



Avaliação das Formas de Fósforo nos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental do Rio Amazonas *

Evaluation Forms of Phosphorus in Surface Sediments of the Continental Shelf of the Amazon River

Maria de Lourdes Souza Santos ^{@,1}, André Luis de Lima Saraiva ²,
Ismaily Bastos Delfino ³, Leny da Conceição Antunes ⁴, Rosa Maria Matos Batista ⁴,
Igor Charles Castor Alves ⁵

RESUMO

O fósforo transportado através das águas dos rios para os oceanos passa pelos estuários onde consideráveis processos ocorrem, e alteram a disponibilidade biológica e o fluxo do fósforo para a área costeira e oceânica. Por outro lado, a mistura da água do rio com a água do mar nos estuários cria algumas características químicas únicas, e ocorrem processos consideráveis que alteram sua disponibilidade e afetam a adsorção do fosfato inorgânico nas partículas. Na região Norte do Brasil localiza-se a maior zona estuarina do mundo formada pela descarga do rio Amazonas na sua desembocadura. Amostras de sedimentos foram coletadas a bordo do Navio Oceanográfico "ANTARES" da Marinha do Brasil. A distribuição do fósforo orgânico na camada sedimentar superficial mostra as maiores concentrações próxima da costa. Essa distribuição na camada sedimentar também foi verificada para o fósforo inorgânico e fósforo total. As concentrações das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas foram significativas, o que indica ser um estoque importante deste nutriente. Ressalta-se que na zona de mistura ocorre à entrada desse nutriente e a retenção no sedimento, representando uma reserva adicional para a produção primária. Os valores percentuais médios para a fração do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico foram próximos, indicativo que a produção da matéria orgânica na coluna de água deve favorecer o aporte da forma orgânica para o sedimento.

Palavras-chaves: fósforo, sedimento, Amazonas.

@ Autor correspondente: mdelsantos@yahoo.com.br

1 Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Sócio Ambiental e dos Recursos Hídricos, Av. Tancredo Neves, 2501. 66077-530. Belém, PA, Brasil.

2 Universidade Federal do Pará, Instituto Tecnológico, Av. Augusto Corrêa, nº 01, 66075-110. Belém, PA, Brasil.

3 Escola Superior da Amazônia. Av. José Bonifácio, nº 893, 66063-010. Belém, PA, Brasil.

4 Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Pesca, Campus Universitário de Bragança, Alameda Leandro Ribeiro s/n, 68600-000 Bragança, PA, Brasil.

5 Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Av. Augusto Corrêa, nº 01, 66075-110. Belém, PA, Brasil

* Submissão – 22 Maio 2010; Avaliação – 7 Julho 2010; Recepção da versão revista – 21 Outubro 2010; Disponibilização on-line – 24 Novembro 2010

ABSTRACT

Phosphorus is essential to life due its role in the structural constitution of animals and plants, as well as for its metabolism working. This element is transported to the oceans through the waters of rivers, however, passes through estuarine areas where there are significant processes that affect their availability. In the northern region of Brazil is located the largest estuarine area of the world formed by the discharge of the Amazon River at its mouth. Sediment samples were collected aboard the oceanographic vessel "ANTARES" Navy of Brazil. The distribution of organic phosphorus in the surface sediment layer shows the highest concentrations near the coast. This distribution in the sediment layer was also observed for the inorganic phosphorus and total phosphorus. The concentrations of the forms of phosphorus in surface sediments of the Amazon Continental Shelf were significant, which indicate the important stock of this nutrient. It is noteworthy that the mixing zone occurs at the entrance of this nutrient and sediment retention, representing an additional reserve for primary production. The mean percentage value for the fraction of inorganic phosphorus and organic phosphorus were close, indicating that production of organic matter in the water column should encourage the intake of organic form to the sediment.

Keywords: phosphorus, sediment, Amazon.

1. INTRODUÇÃO

Os rios são as principais fontes de fósforo para os oceanos. A quantidade de fósforo inorgânico dissolvido introduzido nos oceanos oscila de 3×10 a 15×10 mol por ano aproximadamente (Delaney, 1998). O fósforo transportado através das águas dos rios para os oceanos passa pelos estuários onde consideráveis processos ocorrem, alterando a disponibilidade biológica e o fluxo do fósforo para a área costeira e oceânica. O fósforo é assimilado pelo fitoplâncton, bactérias e plantas bênticas, e é remineralizado por atividades heterotróficas dos animais e microorganismos, em processos biológicos essencialmente idênticos aos dos lagos (Grobbelaar & House, 1995; Melack, 1995). Por outro lado, a mistura da água do rio com a água do mar nos estuários cria algumas características químicas únicas, que afetam a adsorção do fosfato inorgânico nas partículas (Howarth *et al.*, 1995).

A maior zona estuarina do mundo é formada pela descarga do rio Amazonas na sua desembocadura, da ordem de 1 trilhão $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ (Nittrouer *et al.*, 1991). Cerca de 16% da água doce e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do Oceano Atlântico são oriundas do rio Amazonas, cuja descarga máxima ocorre nos meses de maio e junho, e a mínima em outubro e novembro (Müller-Karger *et al.*, 1988).

Berner & Rao (1994) destacaram a importância do estudo do fósforo transportado pelo rio Amazonas para o oceano. Fox *et al.* (1986), Fox (1989), Berner & Rao (1994) examinaram a sistemática do fosfato no

rio Amazonas, e concluíram que 50% do fosfato liberado para o oceano a partir desse rio é resultado da dissociação dos sedimentos em suspensão.

O fósforo é principalmente transportado nas frações de fósforo dissolvido e particulado, e como formas orgânicas (compostos orgânicos fosfatases, fosfolipídios, etc.) adsorvidos a agregados orgânicos e a organismos vivos e inorgânicas (predominantemente íons ortofosfatos, FeHPO_4^+ , $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$) adsorvidos a agregados inorgânicos e aos minerais, como apatita (Chester, 1990). O sedimento constitui um compartimento de suma importância na avaliação da intensidade e formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos, pois realizam constantes trocas de nutrientes e outras substâncias poluentes ou não com a coluna d'água. O fracionamento químico do fósforo em sedimentos fornece importantes informações sobre o comportamento geoquímico e a disponibilidade biológica deste nutriente, portanto, é importante a determinação da relação entre a composição do sedimento e o fosfato a ele ligado, para avaliar o potencial deste compartimento em liberar fósforo para a fase aquosa (Protazio *et al.*, 2004).

Santos *et al.* (2007) descreveram que o fósforo orgânico dissolvido representa uma pequena fração da forma total dissolvida na coluna de água, na Plataforma Continental do Amazonas, e o fósforo total particulado uma fração importante desse elemento, principalmente pela liberação para forma de fosfato.

Amostras de sedimentos obtidas durante a Operação Norte IV, realizada dentro do âmbito do Programa Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE, na Plataforma Continental do Amazonas, foram utilizadas no presente trabalho, que teve por objetivo determinar a concentração das formas de fósforo (fósforo total, fósforo inorgânico e do fósforo orgânico) nesse compartimento, além de relacionar com as informações obtidas por Santos *et al.* (2007) na coluna de água (salinidade, pH e material em suspensão).

O conhecimento da distribuição dessas formas de fósforo nos sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas é de grande relevância devido à imensa descarga de água doce e de sedimento transportados do rio Amazonas para a área costeira, o que provoca um intenso dinamismo na reatividade desse elemento essencial à vida marinha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DA ÁREA

A Plataforma Continental do Amazonas (figura 1) situa-se entre o estuário do rio Pará e o Cabo Orange, e a isóbata de 100 m delimita a quebra dessa plataforma (Nittrouer & DeMaster, 1986). A largura varia consideravelmente ao longo de sua extensão e, aumenta em direção à desembocadura do rio Amazonas, onde alcança 320 km, e então diminui em direção ao norte, medindo 210 km em frente ao Cabo Norte e 125 km junto ao Cabo Orange (Castro & Miranda, 1998).

Essa plataforma apresenta três subdivisões: (i) Plataforma Continental Interna, com gradiente de 1:4.000, compartimentada entre a linha de costa e a isóbata de 20 m; (ii) Plataforma Continental Intermediária, representando a porção mais inclinada, com um gradiente de 1:400, situada entre as isóbatas de 20 m e 40 m; e (iii) Plataforma Continental Externa, localizada entre as isóbatas de 40 m e 80 m, com um gradiente de 1:2.000 (Silva, 1998).

A Plataforma Continental Interna é constituída predominantemente por sedimentos finos, silte, silte-argiloso e argila siltica, a Plataforma Continental Intermediária é formada por sedimentos siltosos, com uma pequena predominância de material siltico/arenoso, mas com variações, como argila/siltica, silte/argiloso, silte e silte/arenoso (Silva, 1998).

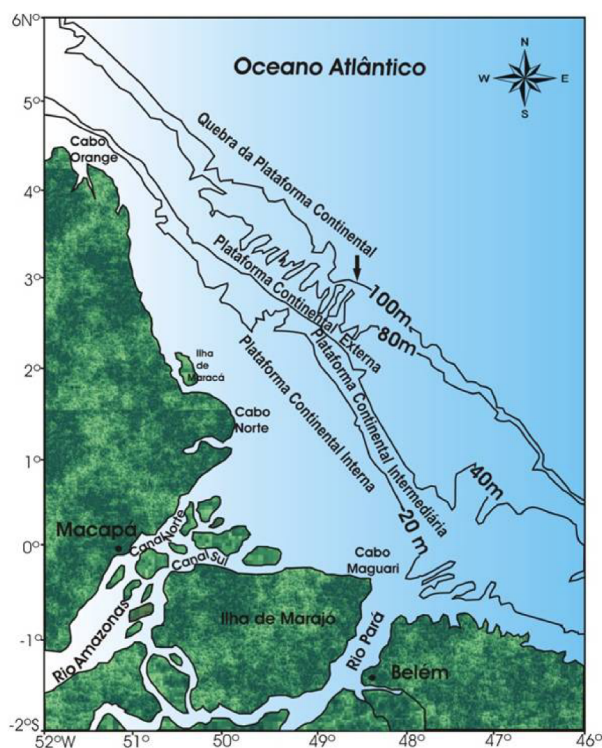


Figura 1: Plataforma Continental do Amazonas (Santos *et al.*, 2007).

Figure 1: Amazon Continental Shelf (Santos *et al.*, 2007).

A porção externa da plataforma retrata a predominância de areias e material silteoso, com alguma argila associada. A presença deste material é justificada, nos períodos de maior descarga do rio, e é relacionada aos processos de circulação das águas oceânicas, que podem dispersar os sedimentos mais finos em suspensão por longas distâncias (Kowsman & Costa *apud* Silva, 1998).

A circulação estuarina na plataforma ocasiona um transporte de sedimento nas águas superficiais em direção ao mar aberto, e um retorno à costa nas águas de fundo. Altas concentrações de material em suspensão estendem-se ao longo da costa em direção ao noroeste e a observação de muita lama na costa das Guianas sugere que os sedimentos do Amazonas são advectados em direção noroeste (Gibbs, 1976).

Os processos oceânicos operantes na Plataforma Continental do Amazonas são resultantes da superposição de características dominantes: localização latitudinal próximo ao equador; grande

energia física gerada a partir das marés, corrente oceânicas e enorme descarga de água e sedimentar provenientes do rio Amazonas (Nittrouer & DeMaster, 1996).

As correntes de maré no estuário do Amazonas e em suas cercanias podem exceder a 250 cm.s^{-1} . As marés influenciam diretamente na mistura da coluna d'água próximo à região litorânea, favorecendo as misturas de salinidade na Plataforma Continental adjacente, principalmente na maré baixa (Geyer *et al.*, 1996). O ciclo quinzenal da maré (sizígia e quadratura) e a variação sazonal da vazão fluvial influenciam a localização e as variações da frente salina (Geyer & Kineke, 1995). Geyer (1995) caracterizou a circulação sobre a plataforma como típica de estuários de cunha salina nas quadraturas e de estuários bem misturados nas sizíguas.

A Corrente Norte do Brasil flui entre 100 e 200 km de extensão e 500 m de profundidade, com variabilidade sazonal e transporte na ordem de 10 a 30 Sv (Nittrouer & DeMaster, 1996). De acordo com Nittrouer *et al.* (1991), esta corrente sofre retroflexão no período de maio a outubro, e transporta a pluma do rio Amazonas para leste, fato também observado por Curtin & Legeckis (1986) por imagens de satélites.

Amostras de sedimentos foram coletadas com amostrador do tipo Van-Veen ou Box Core, descritos em Figueiredo Jr. & Brehme (2000), em 21 estações oceanográficas (figura 2), no período de 01 a 30 de agosto de 2001, a bordo do Navio Oceanográfico "ANTARES" da Marinha do Brasil. O sedimento foi acondicionado em sacos plásticos e mantido resfriado à 4°C até chegada em laboratório, onde o sedimento passou por uma triagem, para a retirada de partículas (pedras, folhas e conchas) e foi colocado em estufa a 150°C por 72h para secar. Depois de secas, as amostras foram transferidas para um dessecador até atingir a temperatura ambiente, em seguida o sedimento foi macerado em almofariz para a sua homogeneização total e passado por uma peneira de nylon de 1 mm de abertura, para remover as partículas mais grosseiras e fragmentos macroscópicos orgânicos, a fim de normalizar o efeito de granulometria dos sedimentos sobre os teores de fósforo.

As análises das formas de fósforo foram feitas em triplicatas. Para obtenção da concentração das formas de fósforo as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água, da Universidade Federal do Pará.

A metodologia adotada para análise das formas de

fósforo foi de acordo com exposto em Protazio *et al.* (2004), para fósforo total e fósforo orgânico os métodos foram o de Andersen (1976) e de Williams, respectivamente. A concentração de fósforo inorgânico foi obtida por diferença entre a concentração de fósforo total e a de fósforo orgânico. A leitura foi realizada em um espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR2800.

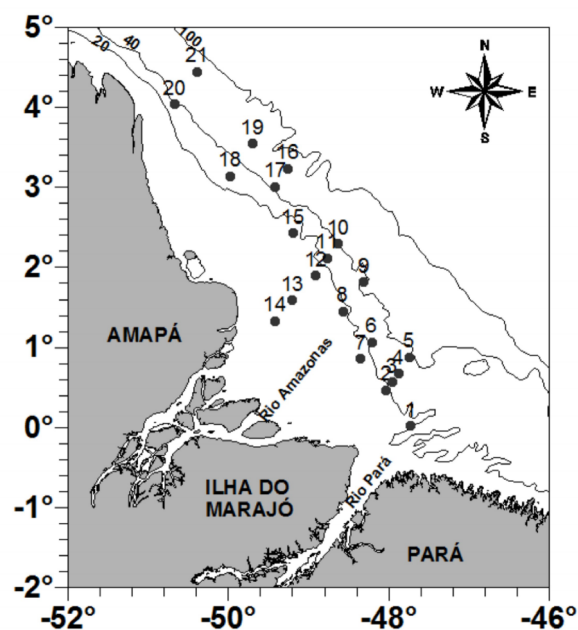


Figura 2: Mapa da área de estudo, mostrando as estações de coleta durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE).

Figure 2: Map of the study area, showing the stations sampled during Operation North IV (Brazilian REVIZEE Program).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estuário do rio Amazonas o fósforo solúvel é controlado pelo balanço entre o aporte fluvial, a liberação a partir do sedimento em suspensão, a remoção em regiões de baixa salinidade e a diluição com a água do mar com baixa concentração desse elemento (Fox *et al.*, 1986).

O fósforo nos estuários pode estar relacionado a um mecanismo de tamponamento no sedimento, de forma que a sua concentração permanece

relativamente estável apesar de mudanças de salinidade. Os processos de adsorção/dessorção são responsáveis por este mecanismo, os quais são influenciados pela salinidade, pH e concentração do fosfato. A faixa ótima de pH para que ocorra a adsorção de fosfato nos sedimentos se situa entre 3 e 7. Devido às misturas de água doce ($\text{pH} < 8$) e salgada ($8,0 < \text{pH} < 8,2$) que ocorrem nos estuários, a eficiência da remoção será maior na porção menos salina do estuário (Santos *et al.*, 2007). Para um pH fixo, conforme Brepohl (2000) e Braga *apud* Aguiar & Braga (2007), o aumento de salinidade provoca a diminuição da adsorção do fosfato no sedimento.

Durante a Operação Norte IV, na área em estudo, os valores alcalinos do pH foram descritos por Santos *et al.* (2007) em toda a coluna de água, com valores das medianas próximos nas camadas eufótica (7,74) e afótica (7,72), e com a influência das águas oriundas do rio Amazonas na distribuição do fosfato, fósforo orgânico dissolvido e fósforo total particulado na coluna de água, com as maiores concentrações localizadas nas estações próximas à costa e uma diminuição em direção ao mar aberto, indicando o equilíbrio entre os processos de adsorção e dessorção.

Santos *et al.* (2007) descreveram que a área da Plataforma Continental do Amazonas não se encontra impactada pelas diferentes formas de fósforo (fosfato, fósforo orgânico dissolvido, fósforo total particulado), na coluna de água. Segundo esses autores o fósforo orgânico dissolvido representou uma pequena fração da forma total dissolvida na coluna de água e o fósforo total particulado, uma fração importante desse elemento, devido principalmente à liberação para a forma de fosfato.

Na camada sedimentar superficial a concentração de fósforo orgânico oscilou de $0,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$ a $6,8 \mu\text{mol.g}^{-1}$, valores obtidos na plataforma intermediária e externa, respectivamente (tabela 1). Ao comparar com o trabalho de Ruttenberg & Goni (1997) para a área em estudo ($9,1 \mu\text{mol.g}^{-1}$), e de Barcellos *et al.* (2005) para o Sistema estuarino de Cananéia-SP (detectaram valores entre $0,5 \mu\text{mol.g}^{-1}$ a $15,1 \mu\text{mol.g}^{-1}$) observa-se que os valores obtidos para essa forma de fósforo estão dentro do esperado.

Com relação ao fósforo inorgânico o valor mínimo ($0,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$) e o máximo ($9,7 \mu\text{mol.g}^{-1}$) foram detectados na plataforma interna. Para o fósforo total

esses valores foram verificados na plataforma intermediária (mínimo de $1,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$ e máximo de $11,8 \mu\text{mol.g}^{-1}$, tabela 1).

Tabela 1: Número de dados (N), mínimo, máximo, média e desvio padrão (DP) do fósforo total (PT em $\mu\text{mol.g}^{-1}$), fósforo orgânico (PO em $\mu\text{mol.g}^{-1}$), e fósforo inorgânico (PI em $\mu\text{mol.g}^{-1}$), obtidos na plataforma interna, intermediária e externa da Plataforma Continental do Amazonas.

Table 1: Number of data (N), minimum, maximum, mean and standard deviation (SD) of total phosphorus (PT in $\mu\text{mol.g}^{-1}$), organic phosphorus (PO in $\mu\text{mol.g}^{-1}$) and inorganic phosphorus (PI in $\mu\text{mol.g}^{-1}$), obtained in the inner shelf, middle and outer Continental Shelf Amazon.

Plataforma		PT ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)	PO ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)	PI ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)
	N	7	7	7
Interna	Mínimo	1,5	1,2	0,2
	Máximo	10,8	6,6	9,7
	Média \pm DP	7,9 \pm 3,5	5,0 \pm 2,1	5,3 \pm 3,7
	N	8	8	8
Intermediária	Mínimo	1,2	0,2	1,0
	Máximo	11,8	6,7	6,5
	Média \pm DP	8,1 \pm 3,3	4,7 \pm 2,1	3,5 \pm 2,4
	N	6	6	6
Externa	Mínimo	9,4	3,2	4,2
	Máximo	11	6,8	9,2
	Média \pm DP	9,9 \pm 0,5	5,9 \pm 1,35	7,2 \pm 1,7

Os valores obtidos para essas formas de fósforo ficaram abaixo aos de Barcellos *et al.* (2005) que detectou valor médio de fósforo inorgânico de $7,14 \mu\text{mol.g}^{-1}$ e de fósforo total de $11,5 \mu\text{mol.g}^{-1}$, e ao descrito por Ruttenberg & Goni (1997) para a área em estudo (média de fósforo inorgânico de $11,5 \mu\text{mol.g}^{-1}$ e de fósforo total de $20,6 \mu\text{mol.g}^{-1}$), o que pode ser relacionado ao período da coleta.

A distribuição dessas formas de fósforo na camada sedimentar superficial da plataforma não apresentou um padrão (figura 3a, 3b e 3c). Porém, foi possível observar os maiores valores de média na plataforma externa para as três formas estudadas (tabela 1), o que pode ser relacionado a uma menor dinâmica existente nesse local.

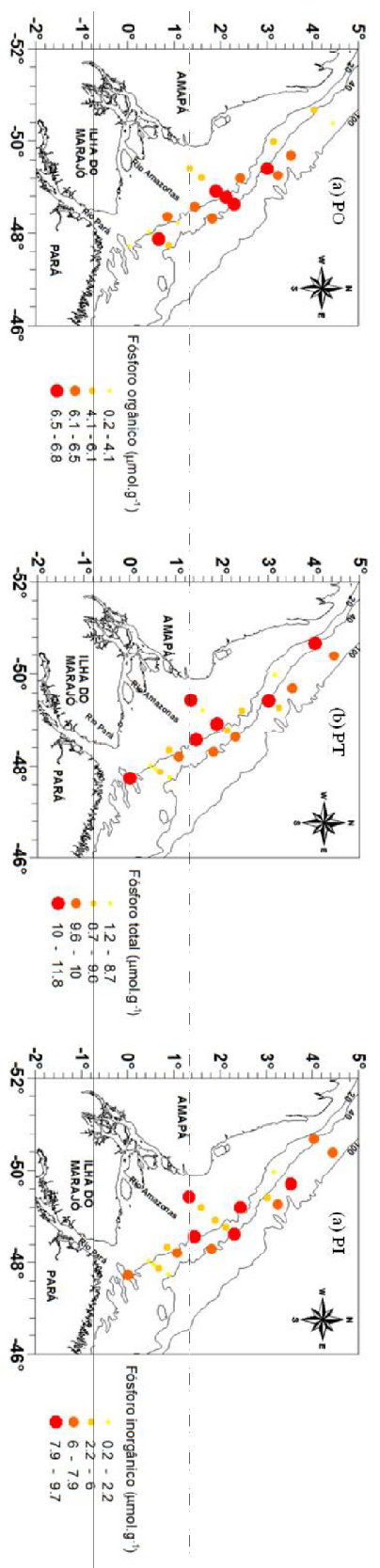


Figura 3: Distribuição de (a) fósforo orgânico ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), (b) fósforo total ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), e (c) fósforo inorgânico ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas.

Figure 3: Distribution of (a) organic phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), (b) total phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), and (c) inorganic phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) in surface sediments of the Amazon Continental Shelf.

Na camada sedimentar as frações de fósforo orgânico (55,6%) e fósforo inorgânico (44,4%) foram próximas, o que pode ser um indicativo de um maior aporte de fósforo orgânico para os sedimentos derivado da produção primária local.

4. CONCLUSÕES

As concentrações das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas foram significativas, o que indica ser um estoque importante deste nutriente. Ressalta-se que na zona de mistura ocorre à entrada desse nutriente e a retenção no sedimento, representando uma reserva adicional para a produção primária.

Os valores percentuais médios para a fração do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico foram próximas, indicativo que a produção da matéria orgânica na coluna de água deve favorecer o aporte da forma orgânica para o sedimento.

As concentrações de fósforo nos sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas foram próximas a outros ambientes estuarinos tropicais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À tripulação do Navio Oceanográfico ANTARES (H40), pelo apoio e atenção recebidos no trabalho de campo, durante a Operação Norte III (1999) e a Operação Norte IV (2001). Ao Ministério da Defesa (MD)/ Marinha do Brasil (MB), à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, V.M. C.; Braga, E.S. (2007) - Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salinity gradient in the heavily polluted estuarine system of Santos/S. Vicente-São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 54(4): 464-471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.11.001>
- Andersen, J.M. (1976) - In ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments – *Water Research*, 10(4):329-331. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(76\)90175-5](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(76)90175-5).

- Barcellos, R.L.; Berbel, G.B.B.; Braga, E.S.; Furtado, V.V. (2005) - Distribuição e características do fósforo sedimentar no Sistema Estuarino Lagunar de Cananéia – Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. *Geochimica Brasiliense*, 19(1):22-36. Disponível em <http://www.sbgq.org.br/arquivos/art10025.pdf>.
- Berner, R.A.; Rao, J.L. (1994) - Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(10):2333-2339. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90014-0](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(94)90014-0)
- Brephol, D.C. (2000) - *Fósforo: intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)*. 120 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande, RG, Brasil. (Não publicado).
- Castro, B.M.; Miranda, L.B. (1998) - Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment (4,W). In: Robinson A.R. & Brink K.H. (eds.), *The Sea*, pp. 209–251, John Wiley & Sons, New York, NY, USA. ISBN: 0471115444
- Chester, R. (1990) - *Marine Geochemistry*. 698 p., Unwin Hyman, London, U.K. ISBN: 004551108X; 0045511098.
- Curtin, T.B.; Legeckis, R.V. (1986) - Physical observation in the plume region of the Amazon River during peak discharge- I. Surface variability, *Continental Shelf Research*, 6 (1/2):31-51. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(86\)90052-X](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(86)90052-X)
- Delaney, M. L. (1998) - Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, 12(4):562- 572. <http://dx.doi.org/10.1029/98GB02263>
- Figueiredo Jr., A.G. & Brehme, I. (2000) - Amostragem geológica na pesquisa mineral. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):260 - 280 <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2000000300006>.
- Fox, L. E. (1989) - A model for inorganic control of phosphate concentration in river waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(2):417-428. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90393-1](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(89)90393-1).
- Fox, L.E.; Sager, S.L.; Wofsy, S. (1986) - The chemical control of soluble phosphorus in the Amazon estuary, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(5):783-794. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90354-6](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(86)90354-6).
- Geyer, W.R. (1995) - Tide-induced mixing in the Amazon frontal zone, *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2341-2353. <http://dx.doi.org/10.1029/94JC02543>.
- Geyer, R.W.; Kineke, G.C. (1995) - Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone, *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2321-2339. <http://dx.doi.org/10.1029/94JC02657>.
- Geyer, W.R.; Beardsley, R.C.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W.E.; Castro, B.M.; Soares, I.V. (1996) - Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16(5/6):575-616. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(95\)00051-8](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(95)00051-8).
- Gibbs, R.J. (1976) - Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean - *Geology*, 4(1):45-48. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1976\)4<45:ARSTTT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1976)4<45:ARSTTT>2.0.CO;2).
- Grobbelaar, J.U. & House, W.A. (1995) - Phosphorus as a limiting resource in inland waters: interactions with nitrogen. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*, pp. 255–274, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/16grobbelaar.htm>.
- Howarth, R. W., Jensen, H.S., Marino, R. & Postma, H. (1995) - Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*, pp. 323– 46, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/19howarth.htm>.
- Melack, J. (1995) - Transport and transformations of P, fluvial and lacustrine ecosystems. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*. pp. 245–254, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/15melack.htm>.
- Muller-Karger, F.E.; McClain, C.R.; Richardson, P.L. (1988) - The dispersal of the Amazon's waters, *Nature*, 333 (5 May 1988):56-69. <http://dx.doi.org/10.1038/333056a0>.

- Nittrouer, C.A.; DeMaster, D.J. (1986) - Sedimentary processes on the Amazon continental processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research. *Continental Shelf Research*, 6(1/2):5-30. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(86\)90051-8](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(86)90051-8).
- Nittrouer, C.A. & DeMaster, D.J. (1996) - The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, 16(5-6):553-573. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(95\)00069-0](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(95)00069-0).
- Nittrouer, C.A.; DeMaster, D.J.; Figueiredo, A.G.; Rine, J.M. (1991) - AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, 4(1):3-7. Disponível em http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/4_1/4.1_nittrouer_et_al.pdf.
- Protazio, L.; Tanaka, S.M.C.N.; Cavalcante, P.R.S. (2004) - Avaliação de procedimentos de extração seqüencial de fósforo em sedimento, *Revista Analytica*, 8:35-41. Disponível em http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/08/8_Art_Fosforo.pdf.
- Ruttenberg, K.C.; Goni, M.A. (1997) - Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and d13C in Arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Marine Geology*, 139(1-4):123-145. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00107-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00107-7).
- Santos, M.L.S., Muniz, K.; Neto, B.B.; Feitosa, F.A.N. (2007) - Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas- *Química Nova*, 30(3):569-573. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000300012>.
- Silva, M.G.L. (1998) - *Caracterização morfológica da cobertura sedimentar da plataforma continental do Amazonas, Norte-Brasil*. 112 p, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. (Não publicado)