

## IV-025 - FORMAS INORGÂNICAS DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DO FURO DA LAURA (PARÁ, BRASIL)

**Ana Carolina Santa Rosa de Sousa** <sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental e de Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).  
Mestranda em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais pela Universidade Federal Rural da Amazônia.

**Francianne Vieira Mourão** <sup>(2)</sup>

Engenheira Ambiental e de Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).  
Mestranda em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais pela Universidade Federal Rural da Amazônia.

**Raquel Gomes da Silva** <sup>(3)</sup>

Engenheira de Pesca pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Mestranda em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais pela Universidade Federal Rural da Amazônia.

**Rosa Maria da Luz Mendes** <sup>(4)</sup>

Engenheira Ambiental e de Energias Renováveis I pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).  
Mestranda em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais pela Universidade Federal Rural da Amazônia.

**Maria de Lourdes Souza Santos** <sup>(5)</sup>

Química Industrial pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco. Professora associada da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Travessa Castanhal, Conjunto Paar, nº 07 - Maguari - Ananindeua - PA - CEP: 67145-855 - Brasil - Tel: (91) 988136518 - e-mail: [anacarolina\\_srsousa@outlook.com](mailto:anacarolina_srsousa@outlook.com)

### RESUMO

O trabalho objetivou melhor entender os processos biogeoquímicos que controlam as concentrações de fósforos no sedimento e procurou conhecer as frações em que este elemento se encontra. O carbono orgânico foi determinado baseado na oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio em meio ácido. As análises de especiação do fósforo ocorreram pela determinação dos ortofosfatos nas amostras. Os teores de matéria orgânica presente no sedimento dos dois meses de coleta oscilaram de 7,32% a 10,25% e 8,57% a 9,55%, respectivamente. Na especiação de fósforo, para o mês de Setembro, percebe-se que os valores mínimo e máximo encontrados para as três formas de fósforo variaram bastante ao longo do estuário, sendo 33,38  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 112,15  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio, 9,48  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 39,58  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Fósforo ligado ao cálcio, e 42,86  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 146,69  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Fósforo inorgânico, respectivamente. Mesmo ocorrendo lançamento de esgoto no leito do Furo da Laura, os valores de matéria orgânica foram baixos, comparando-se com ambientes já eutrofizados. Os resultados deste trabalho sugerem que tanto a coluna de água quanto os sedimentos superficiais do Furo da Laura não apresentam impactos pela diferentes especiações de fósforo investigado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estuário, Sedimentos Superficiais, Especiação de Fósforo.

### INTRODUÇÃO

Consideram-se como estuários os corpos de água costeiros semifechados que se ligam livremente com o oceano, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré, onde a água do mar é diluída pela água doce de drenagens continentais (MIRANDA et al. 2002). A zona costeira, ainda, possui elevado valor ecológico, social e econômico (SILVA, 2000) como é o caso do Furo da Laura, estuário localizado no município de Vigia no nordeste do Estado do Pará.

O município de Vigia destaca-se pela importante atividade pesqueira, onde parte da produção é exportada para outros municípios, inclusive Belém, outra é consumida pelos moradores da localidade. A pesca é predominantemente artesanal, havendo ainda outra atividade de importância econômica no município que é a extração do caranguejo (PARÁ, 2012).

Inserido neste município, o Furo da Laura tem como limite a Oeste braço de rio que faz limite com o município de Colares. Vários rios e igarapés convergem para o Furo da Laura, como o rio Bituba ou Patauateua, que servem de limite com o município de Santo Antônio do Tauá, bem como o rio Baiacu, ao sul e o rio Guarimã e seus afluentes, entre os quais o Santa Maria na margem esquerda e o Curuçazinho na margem direita (PARÁ, 2012).

O Furo da Laura, sendo área estuarina, é um ecossistema que constitui importante interface entre os ambientes continentais e marinhos, o qual recebe nutrientes e sedimentos advindos da drenagem continental (RAMOS, 2007).

Os sedimentos, por sua vez, possuem sua importância ambiental por representarem um compartimento de grande importância no sistema aquático, haja vista que estes refletem os processos que ocorrem na coluna d'água (BARCELLOS *et al*, 2003). Além disso, os sedimentos possuem uma participação ativa nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes e de elementos traços, atuando na remobilização, retenção e na biodisponibilidade dos mesmos, nos processos de oxidação da matéria orgânica e nos processos de adsorção (BERBEL, 2008).

Os sedimentos também estão inclusos no ciclo biogeoquímico de alguns elementos, como é o caso do fósforo. O ciclo do fósforo no sedimento é diretamente influenciado pela concentração de oxigênio presente na água de contato. Desta maneira, se a coluna d'água for aeróbica, o fósforo é precipitado no sedimento, enquanto que se esta for anaeróbica, o fósforo é liberado novamente para a coluna d'água (LIBES, 1992).

O elemento fósforo é imprescindível à formação da matéria orgânica, na medida em que integra estruturas importantes e faz parte do grupo de nutrientes essenciais à vida, e possui um ciclo biogeoquímico de destaque em ambientes costeiros e em diferentes graus de impactos antrópicos (BERBEL, 2008). Dessa forma, muitos são os estudos relacionados às formas de fósforo nos sedimentos aquáticos, porém a maioria contempla somente a determinação do fósforo total (PROTAZIO *et al*, 2004).

Para melhor entender os processos biogeoquímicos que controlam os níveis de fósforo biodisponíveis no ambiente procura-se conhecer as frações em que este elemento se encontra no leito sedimentar. Logo, a partição geoquímica da fração total nas formas orgânica e inorgânica, como também o detalhamento de tais frações, proporciona uma noção mais completa da dinâmica do elemento fósforo no sistema estuarino sedimentar (RUTTENBERG & BERNER, 1993; BERNER & RAO, 1994).

Dessa forma, com o intuito de orientar as pesquisas desenvolvidas a partir da extração sequencial e especiação de elementos, como também esclarecer e padronizar adequadamente o conceito de especiação, a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) publicou em 2000 o relatório "*Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological approaches*".

Segundo este relatório, o termo "especiação" deve se restringir à distribuição de um elemento entre espécies químicas numa determinada amostra ou matriz (TEMPLETON *et al.*, 2000), em outras palavras, pode-se entender este termo como sendo a distribuição de diferentes espécies químicas de um elemento em uma amostra, considerando e diferenciando ainda as espécies quanto ao estado de oxidação, complexão e não complexação (LADEIRA *et al.*, 2014).

A determinação química da especiação de fósforo é de extrema importância para o reconhecimento tóxico no ambiente e resulta em um excelente parâmetro para um melhor diagnóstico ambiental. A depleção de nutrientes nos fluxos fluviais, especialmente de fósforo pode alterar a produtividade biológica de ecossistema estuarino, pois o fósforo é considerado o principal fator limitante da produtividade de águas continentais (ESTEVES, 1998).

Assim sendo, o objetivo principal deste estudo é a determinação da matéria orgânica e as especiações químicas do fósforo, sendo o fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio, do fósforo ligado ao cálcio, e do fósforo inorgânico, nos sedimentos superficiais do furo da Laura, no município de Vigia de Nazaré, a fim de avaliar como se dá a distribuição dessas espécies químicas do fósforo no ambiente em estudo, bem como avaliar possíveis impactos antrópicos decorrentes das atividades humanas nessa região.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

Alguns autores acreditam que Vigia seja a mais antiga de todas as cidades da Amazônia, tendo sido fundada por Francisco Caldeira Castelo Branco durante sua expedição de conquista do Grão-Pará, em 06 de janeiro de 1616, seis dias antes da fundação da cidade de Belém (PARÁ, 2012).

Vigia destaca-se, principalmente, pela atividade pesqueira. Parte da produção pesqueira é exportada para outros municípios, outra parte é consumida pelos próprios moradores. O pescado também abastece os restaurantes, hotéis e barracas da cidade. A atividade é predominantemente artesanal. Além da pesca, outra atividade de importância econômica no município é a extração do caranguejo (PARÁ, 2012).

### LOCALIZAÇÃO

O município de Vigia (Figura 1) está inserido na mesorregião do nordeste do Estado do Pará e na microrregião do salgado, está a 93 km da capital Belém, e o acesso à cidade de Vigia se dá por meio da rodovia Br-316 até o município de Santa Izabel do Pará e depois pela PA-140. A sede municipal possui as seguintes coordenadas geográficas: 00° 51' 30" de latitude sul e 48° 08' 30" de longitude a Oeste de Greenwich (PARÁ, 2012).

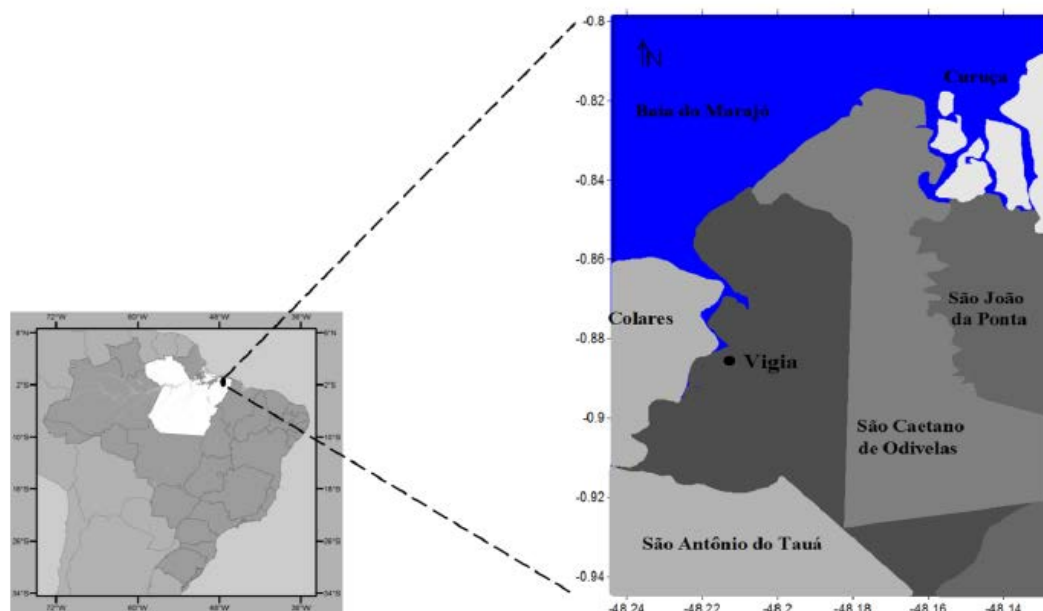


Figura 1 - Localização do município de Vigia Pará.

Fonte: Silva, 2013.

### HIDROGRAFIA

O Furo da Laura, também chamado de Guajará-Miri, é o principal acidente hidrográfico do município, este faz limite a Leste com Vigia e, ao Sul, com Santo Antonio do Tauá, e tem como um dos principais tributários o rio Baiacu (LIRA et al., 1989), para ele convergem vários rios e igarapés, onde se destacam Tauapará, Itajurá, Mariteua, Fazenda, Maracajá; além do furo Itaqueçaua (PARÁ, 2012).

O estuário do Furo da Laura é influenciado pelas variações das marés e suas águas são classificadas como sendo brancas, este corpo hídrico também possui altas concentrações de materiais particulados em suspensão (GUIMARÃES et al., 2013).

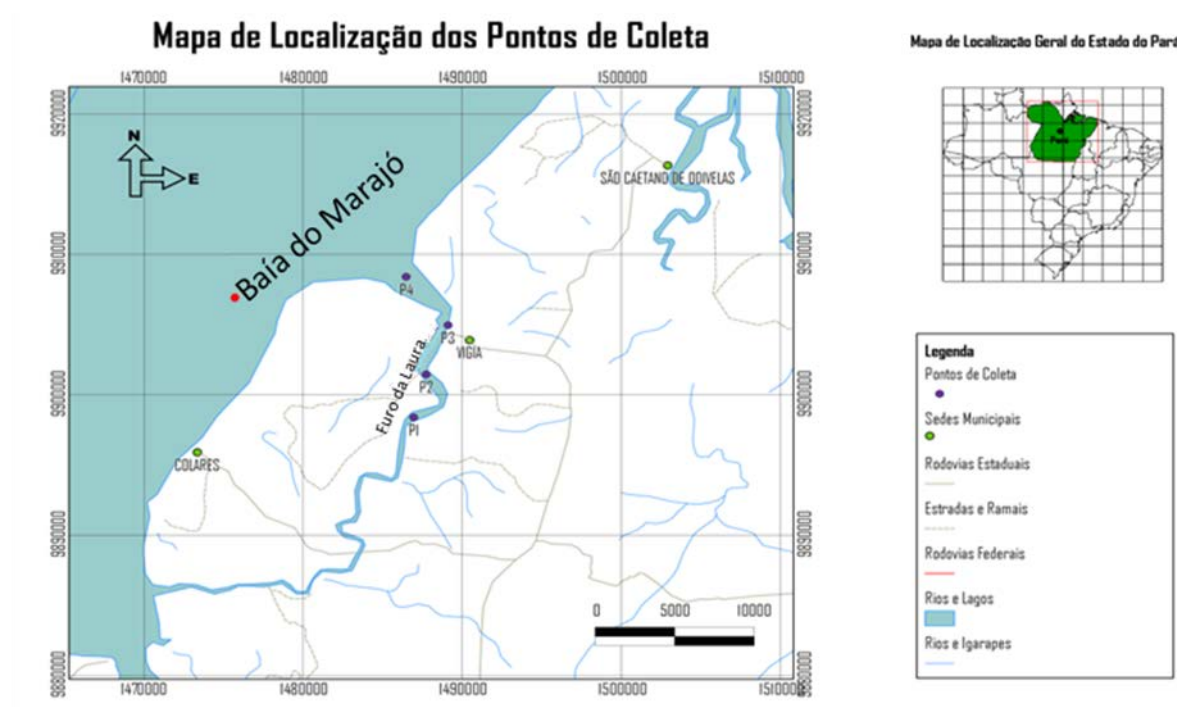
Inúmeros rios e igarapés da região convergem para o Furo da Laura. O rio Bituba ou Pataueteua faz limite entre Vigia e o município de Santo Antônio do Tauá; o rio Baiacu está ao sul enquanto que o rio Guarimã e seus afluentes estão à esquerda (rio Santa Maria) e direita (Curuçzinho). Além das microbacias, a Baía do Marajó também banha a área de estudo nas partes norte e oeste (PARÁ, 2012).

Apesar de ainda ser chamado de rio Guajará Miri, o Furo da Laura não possui características que o classifiquem como um rio, pois não há nascente ou fonte que façam suas águas correntes pelos continentes, nem cursos superior, médio e inferior (COELHO, 1988).

Assim, a área de estudo possui uma denominação regional chamada Furo. O “furo” consiste em um canal ou acidente hidrográfico que faz a conexão de lagos, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo, sendo, nesse último caso, fora da planície aluvial (PROJETO RADAM, 1974-78; MARINI, 2003; PIMENTEL, OLIVEIRA, RODRIGUE, 2012). Assim se enquadra o Furo da Laura que faz a ligação entre a área de estudo e a Baía do Marajó.

## METODOLOGIA DE CAMPO

As coletas de sedimentos superficiais foram feitas em quatro pontos (Figura 2) no estuário ao longo do furo da Laura, localizado em Vigia de Nazaré, demarcados por GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global), com utilização de um busca-fundo, durante os meses de setembro e novembro caracterizando primeira e segunda campanhas, respectivamente.



**Figura 2: Pontos de coletas de amostras de sedimentos superficiais, no Furo da Laura, Vigia, Pará.**  
Fonte: modificado de Santos (2013).

## ANÁLISES EM LABORATÓRIO

Todas as análises das formas de fósforo nos sedimentos coletados no Furo da Laura foram processadas em triplicatas, no Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. A determinação da matéria orgânica e das formas de fósforo as quais trata este estudo, depois das amostras processadas, seguiram a seguinte metodologia:

## MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica é um dos componentes mais importantes, responsável pela agregação e complexação de íons. Em sedimentos, a matéria orgânica é formada principalmente por substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúvicos) que tem como uma de suas principais características, a grande capacidade em adsorver e/ou complexar material particulado e poluente (DELFINO, 2006).

O percentual do teor de matéria orgânica foi calculado a partir dos valores de carbono orgânico através da equação:

Matéria Orgânica (%) = Carbono Orgânico (%) x 1,724 (EMBRAPA, 1997).

O carbono orgânico foi determinado segundo o método proposto por Loring & Rantala (1992), cujo princípio baseia-se na oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio em meio ácido. O excesso de dicromato (mistura oxidante) após oxidação será titulado com solução padrão de sulfato amoniacal.

## ESPECIAÇÃO DE FÓSFORO

As análises de especiação do fósforo na determinação dos ortofosfatos ocorreram de acordo com o método de Williams descritos em Protazio et al. (2004):

### FÓSFORO LIGADO AOS ÓXIDOS/HIDRÓXIDOS DE FERRO/ALUMÍNIO (FÓSFORO INORGÂNICO NÃO APATÍTICO- PINA)

Em tubos para centrífuga, foram colocados 0,50 g da amostra de sedimento. Foram adicionados 20,0mL da solução de NaOH 1 mol.L<sup>-1</sup> sob agitação durante 16 horas. Em seguida, as amostras foram centrifugadas por cinco minutos a 3.000 rpm. Do extrato foram retirados 10,0 mL e transferidos para um tubo de ensaio no qual foram adicionados 4,0 mL da solução de HCl 3,5 mol.L<sup>-1</sup>, deixando decantar por 16 horas para que ocorra a precipitação da matéria orgânica e para posterior análise dos ortofosfatos. A leitura foi realizada em um Espectrofotômetro Modelo DR/2010 da Hach, um instrumento mono-feixe, controlado por microprocessador, usado para testes colorimétricos em laboratório ou em campo.

### FÓSFORO LIGADO AO CÁLCIO (FÓSFORO INORGÂNICO APATÍTICO- PA)

À fase sólida resultante adicionou-se 12,0 mL da solução de NaCl 1 mol.L<sup>-1</sup>, deixando sob agitação por cinco minutos. As amostras foram centrifugadas, descartando-se o sobrenadante. Aos resíduos foram adicionados 20,0 mL de HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> deixando-se sob agitação por um período de 16 horas. As amostras foram novamente centrifugadas por igual período de tempo, rotação e temperatura, obtendo-se o extrato e posterior análise de ortofosfato. A leitura também foi realizada em um Espectrofotômetro Modelo DR/2010 da Hach.

### FÓSFORO INORGÂNICO (PI)

Foi determinado a partir do somatório da fração do PINA e do PA.

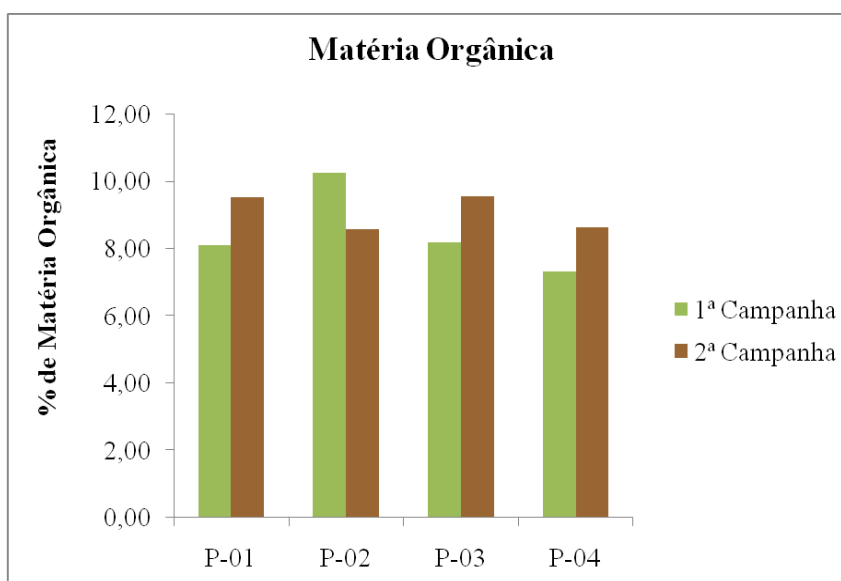
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica em ambientes naturais, apresentada na forma particulada ou dissolvida, é utilizada como fonte de energia, nutrição, formação de depósitos fósseis e registro das condições ambientais (Hedges e Prahl, 1993). A matéria orgânica associada aos sedimentos pode apresentar diferentes fontes. Sua origem pode estar relacionada a fontes naturais ou antrópicas exógenas ou produzida *in situ* pela decomposição e acumulação de organismos (SILVA, 2011).

Os teores de matéria orgânica presente no sedimento oscilaram nas duas campanhas de 7,32% a 10,25% e 8,57% a 9,55% respectivamente. As concentrações de matéria orgânica nas estações de coleta apresentaram uma distribuição bastante similar e homogênea. Esta variável apresentou pouca oscilação onde o menor valor foi encontrado no ponto 4 da primeira campanha e o maior valor no ponto 2 também da primeira campanha (Figura 3).





**Figura 3: Distribuição espacial do percentual de matéria orgânica (%) presente no estuário do Furo da Laura.**

Os valores da matéria orgânica apresentados nesta pesquisa foram superiores aos obtidos por Eschrique (2007) para o estuário do rio Jaguaribe no estado do Ceará, oscilando de 0,0 a 1,0% em setembro e fevereiro, respectivamente. Resultados encontrados por Subtil (2005) variaram de 1,39% e 17,69% para o rio Benevente no estado do Espírito Santo, apresentando valores bastante diferenciados ao registrado neste trabalho. Esses valores de matéria orgânica estão bem parecidos com os encontrados por Reitermajer (2011) para o estuário do rio Sauípe, litoral norte da Bahia, com mínima de 5,00% e máxima de 18,81%.

Verificou-se uma íntima associação do crescimento da matéria orgânica entre os meses amostrados, na qual no mês de novembro foi encontrada maior concentração, isso pode ter ocorrido provavelmente devido o índice pluviométrico ter sido maior nesse período fazendo com que ocorresse maior acúmulo de matéria orgânica no sedimento. Através de análises empíricas observou-se o despejo de efluentes domésticos no estuário do Furo da Laura, pois a cidade de Vigia não possui uma rede de tratamento de esgoto, ocorrendo o lançamento *in natura* do mesmo no leito do Furo. O incremento da matéria orgânica está associado às condições naturais de produção e acúmulo de material orgânico, principalmente de origem vegetal.

Segundo Esteves (1998) além dos modificadores naturais, como as mudanças climáticas, existe a contribuição direta do homem através de ações de diferentes naturezas e extensões, que na maioria dos casos levam a alteração significativa na qualidade dos ecossistemas estuarinos. As atividades antrópicas estão atualmente acelerando as transformações que ocorrem nos estuários.

## ESPECIAÇÃO DE FÓSFORO

O padrão de fluxos de fósforo entre sedimentos e a água circundante é um componente essencial para o do ciclo do fósforo em ambientes aquáticos. Vários fatores físicos, químicos, físico-químicos e biológicos interferem na precipitação (imobilização) e na mobilização dos íons fosfatos no ambiente aquático, dentre os quais destacam-se: a concentração dos íons de ferro, alumínio, sulfeto, compostos orgânicos e carbonatos, o pH e condições de oxirredução (ESTEVES, 2011).

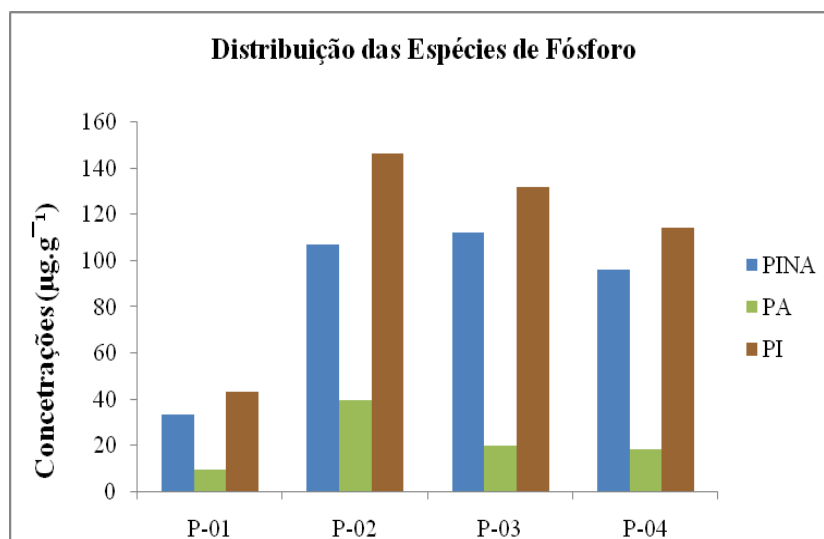
O resultado das concentrações das diferentes espécies de fósforo, obtidas segundo a metodologia proposta por Williams, na amostras de sedimento, bem como algumas variáveis estatísticas estão resumidos na Tabela 1 e Figura 4 para a Primeira Campanha, e Tabela 2 e Figura 5 para a Segunda Campanha.

Para a primeira campanha, correspondente ao mês de Setembro, percebe-se que os valores mínimo e máximo encontrados para as três formas de fósforo variaram bastante ao longo do estuário, sendo 33,38  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e

112,15  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o PINA, 9,48  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 39,58  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o PA, e 42,86  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 146,69  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o PI, respectivamente.

**Tabela 1: Mínimo, máximo, média e desvio padrão das concentrações das espécies de fósforo nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, para a Primeira Campanha.**

	PINA ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	PA ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	PI ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )
Mínimo	33,38	9,48	42,86
Máximo	112,15	39,58	146,69
Média	87,19	21,72	108,91
Desvio Padrão	36,49	12,72	45,97

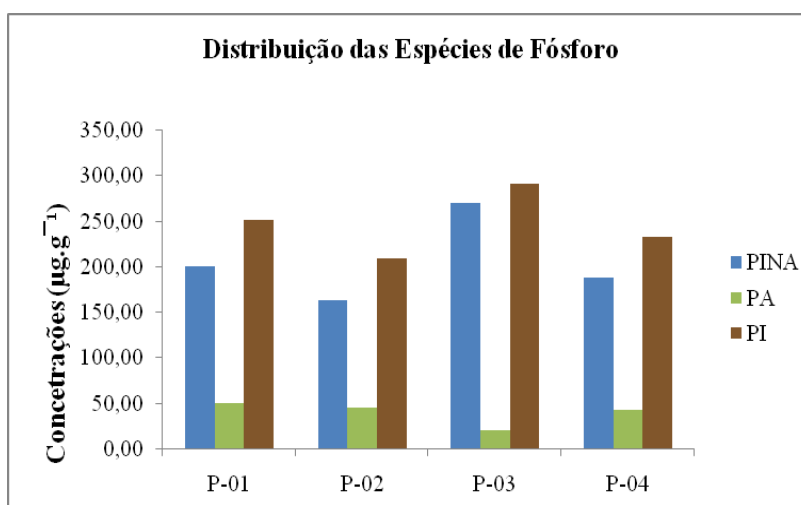


**Figura 4: Distribuição de Fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio (PINA), Fósforo ligado ao cálcio (PA) e Fósforo inorgânico (PI) nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Primeira Campanha.**

Para a Segunda campanha, correspondente ao mês de Novembro, os valores mínimo e máximo encontrados para as três formas de fósforo também sofreram grande variação ao longo do estuário, sendo 164,42  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 270,02  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o PINA, 21,51  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 51,33  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o PA, e 210,00  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 291,53  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o PI, respectivamente. Onde é importante destacar que as menores concentrações foram encontradas na especiação PA do fosfato para ambas as campanhas.

**Tabela 2: Mínimo, máximo, média e desvio padrão das concentrações das espécies de fósforo nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, para a Segunda Campanha.**

	PINA ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	PA ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	PI ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )
Mínimo	164,42	21,51	210,00
Máximo	270,02	51,33	291,53
Média	206,01	40,55	246,56
Desvio Padrão	45,26	13,09	34,53



**Figura 7: Distribuição de Fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio (PINA), Fósforo ligado ao cálcio (PA) e Fósforo inorgânico (PI) nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Segunda Campanha.**

Para o fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio (Fósforo Inorgânico Não Apatítico- PINA) a maioria das concentrações está acima dos valores encontrados no Rio Bacanga ( $83,8 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $104,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) na região do bairro Maracanã em São Luís por Protázio et. al. (2004). Exceto para os pontos P-01 e P-04 na primeira campanha com valores de  $33,38$  e  $96,11 \mu\text{g.g}^{-1}$  respectivamente, mas que não apresentam grande relação com o que foi encontrado por Protázio et. al. (2004) em seu estudo, e segundo este mesmo autor e Gachter (1998), a fração do fósforo associado ao ferro e alumínio (PINA), representa em grande parte os íons de ortofosfatos de origem antrópica adsorvidos sobre os hidróxidos de ferro e alumínio, com os quais formam complexos.

Valores de PINA também foram encontrados por Nunes (2013), com concentração de  $1,8$  a  $512,22 \text{ mg.kg}^{-1}$  também para o Rio Bacanga, em São Luís. Os valores encontrados por este autor também tiveram distribuição espacial e de concentração com grandes variações nos sedimentos superficiais do estuário, tal qual se pode observar neste estudo. Jesus (2013) também obteve resultados para PINA com média de  $223,38 \text{ mg.kg}^{-1}$  para os sedimentos do estuário do Rio Tibiri, no Maranhão.

Logo, através de análises empíricas, os pontos P-02, P-03 e P-04 na primeira campanha e todos os pontos na segunda campanha são áreas que sofrem bastante oxidação da camada superficial do sedimento, sendo grandes depósitos de fosfato no estuário do Furo da Laura. E segundo Wetzel (2001), na camada superficial oxidada do sedimento, que geralmente mede alguns milímetros de espessura, os agregados de oxi-hidróxido de ferro formam uma superfície para contínua adsorção do  $\text{PO}_4^{3-}$ , liberado pela decomposição microbiana. Essa condição impõe uma barreira para a difusão e retorno do fosfato para a coluna d'água.

Os trabalhos desenvolvidos por Bortleson (1974), mostraram que a ação dos íons de ferro sobre a dinâmica do fosfato depende do seu estado de oxidação que, por sua vez, depende da concentração do oxigênio e do pH do meio. Assim, em condições oxidantes, a forma iônica de ferro predominantemente no ambiente é o  $\text{Fe}^{3+}$ . Em pH próximo ao neutro como na maioria das águas continentais, o íon  $\text{Fe}^{3+}$  encontra-se na forma de oxi-hidróxidos de ferro (por exemplo  $\text{FeOOH}$ ). Oxi-hidróxido de ferro podem adsorver espécies fosfatadas ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) em sua superfície, precipitando-as no sedimento. Com base nessas premissas, o modelo clássico da ciclagem do fósforo descreve que o  $\text{PO}_4^{3-}$  é adsorvido a oxi-hidróxidos de ferro em ambientes oxigenados (KALFF, 2002; ESTEVES, 2011).

O fenômeno de adsorção de fosfato às argilas assume grande importância em águas continentais tropicais pelo fato de a maioria desses corpos d'água receber aportes de argilas de suas bacias de drenagem. Essas argilas ao atingirem os ecossistemas aquáticos podem, dependendo das condições físico-químicas do meio e das concentrações de ferro e alumínio, precipitar grandes quantidades de fosfato, reduzindo a concentração desse íon na água (ESTEVES, 2011).



Atualmente se considera que a taxa de liberação de fosfato do sedimento é controlada majoritariamente pela decomposição microbiana da matéria orgânica (KALFF, 2002; ESTEVES, 2011). Além disso, a ausência de oxigênio apenas não é uma condição suficiente para promover a redução de  $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$ , em parte porque os agregados de oxi-hidróxido de ferro são estabilizados por serem recobertos com matéria orgânica (KALFF, 2002; ESTEVES, 2011).

Quanto ao fósforo ligado ao cálcio (Fósforo Inorgânico Apatítico- PA), este representa os íons de ortofosfatos incluídos na estrutura cristalina da apatita não sendo, portanto, biodisponível (PROTAZIO, et al. 2004; SPAN, 1990). A especiação PA resultou em baixas concentrações de fosfato se comparada com as outras formas de fósforo investigadas neste estudo, possivelmente devido a não disponibilidade desta forma para o ambiente, e consequentemente para a coluna de água.

Nunes (2013) encontrou valores expressivos da fração inorgânica apatítica no Rio Bacanga, com variação de 1,21 a 286,14 mg.Kg<sup>-1</sup>, identificando uma quantidade razoável de fósforo nos sedimentos desse rio. Jesus (2013) encontrou em sua pesquisa valores do PI semelhantes aos encontrados neste estudo, variando de 98,35 a 82,53 mg.Kg<sup>-1</sup> para os sedimentos do estuário do Rio Tibiri, no Maranhão.

Pra o fósforo inorgânico (soma do PINA e do PA) os valores da concentrações para os pontos investigados foram altos, exceto para o ponto 1 da primeira campanha, haja vista que o PINA e o PA também tiveram baixas concentrações neste ponto. Observa-se então, que a montante do Furo da Laura se tem um estoque de fósforo inorgânico em menores concentrações se comparado com os pontos no decorrer do Furo até a jusante. Jesus (2013) encontrou em sua pesquisa valores do PI semelhantes aos encontrados neste estudo, variando de 269,41 a 324,75 mg.Kg<sup>-1</sup> para os sedimentos do estuário do Rio Tibiri, no Maranhão.

Comparado aos ciclos de outros elementos o ciclo do fósforo apresenta menor complexidade porque esse elemento é principalmente encontrado em uma única forma inorgânica, o fosfato (ESTEVES, 2011).

A mobilização do fosfato adsorvido a colóides ou combinado a outros elementos, bem como a decomposição de matéria orgânica, torna o fosfato disponível para produtores primários de bactérias associadas ao sedimento. Além disso, a difusão desse fosfato para camadas superiores da coluna d'água, ou sua retenção pelo sedimento também pode ocorrer, dependendo das concentrações de oxigênio, e de elementos como o ferro e o sulfato (ESTEVES, 2011).

Os estuários servem como filtros de materiais continentais em direção ao mar, atuando como zonas de deposição para alguns compostos químicos. No entanto, é importante salientar que estes podem não ser depósitos definitivos, em virtude de alterações geoquímicas do meio sedimentar ou aquático, ou como resposta a processos erosivos que resultam em remobilizações dos materiais depositados (MARINS et. al., 2007; DYER, 1997).

O fósforo de origem antrópica encontra-se principalmente 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 e ortofosfato e fosfatos inorgânicos condensados dos esgotamentos sanitários não tratados (MARINS et. al., 2007).

## CONCLUSÃO

Mesmo ocorrendo lançamento de esgoto no leito do Furo da Laura, os valores de matéria orgânica foram baixos, comparando-se com ambientes já eutrofizados.

O fósforo é um dos elementos da matéria orgânica sujeito a ficar retido nos sedimentos estuarinos, podendo ser provenientes de fontes antrópicas. Por isso, uma avaliação da especiação de Fósforo e matéria orgânica serve como um parâmetro para uma estimativa do impacto causado ao meio ambiente.

Os resultados deste trabalho sugerem que tanto a coluna de água quanto os sedimentos superficiais do Furo da Laura não apresentam impactos pela diferentes especiações de fósforo investigado.

A especiação química do fósforo no sedimento proporcionou informações de grande importância não apenas acerca da geoquímica do ambiente estudado, como também se este nutriente se encontra biologicamente disponível no estuário do Furo da Laura, haja vista que a determinação das diversas formas de fósforo nos sedimentos podem ser consideradas fontes potenciais de fosfato para a coluna d'água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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 – Iguape**. Livro de resumos expandidos do IV Congresso Brasileiro de Geoquímica. Belém – PA, p 502-504, 2003.
2. 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 Almirante (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas**. Tese (Doutorado em Ciências, área de oceanografia química e biológica). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2008.
3. BERNER, R.A., RAO J.L. **Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary**: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol.58. 10: p. 2333 – 2339, 1994.
4. BORTLESON, G. C.; FRED LEE, G. **Phosphorus, iron, and manganese distribution in sediment cores of six Wisconsin lake**. *Limnology and Oceanography*, Baltimore, v. 19, n. 5, September, 1974. p. 794-801.
5. COELHO, H. N. M. A. **Geografia Geral**. 2<sup>o</sup> ed. Revisão Ampliada. Org. MONTEIRO, E. F.; MEDDA, J. R.; SANCHES, O. D.; SOPRAN, O.; MOURA, S.; CASTELLO, W. Editora Moderna Ltda. São Paulo, Brasil, 1988. p.269.
6. DELFINO, I. B.; **Geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Maracanã, NE do Pará**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Federal do Pará, Belém, 2006.
7. DYER, K. R.; **Estuaries: A Physical Introduction**, 1<sup>st</sup> ed., Wiley: New York, 1997.
8. EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo**. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1). 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, p 212, 1997.
9. ESCHRIQUE, S. A. **Hidroggeoquímica do Fósforo no estuário do Jaguaribe (CE)**. Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Fortaleza-CE, 100p. 2007.
10. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2011.
11. ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2<sup>o</sup> ed. Interciência. p. 602. Rio de Janeiro. 1998.
12. GUIMARÃES, R. H. E.; CAMPOS, R. C. B.; EL-ROBRINI, M.; BAIA, I.P.; **Comportamento físico-químico das águas dos Furos da Laura e do rio Guajará-mirim durante o período chuvoso, Baía do Marajó – Pará**. In: 13<sup>o</sup> Simpósio de Geologia da Amazônia, Resumo Expandido. Anais. p.30-32, 2013.
13. HEDGES, J.I. E PRAHL, F.G. **Early diagenesis: consequences for applications of molecular biomarkers**. In: *Organic Geochemistry – Principles and Applications*. M. H. Engel and S. A. Macko (Eds.), New York: *Plenum Press*, 861 p. 1993.
14. JESUS, E. T. **Distribuição e fracionamento de fósforo em sedimento de manguezais do estuário do Rio Tibiri na Ilha do Maranhão, Região Amazônica**. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2013.
15. KALFF, J. **Limnology: inland water ecosystems**. Upper Saddle River, NJ.: **Prentice-Hall**, 2002. 592 p.
16. LADEIRA, A. C. et al. **Especiação química e sua importância nos processos de extração mineral e de remediação ambiental**. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, N<sup>o</sup> 8, p. 18-23, MAIO 2014. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/05-CTN3.pdf>>. Acesso em: 12 de Julho de 2014.
17. LIBES, S. M. **An Introduction to Marine biogeochemistry**. New York: Wiley e Sons, 5: 734p, 1992.
18. LORING D.H. & RANTALA R.T.T. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter**. *Earth-Science e Reviews*. v.32: 235-283p. 1992.
19. MARINI, S. S. **Mapeamento da hidrografia da Amazônia por meio de imagens orbitais após estudo hidrológico preliminar do complexo fluvial Solimões/Amazonas**. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Resumo Expandido, Belo Horizonte, p. 2541 –2548, 2003. Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.05.11.28/doc/18\\_037.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.05.11.28/doc/18_037.pdf)>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

20. MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J. de; ROCHA, C. A. S. **Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos Estuarinos do rio jaguaribe** - costa nordeste oriental brasileira. Química Nova, Vol. 30, No. 5, 1208-1214, 2007.
21. MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. **Princípios da oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002.
22. NUNES, M. L. F.; **Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2013.
23. PARÁ. Estatística Municipal - Vigia. Belém, 2012. Disponível em: <[www.governodopara.pa.gov.br/estatisticamunicipal/vigia.asp](http://www.governodopara.pa.gov.br/estatisticamunicipal/vigia.asp)> Acesso em: 23 abril. 2014.
24. PIMENTEL, M. A. S.; OLIVEIRA, I. S.; RODRIGUES, J. C. M. Dinâmica da paisagem e risco ambiental na ilha de Caratateua, Distrito de Belém-PA. **Revista Geonorte**, v.1, N.4, p.624 – 633, 2012.
25. PROJETO RADAM. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: DNPM, v.5,7,10 e 18, 1974-78.
26. PROTAZIO, L.; TANAKA, S. M. C. N.; CAVALCANTE, P. R. S. **Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento**. Analytica. Dezembro/Janeiro 2004. Nº 08.
27. RAMOS, C. A. R. **Qualidade ambiental, Distribuição e Densidade do Meso zooplâncton do estuário de Guajará-miri, Vigia de Nazaré NE do Estado do Pará**. Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de pós-graduação em ciência animal, Belém. 2007.
28. REITERMAJER, D.; VIANA, J. C.; QUEIROZ, A. F. S.; CELINO, J. J. **Geoquímica dos sedimentos de manguezais do estuário do rio Sauípe, Litoral norte da Bahia, Brasil**. Cadernos de Geociências, v. 8, n. 2, 99-106p. 2011.
29. RUTTENBERG, K.C.; BERNER, R.A. **Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling, continental margin environments**. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 57: p. 991 – 1007, 1993.
30. SILVA, L. A. O. **Distribuição da Matéria Orgânica em Sedimentos da Planície Flúviomarinha do Delta do Parnaíba, PI**. Monografia em ciências Biológicas. Universidade Federal do Piauí. 2011.
31. SILVA, M. C. **Estuários – Critérios para uma classificação ambiental**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n 1, jan/mar, 2000. 25-35p.
32. SPAN, D. (1990). **Evolution du phosphore dans léau interstitielle et dans les sediments**. Evolution de la pollution métallique. Rapp. Comm. Int. prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 1989, p. 115-135.
33. SUBTIL, E. L. **Variação espacial da granulometria, matéria orgânica e fósforo total no sedimento na área sob influência de cultivo de mexilhões, Anchieta-ES**. Graduação em Oceanografia. Universidade federal do Espírito Santo. Vitória. 39p. 2005.
34. TEMPLETON, D. M. et al. **guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. definitions, structural aspects, and methodological approaches**. In: Pure Appl. Chem., Vol. 72, No. 8, pp. 1453–1470, 2000.
35. WETZEL, R. G. **Limnology**. Philadelphia, W.B. Saunders, 3d. 743 p. 2001.