



Piatam
Oceano



**Evolução do conhecimento
geoquímico sobre as águas e
sedimentos da margem
continental norte**



PIATAM OCEANO

**Evolução do conhecimento geoquímico
sobre as águas e sedimentos da
margem continental norte**

José Antônio Baptista Neto

José Francisco Berrêdo

2008



1. Introdução

A síntese reúne uma série de informações técnico-científicas produzidas desde 1960 até o presente. As informações foram coletadas principalmente na consulta aos órgãos estaduais e federais, nas bibliotecas das universidades e instituições de pesquisa, via internet ou através da Plataforma Lattes/CNPq. A maior parte delas foi encontrada em artigos científicos, relatórios, teses e dissertações, desenvolvidas com dados obtidos pelos grandes projetos de pesquisa realizados na plataforma amazônica. A análise da informação evidenciou a influência do grande rio tropical sobre a margem oceânica, com destaque para as principais linhas de pesquisa: a) dinâmica de nutrientes; b) biogeoquímica de sedimentos; c) geoquímica do U e Elementos Terras Raras; d) geoquímica isotópica e e) geoquímica orgânica. Os estudos sobre a dinâmica dos nutrientes, dos processos biogeoquímicos e da geoquímica isotópica reúnem o maior número de publicações. Os principais resultados destacam o comportamento sazonal dos silicatos, fosfatos, nitratos e a influência inorgânica e da atividade biológica (principalmente diatomáceas) nos processos de remoção desses constituintes da coluna d'água. Os fluxos dos nutrientes garantem grande produtividade primária para as águas estuarinas, cujas concentrações químicas são reguladas pelos processos biogeoquímicos atuantes em cada compartimento do estuário amazônico. Uma parte da sílica (como sílica biogênica) forma minerais aluminossilicatos (autigênicos) ricos em Fe e K no sedimento de fundo; as concentrações do fósforo são controladas por suas ligações com o material particulado, associado a hidróxidos de ferro, óxidos de alumínio e a matéria orgânica; o nitrato é a forma de nitrogênio inorgânico dominante, quase todo ele fornecido pelo rio Amazonas. Uma quantidade significativa de carbono e nitrogênio é fixada no substrato, outra parte é exportada para o oceano. Os metais traço, lixiviados pelo intenso intemperismo dos sedimentos e solos tropicais, ligam-se preferencialmente ao material particulado. No substrato da plataforma, os metais traço têm seu comportamento biogeoquímico dominado pela oxi-redução do Fe e Mn nas lamas anóxicas/subóxicas, com baixo grau de piritização e a precipitação de minerais autigênicos tipo siderita e vivianita, silicatos de Al ricos em ferro, óxidos de ferro e glauconita. Os processos de

interação água-sedimento, de sedimentação e os estudos biogeoquímicos, obtiveram grande êxito com a utilização dos traçadores radionuclídios naturais (^{238}U , ^{234}Th , Pb^{210} , $^{226,228,224}\text{Ra}$). Ao mesmo tempo, tais métodos e técnicas analíticas modernas, auxiliaram o entendimento dos processos de ressuspensão dos sedimentos e as taxas de remineralização da matéria orgânica.

2. Metodologia

As informações aqui apresentadas basearam-se na coleta de dados realizada a partir de 2006 até 2007, nas bibliotecas da Universidade Federal do Pará, em Belém, na base de dados da CAPES, por via internet ou com base no currículo dos pesquisadores registrados na Plataforma Lattes-CNPq, na forma de artigos científicos, anais de congressos e simpósios, teses de mestrado e doutorado, monografias, relatórios, projetos e jornais. Toda a informação adquirida foi transformada em formato pdf, tabulada em planilhas de dados bibliográficos e inserida no banco de dados do projeto Piatam Oceano.

Na seção dos elementos traços foram utilizados os dados analisados pela Companhia de Recursos Minerais - CPRM e disponíveis no relatório PROJETO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA/CPRM – Relatório final do ano 1985. Este Projeto analisou um grande número de amostras coletadas durante as operações oceanográficas denominadas GEOMAR, totalizando 19 expedições científicas, estas amostras estavam armazenadas no banco Nacional de Amostras Geológicas do LAGEMAR-UFF e em outras instituições como LABOHIDRO/UFMA, LABOMAR/UFCE, IO-USP e CECO/UFRRS. Além destas expedições foram selecionadas as amostras do Projeto REMAC nas áreas onde não existiam amostras das operações oceanográficas GEOMAR. Este relatório representa a maior quantidade de dados geoquímicos dos elementos traços disponível até o momento.

3. Margem Continental Norte: Principais projetos realizados

As bacias da foz do rio Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas estão inseridas na Margem Continental Norte do Brasil onde, a partir das últimas décadas, foram realizados estudos de vários projetos de âmbito nacional e internacional (figura 1). Nessa região a primeira grande expedição realizada fez parte de um estudo global, efetuado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), visando obter uma visão geral sobre a Oceanografia física, química, biológica, meteorológica e geológica do Atlântico tropical. Esse programa foi denominado de **EQUALANT I e II** e ocorreu entre fevereiro a março de 1963 e entre agosto a setembro de 1963.

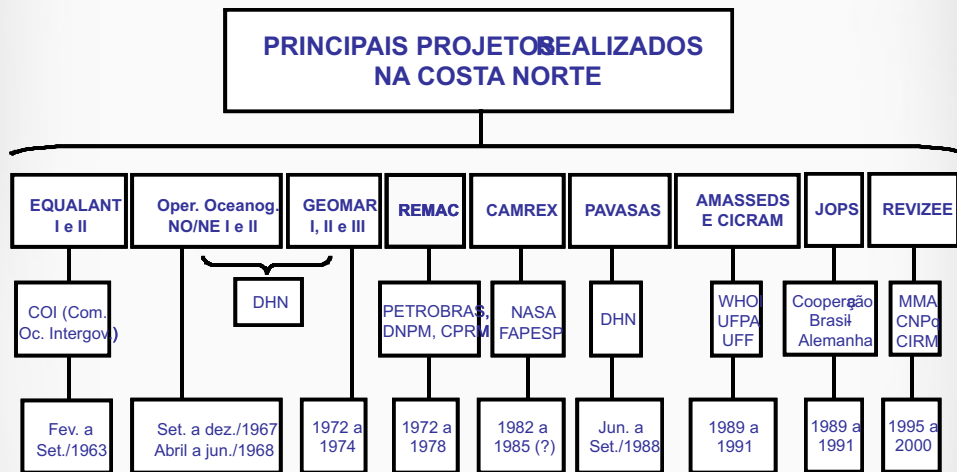


Figura 1 - Principais projetos realizados na Margem Continental Norte entre os anos de 1963 e 2000.

Com o intuito de obter informações sobre as interações dos processos químicos, físicos, biológicos, geológicos, meteorológicos e o sistema de correntes marinhas que ocorre na costa entre a cidade de Recife (PE) e o cabo Orange

(AP), a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) realizou durante o período de setembro a dezembro de 1967 e abril a junho de 1968, as operações: **OCEANOGRÁFICA NORTE/NORDESTE I E II**. As operações denominadas **GEOMAR I, II e III** (Operações de Geologia Marinha, Costa Norte do Brasil) foram realizadas no período de 1972 a 1974. Esse programa fez parte do Programa Plurianual de Geologia e Geofísica Marinha, sobre a égide do Conselho Nacional de Pesquisa e ficaram a cargo da DHN e de universidades que fizeram parte do PGGM. Os objetivos principais foram estudar a morfologia, recobrimento sedimentar, mineralogia e componentes biogênicas.

A expedição **PAVASAS I** (CXXXV Comissão Oceanográfica, Costa Norte - Oceanografia Física, Química, Biológica e Geológica) foi realizada no período de 28 junho a 19 de setembro de 1988. Essa operação foi a primeira de uma série que visou atender ao projeto "Pontos Anfidrônicos e Variações Sazonais no Atlântico Sul"; foi idealizada pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, conjuntamente com a DHN. Os objetivos principais foram estudar a variabilidade do nível médio do mar, analisando a maré de vários pontos do Atlântico Sul, desenvolver um modelo numérico de marés e de circulação para esse Oceano, além do estudo do campo de massa e de circulação devido aos efeitos meteorológicos.

O projeto **AMASSEDS** (A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study) constituiu-se num programa multidisciplinar desenvolvido pela Universidade Federal do Pará e Universidade Federal Fluminense conjuntamente com a State University of New York (Marine Sciences Research Center), University of Washington e Woods Hole Oceanographic Institute. As pesquisas, realizadas entre os anos de 1989 a 1991, tiveram como objetivo as investigações sobre os processos geológicos, físicos, químicos e biológicos que se desenvolvem ao longo do sistema de dispersão do rio Amazonas. O projeto **CICRAM** (Circulação Costeira da Região Amazônica) foi desenvolvido pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo e representou a contrapartida das atividades de oceanografia física do **AMASSEDS**.

O projeto **JOP'S** (Joint Oceanographic Projects), desenvolveu-se em ciências

marinhas, nos anos de 1990/1991, dentro do acordo de cooperação bilateral Brasil e Alemanha, de 1976. As abrangências dos temas cobertos pelo acordo de cooperação envolveram a Oceanografia geológica, biológica, química e física. Por último, houve a realização do Programa Nacional de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (**REVIZEE**), na região Norte do Brasil, o qual tem por objetivo assegurar a ocupação e uso da Zona Econômica Exclusiva-ZEE que compreende uma faixa que se estende das 12 as 200 milhas marítimas, a partir das linhas de base que servem para medir a largura do mar territorial.

4. A Evolução do conhecimento na Oceanografia Química

O levantamento e a sistematização de todas as informações disponíveis é tarefa árdua, tendo em vista o registro de vários artigos realizados desde o início do século passado, antes mesmo do surgimento da Oceanografia no Brasil (1950). A necessidade de reunir a informação e, ao mesmo tempo, fornecer uma visão global e integrada do conhecimento, levou os autores a ordenarem as diversas informações existentes não somente cronologicamente, mas, priorizando a evolução das metodologias de coleta, instrumentação, métodos científicos e o tratamento dos dados obtidos. Para a evolução do conhecimento oceanográfico da costa norte brasileira concorreram os grandes projetos de pesquisa (através de cooperação internacional) ou, a iniciativa nacional, com o apoio da Marinha do Brasil (através da DHN, a partir de 1960) e, ainda, com a formação de pesquisadores e a criação de novas instituições de pesquisa.

A despeito de décadas de conhecimento, todo o esforço das pesquisas tem sido para o melhor entendimento da influência do grande rio tropical sobre a margem oceânica (Dagg et al. 2004) e, mais recentemente, sobre o ciclo do carbono e os processos de mudanças globais. Com efeito, o rio Amazonas é responsável pelo suprimento de grande quantidade de água doce para o oceano ($5,8 \times 10^{12}$ m³/ano), segundo Nittrouer & De Master (1996), material dissolvido e particulado; o rio é influenciado por marés, ventos e correntes que determinam fortemente os processos químicos e biológicos que ocorrem no estuário, que lhe conferem características únicas, com grande significado para o balanço de massa global

(Smoak et al. 2006).

A partir do atual nível de conhecimento sobre a margem continental norte e, para facilitar o entendimento do leitor, subdividiu-se a síntese nas seguintes linhas de pesquisa:

- Dinâmica de nutrientes;
- Biogeoquímica de sedimentos;
- Geoquímica do U e Elementos Terras Raras;
- Geoquímica isotópica;
- Geoquímica orgânica

4.1 Dinâmica de nutrientes

A influência da descarga do rio Amazonas e do rio Pará sobre o comportamento dos nutrientes das águas oceânicas foi registrada nas décadas de 60 e 70, em diferentes condições sazonais, nos trabalhos de Ryther et al. (1967); Magliocca (1971) e Gibbs (1972), dentre outros – registra-se ainda, na década de 80 (março a junho/82), a realização da operação RIO PARÁ I, cujo objetivo foi obter dados oceanográficos básicos, informações maregráficas e correntométricas na região próxima da desembocadura do rio Pará.

Ryther et al. (op. cit.) apresentaram os dados da expedição ATLANTIS II, com interessante discussão sobre a influência das águas doces do rio Amazonas na distribuição e configuração das isolinhas de salinidade das águas superficiais oceânicas. Em comparação com as águas oceânicas, os autores observaram a diminuição dos teores de nitrato, fosfato e organismos fitoplanctônicos e o considerável aumento da concentração de silicatos. Magliocca et al. (op. cit.)

apresentaram dados obtidos pela expedição EQUALANT I, nos meses de fevereiro e março de 1963, resultado da contribuição dos rios Amazonas e Pará sobre as águas da plataforma continental. Seus principais resultados indicam os mais altos níveis de oxigênio dissolvido (5,23 mg/l) próximo à costa (salinidade em torno de 15 e temperatura de 27,5 °C), diminuindo na zona de mistura com as águas oceânicas. De acordo com esses autores, os rios Amazonas e Pará carregam grande quantidade de sedimentos em suspensão, contendo P inorgânico, cujas concentrações diminuem devido à sedimentação (diminuição da turbidez), acarretando no aumento de consumo de P nos primeiros 5 m da coluna d'água, de maior penetração de luz.

DeMaster et al. (1991) e DeMaster & Pope (1996) apresentaram os resultados obtidos pelo Projeto AMASSEDS com dados sobre os nutrientes: silicato, fosfato, nitrato, nitrito, amônio e uréia. As concentrações desses elementos são relativamente constantes, apresentando um aumento biológico aparente; o nitrato é a forma de nitrogênio inorgânico dominante na zona de mistura rio-oceano, apresentando as maiores variações sazonais. Fora da zona de mistura a atividade biológica reduz as concentrações de nitrato ao nível dos teores do amônio, nitrito e uréia. Aproximadamente 83 % do silicato, 62 % do nitrato, a metade do fosfato e 1/5 do amônio provêm do rio. Segundo DeMaster & Pope (op. cit.), menos de 4 % do silicato transportado pelo rio Amazonas e, aproximadamente 10% do nitrogênio inorgânico disponível e menos de 3 % do fosfato são assimilados pelo sedimento de fundo. Santos (2000), Santos et al. (2000, 2001, 2002, 2005), Saraiva et al. (2003) e Eschrique et al. (2003), interpretando dados do Projeto REVIZEE, também consideram a influência das águas fluviais dos rios Amazonas (no período de máxima descarga) e Pará na diminuição da salinidade das águas costeiras e as altas concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, fosfato e silicato), destacando-se o silicato. Siqueira et al. (2003) e Siqueira (2004) no âmbito do Programa REVIZEE apresentam dados de nutrientes inorgânicos (silicatos e fosfatos) e parâmetros físico-químicos sob influência dos rios norte entre os cabos Orange (AP) e Maguari (PA). Os resultados obtidos confirmam estudos anteriores e ratificam as apreciáveis influências de aportes de águas fluviais originadas do sistema amazônico.

Para Gibbs (1967) e Devol et al. (1995), a composição elementar do rio Amazonas (antes da mistura estuarina) é controlada primariamente pela geologia de diferentes bacias e pelos processos intempéricos atuantes nas sub-bacias. As concentrações de cátions e ânions relacionam-se principalmente à geologia andina e às rochas ácidas e solos delas derivados, os quais são percoladas pelo rio. Segundo Gibbs (op. cit.), Stallard & Edmond (1983) e Devol et al (op. cit.), rio abaixo as concentrações diminuem, diluídas por águas de baixa intensidade iônica provenientes das terras baixas; as concentrações químicas variam com a sazonalidade da região.

Gibbs (1972), com base em dados atualizados de descarga e amostragens sazonais obtidas próximo à cidade de Macapá-AP, apresenta importante contribuição sobre a química das águas do rio Amazonas, indicando um novo cálculo (62 ppm) para a concentração média de sais dissolvidos nos rios da América do Sul; o autor determinou as concentrações de Ca, Mg, Na, K e Fe, além de NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4 , Si, Al, HCO_3^- e Cl^- . Seus principais resultados indicaram concentrações relativamente constantes para Si, Mg e Cl; os demais elementos variam no ciclo sazonal com a descarga do rio Amazonas. Para Sholkovitz et al. 1978 e Sayles & Mangelsdorf (1979), Fe, K, Mg e Na podem ser removidos das águas por processos inorgânicos, porém, para Sholkovitz & Price (1980), a maioria das espécies químicas como Si, P, Ca, Mg, Ti e Mn é removida pela atividade biológica associada ao crescimento de diatomáceas. Para Edmond et al. (1981) espécies químicas como C, N, P e Si podem ser liberadas por remineralização em águas profundas. Para Sholkovitz (1993) e Skrabal (1995) Fe e Ti são 86 % a 97 % removidos na salinidade entre 0 a 6; em alta salinidade, o aumento das concentrações de Ti sugere a liberação do elemento a partir de material particulado em suspensão ou de sedimento de fundo, também observado por Mackin & Aller (1986) para explicar elevadas concentrações de Al na pluma do rio Amazonas. Benedetti et al. (2002) estimam que menos que 1 % do Fe e Al da coluna d'água está na forma dissolvida associada com colóides (80 % a 90 %).

Gibbs (1973;1977) afirma que vários metais de transição como o Fe, Ni, Co, Cr, Cu e Mn, carregados pelo rio Amazonas, são ligados aos sedimentos e

transportados como carga particulada, distribuídos em diferentes fases geoquímicas. Segundo Rude & Aller (1989), o intenso intemperismo químico tropical é responsável pela lixíviação de metais alcalinos e alcalino-terrosos do material crustal; o resíduo é predominantemente formado por óxidos-hidróxidos de Fe e hidróxidos de Al, além de argilas pobres em cátions; esse resíduo compõe o material dos solos como películas. Durante a diagênese marinha (provavelmente em ambiente redutor), as películas de partículas lateríticas podem sofrer rápida reação e alteração mineralógica, transformando-se em novos minerais silicatos com a composição Mg-Fe-Al.

Os dados dos elementos traços analisados por Machado (1985) com base nas amostras dos projetos GEOMAR I, II e III e do REMAC, indicam uma concentração natural dos elementos traços, demonstrando uma forte influência da descarga fluvial e da distribuição dos sedimentos lamosos e carbonáticos nas concentrações destes elementos. Pontos isolados com altas concentrações de metais na margem continental podem ser considerados erro metodológico. A Tabela 1 apresenta os limites de detecção dos elementos analisados pelo método de emissão espectrográfica realizadas pela CPRM.

Elemento	Limite inferior de detecção	Limite superior de detecção	Elemento	Limite inferior de detecção	Limite superior de detecção
Fe *	0,05	20	Cu	5	20.000
Mg *	0,02	10	La	20	1.000
Ca*	0,05	20	Mo	5	2.000
Ti*	0,002	1	Nb	10	2.000
Mn	10	5.000	Ni	5	5.000
Ag	0,5	5.000	Pb	10	20.000
As	200	10.000	Sb	100	10.000
Au	10	500	Sc	5	100
B	10	2.000	Sn	10	1.000
Ba	20	5.000	Sr	100	5.000
Be	1	1.000	V	10	10.000
Bi	10	1.000	W	50	2.000
Cd	20	500	Y	10	200
Co	5	2.000	Zn	200	10.000
Cr	10	5.000	Zr	10	1.000

* - Elementos com valores em %. Os restantes estão registrados em ppm.

Tabela 1 – Limites de detecção dos elementos analisados pelo método de emissão espectrográfica (Machado e colaboradores, 1985).

Na subseção mapas e no sistema de informações geográficas (DVD 6), são apresentados em mapas os níveis de concentração dos elementos analisados por Machado (1985) nos sedimentos superficiais da região oceânica equatorial brasileira. No entanto, não estão representados em mapa as concentrações dos elementos antimônio, bismuto, ouro, tungstênio e cádmio, pois os mesmos apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do equipamento.

Santos & Faria Jr (1991), consideraram que os teores de Cu, Ni, Zn, Pb, Mn e Fe, encontrados em sedimentos sub-superficiais nas proximidades da ilha de Maracá (AP), são oriundos do intemperismo e erosão da área fonte (continental), com material transportado pelo rio Flexal (AP), tanto na forma dissolvida quanto na particulada. Siqueira et al. (1999) analisaram o transporte de Pb em sedimentos da plataforma continental do Amapá, registrando que esse metal-traço é transportado na maior parte sob forma agregada às partículas em suspensão, ocorrendo uma tendência de enriquecimento de Pb em direção à costa. Para Cavalcante (1991), o particulado em suspensão representa o mais importante dos compartimentos na zona de mistura da foz do rio Amazonas, suporte para o Fe, Mn, Cu e Zn. Cavalcante et al. (1991) fizeram uma avaliação da distribuição geoquímica do Cu entre a forma dissolvida e particulada na foz do rio Amazonas, associado à salinidade e ao seston monitorado durante a amostragem. Cerca de 43,6% desse metal-traço está presente na fração residual e o restante (56,4 %), na fase disponível. Segundo Boyle et al. (1982) as concentrações de Cu podem diminuir na pluma do rio Amazonas e aproximadamente 25 % do elemento são consumidos pela atividade biológica; o comportamento do Cd não é bem definido. Para Key et al. 1985, algumas espécies químicas como o Cu e o Ni são relativamente não reativas e conservativas durante a mistura das águas doces com as águas oceânicas.

Pereira (2000) fez um amplo estudo geoquímico do material particulado da pluma do rio Amazonas e concluiu que Mn, Cu, Co, Cr, Ni e Zn exibem variações possivelmente relacionadas à adsorção com a matéria orgânica ou aos

argilominerais predominantes na região. Para Seyler & Boaventura (2001;2003) os metais V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cs e Pb também são associados ao material particulado.

Santos & Faria Jr (1993) realizaram uma avaliação das concentrações de Fe, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Zn e Pb em sedimentos costeiros do estado do Amapá. Para esses autores, os teores encontrados não indicam contaminação por metais-traços e podem estar relacionados a K-feldspatos, plagioclásio e micas, que servem de suporte geoquímico para esses elementos metálicos. Para Souza & Patchineelam (1993), os metais associados aos sedimentos de fundo da Plataforma estão predominantemente na fase residual (cristalina) e na fase de oxi-hidróxidos de Fe e Mn, e as diferenças das concentrações desses elementos químicos não se alteram significativamente com o fluxo (descarga) do rio ou com a profundidade do sedimento. Para Aller (1998) os sedimentos (lamas) anóxicos/suboxidados da plataforma do Amazonas são eficientes remineralizadores e geradores de minerais autigênicos. As lamas ricas em Fe, Al e óxidos de Mn direcionam a ciclagem biogeoquímica nesse ambiente.

Para Andrade & Patchineelam (1999) os metais-traços que chegam na costa norte amapaense são quase exclusivamente associados às fases geoquímicas residuais e reativas. Os autores evidenciaram a importância dos solos ferruginosos da bacia de drenagem para esta região costeira e demonstraram a ausência de fontes antrópicas nesse sistema. Para Siqueira (2000) os metais Cu, Cr, Co, Ni, Zn, Fe e Mn, presentes em sedimentos de fundo da plataforma do Amapá encontram-se principalmente agregados à fração cristalina, oxi-hidróxidos de Fe e Mn e, uma pequena parte está biodisponível para a biota. Posteriormente, Siqueira & Braga (2000) complementaram os estudos sobre a biodisponibilidade e dinâmica de metais-traços, associados ao compartimento de fundo. Os dados obtidos na fração móvel, apresentaram seqüência na ordem Zn>Pb>Ni>Co (isóbata de 13 a 70 m) enquanto que, no intervalo de isóbata de 70 a 87 m, a relação foi Pb>Ni>Zn>Co. A partir da extração total, a seguinte seqüência foi determinada: Zn>Pb>Co>Ni (isóbata de 13 a 70 m) e Pb>Zn>Ni>Co (isóbata de 74 a 87m).

Lima (2003) conclui que os sedimentos de fundo provenientes da plataforma amazônica indicam fortes associações de Cr, Ni, Cu, Co e Zn com a mineralogia da região. Ainda, para esse autor, as correlações de Fe, Mn e Al com Cr, Ni, Cu, Co e Zn, sugerem adsorção e complexação aos seus oxi-hidróxidos. Siqueira (2003) e Siqueira et al (2005), realizaram um estudo na Plataforma, entre as isóbatas de 19 a 100m. Amostras de sedimentos de fundo foram coletadas e analisadas com relação à ocorrência de metais selecionados (Li, Sr, Ba, V, Cr, Co, Ni, As, Zn, Pb e As). Os metais dominantes Fe, Mn e Al foram também analisados e utilizados como suporte ao estudo geoquímico. As correlações do Fe e Mn com As, Ba, Li, V, Pb, Ni, Cr, Zn, Sr, Cu, Co, evidenciam mecanismos de adsorção e/ou co-precipitação com os minerais secundários. Observaram-se correlações importantes entre o Al e a maioria dos metais selecionados, justificando ocorrência desses metais em matriz mineralógica, seja de argilominerais ou de minerais primários residuais. Por sua vez, o Sr mostra correlação negativa, revelando sua associação com outras fases mineralógicas, provavelmente carbonato. Os índices de geoacumulação mostram que não existem pressões antropogênicas, com exceção para a existência de anomalias de Pb e As.

Patchineelam (2001) estudou a distribuição do Hg em testemunhos coletados entre a foz do rio Amazonas e o cabo Orange (AP) comparando com áreas altamente contaminadas. Os teores do metal são muito baixos: na plataforma externa o teor de Hg no sedimento variou de 4 a 10 ng.g⁻¹, com maior concentração perto do cabo Cassiporé (AP). Siqueira et al. (2002) observaram certa anomalia na distribuição de As total nos sedimentos de fundo da plataforma amazônica. Os autores concluíram que além da liberação natural de As das rochas da bacia de drenagem via intemperismo, fatores antrópicos podem ter influenciado a dispersão de As total, oriundo de fontes não conhecidas. Essa anomalia já tinha sido identificada em trabalho realizado por Siqueira et al. (2002). Siqueira et al (2006) desenvolveram uma pesquisa nessa Plataforma, para determinar os teores de Zn, Co e Ni nos sedimentos superficiais, identificando o papel dos sedimentos como fonte ou reserva de elementos-traço. A concentração dos elementos metálicos apresentou a

seguinte associação: Zn > Ni > Co. Os sedimentos localizados na Plataforma Continental Amazônica podem ser considerados como sítio de ocorrência natural dos elementos metálicos, não havendo influência de fontes poluidoras na liberação destes para o sistema.

4.2 Biogeoquímica de sedimentos

4.2.1 Silício

Ryther et al. (1967) e Hulburt & Corwin (1969) estão entre os primeiros que estudaram os processos biogeoquímicos e a ciclagem de nutrientes relacionada ao fitoplâncton próximo à foz do rio Amazonas. Os estudos sobre o suprimento e o acúmulo da sílica no ambiente marinho foram enfatizados através dos trabalhos de Livingstone (1963), Egler & Schwassmann (1964), Milliman & Boyle (1975), Edmond et al. (1981), DeMaster (1981), DeMaster et al. (1983), DeMaster et al. (1986), DeMaster et al. (1996), DeMaster & Pope (1996) e Shipe et al. (2006). Segundo esses autores, o aumento da concentração de silício biológico em água de superfície contribui com 17-33 % do silício dissolvido descarregado pelo rio Amazonas e menos de 4 % se acumula no fundo da plataforma amazônica. Uma parte do silício pode se acumular sobre bancos na foz do rio como depósitos silicosos, mas, mais provavelmente é remineralizado e transportado como silício dissolvido. Esses estudos também examinaram o efeito da concentração dos sólidos em suspensão sobre o aumento biológico da sílica dissolvida e sobre partículas reativas utilizando ^{210}Pb e ^{234}Th como traçadores reativos do transporte de partículas para as águas estuarinas da plataforma continental amazônica. Para Michalopoulos & Aller (1995; 2004) em seus estudos sobre a formação de argilominerais (intemperismo reverso) no delta do rio Amazonas, uma boa parte do fluxo total de sílica (22%) e 90% da sílica biogênica é estocado na plataforma e uma grande porção dessa sílica é incorporada em aluminossilicatos autigênicos, ricos em K e Fe.

4.2.2 Fósforo

Fox et al. (1985) discutiram os fatores de controle das concentrações de P inorgânico e descrevem os fluxos de fósforo com base em 3 excursões realizadas em dezembro de 1982 (duas) e maio de 1982 e em experimentos de laboratório. Segundo esses autores, evidências indicam expressiva liberação de P inorgânico para as águas estuarinas a partir de sedimentos em suspensão assim como provenientes dos sedimentos de fundo. Fox (1989) apresenta um modelo termodinâmico para explicar o comportamento geoquímico do P inorgânico nas águas de grandes rios do mundo incluindo o rio Amazonas. O autor sugere que um dos principais processos que controlam as concentrações de P dissolvido, deve-se à formação de uma solução sólida de fosfato férrico sobre suspensões de hidróxido férrico amorfo. Rao & Berner (1991), Berner & Rao (1993) e Berner et al. (1993) e Rao e Berner (1993), apresentam procedimentos de fracionamento do fósforo a partir de fases sólidas nos sedimentos do rio Amazonas, comparado com os resultados de fases líquidas, no comportamento não conservativo e no mecanismo tampão do P em águas estuarinas. As correlações P-Ca são muito claras em sedimentos de banco, além de P-Fe em sedimentos em suspensão. Os resultados sugerem que o P associado com hidróxido férrico e óxidos de alumínio, juntamente com a matéria orgânica associados aos sedimentos em suspensão, são a principal forma de saída do P via rios para o oceano.

Para Demaster & Pope (1986), Richey et al. (1991) o fluxo de P orgânico total do rio Amazonas é de $23 \times 10^8 \text{ mol P d}^{-1}$, com aproximadamente 35% presente como P orgânico dissolvido. Segundo Berner & Rao (1994), Allinson et al. (1995), Kuehl et al. (1996), o acúmulo de P na plataforma é de $28 \times 10^6 \text{ mol P d}^{-1}$, sendo que $5,4 \times 10^6 \text{ mol P d}^{-1}$ é exportado como particulado; baseado no balanço de massa, o P exportado para o oceano é $54 \times 10^6 \text{ mol P d}^{-1}$. Para Smoak et al. (2006) o teor de P total do rio Amazonas é $63 \times 10^6 \text{ mol P d}^{-1}$; a metade dessa concentração está na forma inorgânica dissolvida. Segundo esses autores, a produção marinha de P orgânico é de $17 \times 10^6 \text{ mol P d}^{-1}$; 45% da produção de P na água da plataforma deve ser proveniente de P reciclado. Aproximadamente 3,5% ($7,3 \times 10^6 \text{ mol P d}^{-1}$) do P combinado produzido na coluna d'água e o P orgânico particulado suprido

pelo rio acumula-se sobre a plataforma. Ainda assim, segundo Ruttenberg & Berner (1993), P pode ser convertido a forma inorgânica durante o soterramento.

Siqueira *et al* (2006), no âmbito do Programa REVIZEE concluíram sobre a associação de fósforo com as várias frações geoquímicas do sedimento de fundo; esses estudos mostram que as concentrações de P-total no compartimento de fundo são muito homogêneas e representam uma ação não diferenciada de deposição e liberação nos diversos sítios da plataforma, com exceção dos sítios localizados nas desembocaduras dos rios Amazonas e Pará. Com relação à análise seqüencial, ocorreu uma predominância da fração de fósforo ligado ao ferro e alumínio (P-Fe/Al) nas áreas da plataforma interna e intermediária, sendo que esses setores são mais influenciados pelo deságüe fluvial dos dois principais fornecedores de carga sedimentar (rios Amazonas e Pará). Foi evidenciado que, com o aumento da distância da costa, ocorreu maior associação da fração de fósforo com o cálcio (P-Ca), indicando um ambiente sedimentar com predomínio de material biogênico. A fração de fósforo ligada ao ferro e o alumínio (P-Fe/Al) nos sedimentos provavelmente indicam a liberação de fósforo do compartimento de fundo para coluna d'água nos setores interno e intermediário da plataforma. Foi observada a existência de três setores distintos na predominância das diversas frações químicas de fósforo estudado; o primeiro de material de fonte continental; o segundo, de material de transição e, o último, de grande predomínio biogênico.

Santos *et al.* (2007) no âmbito do Projeto REVIZEE, apresentaram um estudo sobre as diferentes formas do P nas águas e sedimentos particulados da plataforma amazônica. Segundo esses autores, o P orgânico dissolvido representa apenas uma pequena fração do P total dissolvido. Já o P total particulado representa a principal forma do elemento e a salinidade parece exercer forte ação na liberação do P para a coluna d'água. Na camada eufótica, a descarga do rio Amazonas favorece a distribuição do fosfato, P particulado e P dissolvido. Na camada afótica, o percentual do fosfato aumenta como consequência da liberação a partir do P orgânico dissolvido e do P total particulado e da ausência do processo fotossintético. O P total particulado apresenta uma diminuição em seu percentual, o que pode estar relacionado ao

processo de deposição.

4.2.3 Ferro, manganês e enxofre

Para Aller *et al.* (1986), nos sedimentos de fundo da plataforma amazônica os processos biogeoquímicos são dominados pela oxi-redução do Fe e do Mn, com baixa depleção do sulfato e baixo grau de piritização. As altas concentrações de Fe^{2+} associadas com HCO_3^- e a ausência de S^{2-} livre, conduzem à precipitação de minerais autigênicos como siderita e vivianita; também são encontrados silicatos de Al ricos em Fe, películas de óxidos de ferro envolvendo quartzo e grãos de glauconita. Para Mackin *et al* (1988), a redução do Fe pode exercer um forte controle sobre a distribuição de B e I nos sedimentos da plataforma. Patchineelam *et al.* (1991) realizaram estudo em dois transectos na plataforma amazônica: ao norte (costa do Amapá) e na foz do rio Amazonas. Para esses autores, a distribuição independente do Fe pode estar relacionada com a presença de minerais autigênicos como siderita ($FeCO_3$), e que a distribuição de Co apresenta íntima correspondência com o Fe, podendo ser incorporado na siderita por adsorção ou incorporado na estrutura cristalina do mineral. Aller & Blair (1996) acrescentam que a baixa deposição da ΣS é favorecida pelo intemperismo terrestre que libera óxidos reativos e promove a reoxidação do S e o rápido soterramento pelo intenso retrabalhamento físico de sedimentos de fundo e a formação de lama fluida. O baixo grau de piritização, o domínio de minerais de Fe reduzido, não sulfídricos, e a ausência de estruturas sedimentares biogênicas, pode ser um indicador de lamas marinhas orgânicas, de intenso retrabalhamento físico por águas ricas em oxigênio.

4.2.4 Carbono

Para Hedges *et al.* (1986) e Richey *et al.* (1990) o rio Amazonas é o responsável pelo suprimento de aproximadamente 14×10^9 mol d^{-1} de C para o estuário. O fluxo de C orgânico total é de $6,5 \times 10^9$ mol d^{-1} , 2/3 é de C orgânico dissolvido. O C inorgânico dissolvido é a forma dominante do fluxo de C dissolvido, com $7,4 \times 10^9$

mol d⁻¹; segundo Drever (1988) e Smoack et al. (1996), a principal fonte do C inorgânico dissolvido é “offshore”, contribuindo com cerca de 336×10^9 mol d⁻¹ de C. A fonte “offshore” contribui também com 336×10^9 mol d⁻¹ de C orgânico dissolvido. Allinson et al. (1995), Kuehl et al. (1996) e Aller et al. (1996), calcularam os valores de C nos sedimentos e taxas de deposição e exportação; o enterramento de C orgânico é de $0,8 \times 10^9$ mol d⁻¹ de C. De acordo com Smoack et al. (2006) o C total exportado para o oceano e atmosfera é de 360×10^9 mol d⁻¹ de C; as trocas atmosféricas são desconhecidas.

De acordo com DeMaster & Aller (2001), 63% da produção primária da plataforma amazônica é estimada ser reciclada na coluna d'água e 10% “advectada offshore”. Segundo esses autores, 80% do C orgânico particulado, produzido na plataforma, que atinge o assoalho oceânico é estimado ser regenerado nos sedimentos e retorna para a coluna d'água. Aproximadamente 25% do suprimento de C orgânico particulado proveniente do rio Amazonas é enterrado nos sedimentos da plataforma e menos que 5% do C orgânico particulado vindo do rio é reciclado e retorna para a coluna d'água; cerca de 55% do C orgânico particulado depositado pelo rio é regenerado no sedimento e retorna para a coluna d'água. Cai et al. (1988) estudaram as fontes e o transporte de carbono orgânico particulado no rio Amazonas e no estuário utilizando isótopos de carbono estáveis ($\delta^{13}\text{C}$), concluindo que o carbono orgânico particulado é predominantemente de origem terrestre. Segundo Showers & Angle (1986) e Aller et al. (1996), 60% do C orgânico total soterrado na plataforma é de origem terrestre e 30% é marinho.

Siqueira et al. (2004) verificaram que o teor médio de carbono orgânico elementar em amostras de sedimentos foi de $0,75 \pm 0,42\%$. Segundo esses autores, 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, desfavorecendo a deposição de material orgânico. Lima et al. (2004) realizaram um estudo no Programa REVIZEE tomando como base os sedimentos da plataforma. Os espectros de infravermelho (IV) mostram nítidas

bandas de absorção na região entre $4000 - 3400 \text{ cm}^{-1}$ que são relativas às ligações O-H de grupos hidroxila; as bandas localizadas entre $1034 - 470 \text{ cm}^{-1}$ são relativas às ligações Si-O e Al-OH dos argilominerais. Esse método analítico serviu para caracterizar a matéria orgânica presente nas amostras, que apresentaram bandas pouco pronunciadas no intervalo de $2925 - 2850 \text{ cm}^{-1}$ caracterizando a ocorrência de grupos metil ($-\text{CH}_3$) e metileno ($-\text{CH}_2-$) das substâncias húmicas. Além de caracterizar a natureza química da matéria orgânica, os espectros de IV exibiram bandas de absorção na região de $1430 - 1402 \text{ cm}^{-1}$ que estão relacionadas aos carbonatos de areias calcárias de fragmentos de esqueletos de foraminíferos, equinodermas e moluscos presentes na área estudada.

4.2.5 Nitrogênio

De acordo com Hedges et al. (1986), Richey et al. (1990), Richey et al. (1991) DeMaster & Pope (1996) e DeMaster et al. (2001), o fluxo de N total no rio Amazonas é de $6,8 \times 10^8$ mol d⁻¹ N, dos quais $3,6 \times 10^8$ mol d⁻¹ N ocorre como N orgânico total. 60% do fluxo de N total é de N orgânico dissolvido e $2,7 \times 10^8$ mol d⁻¹ N está na forma de N inorgânico dissolvido. Segundo DeMaster & Pope (1996) e Smoack et al. (1996), a entrada de água oceânica supre o N inorgânico dissolvido, nas formas de nitrato, nitrito e amônio. Kuehl et al. (1986), Aller & Aller (1986) e Allinson et al. (1995) apresentam as taxas de deposição, exportação e a concentração de nitrogênio total nos sedimentos. Segundo esses autores, a deposição de N total é de $1,3 \times 10^8$ mol d⁻¹ de N e a exportação de $0,3 \times 10^8$ mol d⁻¹ de N total. DeMaster & Aller (2001), utilizando a taxa de deposição e a concentração de N orgânico no sedimento, calcularam a taxa de soterramento de N orgânico em $0,85 \times 10^8$ mol d⁻¹ de N orgânico. Siqueira et al. (2004) observaram que os fundos constituídos de areia mais grossa nessa plataforma foram os que apresentaram os conteúdos mais baixos deste nitrogênio, ao contrário daqueles de granulometria mais fina que mostraram um enriquecimento mais acentuado. O gradiente de distribuição de nitrogênio tem um enriquecimento ao longo do ambiente sedimentar, principalmente no setor mais interno dessa plataforma e sob constante influência dos rios (Amazonas, Pará, Araquari, Cunãni, Flexal,

Oiapoque e outros) que desembocam ao longo da costa.

4.3 Geoquímica isotópica

Os traçadores radionuclídios de ocorrência natural são bastante utilizados para uma variedade de estudos biogeoquímicos no rio Amazonas, desde a avaliação de áreas-fonte e elucidação de processos e suas características escalas de tempo na plataforma continental (Moore et al. 1996; Smoak et al. 2006). As pesquisas iniciais na plataforma amazônica pertencem a Key et al. (1985), Fox et al (1985) e Mackin & Aller (1986) que documentaram os processos de interação água-sedimento, enquanto que os processos de sedimentação foram estudados por Kuehl et al. (1986) na foz do grande rio. Segundo Moore et al. (1996) esses trabalhos tinham como principal objetivo: a) determinar a cinética de “sorption” e agregação coloidal de partículas reativas; b) avaliar o transporte e interação de águas “offshore”; c) quantificar o retrabalhamento anual de sedimentos de fundo; d) investigar a desorção de íons de partículas do rio; e) traçar o fluxo das águas do rio Amazonas no Oceano Atlântico.

Moore (1967) realizou as primeiras medições das concentrações de ^{238}U ($t_{1/2}$ vida = $4,5 \times 10^9$ anos) dissolvido no rio Amazonas. McKee et al. (1987) examinaram sistematicamente o transporte do urânio no estuário amazônico, concluindo que a liberação de U das partículas do rio é provavelmente a fonte dominante do aumento observado nas concentrações de ^{238}U . Swarzenski et al. (1995), investigaram a partição de U (fases dissolvida, particulada e coloidal) na plataforma amazônica durante a baixa descarga do rio. Segundo esses autores, aproximadamente 90% do U encontrado próximo à foz do rio está associado a partículas, e mais de 92% do U dissolvido está ligado às fases coloidais reativas. Swarzenski et al. (2004), analisaram U, Fe e Mn nas águas intersticiais de sedimentos adjacentes à foz do rio Amazonas, em variados estágios de descarga do rio. O U e o Fe mostraram íntima associação geoquímica em profundidades maiores que 1 m, confirmando a dependência entre as transformações diagenéticas do Fe e do U no sedimento redutor. As análises geoquímicas também sugerem a formação de minerais autigênicos portadores de U nos

sedimentos da plataforma amazônica.

Cabem a McKee et al. (1986) as primeiras observações sobre a distribuição dos coeficientes de ^{234}Th ($t_{1/2}$ vida = 24,1 dias), na plataforma amazônica; tais valores de K_d são baixos se comparados a outros ambientes marinhos, o que os levou à hipótese de que as fases particulada e solúvel do ^{234}Th não estão em equilíbrio porque o tempo de residência das partículas é pequeno comparado ao tempo de “sorption” para o ^{234}Th ; a cinética do processo de partição do ^{234}Th nas fases solúvel e particulada apresentou taxas constantes, variando entre 0,097 a 0,35 h^{-1} , correspondendo a tempos de “sorption” de 3-10h, ou seja, existe mais tório em solução que o previsto nos modelos de equilíbrio. Os resultados demonstram que na plataforma amazônica a partição e a distribuição de elementos-traço (até mesmo o tório), são governadas pela dinâmica das partículas.

O ^{234}Th também foi utilizado na plataforma amazônica por Smoak et al. (1996) e Moore et al. (1996), para estudos de taxa de bioturbação. A variabilidade temporal e espacial ou o excesso de ^{234}Th nos sedimentos varia tipicamente entre 2 a 5 dpm cm^{-2} . O excesso de ^{234}Th sugere que as taxas de bioturbação são controladas em primeiro lugar pela dinâmica partícula/colóide entre a coluna d'água e o fundo oceânico. Porém, a presença de lamas fluidas, móveis, limita o acúmulo de ^{234}Th sobre o fundo oceânico e proporciona um processo de dispersão único para as espécies de partículas reativas descarregadas pelo rio Amazonas, as quais não são incorporadas ao fundo oceânico.

Kuehl et al. (1982;1986) utilizaram o Pb^{210} ($t_{1/2}$ vida = 22.3 anos) para examinar os processos de deposição sedimentar na plataforma amazônica, encontrando taxas entre 0,1 a 10 cm ano^{-1} ; as menores taxas foram encontradas em regiões bioturbadas. Para DeMaster et al. (1986) o fluxo atmosférico de Pb^{210} apresenta um excesso de 10,5 dpm cm^{-2} . Smoak et al. (1996) usou o excesso de Pb^{210} encontrado na plataforma amazônica (o qual excede o suprimento de outras fontes), para determinar o excesso de Pb^{210} suprido por águas “offshore”. O autor utilizou a concentração de Pb^{210} em águas “offshore” para estimar que o aporte lateral dessas águas é de $5 \times 10^{13} \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Essa contribuição das águas oceânicas é 10x maior que o suprimento das águas do rio Amazonas para a

plataforma e o Pb^{210} pode ser usado para avaliar o suprimento de metais reativos de águas “offshore” para a plataforma. Para Smoak et al. (1996) a contribuição de Pb^{210} pelas águas do rio varia sazonalmente devido ao variável regime de intemperismo. Smoak et al. (1996) utilizaram valores dos sedimentos para determinar uma contribuição média de Pb^{210} da água do rio de $1,55 \text{ dpm g}^{-1}$.

Dukat & Kuehl (1995) desenvolveram um geocronômetro utilizando $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ na plataforma amazônica para aumentar a geocronologia do Pb^{210} em taxas de acumulação de sedimento acima de 30 anos, variando entre 10 a 60 cm/ano. Moore et al. (1996) utilizaram os isótopos $^{226,228,224}\text{Ra}$ dos sedimentos de fundo para avaliar processos de ressuspensão na plataforma amazônica, em diferentes escalas de tempo e regimes de descarga. O fluxo médio de ^{226}Ra da plataforma amazônica, equilibra a desorção anual de ^{226}Ra derivado dos sedimentos do rio. Esses autores encontraram taxas de acúmulo de sedimento máximas de $57 \text{ cm}^{-1} \text{ ano}$ e descobriram que o acúmulo de sedimento nessas áreas é controlado pela entrada de lamas fluidas. A desorção do radio sedimentar é acompanhada pela liberação de outras espécies trocáveis como P, Cs e Cd. A desorção de rádio é utilizada como traçador da pluma do rio Amazonas no oceano Atlântico.

4.4 Geoquímica do U e Elementos Terras Raras

Foram as pesquisas de McKee et al. (1987) que despertaram o interesse pela geoquímica do urânio na plataforma amazônica. Esses autores registraram elevadas concentrações de U na interfície água-fundo oceânico na plataforma amazônica. Suas conclusões baseiam-se no aumento das concentrações de U a partir de transformações diagenéticas de U particulado no fundo oceânico e a liberação do elemento presente nas águas intersticiais para a coluna d'água. Mais tarde Swarzenski et al. (1991;1995), através dos levantamentos do Projeto AMASSEDS, confirmaram uma fonte de U no fundo oceânico com elevadas concentrações do elemento nas águas intersticiais. Swarzenski et al. (1995) estudaram a distribuição do U e da salinidade na coluna d'água, sob baixa

descarga, enchente e alta descarga; o estudo indicou a remoção do U da coluna d'água, em todos os estágios do rio. A maior parte do U (89%), próximo a foz do rio, durante baixa descarga está associado com a fase particulada e, cerca de 92% do U da fase dissolvida está na fração coloidal. Uma distribuição não conservativa U/salinidade foi observada para o U dissolvido, indicando a remoção do elemento em salinidades menores que 20.

Elderfield et al. (1990) analisaram as concentrações de ETR (Elementos Terras Raras) em amostras de água de vários rios, estuários e águas costeiras, incluindo o rio Amazonas, para avaliar a continuidade do padrão de ETR entre a crosta continental e o oceano. Sholkovitz (1993) desenvolveu importante pesquisa sobre a geoquímica dos ETR no estuário do rio Amazonas, com amostras de sedimento de fundo e de sedimento em suspensão do Projeto AMASSEDS. Seus resultados indicam extensiva remoção de ETR trivalentes dissolvidos na água do rio Amazonas, a remoção do Ce pela formação de colóides na região de baixa salinidade (0-6) e por oxidação de Ce^{+3} a Ce^{+4} pela alta atividade biológica. Sholkovitz (1995) estudou a química aquática de ETR em rios e estuários. O autor analisou os ETR de fases dissolvidas e particuladas do rio Amazonas e realizou experimentos de laboratório. O rio Amazonas é altamente fracionado (enriquecido em ETR leves) com respeito a composição dos particulados em suspensão. Para o autor, pode haver competição com ânions carbonato e fosfato entre fases dissolvidas e a superfície de adsorção.

Fernandes et al. (1994) e Ferraz et al. (1996) estudaram várias amostras dos solos inundáveis (2 a 5 cm) do rio Amazonas e seus principais tributários para a determinação de elementos traços (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, e Lu) e dos sedimentos em suspensão de 8 estações entre Santarém e Óbitos. Os autores discutiram as variações temporais e espaciais da composição química dos sedimentos na bacia amazônica, não encontrando diferenças significativas na distribuição dos elementos traço dos solos inundados. A composição química média é comparável com aquela dos sedimentos em suspensão. Lara et al. (1997) estudaram os ETR em testemunhos de sedimentos da plataforma do Amazonas, indicando homogeneidade na distribuição de ETR ao longo dos perfis. O Ce apresenta anomalias positivas, elevadas. Foi identificado um

enriquecimento de Ce, Sm, Fe, Th e Sc e uma depleção em La, Eu, Tb, Yb, Co, Cr, Cs, Hf, Ta e Zn; os sedimentos são enriquecidos ETR leves em relação aos ETR pesados.

4.5 Geoquímica orgânica

Elias & Cardoso (1996) analisaram as fontes e o transporte de lipídios na plataforma amazônica, utilizando material dissolvido e sedimentos recentes. Os resultados indicam que os compostos de n-alcenos dissolvidos estão presentes em baixas concentrações (ppb), dominados por lipídios de fitoplânctons marinhos. Nos sedimentos, a distribuição bimodal da cadeia n-alcenos sugere uma mistura de material terrestre e fitoplantctônico/microbial da matéria orgânica. Na fase dissolvida, há predominância de compostos sesquiterpenos; a diminuição desses compostos nos sedimentos sugere a sua liberação de fases sólidas do fundo oceânico. Elias et al. (1996) analisaram compostos de sesquiterpenoides, principalmente do tipo *cadinane* presentes na fração de hidrocarbonetos da fase dissolvida nas águas da plataforma continental do Amazonas. Esses compostos estão presentes em quantidade traço (ppb), como componente neutro dominante e abundância maior que outros compostos; são registrados como marcadores terrígenos. A presença dos sesquiterpenoides indica uma entrada lateral de material resinoso, provavelmente derivados das áreas baixas da bacia de drenagem. Elias et al. (1997) apresentam resultados sobre a predominância de compostos n-alceno em amostras particuladas e dissolvidas da plataforma amazônica, como um biomarcador para a entrada de matéria orgânica terrestre em amostras geológicas e ambientais; os compostos n-alcenos são de origem microbial e de alteração de detritos de algas.

Budzinski et al. (1997) identificaram hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nos sedimentos do leque do rio Amazonas estudando sua evolução diagenética. Os autores utilizaram os hidrocarbonetos aromáticos como ferramenta molecular para elucidar a origem e o destino da matéria orgânica. Os compostos aromáticos identificados, de distribuição bastante uniforme nos sedimentos,

variam de tri a penta aromáticos e sua distribuição interpretada em termos de fonte e taxa de diagênese. Goñi (1997) utilizaram análises de lignina, carbono e isótopos de carbono para caracterizar a matéria orgânica em sedimentos do leque do Amazonas. Seus resultados sugerem que a matéria orgânica é composta de variáveis quantidades de contribuições marinhas (20% a 85%) e terrestres (15% a 80%), predominando a origem terrestre. Wehmiller & Hall (1997) utilizaram estudos de racemização de aminoácidos extraídos de foraminíferos para estudos geocronológicos nos sedimentos da plataforma amazônica; o método é limitado pelo número de foraminíferos presentes na amostra e pela necessidade de métodos analíticos mais sensíveis. Fernandes et al. (1999) avaliaram as fontes e a deposição de n-alcenos e esteroides em sedimentos da plataforma amazônica no âmbito do Programa AMASSEDS. A avaliação concomitante de biomarcadores alceno e esteroides permite a identificação de áreas do rio onde a matéria orgânica produzida se acumula.

Elias et al. (2000) analisaram lipídios acíclicos em material dissolvido e particulado em águas da plataforma amazônica para correlacionar com os processos diagenéticos da matéria orgânica e avaliar as diferenças no padrão de distribuição dos compostos das amostras. As fases dissolvida e particulada mostraram-se saturadas com relação a ácidos alcanóides C_{14} , C_{16} e C_{18} e um ácido não saturado $C_{16:1}$ como componentes principais. A composição química desses lipídios acíclicos indica uma origem de microorganismos, provavelmente diatomáceas; as diferenças nos perfis de hidrocarbonetos acíclicos das fases dissolvidas e particuladas mostram que as entradas de matéria orgânica são preservadas diferentemente em pequenas e grandes partículas. Saliot et al. (2001) analisaram lipídios (esteróis e ácidos graxos) durante a cheia do rio Amazonas, em seus principais tributários; esses compostos foram determinados para estimar as relativas frações terrígenas e autóctonas da matéria orgânica.

Boot et al. (2006) utilizaram análises de lipídios para datar os sedimentos do leque do Amazonas conseguindo idades em torno de 35.000 anos. Os compostos n-alcenos não mudam ao longo do testemunho sugerindo fontes de vegetação homogêneas; a abundância de taraxerol relativo, a outros biomarcadores, indica aumento no suprimento de vegetação de manguezal.

Taxas de acumulação de massa de algumas bactérias e biomarcadores tipo *eustigmatophyte* variam intimamente com os biomarcadores de plantas superiores e parecem de fonte não marinha; alkenones quando presentes, estão em baixas concentrações indicando diluição de sinais marinhos com matéria orgânica terrestre.

Blair & Aller (1995) analisaram a oxidação de metano anaeróbico na plataforma amazônica, fortemente controlada pelos processos de sedimentação física. Segundo os autores, a oxidação do metano produz pouco carbono inorgânico dissolvido; o metano é importante como fonte de $\sum \text{CO}_2$ e como redutor para o sulfato em sedimento reliquias, expostos por erosão, ao mesmo tempo, contribui para a precipitação de carbonato autigênico. Figueiredo et al. (1996) registram a ocorrência de gás em registros sísmicos de sedimentos da plataforma continental. A profundidade do gás depende da espessura da zona de redução do sulfato e das camadas de trapeamento do gás, originado de fontes marinhas e parcialmente de fontes terrestres.

5. Considerações Finais: A Análise da Informação

O levantamento dos dados pretéritos sobre o conhecimento geoquímico da Plataforma Continental Norte foi consolidado a partir das informações obtidas desde a década de sessenta até o presente. A maior parte da informação apresenta-se na forma de artigos científicos, com teses e dissertações em menor número; os dados discutidos nessas publicações foram coletados a partir dos grandes projetos de pesquisa realizados na plataforma amazônica.

A análise da informação evidenciou o esforço das pesquisas na plataforma amazônica para o melhor entendimento da influência do grande rio tropical sobre a margem oceânica com destaque para as principais linhas de pesquisa: a) dinâmica de nutrientes; b) biogeoquímica de sedimentos; c) geoquímica do U e Elementos Terras Raras; d) geoquímica isotópica e e) geoquímica orgânica. Neste levantamento destacaram-se os estudos sobre a dinâmica dos nutrientes, dos processos biogeoquímicos e da geoquímica isotópica, os quais foram

representados na maioria das publicações.

A influência das águas doces sobre o oceano foi estudada pelo comportamento sazonal da salinidade, dos níveis de oxigênio dissolvido e pela dinâmica dos nutrientes (silicatos, fosfatos, nitrato, amônio e nitrito, além de metais-traço), acompanhados por medições do plâncton, marés, vazão, correntes, ventos e temperatura. Os principais resultados destacam o comportamento sazonal dos silicatos, fosfatos (na forma dissolvida e particulada), nitratos e a influência inorgânica ou atividade biológica (principalmente diatomáceas) nos processos de remoção desses constituintes da coluna d'água.

Os processos biogeoquímicos comandam a ciclagem dos nutrientes na plataforma, cujos fluxos provenientes do rio, das águas oceânicas e a deposição atmosférica, em muito contribuem para o aumento das taxas de produção no estuário amazônico. Do fluxo total da sílica fornecida pelo rio Amazonas e que atinge as águas oceânicas, uma pequena fração se acumula no fundo da plataforma amazônica; a sílica (como sílica biogênica), é incorporada e forma aluminossilicatos autigênicos, ricos em K e Fe. Os fluxos de fósforo são controlados por suas ligações ao material particulado e sedimentos de fundo, associado a hidróxidos de ferro, óxidos de alumínio e matéria orgânica. Entre os compostos de nitrogênio, o nitrato é a forma de nitrogênio inorgânico dominante, quase todo ele fornecido pelo rio Amazonas e que apresenta as maiores variações sazonais. O nitrato, nitrito e amônio também têm importante contribuição das águas oceânicas como nitrogênio inorgânico dissolvido. Os altos níveis de nutrientes contribuem para o aumento da produção primária na plataforma amazônica, aumentada por taxas de remineralização elevadas na coluna d'água; ainda assim, uma quantidade significativa de carbono e nitrogênio é fixada no substrato, outra parte é exportada para o oceano. Os metais-traço também fazem parte da composição química elementar das águas amazônicas. As concentrações dos metais são diretamente dependentes do intenso intemperismo químico tropical, lixiviados dos solos e transportados para o rio como carga dissolvida ou como partículas reativas. Na plataforma amazônica esses elementos têm seu comportamento biogeoquímico, dominados pela oxirredução do Fe e Mn nas lamas anóxicas/subóxicas, com baixo grau de piritização

mas, com a precipitação de minerais autigênicos tipo siderita e vivianita, silicatos de Al ricos em ferro, óxidos de ferro e glauconita.

Os processos de interação água-sedimento (proveniência de massas d'água, origem, partição e distribuição de elementos-traço), sedimentação (áreas-fonte, escala de tempo, taxas de bioturbação) e os estudos biogeoquímicos (formação de minerais autigênicos) obtiveram grande êxito com a utilização dos traçadores radionuclídeos naturais (^{238}U , ^{234}Th , Pb^{210} , $^{226,228,224}\text{Ra}$). O entendimento dos processos de ressuspensão dos sedimentos e as taxas de remineralização da matéria orgânica receberam grande impulso através da aplicação desses métodos e o aprimoramento de várias técnicas utilizadas pela primeira vez nos estudos desenvolvidos pelo projeto AMASSEDS na plataforma amazônica.

Referências Bibliográficas

Aller, J. Y.; & Aller, R. C. 1986. General characteristics of benthic faunas on the Amazon inner continental shelf with comparison to the shelf off the Changjiang River, East China Sea. *Continental Shelf Research*. 6, 291-310.

Aller, R. C. 1998. Mobile deltaic and continental shelf muds as suboxic, fluidized bed reactors. *Marine Chemistry*. 61, 143-155.

Aller, R. C.; Blair, N. E.; Xia, Q.; & Rude, P. D. 1996. Remineralization ratio, recycling and storage of carbon in Amazon shelf sediment. *Continental Shelf Research* (in press).

Aller, R. C.; e BLAIR, N. E. Sulfur diagenesis and the burial on the Amazon shelf: major control by physical sedimentation processes. *Geo-Marine Letters*. 16, 3-10.

Aller, R. C.; Mackin, J. E.; & Cox, R. T. 1986. Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds: apparent dominance of Fe reduction and implications for the genesis of ironstones. *Cont. Shelf. Res.*, 6:263-289.

Allison, M. A.; Nittrouer, C. A.; & Faria Jr, L. E. C. 1995. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. *Marine Geology*. 125, 373-392.

Andrade, R. C. B.; & Patchineelam, S. R. 1999. Distribuição de metais-traço carregados pelo rio Amazonas: costa norte amapaense. *REM: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, 52(4):263-267.

Blair, N.E., Aller, R.C., 1995. Anaerobic methane oxidation in: Amazon shelf sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 59, 3707–3715.

Benedetti, M.; Ranville, J. F.; Ponthieu, M.; & Pinheiro, J. P. 2002. Field-flow fractionation characterization and binding properties of particulate and colloidal

organic matter from the rio Amazon and rio Negro. *Org Geochem*. 33, 269-279.

Berner, E. K.; e Rao, J.-L. 1993. Phosphorus in sediments of the Amazon river and estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.

Berner, E. K.; Ruttenberg, K. C.; Ingall, E. D.; e Rao, J.-L. 1993. The nature of phosphorus burial in modern marine sediments. In: Wollast, R; Mackenzie, F. T.; e Chou, L. (ed.). Interactions of C, N, P, and S biogeochemical cycles and global change. Springer, New York. 365-378.

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 Cosmochimica Acta*, 58: 2333-2340.

Boyle, E. A.; Husted, S. S.; & Grant. 1982, B. The chemical mass balance of the Amazon Plume—II, copper, nikel and cadmium. *Deep Sea Res.*, 26:1355-1364.

Boot, C.S; Ettwein, V.J.; Maslin, M.A.; Weyhenmeyer, C.E.; Pancost R.D. 2006. A 35,000 year record of terrigenous and marine lipids in Amazon Fan sediments. *Organic Geochemistry*, 37: 208–219.

Budzinski, H.; Garrigues, P.; Bernard, G.; Bellocq, J.; Hinrichs, K.; Rullkötter, J. 1997. In: Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., and Peterson, L.C. (Eds.). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 155, 355-564.

Cai, D.-L.; Tan, F. C.; e Edmond, J. M. 1988. Sources and transport of particulate organic carbon in the Amazon River and Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 26: 1-14.

Cavalcante, P. R. S., 1991. Partição de metais pesados na foz do rio Amazonas. Dissertação de Mestrado. UFF, RJ, 150p.

Cavalcante, P. R. S.; Maddock, J. E. L.; & Damasceno, R. N. 1991. Comportamento geoquímico do cobre na foz do rio Amazonas. *Anais do III*

Congresso Brasileiro de Geoquímica & I Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, SP/BR, 1:314-317.

Dagg, M.; Benner, R.; Lohrenz, S.; Lawrence, D. 2004. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. *Continental Shelf Research*, v.24, 833-858.

DeMaster, D. J. 1981. The supply and accumulation of silica in the marine environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45, 1715-1732.

DeMaster, D. J.; & Aller, R. C. 2001. Biogeochemical process on the Amazon Shelf: changes in dissolved and particulate fluxes during river/ocean mixing. In: McClain ME, Victoria RL, Richey JE (eds) *The biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford Press, New York, p 328.

DeMaster, D. J.; e Pope, R. H. 1996. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 3, 263-289.

DeMaster, D. J.; Knapp, G. B.; & Nittrouer, C. A. 1983. Biological uptake and accumulation of silica on the Amazon continental shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 1713-1723.

DeMaster, D. J.; Mckee, B. A.; Moore, W. S.; Nelson, D. M.; Showers, W. J.; e Smith, W. O. 1991. *Geochemical processes occurring in the waters at the Amazon river/ocean boundary*. *Oceanography*. 4, 15-20.

DeMaster, D. J.; S. A. Kuehl; & Nittrouer, C. A. 1986. Effects of suspended sediments on geochemical processes near the mouth of the Amazon River: examination of biological silica uptake and the fate of particle-reactive elements. *Continental Shelf Research*, 6, 107-125.

DeMaster, D. J.; Smith Jr. W. O.; Nelson, D. M.; & Aller, J. 1996. Biogeochemical processes in Amazon shelf waters: Chemical distributions and uptake rates of silicon, carbon and nitrogen. *Continental Shelf Research* (in press).



DeMaster, D.J., Aller, R.C., 2001. Biogeochemical processes on the Amazon shelf: changes in dissolved and particulate fluxes during river/ocean mixing. In: McClain, M.E., Victoria, R.L., Richey, J.E. (Eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford Press, Oxford, pp. 328–357.

Devol, A. H., B. R. Forsberg, J. E. Richey, and T. P. Pimentel. 1995. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: a multiyear time series. *Global Biogeochem. Cycles*, 9: 307-328.

Dukat, D. A.; Kuehl, S. A. 1995. Non-steady-state ^{210}Pb flux and the use of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ as a geochronometer on the Amazon continental shelf. *Marine Geology* 125, 329-350.

Drever J.I. (1988). *The geochemistry of natural waters*, 2nd edn. Prentice Hall, New Jersey.

Egler, W. A.; e Schwassmann, H. O. 1964 Limnological studies in Amazon estuary. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. 1, 2-25.

Eschrique, S.A.; Saraiva, A.L.L.; Delfino, I.B.; Santos, M.L.S.; Silva, A.C. 2003. Sazonalidade na ZEE Norte: estudo de parâmetros abióticos ($4^{\circ} 30'\text{N}$ e $6^{\circ} 46,2'\text{N}$ de latitude e $51^{\circ} 1,8'\text{W}$ e $49^{\circ} 21'\text{W}$ de longitude).

Elderfield, H.; Upstill-Goddard, R.; e Sholkovitz, E. R. The rare elements in rivers, estuaries, and coastal seas and their significance to the composition of ocean waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 54, 971-991.

Elias, V. O.; Cardoso, J. N. 1996. Sources and transport of lipids on the Amazon continental shelf. *Geo-Marine Letters*. 16, 11-16.

Elias, V. O.; Cardoso, J. N.; Simoneit, B. R.T. 1996. Sesquiterpenoids in Amazon shelf waters. *Organic Geochemistry*. . 25, 241-250.

Elias, V.O., Simoneit, B.R.T., Cardoso, J.N., 1997. Even n-alkane

predominances on the Amazon Shelf and NE Pacific. *Naturwissenschaften*, 84, 415±420.

Elias, V. O.; Cardoso, J. N.; Simoneit, B. R. T. 2000. Acyclic Lipids in Amazon Shelf Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (2000) 50, 231–243.

Fernandes, E. A. N.; Ferraz, E. S. B.; Oliveira, H. 1994. Trace elements distribution in the Amazon floodplain soils. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 179, 251-258.

Ferraz, E. S. B.; Fernandes, E. A. N.; Oliveira, H.. 1996. Similarity between trace-element composition of river and seabed sediments in the Amazon system. *Geo-Marine Letters*, 16,27-30.

Fox, L. E. 1989. A model for inorganic control of phosphate concentrations in river waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 417-428.

Fox, L. E.; Sager, S. L.; e Wofsy, S. C. 1985. The chemical control of soluble phosphorus in the Amazon River and estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 50, 783-794.

Figueiredo Jr, A.G., Nittrouer, C.A., Costa, E.A., 1996. Gas-charged sediments in the Amazon submarine delta. *Geo-Marine Letters* 16, 31±35.

Fernandes, M.B., Elias, V.O., Cardoso, J.N., Carvalho, M.S.,1999. Sources and fate of n-alkanols and sterols in sediments of the Amazon shelf. *Organic Geochemistry* 30, 1075–1087.

Gibbs, R. J. 1967. The geochemistry of Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of suspended solids. *Geological Society American Bulletin*. 78, 1203-1232.

Gibbs, R. J. 1972. Water chemistry of the Amazon River. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36, 1061-1066.



Gibbs, R. J. 1973. Mechanism of Trace Metal Transport in Rivers. *IScience* 180, 71-73.

Gibbs, R. J. 1977. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon rivers. *Geology Society American Bulletin*. 88, 829-843.

Goñi, M.A. 1997. Record Of Terrestrial Organic Matter Composition In Amazon Fan Sediments. In: Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., and Peterson, L.C. (Eds.). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 155, 519-530.

Hedges, J. I.; Clark, W.; Quay, P. D.; Richey, J.E.; Devol, A. H.; & Ribeiro, N. 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology Oceanography*. 31, 717-738.

Hulburt, E. M.; & Corwin, N. 1969. Influence of the Amazon River outflow on the ecology of the western tropical Atlantic--III. The planktonic flora between the Amazon River and the Windward Islands. *Journal of Marine Research*, 27, 55-72.

Key, R. M.; Stallard, R. F.; Moore, W. S.; & Sarmiento, J. L. 1985. Distribution of Ra-226 and Ra-228 in the Amazon River estuary. *Journal of Geophysical Research*, 90, 6995-7005.

Kuehl, S.A., Nittrouer, C.A.; Demaster, D.J. 1982. Modern Sediment Accumulation and Strata Formation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*, 49,279-300.

Kuehl, S. A.; DeMaster, D. J.; & Nittrouer, C. A. 1986. Nature of sediment accumulation on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*, 6,209-225.

Kuehl, S. A.; Nittrouer, C. A.; Allison, M. A.; Faria Jr, L. E. C.; Dukat, D. A.; Jaeger, J. M.; Pacioni, T. D.; Figueiredo, A. G.; & Underkoffler, E. C. 1996. Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in an energetic fine-grained coastal. *Continental Shelf Research* 16:787.

Lara, L. B. L.S.; Fernandes, E. A. N.; Oliveira, H.; Bacchi, M. A.; Ferraz, E. S. B. 2007. Amazon estuary - assessment of trace elements in seabed sediments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 216, 279-284.

Lima, E. A. R de., 2003. 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 ao cabo Orange. *Dissertação de Mestrado*. CG,UFGA,112p.

Lima, E.A.R.de.; Siqueira, G.W.; Lima, W. N. de ; Mendes, A.S. 2004. Aplicação da técnica de infravermelho na identificação e caracterização da matéria orgânica nos sedimentos de fundo da Plataforma Continental do Amazonas. *Geochimica Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 46-53.

Livingstone, D. A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes. *US. Geological Survey*. 63 pp.

Machado, G.J. 1985. Projeto Geoquímica dos sedimentos superficiais da margem continental Brasileira – Relatório Final, Volume I, Geoquímica Regional – Texto. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Rio de Janeiro. 54p.

Magliocca, A.. 1971. Some chemical aspects of the marine environment of the Amazon and Pará rivers, Brazil. *Bol. Inst. Oceanogr. USP. São Paulo*. v. 20, n. 1, p. 61-84.

Mckee, B. A; Demaster D. J.; Nittrouer, C. A. 1986. Temporal variability in the partitioning of thorium between dissolved and particulate phases on the Amazon shelf: implications for the scavenging of particle-reactive species. *Continental Shelf Research* 6, 87-106.

Mackin, J. E.; Aller, R. C. 1986. The effects of clay mineral reactions on dissolved Al distributions in sediments and waters of the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*. 6, 245-262.



Mackin, J. E.; Aller, R. C.; & Ullman, W. J. 1988. The effects of iron reduction and nonsteady state diagenesis on iodine, ammonium, and boron distributions in sediments from the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*, 8,363-386.

McKee, B. A.; Demaster, D. J.; & Nittrouer, C. A. 1987. Kinetics of thorium removal from Amazon shelf waters: the role of colloidal-size particulates. *Geochim Cosmochim Acta*. 51,2779.

Michalopoulos, P.; & Aller, R. C. 2004. Early diagenesis of biogenic silica in the Amazon delta: alteration, authigenic clay formation, and storage. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 68, 1061-1085.

Michalopoulos, P.; e Aller, R. C. 1995. Rapid clay mineral formation in Amazon delta sediments; reverse weathering and oceanic elemental cycles. *Science*. 270, 614-617.

Milliman, J. D; & Boyle, E. A. 1975. Biological uptake of dissolved silica in the Amazon River estuary. *Science*, 189, 995-997.

Moore W. S. 1967. Amazon and Mississippi river. concentrations of uranium, thorium and radium isotopes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2, 231-234.

Moore, W. S.; DeMaster, D. J.; Smoak, J. M.; McKee, B. A.; & Swarzenski, P. W. 1996. Radionuclide tracers of sediment-water interactions on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research* (in press).

Nittrouer, C. A.; & DeMaster, D. J. 1996. The Amazon Shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research* 16, 553-573.

Patchineelam, S. R., 2001. Distribuição de mercúrio em sedimentos costeiros norte do Brasil: cabo Cassiporé. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica & I Simpósio de Geoquímica do Mercosul, Curitiba/Paraná, [CD-ROM].

Patchineelam, S. R.; Souza Queiroz, A. F.; & Silva Filho, E. V. 1991. Geoquímica de metais traços nos sedimentos costeiros e ao largo do Amazonas, resultados preliminares. Anais do III Congresso Brasileiro de Geoquímica. São Paulo/Brasil, p:318-321.

Pereira, S. B., 2000. Aspectos geoquímicos do material particulado da pluma estuarina do rio Amazonas: fatores que controlam as interações com as águas oceânicas. Dissertação de Mestrado em Geoquímica. CG,UFP,130p.

Rao, J.; e Berner, R. A. 1993. Phosphorus dynamics in the Amazon river and and estuary. *Chem. Geol.* 107, 397-400.

Rao, J.-L.; e Berner, R. A. 1991. Phosphorus distribution in sediments in and near Amazon delta. Book of abstracts, 4th Chem. Congr. Of North Am., GEOC 0011.

Richey, J. E.; Hedges, J. I.; Devol, A. H.; Quay, P. D.; Victoria, R.; Martinelli, L.; e Forsberg, B. R. 1990. Biogeochemistry of Amazon River. *Limnology Oceanography*. 35, 352-371.

Richey, J. E.; Victoria, R. L.; Salati, E.; & Forsberg, B. R. 1991. The biogeochemistry of a major river system: The Amazon case study. In: *Biogeochemistry of Major World Rivers*, SCOPE 42, E. T. Degens, S. Kempe and J. E. Richey, editors, John Wiley & Sons, New York, pp. 57-74.

Rude, P.; e Aller, R. C. 1989. Early diagenetic alteration of lateritic particle coatings in Amazon continental shelf sediment. *Journal of Sedimentary Petrology*. 59 (5), 704-716.

Ruttenberg, K.C, Berner, R.A (1993). Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling, continental margin environments. Geochim Cosmochim Acta, 57:991.

Ryther, J. H.; Menzel, D. W.; & Corwin, N. 1967. Influence of the Amazon River

outflow on the ecology of the western tropical Atlantic, I: Hydrology and nutrient chemistry. *Journal of Marine Research*, 25, 69-82.

Saliot, A.; Mejanelle, L.; Scribe, P.; Fillaux, J.; Pepe, C.; Jabaud, A.; Dagaut, J. 2001. Particulate organic carbon, sterols, fatty acids and pigments in the Amazon river system. 53: 79–103.

Santos, R. N. E. S.; & Faria Jr, L. E. C. 1991. Determinação de elementos traços em sedimentos subsuperficiais na região da Ilha de Maracá. Uma visão ambiental (Costa do Amapá). Anais do I Seminário de Iniciação Científica. UFPA,PA,40p.

Santos, R. N. E. S.; & Faria Jr, L. E. C. 1993. Estudos sedimentológico e geoquímico ambiental de metais pesados nos sedimentos holocênicos da costa do Estado do Amapá. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia. UFPA,PA,73p.

Santos, M.L.S. *Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica*. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica, Universidade Federal de Pernambuco, 92 p. Recife-PE, 2000.

Santos, M.L.S.; Costa, K.M.P.; de Lima, E.A.R.; Botelho,V.F.; Costa, R.A.S. Estudo da Distribuição do Silicato Inorgânico Dissolvido na Plataforma Continental Norte, Costa do Amapá-Brasil (Lat. De 03°33,22'N e 03°20,22'N e Long. de 50°19,81'W e 47°54,80'W). In: XIX Encontro Nacional de Estudantes de Química. *Caderno de Resumos*, p.33. Belém-PA, 2000

Santos, M.L.S.; Abreu, M.W.M. & Eschrique, S.A. 2001. Estudo dos Nutrientes na Plataforma Continental Norte (Costa do Estado do Pará). In: XIV Semana Nacional de Oceanografia. *Livro de Sínteses*, p.86. Rio Grande-RS.

Santos, M.L. S. ; Muniz, K.; Feitosa, F.A. do. Distribuição dos nutrientes e clorofila A na Plataforma Continental do Amazonas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra 14, 59-77.

Santos, M.L.S.; Muniz, K.; Neto, B.B. 2005. Estudo da distribuição de parâmetros abióticos e da clorofila A na Plataforma Continental do Amazonas. X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil, 2005.

Santos, M.L.S; Muniz, K.; Feitosa, F.A.N do. 2007. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas. *Quim. Nova*, Vol. XY, No. 00, 1-x.

Seyler, P. T. ; Boaventura, G. R. 2003. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. *Hydrol. Process.* 17: 1345– 1361.

Seyler, P. T.; Boaventura, B. R. 2001. Trace elements in the mainstem Amazon River. In: McClain ME, Victoria RL, Richey JE (eds) *The biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford Press, New York, p 307.

Shipe, R.F.; Curtaz,J.; Subramaniam, A.; Carpenter, E.J.; Capone, D.G. 2006. Diatom biomass and productivity in oceanic and plume-influenced waters of the western tropical Atlantic ocean. *Deep-Sea Research* 153,1320–1334.

Sholkovitz, E. R. 1995. The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries. *Aquat. Geochem.* 1, 1-34.

Sholkovitz, E. R.; Boyle, E. A.; e Price, N. B. 1978. The removal of dissolved humic acids and iron during estuarine mixing. *Earth Planet. Sci. Lett.* 40, 130-136.

Sholkovitz, E. R.; e Price, N. B. 1980. The major-element chemistry of suspended matter in the Amazon estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*44, 163-171.

Sholkovitz, E. R. 1993. The geochemistry of rare earth elements in the Amazon river estuary. *Geochim Cosmochim Acta.* 57, 2181-2190.

Showers, W. J.; & Angle, D. G. 1986. Stable isotopic characterization of organic carbon accumulation on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf*

Research, 6, 227-244.

Siqueira, G. W & Braga, E. S. 2000. 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. *In: Ecotoxicologia Perspectivas para o Século XXI*. [Eds] Espíndolas, E. L. G.; Paschoal, C. M. B.; Rocha, O.; Bohrer, M. B. C & Oliveira Neto, A. L., p:241-265.

Siqueira, G. W. 2000. 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. IO, USP, SP, 127p.

Siqueira, G. W.; Braga, E. S.; & Robrini, E. M. 1999. Transporte de chumbo em sedimentos da Plataforma Continental do estado do Amapá, entre os cabos Orange e Norte. Anais do VI Simpósio de Geologia da Amazônia, SBG/NO, Manaus/BR, p:343-346.

Siqueira, G. W.; Braga, E.S.; & Mendes, A.S. 2002. Avaliação do teor de arsênio total em sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas. Simpósio Brasileiro de Oceanografia/IO-USP [Cd-Ron].

Siqueira, G.W. 2003. Estudos dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos (Baixada Santista – São Paulo) e da plataforma continental do Amazonas (Margem Continental Norte). Universidade de São Paulo (Oceanografia), tese de doutorado. 327p.

Siqueira, G.W. 2004. Distribution of nutrients inorganic dissolved and physical and physical-chemical parameters in the brazilian north coastal. *Revista de Gerenciamento Costeiro Intergrado*, Itajaí/SC, v. 1, n. 1, p. 1-6.

Siqueira, G.W.; Lima, W.N.de.; Mendes, A.S.; Aprile, F.M.; & Darwich, A.J. 2003. Aspectos hidroquímicos das águas sobrejacentes à plataforma Continental do Amazonas entre os cabos Orange (AP) e Maguari. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, São Luis/Maranhão, v. 1, n. 1, p. 05-20.

Siqueira, G.W.; Lima, W.N.de.; Mendes, A.S.; Aprile, F.M.; Braga, E.de.S.; & Lima, E.A.R.de. 2005. Estudo geoquímico da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos de fundo da Plataforma Continental do Amazonas - Norte do Brasil. In: Dr. Valmir da Silva Souza; Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe. (Org.). *Contribuições a Geologia da Amazônia*. Manaus/Amazonas: Grafica e Editora Silva - Manaus - AM, v. 4, p. 236-244.

Siqueira, G.W.; Mendes, A.S.; Lima, W.N.de.; Aprile, F.M.; & Braga, E.de.S. 2004. Distribuição geoquímica de carbono, nitrogênio, fósforo e outros parâmetros geoquímicos na Plataforma Continental do Amazonas - Norte do Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, Fortaleza-Ceará, v. 37, n. 1, p. 1-25.

Siqueira, G.W.; Pereira, S. de F. P; & Aprile, F. M. 2006. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica. *Acta Amazonica*, v. 33, p. 321-326.

Skrabal, S. A. 1995. Distributions of dissolved titanium in Chesapeake Bay and the Amazon River estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59, 2449-2458.

Smoak, J. M.; DeMaster, D. J.; Kuehl, S. A.; Pope, R. H.; & McKee, B. A. 1996. The behavior of particle-reactive tracers in a high turbidity environment. ²³⁴Th and ²¹⁰Pb on the Amazon continental shelf. *Geochim Cosmochim Acta*. 60, 2123-2137.

Smoak, J. M.; Krest, J. M.; & Swarzenski, P. W. 2006. Geochemistry of the Amazon Estuary. *Handbook of Environmental Chemistry*. 5: 71-90.

Souza, C.J.M. & Patchinnelam, S.R. 1993. Diagênese de metais-traço da plataforma continental do Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica (Brasília), 4º, Anais, p. 119.

Stallard, R. F.; & Edmond, J. M. 1983. Geochemistry of the Amazon, 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load at the time of peak discharge. *Journal of Geophysical Research*, 88, 9671-9688.

Sayles, FL & Mangelsdorf Jr, PC. 1979. Cation-exchange characteristics of

Amazon River suspended sediment and its reaction with seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 767-779.

Swarzenski, P. W.; McKee, B. A.; & Booth, J. G. 1995. Uranium geochemistry on the Amazon shelf: chemical phase partitioning and cycling across a salinity gradient. *Geochim Cosmochim Acta*. 59, 7-18.

Swarzenski, P. W.; McKee, B. A.; e Booth, J. G. 1991. Uranium geochemistry of Amazon shelf: seasonal difference in source functions and dissolved/colloidal partitioning of uranium isotopes. EOS Transactions of the American Geophysical Union. 72, 64.

Swarzenski, P; Campbell, P.; Porcelli, D.; McKee, B. 2004. The estuarine chemistry and isotope systematics of $^{234,238}\text{U}$ in the Amazon and Fly Rivers. *Continental Shelf Research*. 24,2357-2372.

Wehmiller, J. F. & Hall, F.R. 1997. Data Report: Amino Acid Racemization Geochronological Studies Of Selected Leg 155 Samples. In: Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., and Peterson, L.C. (Eds.). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 155, 375-378.





Piatam
Oceano

