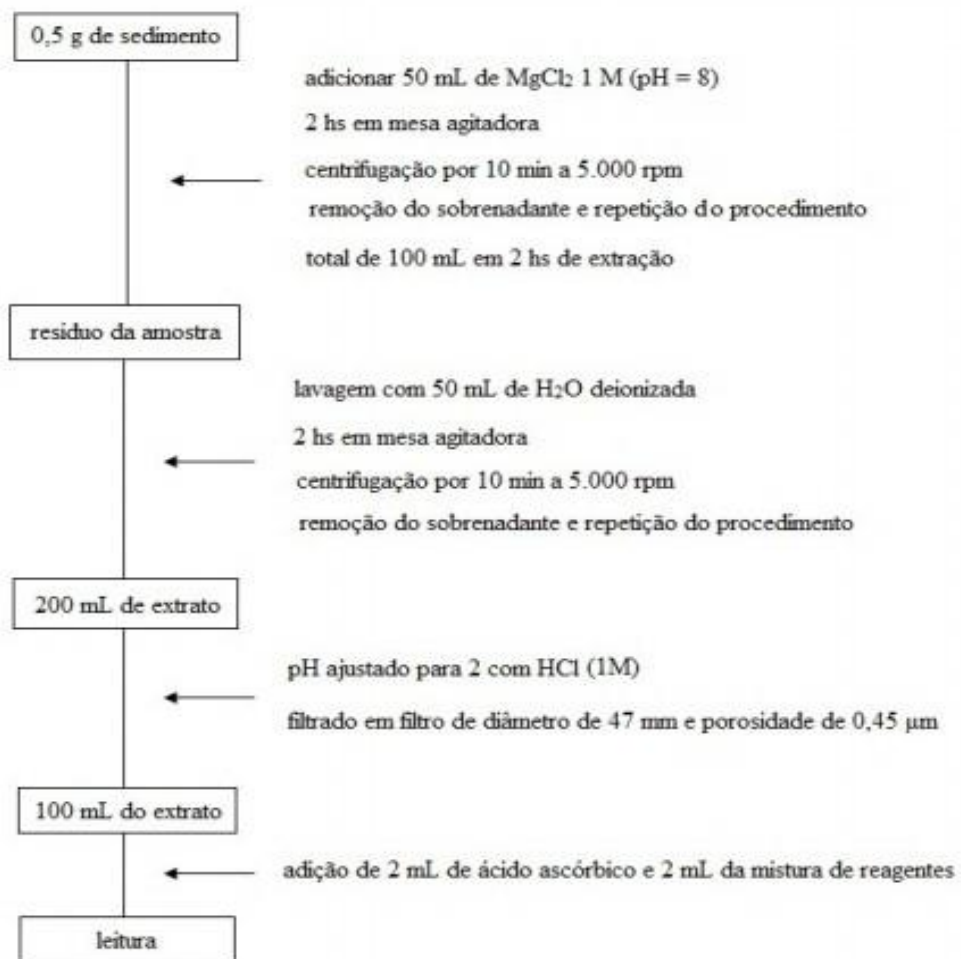
Ponto	Classificação	P-Total ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
Miramar	Areia muito fina	31,91
Ilha das onças	Silte grosso	22,86
Una	Areia muito fina	25,30
Doca	Areia fina	28,80
Combu	Areia muito fina	25,02
Tucunduba	Areia muito fina	30,85
Maguari	Areia muito fina	28,66

Anexo B – Fluxogramas para o método da extração sequencial do fósforo.

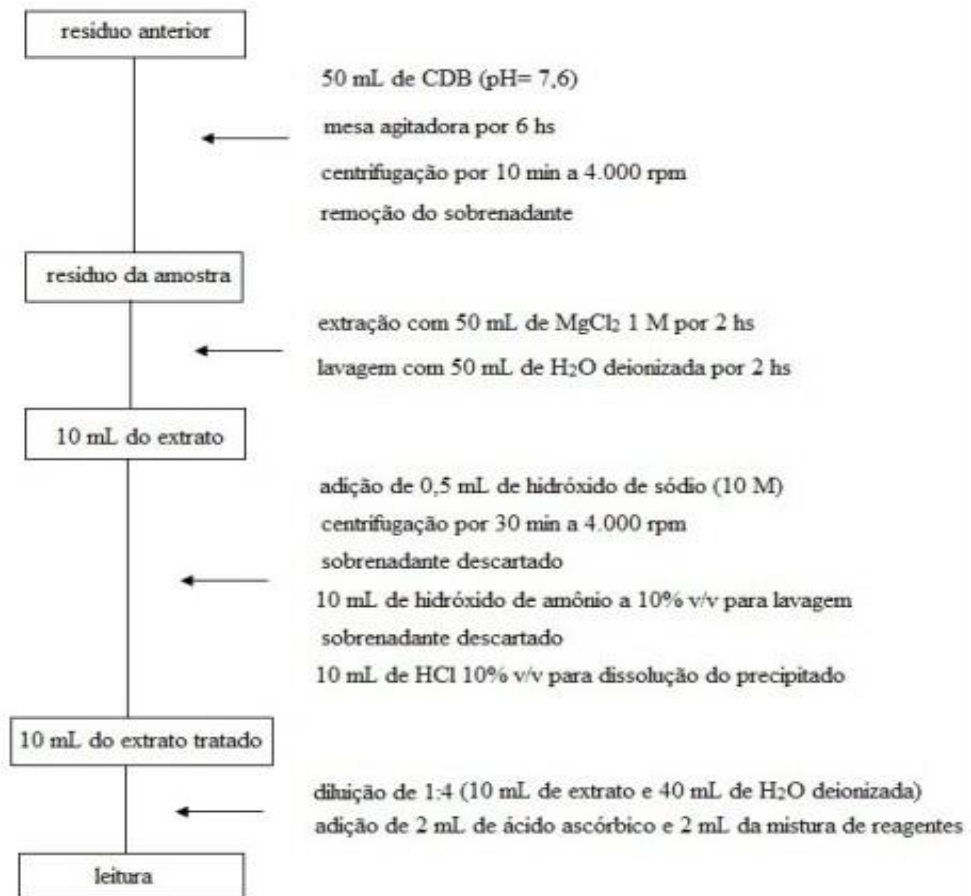
Fluxograma do 1º passo para o método da análise do fósforo.



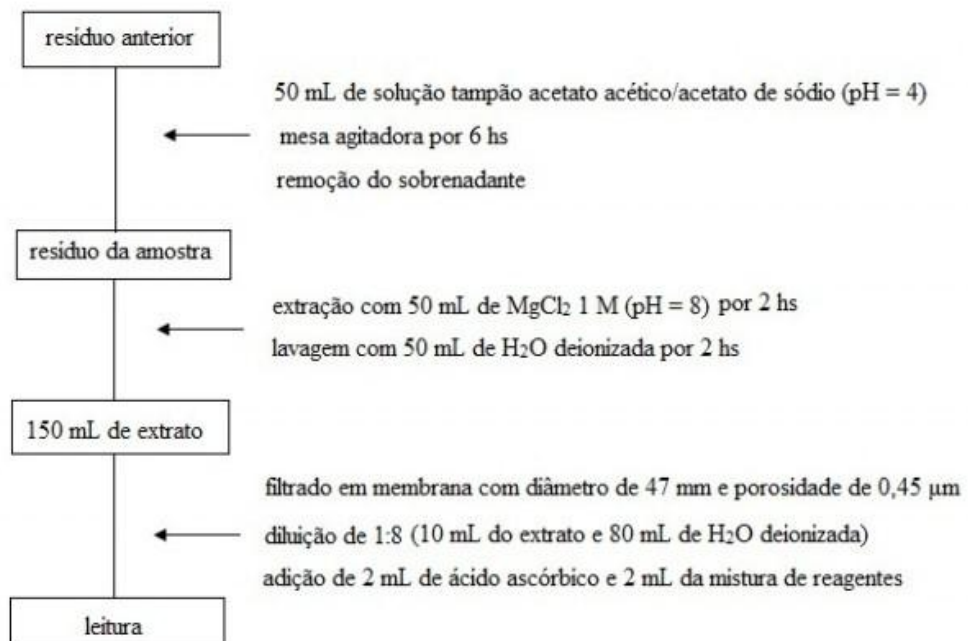
Fluxograma do 2º passo para o método da análise do fósforo.



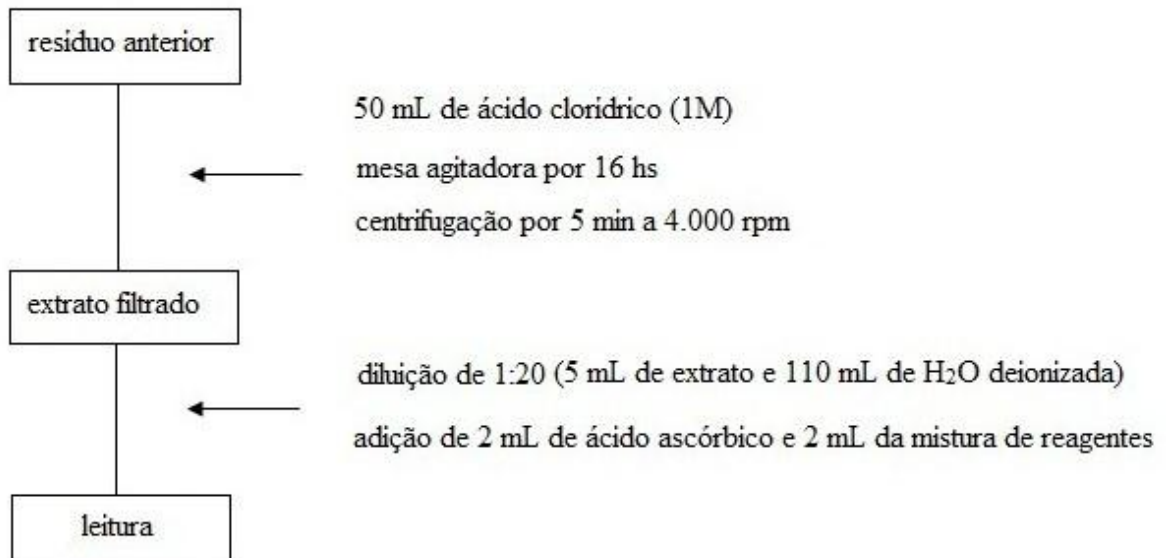
Fluxograma do 3º passo para o método da análise do fósforo.



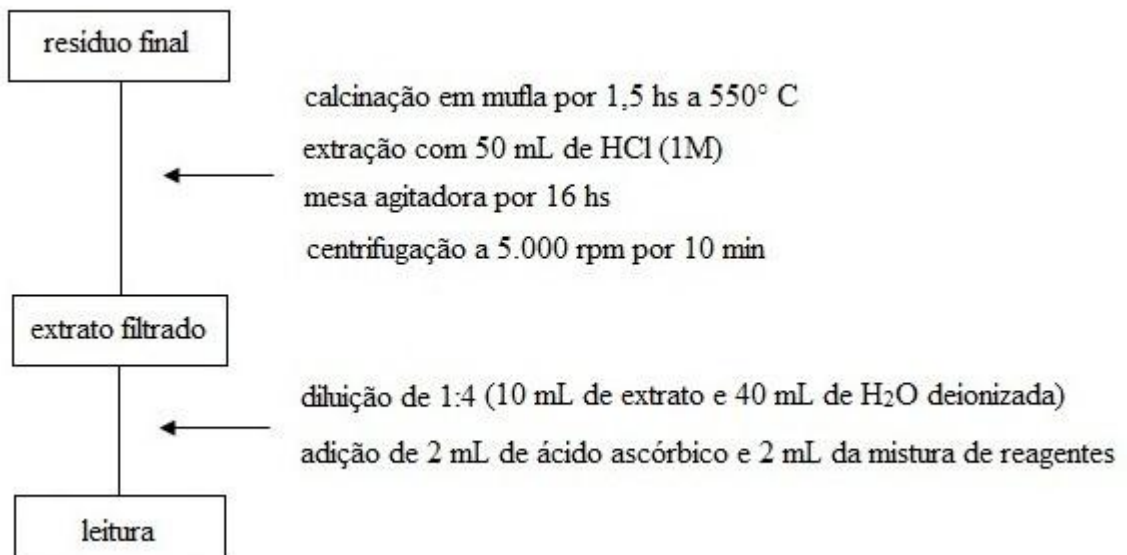
Fluxograma do 4º passo para o método da análise do fósforo.



Fluxograma do 5º passo para o método da análise do fósforo.



Fluxograma do 6º passo para o método análise do fósforo.



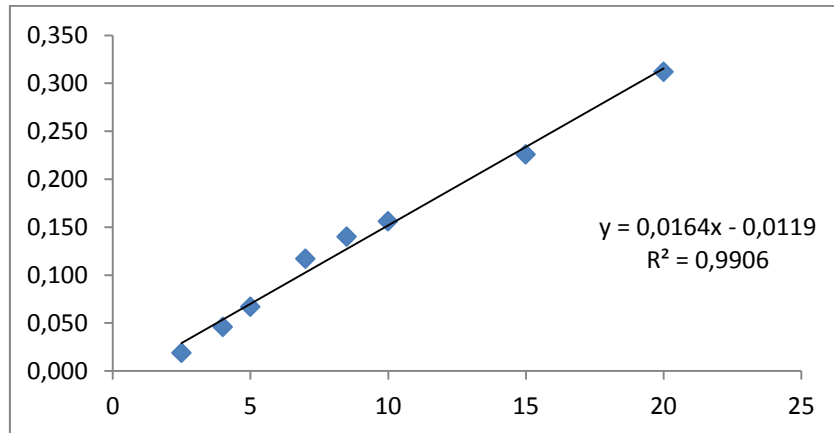
ANEXO C – Curvas de calibração da extração sequencial do fósforo.

Valores de absorvância

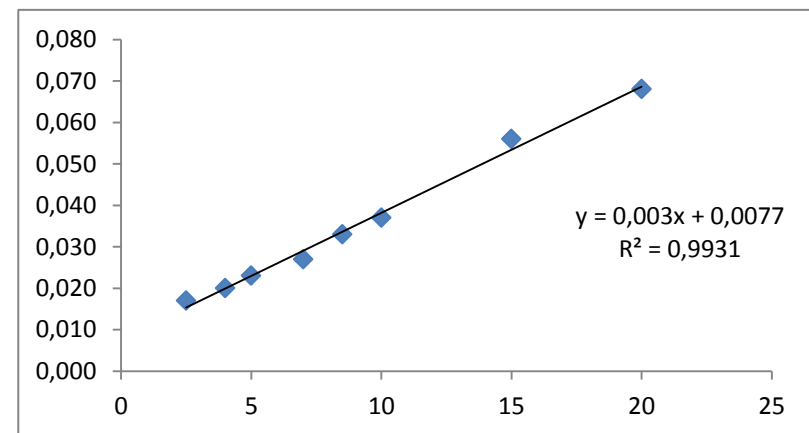
Ponto	P-bio	P-Ferro	P-CFAP	P-FAP	P-Org
Ilha das onças	0,084	0,099	0,071	0,084	0,107
Doca	0,110	0,138	0,074	0,090	0,112
Miramar	0,113	0,149	0,080	0,100	0,099
Una	0,110	0,113	0,074	0,086	0,090
Combu	0,100	0,109	0,073	0,089	0,102
Tucunduba	0,094	0,135	0,085	0,087	0,120
Maguari	0,096	0,118	0,075	0,120	0,094

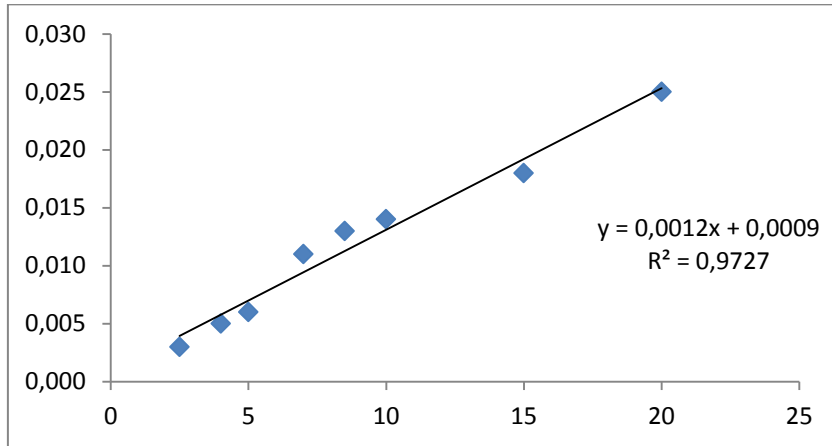
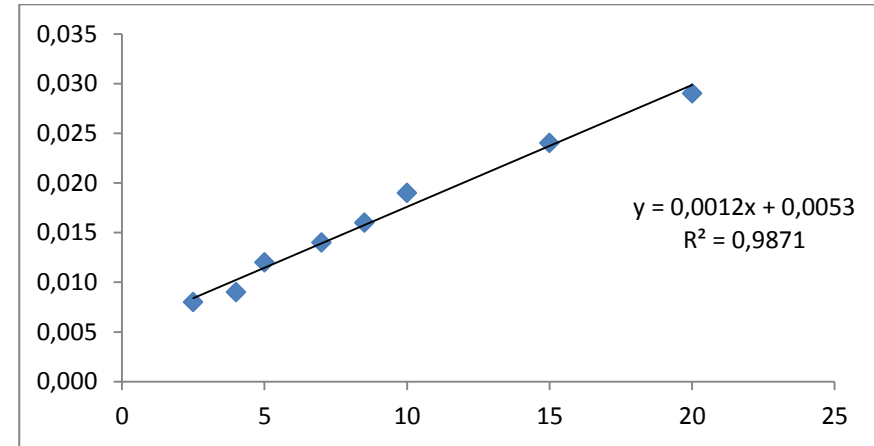
Curvas de calibração da extração sequencial do fósforo

P-Bio



P-Fe



P-CFAP**P-FAP****P-Org**