

# **DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E OUTROS PARÂMETROS GEOQUÍMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, NORTE DO BRASIL**

Distribution of carbon, nitrogen, phosphorus and other geochemical parameters on the Amazon continental shelf, Northern Brazil

Gilmar W. Siqueira<sup>1</sup>, A.S. Mendes<sup>2</sup>, W.N. Lima<sup>2</sup>, F.M. Aprile<sup>3</sup>, E.S. Braga<sup>4</sup>

## **RESUMO**

*Este trabalho foi realizado na plataforma continental do Amazonas (Norte do Brasil), entre os cabos Orange (AP) e Maguari (PA) com o objetivo principal avaliar alguns processos geoquímicos, como a distribuição de carbono orgânico elementar, nitrogênio total, fósforo total, percentuais de carbonato, razão C/N, óxidos de ferro, manganês e alumínio associado aos sedimentos de fundo dessa região. As coletas ocorreram de 2 a 11 de maio de 1999, no período da descarga máxima dos rios Amazonas e Pará. Analisando os resultados, observou-se uma similaridade entre os dados dos diversos pontos de coletas, fato que reforça a ocorrência de uma homogeneidade da região de estudo devido à atuação de dois fenômenos principais: a forte descarga proveniente dos rios Amazonas e Pará e a ação da Corrente Costeira Norte do Brasil (CCNB), ocasionando a mistura dos corpos de água.*

**Palavras-chaves:** sedimentos de fundo, carbono, nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, carbonatos, razão C/N, óxidos de ferro, manganês, alumínio, plataforma continental do Amazonas.

## **ABSTRACT**

*This work was carried out on the continental shelf under the influence of Amazon River, Northern Brazil, between the capes Orange (AP) and Maguari (PA) with the main aim to evaluate some geochemical processes such as the distribution of elementary organic carbon, total nitrogen, organic matter, percentile of carbonates, C/N ratio, iron oxides, manganese and aluminium as related to bottom of sediments of that region. The collections occurred from May, 2 to May, 11 of 1999 in the period of maximum discharge of the Amazon and Pará Rivers. Analyzing the results, a similarity was observed among the data of the several sampling stations. This fact strengthens the existence of homogeneity in the study region as a result of the performance of two main phenomena: the strong water discharge produced by the Amazon and Pará Rivers, and the action of the North Coastal Current of Brazil (CCNB) causing the mixture of the water bodies.*

**Key words:** bottom sediments, carbon, nitrogen, organic matter, carbonates, C/N ratio, iron oxides, manganese, aluminium, continental shelf, Amazon River, Northern Brazil.

<sup>1</sup> Laboratório de Química Analítica e Ambiental, Departamento de Química do Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, Belém, PA 66075-100, Brasil.

E-mail: gilmar@ufpa.br; <http://www.ufpa.br/quimicaanalitica/laquanam>

<sup>2</sup> Departamento de Química do Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, Belém, PA, 66075-100, Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM 69060-001, Brasil.

<sup>4</sup> Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP05315-970, Brasil.

## INTRODUÇÃO

O fósforo apresenta uma grande importância nos sistemas biológicos, atuando em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, constituintes de proteínas, incluindo o ADN, ADP e ATP, que são fundamentais nos processos de transferências de energia e de estruturação da membrana celular. De uma maneira geral, a quantidade de fósforo de fonte natural no sistema marinho depende diretamente do intemperismo das rochas (Chester, 1990). De acordo com Silva (1996), a partir das formas iônicas ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ), o fósforo pode formar minerais bastante estáveis, como strengita ( $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ), vivianita ( $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ ), apatita ( $Ca_5(PO_4)_3OH, F, Cl$ ), brushita ( $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ ), whitlochita ( $Ca_3(PO_4)_2$ ), monetita ( $CaHPO_4$ ), variscita ( $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ ), entre outros. Esses minerais também integram o material particulado em suspensão, bem como o precipitado no sedimento, e sua estabilidade depende de vários parâmetros ambientais, como pH, Eh, teores de ferro, cálcio e alumínio, entre outros. Alterações desses fatores, além da atividade biológica, provocam a solubilização do fosfato presente nos minerais.

O carbono orgânico presente em sistemas aquáticos continentais pode ter sua origem no carbono orgânico detrítico ou no carbono orgânico particulado da biota que, juntos, formam o carbono orgânico total. O conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos superficiais depende das características sedimentares locais, produtividade da coluna de água, taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas do meio (Barcellos & Furtado, 1999). De certa forma, o mesmo ocorre em relação à matéria orgânica de um modo geral. O nitrogênio orgânico total representa a soma das contribuições de compostos orgânicos nitrogenados.

A quantidade de matéria orgânica nos sedimentos de fundo depende de dois fatores principais: deposição e degradação. O primeiro está diretamente ligado à produção biológica, porém limitado pelas condições oceanográficas do meio; o segundo depende do teor de oxigênio molecular dissolvido, velocidade de corrente e natureza do material inorgânico (Sverdrup *et al.*, 1959).

A razão elementar C/N utilizada na determinação da predominância de contribuição continental e/ou marinha na matéria orgânica presente nos sedimentos de fundo, é calculada com base na análise quantitativa de carbono associado aos dados de nitrogênio (Coutinho, 1979).

Os sedimentos carbonáceos geralmente são encontrados em quase todas as partes dos oceanos, porém são diferenciados pela composição e caracte-

rísticas petrográficas que são condicionadas pelo ambiente de deposição (Coutinho, 1981).

Segundo Patchineelam (1999), o sistema hidrográfico do Amazonas descarrega anualmente cerca de 1 bilhão de toneladas de sedimentos no oceano Atlântico, sendo que uma porção dessa carga sedimentar encontra-se altamente intemperizada, contendo quantidade de óxidos reativos como os de ferro, manganês e alumínio, além de outros metais-traço.

O objetivo principal desse trabalho é o de avaliar a distribuição de carbono, nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, carbonato, razão C/N, óxidos de ferro, manganês e alumínio associado aos sedimentos de fundo que aportam para a plataforma continental sob influência do Rio Amazonas entre os cabos Orange (AP) e Maguari (PA), bem como apresentar um tratamento estatístico para mostrar possíveis similaridades existentes entre os pontos de coletas.

## ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Villwock (1994), a costa norte brasileira estende-se desde o cabo Orange (AP), até a Baía de São Marcos (MA). A Margem Continental Norte Brasileira enquadra-se no tipo chamada construcional ou deposicional, ou seja, a formação da plataforma e do talude continental está relacionada a processos deposicionais, restringindo-se os aspectos erosivos a eventos locais isolados como reajustamento da quebra da plataforma do *canyon* do Amazonas, seus tributários e vales do cone (GEOMAR I, 1972).

Villwock (1994) subdivide esse litoral em três partes: (a) Litoral Guianiense, desde o rio Oiapoque até o cabo Norte; é constituído por terrenos terciários que se apoiam sobre embasamento cristalino pré-cambriano; é um trecho de costas muito baixas onde se desenvolvem extensas planícies de maré lamosas ocupadas por manguezais de grandes envergaduras, que transicionam em direção ao interior para pântanos costeiros; este trecho constitui uma típica costa deposicional, condicionada por macromarés que distribui a lama amazônica que a Corrente Equatorial Brasileira empurra em direção ao Norte; (b) Golfão Amazônico, área ocupada por um gigantesco complexo deltáico-estuarino; (c) Litoral Amazônico Oriental, que se estende até a baía de São Marcos é marcado pela presença de sedimentos terciários do grupo Barreiras muitos recortados por cursos de água.

O Rio Amazonas é o maior do planeta em vazão, com volume variando de 120 a 200 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s, e também em termos de área de drenagem com cerca de 7 milhões de km<sup>2</sup>, ou seja, 40% do continente sul-americano. Como assinalado por Meade *et al.* (1985), o Rio Amazonas carrega para a plataforma continen-

tal um volume sedimentar avaliado em  $11-13 \times 10^8$  t/ano, e representa 18% de água doce de todos os rios do mundo (Oltman, 1968) e 10% dos sedimentos fluviais para 8% dos sólidos dissolvidos (Gibbs, 1972). Segundo Seyler & Boaventura (2001), do total de sedimentos transportados, 97% provêm das drenagens originárias nos Andes, sendo 62% pelo Rio Solimões, provenientes dos Andes peruanos e 35% pelo Rio Madeira, oriundos dos Andes bolivianos. Os demais 3% de sedimentos são originários de rios da plataforma cristalina.

O Rio Pará, segundo do sistema amazônico em importância, formado pela confluência de um afluente do Amazonas com o Rio Tocantins, drena uma área de  $7 \times 10^5$  km<sup>2</sup>, possui uma vazão estimada em cerca de  $10^4$  m<sup>3</sup>/s e contribui com o equivalente a menos de 1/20 da carga do Amazonas. Pelo fato do Rio Tocantins drenar exclusivamente uma área baixa de floresta chuvosa, a composição de sedimentos carregados pelo Rio Pará difere bastante da encontrada no Amazonas (Oltman, 1968; Milliman *et al.*, 1974).

Os sedimentos que aportam à plataforma continental estão representados principalmente pelas argilas e siltes que são depositados na parte interna e média, mostrando a grande influência da sedimentação Amazônica, sobrepostos às áreas "reliquias" e aos sedimentos carbonáceos da plataforma mais externa (Ivo & Figueiredo, 1996).

Pesquisas geoquímicas e oceanográficas foram realizadas por Siqueira & Braga (1999 e 2000), Lima (2003) e Siqueira (2000 e 2003), que estudaram o comportamento químico de vários elementos maiores, menores e traços associados aos sedimentos de fundo e material particulado em suspensão nessa região.

## MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas por ocasião do cruzeiro oceanográfico do Programa Nacional de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE-SCORE/NO), a qual teve como objetivo assegurar a ocupação e uso da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) que compreende uma faixa que se estende das 12 as 200 milhas náuticas marítimas, a partir da linha de base que serve para medir a largura do mar territorial brasileiro. Esse programa contou com os apoios do CIRM (Co-

missão Interministerial para os Recursos do Mar) e MMM (Ministério do Meio Ambiente), que mobilizou equipes de várias universidades e entidades de pesquisa. A comissão oceanográfica ocorreu em junho de 1999. Foram selecionados 20 pontos ao longo da região entre as isôbatas de 19 a 100 m ( $47^{\circ}52'18''W - 4^{\circ}19'06''N$  e  $51^{\circ}04'24''W - 2^{\circ}16'12''S$ ). A Figura 1 mostra a área das coletas de sedimentos de fundo com sua respectiva batimetria. As coletas foram realizadas a bordo do NOc "Antares" da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

Os pontos de amostragem (estações fixas) foram georeferenciados através de um sistema de posicionamento do tipo DGPS (Diferencial Global Positioning System). As amostras de sedimentos de fundo foram obtidas com o uso de testemunhador do tipo Box Corer e amostrador pontual do tipo van Veen, sendo as mesmas acondicionadas em sacos plásticos e congeladas em câmara fria a  $-20^{\circ}C$ .

As amostras obtidas foram transferidas ao Laboratório de Nutrientes, Micronutrientes e Traços no Oceano (LABNUT) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, onde se procedeu ao tratamento dos sedimentos coletados, que consistiu de secagem em estufa a  $60^{\circ}C$ , desagregação, pulverização, homogeneização e quarteramento.

Para a determinação química do carbono orgânico elementar e nitrogênio total foi necessário um pré-tratamento das amostras com acidificação das amostras com HCl 10%, de modo que todo o carbo-

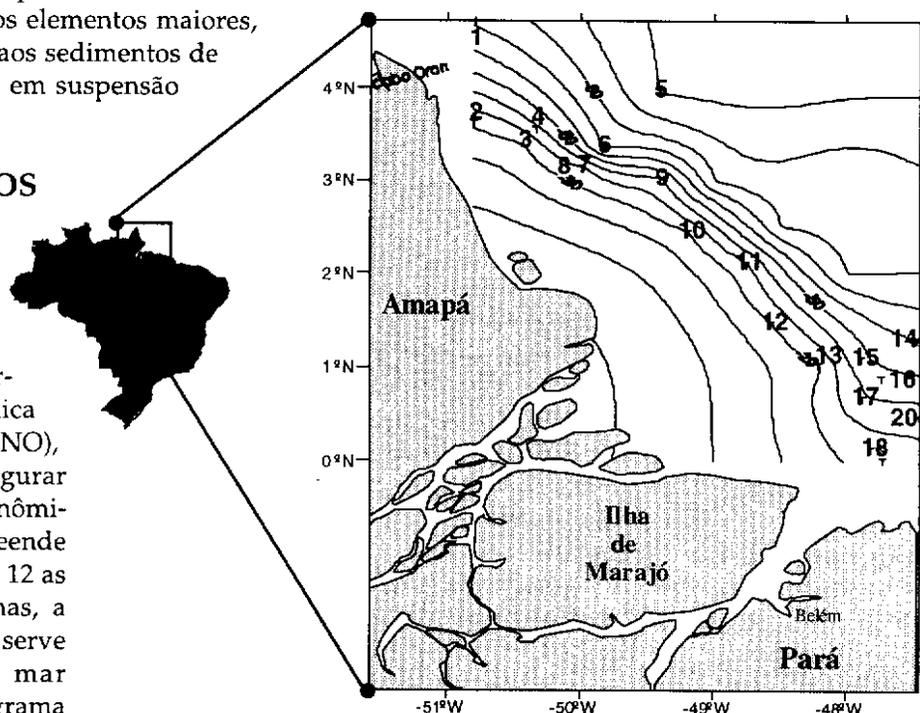


Figura 1 - Mapa da área de estudo com a localização dos pontos de amostragem.

nato presente seja convertido em  $\text{CO}_2$ . Posteriormente, as amostras tratadas foram levadas à secura em placa de aquecimento para eliminação total do ácido. Procedeu-se a determinação dos constituintes orgânicos através do analisador de marca LECO, modelo CNS-2000, pertencente ao Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. A concentração de matéria orgânica foi obtida pela multiplicação dos teores de carbono orgânico elementar pelo fator de 1,72 (Jackson, 1965).

Para as determinações dos teores de fósforo total, uma quantidade de sedimento de fundo seco (230 mesh) e peneirado foi remetido para o Laboratório Químico e Mineral Lakefield Geosol Ltda/MG. As amostras foram submetidas à abertura ácida e as leituras foram realizadas pela técnica da absorção molecular, segundo o método recomendado por APHA (1995).

Os teores de carbonatos foram calculados em função da estequiometria, tomando por base os valores do cálcio elementar determinado convertido para óxido.

A aplicação de razões elementares como indicadores da origem da matéria orgânica assume esses parâmetros como conservativos e suas distribuições no sedimento serão funções apenas da mistura física de materiais com composições distintas (Thornton & McManus, 1994 *apud* Carreira, 2000). A partir dos resultados obtidos de carbono orgânico elementar e nitrogênio total, calculou-se os valores para a razão C/N.

Na análise química dos elementos ferro, manganês e alumínio nos sedimentos obtidos, foi realizado teste de digestão das amostras com mistura de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )/ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ )/ácido fluorídrico (HF)/ácido clorídrico (HCl) sob aquecimento. Inicialmente foi adicionada a mistura 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), 2 mL de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) e 20 mL de ácido fluorídrico (HF) e levou-se à secura. Repetiu-se o procedimento. Então, adicionaram-se 10 mL de ácido clorídrico (HCl) 6M e levou-se à secura. Posteriormente, acrescentou-se 10 mL de ácido clorídrico (HCl) 6M e levou-se à fervura para dissolução do sais. Essa metodologia está descrita em trabalhos de Duinker & Nolting (1976), Chester (1978) e Tessier *et al* (1979), Siqueira & Braga (1999 e 2000) e Siqueira (2000 e 2003), sendo que as leituras foram realizados em um ICP-AES pertencente ao Laboratório Químico e Mineral Lakefield Geosol Ltda/MG. Os teores dos óxidos foram obtidos em função do cálculo estequiométrico para cada elemento químico (Fe, Mn e Al) estudado.

Visando identificar as possíveis similaridades existentes entre os pontos de amostragem para as características geoquímicas, foram empregados testes

de análise multivariada e agrupamento em programas Statistic e Origin for Windows.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterizar os resultados gerados pelas análises químicas presentes nas amostras coletadas na região de estudo, aplicou-se análise estatística descritiva de tendência central, obtendo assim os valores médios, máximos, mínimos e desvio dos parâmetros determinados, conjuntamente com uma descrição das estações de coletas (Tabela I).

De um modo geral, a distribuição dos teores de fósforo total nos sedimentos da região de estudo é bastante homogêneo. As estações localizadas diretamente à frente das descargas dos Rios Amazonas e Pará foram as que apresentaram teores sensivelmente maiores de P-total, com destaque para as estações 18, 19 e 20. Provavelmente, nesses pontos os processos de sedimentação são favorecidos, propiciando a grande deposição de sedimentos pelíticos. As maiores concentrações de fosfato foram encontradas associadas à fração mais fina dos sedimentos, refletindo a presença de sedimentos ricos em fosfato. De certa maneira, esse nutriente tende a precipitar onde a taxa de sedimentação é bem maior (desembocaduras dos rios Amazonas e Pará e toda área da plataforma interna).

Estes sedimentos são depositados pelos respectivos rios e subseqüentemente transportados pela corrente costeira associada no sentido NW paralela à costa. Em princípio, quando esse nutriente atinge a área de estudo, é incorporado à fase sedimentar por mecanismos de sorção e/ou por formação de minerais de fosfato insolúvel. Possivelmente, os sais de fósforo devem estar sendo transferidos ao sistema aquático por processos de lixiviação de solos, ao longo da bacia hidrográfica do sistema amazônico, com posterior solubilização. Os resultados obtidos neste trabalho, para esse nutriente corroboram com as pesquisas realizadas por Silveira & Patchineelam (1991 e 1993), e Pereira (2000) nessa região. Berner & Rao (1994) examinaram a sistemática do fosfato no Amazonas e em vários sistemas de rios de sua bacia de drenagem. Os autores concluíram que 50% do fosfato liberado para o oceano a partir do rio Amazonas é resultado da dissociação dos sólidos em suspensão, havendo um equilíbrio entre as fases dissolvida e particulada.

De uma maneira geral, o comportamento de fósforo em ambientes estuarinos apresenta a peculiaridade de haver uma grande interação entre as formas dissolvida e sólida, aliadas a uma concentração de fósforo que permanece praticamente invariável por toda extensão de salinidade (Liss, 1976). Em princí-

Tabela 1 - Quadro descritivo das estações de coletas e análise de tendência central para os parâmetros carbono, nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, razão C/N, óxidos de ferro, manganês e alumínio nos sedimentos de fundo provenientes da Plataforma Continental do Amazonas.

Pontos	Data	Hora	Instrumento de coleta	Material predominante	Lat. N	Lon. W	Prof* (m)	P-total (%)	C-org. (%)	N-total (%)	MO (%)	C/N	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
1	02.05.99	19:30	Van Veen	Areia	04°43,5'N	50°47,7'W	72	0,08	0,65	0,09	1,11	7,51	6,72	0,10	10,33
2	06.05.99	14:21	Box Corer	Lama dura	03°37,3'N	50°48,2'W	22	0,08	1,14	0,10	1,96	11,69	6,72	0,11	10,33
3	06.05.99	19:10	Box Corer	Lama	03°23,9'N	50°25,7'W	20	0,09	0,49	0,07	0,84	6,58	6,86	0,11	11,49
4	06.05.99	23:04	Box Corer	Lama	03°32,8'N	50°20,1'W	37	0,09	2,31	0,11	3,97	20,46	6,86	0,11	11,49
5	08.05.99	12:43	Draga	Areia grossa	03°57,2'N	49°24,9'W	100	0,06	0,32	0,03	0,55	9,25	3,28	0,05	8,12
6	08.05.99	20:50	Box Corer	Lama	03°20,6'N	49°50,7'W	70	0,09	0,87	0,09	1,49	9,59	6,57	0,10	10,33
7	09.05.99	00:23	Box Corer	Lama	03°07,6'N	49°59,2'W	26	0,08	0,73	0,09	1,25	7,77	6,43	0,10	10,33
8	09.05.99	01:56	Box Corer	Lama	02°59,9'N	50°04,4'W	22	0,09	0,70	0,10	1,20	7,34	6,72	0,11	11,49
9	09.05.99	14:31	Draga	Lama	03°00,2'N	49°24,6'W	37	0,07	0,57	0,09	0,98	6,52	5,00	0,06	10,39
10	11.05.99	14:15	Box Corer	Areia+Lama	02°25,8'N	49°11,8'W	19	0,06	0,19	0,03	0,32	7,66	4,29	0,05	9,82
11	20.05.99	00:04	Box Corer	Lama/Areia	02°05,08'N	48°45,8'W	27	0,08	0,59	0,08	1,01	7,34	5,72	0,06	10,77
12	22.05.99	23:45	Box Corer	Lama	01°26,7'N	48°34,2'W	19	0,08	0,48	0,07	0,82	6,81	5,86	0,09	10,33
13	23.05.99	10:45	Box Corer	Lama	01°04'N	48°12,6'W	28	0,08	0,66	0,10	1,13	6,34	6,00	0,09	11,14
14	24.05.99	23:19	Van Veen	Areia	1°16'36"N	47°27'55"W	59	0,01	1,04	0,02	1,78	43,08	0,86	0,01	2,64
15	25.05.99	08:08	Van Veen	Lama	01°05'N	47°53'W	48	0,07	0,57	0,08	0,33	7,57	5,15	0,05	10,58
16	25.05.99	10:43	Box Corer	Lama	00°52,4'N	47°44,4'W	46	0,07	0,37	0,05	0,63	7,45	4,72	0,05	10,01
17	25.05.99	13:00	Box Corer	Lama+Areia	00°39,9'N	47°52,9'W	39	0,07	0,56	0,07	0,96	7,66	5,36	0,05	10,01
18	29.05.99	00:32	Boxe Corer	Lama	00°07,4'N	47°49,2'W	26	0,09	0,92	0,12	1,58	7,50	6,29	0,07	10,77
19	26.05.99	02:23	Box Corer	Lama	00°00,5'N	47°43,6'W	24	0,08	0,77	0,12	1,32	6,60	6,43	0,10	10,77
20	26.05.99	08:15	Van Veen	Areia	00°26'N	47°27'W	32	0,08	1,01	0,14	1,73	7,11	4,43	0,04	9,07
Média	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,75	0,08	1,25	10,09	5,51	0,08	10,01
Máximo	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,19	0,02	0,32	6,34	6,89	0,11	11,49
Mínimo	-	-	-	-	-	-	-	0,09	2,31	0,14	3,97	43,08	0,86	0,01	2,24
D. Padrão	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,42	0,03	0,77	8,15	1,45	0,03	1,89

Observação: \* = profundidade máxima no período de coletas.

pio, este fato pode estar acontecendo na região de estudo, visto que foi observado valor bem homogêneo de fósforo no sedimentar. O trabalho realizado por Siqueira (2003) apresenta dados de salinidades bem uniformes (valores oscilando entre 30 a 33 usf para águas de fundo) para essa região. Sabe-se que em ambientes aquáticos com pH ácido (caso dos rios típicos do sistema hidrográfico do Amazonas), o controle de absorção é realizado de maneira semelhante ao que ocorre com o Fe (III) como os  $Al_2O_3$  (óxidos de alumínio) (Richardson, 1985). De maneira geral, há uma quantidade considerável de fósforo ligado aos sedimentos marinhos que possuem essas ligações através do ferro e alumínio. A habilidade desses dois elementos químicos em promover essa ligação química é notável, haja vista que promove de modo indireto a sorção do fósforo aos sedimentos, e por consequência participam do mecanismo de regulação e diagênese do fósforo.

O teor médio de carbono orgânico elementar determinado nas amostras de sedimentos coletados foi de  $0,75 \pm 0,42\%$ , sendo que as estações 1, 4, 14 e 20 apresentaram as maiores concentrações, em oposição às estações 5, 10 e 16, onde foram observados menores teores (Tabela I). O valor médio determinado para C-org em parte da plataforma estudada, ficou dentro do intervalo obtido por Pereira (2000), que foi de 1,11-2,05% e ficou muito próximo do valor médio de 0,74% determinado por Ottmann (1959) para essa mesma região. Para Chester (1990), existem variações consideráveis no conteúdo dos compostos orgânicos em sedimentos marinhos, sendo que, os sedimentos superficiais recentes geralmente contêm de 1 a 5% de C-org. Em princípio, os baixos valores encontrados para esse nutriente podem ser explicados pelos altos níveis de material em suspensão de origem terrígena associados às descargas dos Rios Amazonas e Pará, podendo ocasionar baixa transparência da coluna de água, conseqüentemente, reduzindo o processo de produção primária e desfavorecendo a deposição de material orgânico.

O pequeno teor de nitrogênio orgânico total encontrado, pode ser motivado pelo pequeno desenvolvimento da vida animal e do plâncton especialmente. O valor médio determinado de nitrogênio total nas amostras foi de  $0,08 \pm 0,03\%$ , apresentando um mínimo de 0,02% e um máximo de 0,14%, com os maiores teores localizando-se nas estações mais internas, entre as isóbatas de 20 m (Tabela I). De uma certa forma, notou-se que os fundos constituídos de areia mais grossa foram os que apresentaram mais conteúdos mais baixos deste nutriente, ao contrário daqueles de granulometria mais fina que mostraram um enriquecimento mais acentuado. Segundo Romankevich

(1984 *apud* Barcellos & Furtado, 1999), o conteúdo de nitrogênio na forma orgânica aumenta no sentido das áreas costeiras. O gradiente de distribuição desse nutriente não fugiu a essa regra, que foi bem característico na área da plataforma estudada, observa-se que esse constituinte tem um enriquecimento ao longo do ambiente sedimentar, principalmente no setor mais interno dessa plataforma e sob constante influência dos Rios Amazonas, Pará, Araquari, Cunani, Flexal, Oiapoque e outros. Os valores encontrados para nitrogênio orgânico total, na área da plataforma estudada corroboram com valor médio determinado por Ottmann (1959) de 0,031% para essa região e ficou também de acordo com intervalo de 0,012-0,092 % determinado por Oliveira & Barreira (1977), e ficou dentro do intervalo obtido por Pereira (2000) de 0,03 a 0,13 %. Por fim, ficou próximo do intervalo de 0,050 a 0,048 % determinado por Lima (2003) para essa região.

Para matéria orgânica os valores variam de um mínimo de 0,32% a um máximo de 3,97% com média de  $1,25 \pm 0,77\%$ , para toda área da plataforma estudada. Destaca-se a estação 4 na isóbata de 34 m, que atingiu o maior teor (3,97%), cujas as lamas desses sítios são provavelmente mais ricas em MO. Os teores de MO mostraram uma tendência de aumento variável com a profundidade até a faixa entre 20 a 50 m, ocorrendo em seguida, um decréscimo que se estende até as proximidades da isóbata de 100 metros (Tabela I).

Os sedimentos finos da zona de influência do sistema amazônico traduzem a importância da matéria orgânica de origem terrígena. Em princípio, as principais fontes de matéria orgânica para o compartimento estudado são os organismos planctônicos e os materiais orgânicos e inorgânicos trazidos pelos rios Amazonas, Pará e outros ao longo da costa. A priori, a matéria orgânica nessa área é mantida em suspensão pela Corrente Costeira Norte do Brasil (CCNB), tendo assim dificultada a sua sedimentação. Trabalho realizado por Lima (2003) mostrou, através de análises dos espectros de infravermelho (IV), que a matéria orgânica nessa área é formada por substância húmicas (SH) que são os constituintes orgânicos mais abundante em sedimentos. De certa forma, a matéria orgânica origina-se de organismos que vivem na coluna de água (por exemplo, plâncton), quanto também da matéria orgânica que entra no sistema através do deságüe fluvial e do intemperismo dos solos adjacentes. Pereira (2000) associou o material húmico da matéria orgânica transportada para o oceano com aquele presente na matéria orgânica oriunda de lixiviações e drenagem de solos amazônicos típicos, como podzólicos e latossólicos.

Segundo Patchineelam (1999), a matéria orgânica terrestre associada aos sedimentos transportados pelo Rio Amazonas é biologicamente refratária, pois as partículas sedimentares se misturam com a matéria orgânica lábil e são depositadas no fundo, onde ocorre uma variedade de reações geoquímicas. A matéria orgânica incorporada nos depósitos sedimentares pode ser dividida em duas frações: uma lábil, que é reciclada no sedimento, e outra refratária (residual), associada com a fase mineral do sedimento e que chega a ser uma componente permanente da matriz sedimentar, enquanto que a fração metabolizada é degradada a distintas formas solúveis e liberada para a água intersticial adjacente através dos processos de trocas químicas que ocorrem na interface água-sedimento (Klump & Martens, 1987). A relação entre a quantidade de matéria orgânica presente e a quantidade de minerais com elevada superfície (particularmente as argilas) sugere que mais de 90% da matéria orgânica preservada nos sedimentos de fundo marinho se encontra intimamente associada com superfícies minerais, e que a adsorção de matéria orgânica a essas superfícies tem um efeito estabilizador nas moléculas componentes retardando de forma significativa o processo de remineralização. Sendo assim, é possível supor que os conteúdos de matéria orgânica associada aos sedimentos de fundo da região da plataforma estudada existem uma forte associação com a fase mineral (refratária) deste ambiente sedimentar, sendo que, possivelmente uma pequena parte dessa matéria orgânica é remineralizada para as formas mais solúveis e liberada para a cadeia trófica dessa região (Keil *et al.*, 1994 e 1998; Ransom *et al.* 1998).

Os valores da razão C/N variaram de 6,34 a 43,03 com teor médio de  $10,09 \pm 8,15$ , portanto maior que a composição média estimada para o plâncton de 6,63 (Redfield *et al.*, 1963). As estações de amostragem 2, 4 e 14, situadas em isóbatas de 22, 37 e 59 m, respectivamente, foram as que apresentaram uma maior relação C/N com a camada de deposição de sedimentos (Tabela I). Outros pontos amostrados mostram uma tendência de deposição marinha (plâncton) nesses sítios.

Sendo assim, o material orgânico depositado sobre a matriz sedimentar pode originar-se de outras fontes de detrito orgânico: (a) material de origem terrígena proveniente do sistema Amazonas/Pará; (b) remineralização do nitrogênio orgânico da matéria orgânica particulada (MOP) durante sua passagem pela coluna de água, determinando que o material, quando depositado no fundo, apresente um maior valor da razão C/N; (c) processos de desnitrificação no sedimento de fundo, implicando em perda de nitrogênio orgânico.

Os valores da razão C/N determinados neste trabalho se encontram numa faixa de variação que inclui as estimativas de 23 (Ottmann, 1959) e 10, nos sedimentos fundo sob influência da descarga do Amazonas, diminuindo para valores inferiores a 5 onde a influência do rio é menor (Barreto *et al.*, 1975 *apud* Coutinho, 1979).

Os conteúdos estimados pelo cálculo estequiométrico de  $\text{CaCO}_3$  para a região da plataforma delimitada nesse estudo, oscilaram de 0,87 a 16,24 %, com média de 3,34 %. De modo geral, as condições de águas turvas com forte predominância de material em suspensão carreado pelos rios Amazonas e Pará, além da forte deriva da Corrente Costeira Norte do Brasil para noroeste, podem constituir uma importante barreira para sedimentação biogênica na área estudada. Lima (2003) encontrou teores médios de sílica nos sedimentos superficiais provenientes dessa plataforma em cerca de 60,5 % de  $\text{SiO}_2$ . Portanto, é provável que ocorra um aumento na taxa de deposição dos silicatos levando a uma "diluição" do carbonato presente no sedimento. Para Milliman *et al.* (1983), na região mais interna da plataforma ocorre a presença de lama com baixos teores de carbonatos, com uma menor quantidade de foraminíferos bentônicos, enquanto na parte externa há uma maior quantidade de organismos bentônicos, elevando assim o conteúdo desse carbonato. Segundo Gibbs (1982) e Figueiredo & Nittrouer (1992), a carga sedimentar do Rio Amazonas sofre influência das correntes de maré que executam um movimento *onshore* e *offshore* à medida que é transportada para NW seguindo um padrão de zigzag, ou seja, obliquamente em direção à costa.

Com relação aos óxidos dos elementos analisados, o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oscilou entre 0,86 a 6,89 %, com média de  $5,51 \pm 1,45$  %, sendo que, a maioria dos valores esteve entre 5,01 e 6,72 %, indicando grande homogeneidade, com exceção apenas da estação 12 cujo teor foi de 0,86 %. Os percentuais obtidos para  $\text{MnO}$ , ficaram entre 0,01 a 0,11 %, com média  $0,08 \pm 0,03$  %, observando-se uma tendência de agrupamento dos menores resultados nas estações localizadas na saída da descarga fluvial dos Rios Amazonas e Pará.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresentou a maior variação entre os pontos de coleta, cujos teores oscilaram entre 2,24 a 11,49 %, com média de  $10,01 \pm 1,89$  %, mas isto se deve ao valor da estação 12 que, quando retirado da análise, propiciou uma maior homogeneidade dos resultados obtidos.

Os resultados dos óxidos analisados corroboraram com os teores determinados por Pereira (2000) para essa região da plataforma. Segundo Andrade & Patchineelan (2000), a bacia amazônica sofre intenso processo de intemperismo, havendo formação de lateritas que produzem camadas de óxi-hidróxidos

de Fe, Mn, Al e argilas pobres em cátions (Rule & Aller, 1989). O Rio Amazonas acaba por transportar 82 % do elemento ferro total das lateritas em suspensão, carreando inúmeros elementos-traços a ele associados (Melfi & Carvalho, 1993). A formação de grandes quantidades de crosta ferruginosa e laterítica e de jazidas de Mn no subsolo da região Amazônica foi sugerida por Ottmann (1959), para explicar a grande quantidade de Fe e Mn, que forma uma película marrom sobre uma certa quantidade de areia em sedimentos de fundo.

A Tabela II apresenta a análise de correlação não-paramétrica por meio do coeficiente de Spearman, que associou as variáveis duas a duas numa escala ordinal. Os resultados mostram um baixo nível de correlação entre as variáveis, com exceção da matéria orgânica e do carbono orgânico elementar, que obtiveram valores de *r* iguais a 0,9987, o que era de esperar, visto que a matéria orgânica é calculada em função do teor obtido de carbono orgânico elementar.

Os óxidos apresentaram um valor de *r* superior a 0,93, mostrando que suas concentrações são diretamente proporcionais entre si. Essa boa correlação entre esses elementos maiores pressupõe uma origem comum e/ou que foram sujeitos a mecanismos de enriquecimento semelhantes para a região estudada. Uma outra hipótese é que a análise das correlações lineares encontradas para esses óxidos pode indicar que as assembléias mineralógicas existentes nos sedimentos provenientes da plataforma continental são as maiores fontes de elementos majoritários, menores e traços para essa região.

Dentro da Operação GEOMAR II (1972) foram encontrados grupos de argilominerais pela ordem de abundância: caulinita, esmectita, ilita, montmorilonita

em baixos teores a clorita. Ivo & Figueiredo (1995) encontram minerais opacos (magnetita, ilmenita, óxidos hidratados), hornblenda, hiperstênio, augita entre outros que são minerais facilmente intemperizados pelos processos físicos e químicos intensos na região. Milliman *et al.* (1983) relataram que os sedimentos mais grosseiros do Rio Amazonas são caracterizados por serem imaturos, subarcóicos e que possuem um alto teor de minerais pesados instáveis (1-8%). Estudos realizados por Landim *et al.* (1983) constataram que grandes partes desses minerais pesadas são derivadas de áreas constituídas por rochas básicas e ultrabásicas (minerais primários) e rochas ácidas de origem andina e dos escudos pré-cambrianos ao norte e ao sul do Rio Amazonas, e concluíram que na foz também ocorre a presença desses minerais andinos, e que alguns minerais instáveis como hiperstênio, augita e anfibólio apresentam-se idiomórficos mesmo junto à foz. Milliman & Meade (1983) encontraram limonita presumidamente de origem autigênica nos sedimentos do Amazonas.

A análise de similaridade espacial foi aplicada com o objetivo de avaliar o grau de agregação existente entre os vários pontos de amostragem, sob a influência das variáveis estudadas. Para tanto, houve uma padronização dos resultados, aplicando a média aritmética a cada estação de amostragem através da Equação 1, em que onde *x* é o valor obtido,  $\mu$  é a média dos resultados obtidos, e SD é o desvio padrão:

$$X' = \frac{x - \mu}{SD} \quad (1)$$

Para a elaboração da representação gráfica do dendograma na plataforma continental sob influên-

Tabela II - Análise de correlação para as variáveis estudadas.

	Prof.	P-tot	C-org	N-org	MO	C/N	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Prof.	1,0000								
P-tot	-0,3411	1,0000							
C-org	<b>0,6156</b>	-0,1866	1,000						
N-org	-0,0221	-0,0824	-0,0073	1,000					
MO	<b>0,6105</b>	-0,2096	<b>0,9987</b>	-0,0012	1,000				
C/N	0,3009	-0,0895	0,4319	<b>-0,8408</b>	0,4240	1,000			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,1977	0,1623	-0,0676	-0,3884	-0,0528	0,2065	1,000		
MnO	-0,3453	0,2770	-0,2671	-0,2996	-0,2567	0,0375	<b>0,9524</b>	1,000	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,2959	0,2187	-0,2013	-0,3947	<b>-0,9300</b>	0,1942	<b>0,9344</b>	<b>0,9357</b>	1,000

Observação: valores em negrito indicam existência de correlação significativa.

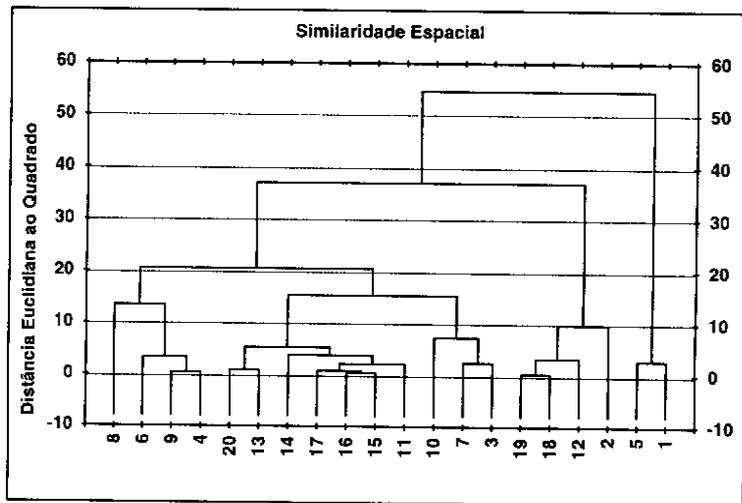


Figura 2 - Similaridade espacial para as estações de coleta na plataforma continental entre o Cabo Orange (AP) e foz do Rio Pará (PA), região Norte do Brasil.

cia do Rio Amazonas, o melhor resultado foi obtido utilizando-se o método de ligação máxima dos componentes matriciais, com distância euclidiana ao quadrado (Figura 2).

Os resultados mostraram a formação de três grupos distintos de estações de coleta. O primeiro grupo, com uma distância matricial inferior a 20 unidades, pode ser subdividido ainda em três grupos menores, formados pelas estações {4, 6, 8 e 9}, {11, 13, 14, 15, 16, 17 e 20} e {3, 7 e 10}. O primeiro subgrupo está localizado na porção ao norte da plataforma, e o segundo e maior subgrupo está distribuído entre as desembocaduras dos Rios Amazonas e o Pará; as estações 3, 7 e 10 não apresentam um padrão espacial muito claro, estando distribuídas a partir da porção superior da foz do Rio Amazonas em direção ao norte da plataforma. O segundo grupo evidenciado na análise é formado pelas estações {2, 12, 18 e 19}. De todos os grupos formados, esta agregação é a que menos apresenta um padrão espacial, estando as estações totalmente dispersas umas das outras. Por fim, o último grupo é formado pelas estações {1 e 5}, localizadas mais ao norte e mais afastadas da costa, e conseqüentemente, nas regiões mais profundas. Em resumo, os resultados sugerem que a homogeneização do sistema estudada se dá em decorrência principalmente de alguns fenômenos geoquímicos e oceanográficos, como a forte descarga proveniente do sistema Amazonas/Pará e a interferência da Corrente Costeira Norte do Brasil, associada provavelmente às correntes de maré e aos processos geoquímicos ocasionados pela mistura dos dois corpos de águas

(fluvial e marinha), com características físico-químicas diferentes.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi elaborada a partir dos resultados individuais encontrados para cada estação de coleta. Através de vários testes, determinou-se que o resultado que melhor explicaria a variação espaço/temporal era representado por um sistema de análise de duas componentes, evitando assim a perda da precisão dos resultados. O diagrama das Componentes 1 e 2 das amostragens codificadas por estação (Figura 3) separou espacialmente as estações ao longo da Componente 2, que explicou a influência das correntes oceânicas no ambiente.

A Componente 1, que representou a influência das cargas fluviais no sistema estudado, teve uma menor participação na distribuição espacial das estações, provavelmente pelo fato do grande aporte de material proveniente dos Rios Amazonas e Pará estar sendo distribuído de forma mais homogênea em toda a seção da plataforma continental estudada.

Na Figura 4, os grupos resultantes da análise PCA foram evidenciados, sendo possível agrupar os pontos 8 e 9 (Grupo 1) devido ao caráter estritamente positivo destes em relação à Componente 1. O Grupo 2, formado pelos pontos 7 e 10, apresentou uma distribuição positiva para ambas as componentes. O Grupo 3, formado pela maior parcela dos pontos, ficou em sua maior parte agregado negativamente em relação à Componente 2. Pontos isolados também foram evidenciados, enquanto que os pontos 2, 5 e 6, apresentaram a maior dispersão em relação aos de-

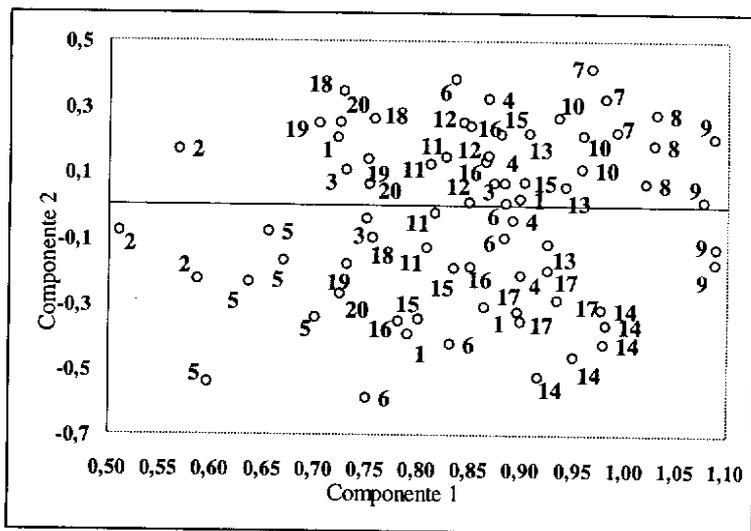


Figura 3 - Análise de Componentes Principais (PCA) para as estações de amostragem na plataforma continental do Amazonas, Norte do Brasil.

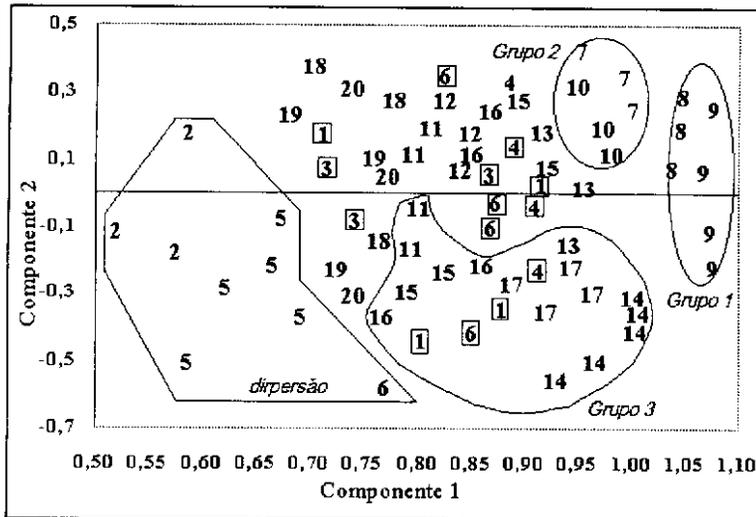


Figura 4 - Representação gráfica do comportamento dos principais grupos identificados na análise PCA para as estações de coleta na plataforma continental do Amazonas, Norte do Brasil.

mais pontos. Esse tipo de diagramação relacionando grupos formados por conjuntos de mesmos pontos tem sido aplicado com sucesso por alguns autores (e.g. Aprile & Farias, 2001), para explicar comportamentos e evidenciar fenômenos ambientais em ecossistemas aquáticos.

## CONCLUSÕES

1. Com relação às concentrações de fósforo total, conclui-se que o compartimento de fundo apresenta valores muito homogêneos, que representam uma ação não diferenciada de deposição e liberação nos diversos sítios na plataforma continental sob influência do sistema Amazonas/Pará.
2. Com relação aos constituintes orgânicos presentes nos sedimentos (carbono, nitrogênio e fósforo), as concentrações encontradas podem ser comparadas com outros ambientes não poluídos onde as fontes desses constituintes são a bacia hidrográfica do sistema Amazonas/Pará.
3. Os teores de carbonatos estimados indicam a predominância de uma sedimentação terrígena no compartimento mais costeiro e os valores significativos estão ligados a possíveis variações de marés existente na região.
4. Os dados da razão C/N mostram que a região estudada varia de tipicamente marinha até a de origem continental.
5. Os teores obtidos dos óxidos de ferro, manganês e alumínio refletem o tipo de formação do solo na região amazônica e uma possível associação com assembléias mineralógicas.

6. No geral, foi observada uma diminuição e/ou diluição dos óxidos dos metais Fe, Mn e Al em direção à quebra da plataforma, em função da perda de capacidade de transporte de sedimentos de fundo pelos Rios Amazonas e Pará, além do efeito de diluição do substrato marinho e de origem biogênica;

7. Os Rios Amazonas e Pará desempenham papel fundamental no transporte de materiais entre o continente e o oceano, sobretudo nos depósitos sobre a plataforma estudada, em direção NW.

8. A Corrente Costeira Norte do Brasil exerce um importante papel na mistura e transporte de material sólido proveniente das descargas dos Rios Amazonas e Pará, e na sua sedimentação em direção NW, promovendo a homogeneidade de muitos pontos amostrados na plataforma interna.

**Agradecimentos:** à CAPES/PICDT/UFGA, pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor; ao Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo; ao Departamento de Química do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, pela liberação das atividades técnicas do autor principal; a toda tribulação do N.Oc. Antares, da Diretoria de Hidrografia e Navegação, pela dedicação e empenho na coleta das amostras de sedimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, R. C. B & Patchineelam, S. R. Distribuição de metais traço carregados pelo rio Amazonas: costa norte amapaense. *Rev. Esc. Minas*, Ouro Preto, v.52, n.4, p.263 -267, 1999.
- Andrade, R. C. B & Patchineelam, S. R. Especiação de metais-traço em sedimentos de florestas de manguezais com *Avicennia* e *Rhizophora*. *Química Nova*, v.23, n.6, p. 733 -736, 2000.
- APHA. *Standard methods for examination of water and wastewater*. American Public Health Association, 16th edition, 1268 p., Washington, 1268 p., 1995.
- Aprile, F. M. & Farias, V. P. Avaliação da qualidade da água da bacia do Rio Goiana, Pernambuco - Brasil. *Bioikos*, v.15, n.2, p. 109 -114, 2001.
- Barcellos, R. L & Furtado, V. V. Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânico no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental interna adjacente. *Rev. Brasil. Oceanogr.*, v.47, n.2, p. 207 -221, 1999.

- Berner, R. A & Rao, J.L. Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: implications for the global flux of the phosphorus to the sea. *Geochimica Cosmochimica Acta*, Oxford, v.58, p. 2333-2340, 1994.
- Carreiras, R.S. *Investigação sobre o acréscimo da estocagem de carbono em ambientes fertilizados pela ação antropogênica: a Baía de Guanabara como modelo*. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 201 p., Rio de Janeiro, 2000.
- Chester, R. *Marine geochemistry*. Unwin Hyman, 698 p., Boston, 1990.
- Coutinho, P. N. Geoquímica dos sedimentos superficiais da plataforma continental Alagoas-Sergipe. *Anais Hidrogr.*, v. 36, p. 115-152, 1979.
- Coutinho, P. N. Sedimentação na plataforma continental Alagoas-Sergipe. *Arq. Ciên. Mar*, v.21, n.1/2, p.1-18, 1981.
- Chester, R. *The partitioning of trace elements in sediments*. Comitato Nazionale Energia Nucleare, 28 p., 1978.
- Duinker, J. C & Nolting, R. F. Distribution model for particulate trace metals in the Rhine estuary, Southern Bight and Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.*, v.10, p. 71-102, 1976.
- Figueiredo, A. G & Nittrouer, C. A. Distribuição de caráter de eco de 3,5 kHz na plataforma continental do Amazonas, p. 201-202, in *Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia*, São Paulo, 1992.
- GEOMAR I. XL Comissão Oceanográfica Costa Norte-Nordeste/Geologia Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação, 69 p., Rio de Janeiro, 1972.
- GEOMAR II. XLVI Comissão Oceanográfica Costa Norte-Nordeste/Geologia Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação, 79 p., Rio de Janeiro, 1972.
- Gibbs, R. J. Circulation in the Amazon River. *Geochimica Cosmochimica Acta*, Oxford, v.36, p.1061-1066, 1972.
- Gibbs, R.J. Currents on the shelf of northeastern South America. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v.14, p.283-299, 1982.
- Ivo, J. M. F & Figueiredo Jr., A. G. Textura e concentração de minerais pesados dos sedimentos da plataforma continental do Amazonas, p 241 - 247, in *Anais do V Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e XI Simpósio de Sedimentologia Costeira*, Niterói, 1995.
- Ivo, J. M. F & Figueiredo Jr., A. G. Concentrações de minerais pesados associados à morfologia da Plataforma Continental do Amazonas, p. 440-442, in *Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, 1996.
- Jackson, M. L. *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall, 498 p., Englewood Cliffs, 1965
- Keil, R.; Tsamakis, E.; Giddings, J. & Hedges, J. Biochemical distributions (amino acids, neutral sugars, and lignin phenols) among size-classes of modern marine sediments from the Washington coast. *Geochimica Cosmochimica Acta*, Oxford, v.62, p.1347-1364, 1998.
- Keil, R.; Montuçon, D.; Prahl, F & Hedges, J. Sorptive preservation of labile organic matter in marine sediments. *Nature*, v.370, p. 549 - 552, 1994.
- Klump, J. & Martens, C. Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin: Sedimentary nitrogen and phosphorus budgets based upon kinetic models, mass balances, and the stoichiometry of nutrient regeneration. *Geochimica Cosmochimica Acta*, Oxford, v. 51, p.161 - 1173, 1987.
- Landim, P. M.B; Bósio, N.J.; Wu, F. T. Castro, P. R. M. Minerais pesados provenientes do leito do rio Amazonas. *Acta Amazonica*, v.13, n.1, p. 51 - 72, 1983.
- Lima, E. A. R. *Avaliação geoquímica da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos pelíticos da plataforma continental do Amazonas no trecho entre a foz do Rio Pará e o Cabo Orange*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 112 p., Belém, 2003.
- Liss, P. S. Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing, in Burton, J. D & Liss, P. S. (eds.), *Estuarine chemistry*. Academic Press, 420 p., 1976.
- Meade, R. H.; Dunne, J. E; Richey, U. Salate, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River estuary. *Nature*, v.278, p.161-163, 1985.
- Melfi, A. J. & Carvalho, A. Soil, sediment, major formation of the continental biosphere. *Anais Acad. Brasil. Ciên.*, v.66, n.1, p. 195 -203, 1983.
- Milliman, J. D.; Barreto, H. T.; Barreto, L. A.; Costa, M. P. A. & Francisconi, O. Superficial sediments of Brazilian continental margin, p.30-44, in *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, 1983.
- Milliman, J. D & Meade, H. R. Worldwide delivery of river sediments to the ocean. *J. Geol.*, v.100, p. 525 - 544, 1983.
- Milliman, J. D.; Summerhayes, C. P. & Barreto, H.T Quaternary sedimentation on the Amazon continental margin: a model. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v.86, p.610 - 614, 1975.
- Oliveira, M. A & Barreira, R. L. Concentrações de fósforo, nitrogênio, potássio e sódio na Plataforma Continental do Território do Amapá, Brasil. *Arq. Ciên. Mar*, v.17, n.2, p. 137-142, 1977.

- Oltman, R. E. *Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River*. U. S. Geological Survey, Circular 5521, 16 p., Washington, 1968.
- Ottmann, F. Estudo das amostras do fundo recolhidas pelo NOc. "Almirante Saldanha", na região da embocadura do Rio Amazonas. *Rev. Univ. Rur. PE*, v.1, n. 1, p. 77 – 106, 1959.
- Patchineelam, S. R. Especificação de elementos-traço, fósforo e piritização nos sedimentos a noroeste da plataforma continental amazônica, p.72-73, in *Anais do VI Simpósio da Geologia da Amazônia (SBG/NO)*, Manaus, 1999.
- Pereira, S. B. *Aspectos geoquímicos do material particulado da pluma estuarina do rio Amazonas: fatores que controlam as interações com as águas oceânicas*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 130 p., Belém, 2000.
- Ransom, B.; Dongseon, K.; Kastner, m. & Wainwright, S. Organic matter preservation on continental slopes: importance of mineralogy and surface area. *Geochimica Cosmochimica Acta*, Oxford, v.62, p.1329 – 1345, 1998.
- Redfield, A.; Burchard, B. & Pizarro, E. The influence of organisms on the composition of water, p. 26-77, in Hill, M.N. (ed.), *The Sea - Vol. 2*. Wiley-Interscience, New York, 1963.
- Richardson C. J. Mechanisms controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetlands. *Science*, v.228, p.1424 – 1427, 1985
- Rule, P. D & Aller, R. C. Early diagenetic alteration of lateritic particle coatings in Amazon continental shelf sediment. *Sedim. Petrol.*, v.59, n. 5, 1989.
- Seyler, P. T. & Boaventura, G. R. Trace elements in the mainstream Amazon River, p. 307 – 327, in McClain, M. E.; Victoria, F. R. L. & Richey, J. E. (eds.), *The biogeochemistry of the Amazon basin*. Oxford Press, 2001.
- Silva, C. A. R. Manguezal: ecossistema egoísta ou benevolente? *Ciência Hoje*, v.20, n.120, p. 6 – 11, 1996.
- Silveira, I. M. O & Patchineelam, S. R. Formas de fósforo na plataforma continental do Amazonas, p.339-342, in *Anais do III Congresso Brasileiro de Geoquímica*, 1991.
- Silveira, I. M. O. & Patchineelam, S. R. Fracionamento de fósforo em sedimentos-caso da foz do rio Amazonas, p.136-138, in *Anais do V Congresso Brasileiro de Geoquímica*, 1993.
- Siqueira, G. W. *Estudos dos teores e biodisponibilidade de metais pesados (Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Fe e Mn), em sedimentos da plataforma continental do Amapá, entre os Cabos Orange e Norte (AP)*. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 127 p., 2000.
- Siqueira, G. W. *Estudos dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos (Baixada Santista/São Paulo) e plataforma continental do Amazonas (margem continental Norte do Brasil)*. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 386 p., 2003.
- Siqueira, G. W. & Braga, E. S. Availability of Fe, Mn, Cr and Zn in the muddy sediments on the Amazonian continental shelf, p. 825 – 826, in *Anais do VIII Congresso Latino Americano sobre Ciência del Mar*, Trujillo, 1999.
- Siqueira, G. W & Braga, E. S. Avaliação da dinâmica e da biodisponibilidade de Zn, Ni, Co e Pb para a biota a partir de sedimentos da plataforma continental do Amapá, nordeste da Amazônia, p. 241-265, in Espíndolas, E. L. G.; Paschoal, C. M. B.; Rocha. O.; Bohrer, M. B. C. & Oliveira Neto, A. L. (eds.), *Ecotoxicologia: perspectivas para o Século XXI*, 2000.
- Sverdrup, H. U.; Johnson, M. W. & Fleming, H. R. *The oceans: their physics, chemistry and general biology*. Prentice Hall, 1087 p., Englewood Cliffs, 1959.
- Tessier, A.; Campbell, P. G. C. & Brisson, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, v.51, p. 844-851, 1979.
- Villwock, J. A. A costa brasileira: geologia e evolução, p. 1-15, in *Anais do III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira, Subsídios a um Gerenciamento Ambiental*, 1994.