



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“ASPECTOS GEOQUÍMICOS DO MATERIAL PARTICULADO DA
PLUMA ESTUARINA DO RIO AMAZONAS: FATORES QUE
CONTROLAM AS INTERAÇÕES COM AS ÁGUAS OCÊANICAS”**

TESE APRESENTADA POR

SIMONE BAÍA PEREIRA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 10.2.2000

Comitê de Tese:


.....
MAAMAR EL-ROBRINI (Orientador)


.....
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA


.....
GEORGE SATANDER SÁ FREIRE

A meu pai, Simão de Aviz
Pereira, modelo de persistência,
sagacidade e competência, que eu
sempre tento seguir.

A minha sobrinha Aline, um anjo
lindo que apareceu.

A meus verdadeiros amigos que
acompanharam todos os momentos
difíceis com uma palavra de otimismo.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me concedeu forças para atingir este objetivo, e presenteou-me com a alegria deste momento.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos sem a qual seria impossível a elaboração desta dissertação.

Ao Centro de Geociências e ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pela oportunidade de desenvolver o Mestrado.

As secretárias do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.

Aos funcionários da Biblioteca do Centro de Geociências, Davi, Hélio, Julia, Lúcia e Rosemarie pela atenção e eficiência de sempre.

A minha família pelas ausências e em especial a dona Lucila Vasques.

A minha amiga Martha Cristina Bustos Lopez por todas as inumeráveis vezes que me ajudou e por uma amizade verdadeira.

A Rosemary Monteiro e Helga Cristina por todo apoio desde o início deste trabalho e aos companheiros do mestrado Henrique, Maria do Carmo, Nestor e Odilon, Rosiney e Gundy.

A Heliana Fadul um especial agradecimento pelas vezes que emprestou seu incontestável talento na elaboração de desenhos.

Aos químicos Antônio, Leila e Natalino pelas dicas providenciais no decorrer das análises químicas.

A meu orientador Prof. Dr. Maâmar El-Robrini e ao Programa REVIZEE (Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva) pelo apoio na amostragem.

Ao Prof. Dr. Waterloo Napoleão de Lima meu obrigado especial, pelas críticas e sugestões tão importantes para este trabalho.

Aos membros da Banca que gentilmente atenderam ao pedido para avaliação desta dissertação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho.

"Certa madrugada, a baldeação recolheu água doce em pleno oceano, justificando a denominação de Santa Maria del a Mar Dulce para o estuário do maior rio do mundo"

(Saladino de Gusmão, 1884)

"Será que o Brasil nunca viu a Amazônia?"

(Nilson Chaves)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
RESUMO	1
ABSTRACT	4
1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 ESBOÇO FISIAGRÁFICO E GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	9
2.1.1 Considerações Meteorológicas	9
2.1.2 Marés e Correntes de Marés	10
2.1.3 Fisiografia	10
2.1.4 Geologia Regional – A Bacia Amazônica	11
2.1.5 Geologia Local – A Bacia da Foz do Amazonas	15
2.1.6 Aspectos Geológicos da Plataforma Continental do Amazonas	17
2.1.7 Morfologia da Plataforma Continental do Amazonas	20
2.1.8 Processos Oceanográficos na Plataforma Continental do Amazonas	21
2.2 ESBOÇO GEOQUÍMICO DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS DO RIO AMAZONAS E DE SEU ESTUÁRIO	22
2.2.1 Águas	22
2.2.2 Sedimentos em Suspensão	28
3 METODOLOGIA	30
3.1 TRABALHOS PRELIMINARES	30
3.2 TRABALHOS DE CAMPO	30
3.2.1 Amostragem	30
3.2.2 Coleta e Separação de Material em Suspensão	33
3.2.3 Análise Realizadas à bordo do Navio	33
3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO	38

3.3.1 Tratamento Preliminar.....	38
3.3.2 Espectrometria do Infravermelho.....	38
3.3.3 Composição Mineralógica	38
3.3.4 Análise Termogravimétrica.....	40
3.3.5 Análise de Carbono, Nitrogênio e Hidrogênio	40
3.3.6 Análise Química do Material Particulado – Decomposição e Análise de Elementos Maiores e Traços	41
3.3.6.1 Decomposição de amostras de material particulado e sedimentos de fundo para análise dos elementos silício, alumínio, ferro total, fósforo e titânio.	41
3.3.6.2 Análise química dos elementos sódio, potássio, cálcio e magnésio.....	41
3.3.6.3 Determinação gravimétrica de silício	41
3.3.6.4 Determinação titrimétrica de alumínio com E.D.T.A	42
3.3.6.5 Determinação espectrométrica do ferro total com orto-fenantrolina	42
3.3.6.6 Determinação espectrométrica de fósforo pelo método do azul de molibdênio.	43
3.3.6.7 Determinação espectrométrica de titânio com peróxido de hidrogênio..	43
3.3.7 Decomposição de Amostras de Material Particulado e de Sedimentos Fundo para análise dos Elementos Sódio, Potássio, Magnésio e Cálcio e de Traços Seleccionados (Manganês, Cobre, Zinco, Níquel, Cobalto).....	43
3.3.8 Análise por Absorção Atômica de Elementos-Traço seleccionados (Manganês, Cobre, Zinco, Níquel, Cobalto).....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	45
4.2 RESULTADOS ANALÍTICOS	46
4.2.1 Quantificação do Material em Suspensão e Determinação dos Parâmetros Físicos e Físico Químicos	46
4.2.1.1 Quantificação do Material em Suspensão	46
4.2.1.2 Determinação dos Parâmetros Físicos e Físico Químicos	51
4.2.2 Apresentação dos Resultados Analíticos de Elementos Maiores, Menores e Traços.....	57

4.2.3	Correlação de dados para elementos maiores menores e traços como os parâmetros físicos e físico-químicos	64
4.2.4	Representação de Resultados da Análise de Argilominerais por Difração de Raios-X.....	67
4.2.5	Tentativa de Quantificação dos Argilominerais com Base nos Resultados Analíticos	71
4.2.6	Apresentação dos Resultados da Análise de Espectrometria de Infravermelho.....	72
4.2.7	Apresentação dos Resultados para Análise de Carbono Orgânico Elementar, Hidrogênio Elementar, Nitrogênio Orgânico Elementar e Matéria Orgânica	75
4.3	ELEMENTOS MAIORES, SUAS CORRELAÇÕES E OS ARGILOMINERAIS.....	77
4.4	CONSIDERAÇÕES BIOGEOQUÍMICAS	82
4.4.1	Quantificação de Argilominerais e sua Distribuição ao longo das águas sob Influência da foz do Amazonas.....	82
4.4.2	Biogeoquímica do Fósforo, Nitrogênio e Carbono.....	91
4.4.2.1	Biogeoquímica do fósforo	91
4.4.2.2	Biogeoquímica do nitrogênio	93
4.4.2.3	Biogeoquímica do carbono	94
4.4.3	Identificação de Material Húmico na Matéria Orgânica.....	95
4.4.4	Elementos-Traços.....	97
5	CONCLUSÕES	104
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	ANEXOS	114
	ANEXO A	114
	ANEXO B	124

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 2.1	A) As maiores regiões geotectônicas da América do Sul (depois de ALMEIDA et al., 1981) B) Mapa geológico da Bacia Amazônica e da bacia da Foz do Amazonas (SCHOBENHAUS et al., 1984).	14
Figura 2.2	Classificação estratigráfica e sistema deposicional para a Bacia da Foz do Amazonas e Bacia do Amazonas	19
Figura 2.3	Classificação geoquímica da Bacia Amazônica (de acordo com Fittkau, 1971 apud in JUNK & FURCH, 1984)	25
Figura 3.1	Mapa de localização dos pontos amostrados	31
Figura 3.2	Coleta de material em suspensão no amostrador do tipo Rosette	34
Figura 3.3	Conjunto de coleta de amostras: amostrador do tipo Rosette + medidor de condutividade, densidade e temperatura (C.T.D).	35
Figura 3.4	Amostrador do tipo Rosette	36
Figura 3.5	Medidor de condutividade, densidade e temperatura (C.T.D)	37
Figura 3.6	Esquema de análise aplicadas ao material particulado e sedimentos de fundo.....	39
Figura 4.1	Isolinhas mostrando a progressão do material em suspensão ao longo das estações de coleta (entre 3 e 6 metros de profundidade, associadas com o gráfico de isolinhas de progressão de salinidades ao longo das estações de coleta)	53
Figura 4.2	Isolinhas mostrando a progressão do material em suspensão ao longo das estações de coleta (entre 6 e 12 metros de profundidade, associadas com o gráfico de isolinhas de progressão de salinidades ao longo das estações de coleta)	54
Figura 4.3	Isolinhas mostrando a progressão do material em suspensão ao longo das estações de coleta (entre 12 e 18 metros de profundidade), associadas com o gráfico de isolinhas de progressão de salinidades ao longo das estações de coleta	55
Figura 4.4	Isolinhas exibindo a variação do material em suspensão com a profundidade	56
Figura 4.5	Distribuição horizontal e vertical do teor de ferro	60

Figura 4.6	Isolinhas exibindo a variação vertical e horizontal do teor de fósforo	61
Figura 4.7	Isolinhas exibindo a variação vertical e horizontal do teor de titânio	62
Figura 4.8	Difratograma da análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida amostra 36-10	68
Figura 4.9	Difratograma da análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida amostra 38-F	69
Figura 4.10	Difratograma da análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida amostra 78-5	70
Figura 4.11	Espectros de absorção na região do infravermelho	74
Figura 4.12	Localização das zonas de distribuição de material	80
Figura 4.13	Distribuição horizontal de caulinita (profundidade entre 3 e 6 metros)	85
Figura 4.14	Distribuição vertical de caulinita	86
Figura 4.15	Distribuição vertical de esmectita	87
Figura 4.16	Distribuição horizontal dos argilominerais (profundidades entre 3 e 6 metros)	88
Figura 4.17	Distribuição horizontal dos argilominerías (profundidades entre 6 e 10 metros)	89
Figura 4.18	Distribuição dos argilominerais em sedimentos de fundo	90
Figura 4.19	Isolinhas exibindo a variação horizontal do conteúdo de matéria orgânica e a distribuição de caulinita ao longo das estações de coleta	102
Figura 4.20	Isolinhas exibindo a variação horizontal do conteúdo de matéria orgânica e a distribuição de clorita ao longo das estações de coleta	103

Tabelas

Tabela 3.1 Caracterização dos pontos de amostragem selecionados para análise	32
Tabela 4.1 Distribuição do material em suspensão, salinidade, densidade e temperatura ao longo das estações de coleta	47
Tabela 4.2 Resultados das análises químicas para elementos maiores, parâmetros físicos e físico-químicos no material em suspensão e sedimentos de fundo	59
Tabela 4.3 Resultados das análises químicas para elementos-traços do material em suspensão e sedimentos de fundo	63
Tabela 4.4 Matriz de correlação entre os dados de análise química para elementos maiores e menores, com os parâmetros físico e físico-químicos	65
Tabela 4.5 Correlação dos elementos-traço com parâmetros físico-químicos, matéria orgânica e seus componentes	66
Tabela 4.6 Resultados obtidos na análise química e no cálculo estequiométrico para as 10 amostras analisadas	73
Tabela 4.7 Teores de carbono orgânico elementar e nitrogênio para as amostras de sedimentos em suspensão sob a influência do rio Amazonas	76
Tabela 4.8 Razões P/P _{min} ao longo das estações de coleta	79
Tabela 4.9 Razões Elemento/Al ao longo das estações de coleta	100
Tabela 4.10 Matriz de correlação entre os elementos-traços e os percentuais de argilominerais calculados	101

RESUMO

Os aspectos geoquímicos abordados nesta investigação são a determinação da composição química do material em suspensão em águas costeiras sob influência da foz do rio Amazonas, indicando a localização possível da fonte de material em suspensão, assim como as influências que este sofre ao longo da transição continente-oceano.

A análise de difração de raios-X indicou a predominância dos argilominerais caulinita, illita e, ainda, de quartzo, sobre os demais componentes inorgânicos identificados, observando-se a presença de clorita, ora como mineral subordinado em algumas amostras, ora como traço, e esmectita em teores-traço, que assim como a clorita está presente também como mineral subordinado.

Estimou-se a composição mineralógica centesimal do material particulado, associando-se os resultados analíticos a dados de difração de raios-X, utilizando-se de cálculo estequiométrico, com base na literatura científica. Os resultados obtidos através do cálculo estequiométrico confirmam a tendência mostrada pelos difratogramas. Observa-se que os argilominerais dominantes são caulinita (máximo em 51,19%), associada a altos teores de alumínio distinguindo-se o domínio deste argilomineral na amostras em que este fato ocorre, e illita (máximo em 42,43%) associada aos teores elevados de potássio, quando ocorre o domínio deste argilomineral nas amostras, admitiu-se ainda a presença de colóides de ferro e titânio.

Efetou-se a avaliação do conteúdo e da natureza da matéria orgânica associadas aos sedimentos em suspensão, utilizando-se da análise elementar para carbono, nitrogênio e hidrogênio, de registros de termogramas e espectros de absorção na região do infravermelho.

Nos sedimentos predominam os compostos inorgânicos (argilominerais, sílica, colóides de ferro), ficando a matéria orgânica com conteúdo sempre abaixo de 3,6%. Portanto, na interpretação dos registros de espectros de absorção na região do infravermelho, as bandas mais intensas estão relacionadas com os argilominerais dominantes no material, ou seja, a mistura illita e caulinita.

As bandas relativas às ligações químicas nos argilominerais dominam nos espectros do infravermelho. A nítida e intensa banda de vibração do estiramento Si-O, que se estende desde 1200 a 1000 cm^{-1} , com seus desdobramentos mais significativos às proximidades de 1180 e 1034 cm^{-1} é bem representativa de estruturas do tipo illita e caulinita. E há ainda, uma nítida banda, com fracos dobramentos em torno de 950 a 915 cm^{-1} , relativa à ligação Al-OH; as bandas às proximidades de 790-800, 750-780, 640-690 cm^{-1} ou no intervalo de 400 – 600 cm^{-1} ; as intensas bandas de absorção registradas no intervalo de 4000 – 3400 cm^{-1} , com seus vários desdobramentos, relacionadas com as ligações com hidroxila, -OH, tão comuns em argilominerais e uma intensa e média banda registrada às proximidades de 1640 cm^{-1} correspondente à deformação angular da ligação HOH, característica de água de constituição presente nos argilominerais.

Os espectros de absorção na região do infravermelho de ácidos húmicos e fúlvicos, de diferentes origens, são semelhantes, porém não são idênticos. As diferenças (sutis) são resultantes de breves alterações em suas composições. Talvez a característica mais interessante do espectro de ácidos húmicos seja o aparecimento de intensas e largas bandas de absorção relacionadas com as vibrações de estiramento da ligação C=O de vários grupos funcionais orgânicos (ácidos carboxílicos e seus derivados, aldeídos, cetonas), no intervalo de 1709 a 1715 cm^{-1} e de vibrações de compostos aromáticos às proximidades de 1600 a 1613 cm^{-1} . As bandas registradas às proximidades de 1698 a 1701 cm^{-1} e em torno de 1400 cm^{-1} indicam a presença de grupo de grupos carboxila e carbonila.

Os aspectos mais interessantes dos espectros registrados dizem respeito ao aparecimento das nítidas (porém fracas) bandas de absorção no intervalo de 2959 – 2885 cm^{-1} , atribuídas aos grupos metileno -CH₂- de hidrocarbonetos; e à presença de fraca (porém nítida) banda em torno de 1385 cm^{-1} referentes aos grupos carboxila e/ou carbonila. Levando a conclusão de tratar-se de material húmico presente na matéria orgânica oriunda de lixiviações e drenagem de solos amazônicos típicos, tais como podzólicos e latossólicos.

Os teores de carbono orgânico elementar se estendem de 1,27% a 2,05%, enquanto que os de nitrogênio, de 0,03% a 0,13%. Esses teores produzem índices

de relação C/N elevadas (mínimo em 12,7% e máximo em 68,3%), de material rico em produtos de decomposição de celulose, de origem vegetal.

A integração de dados de análise química da matéria em suspensão com parâmetros físico-químicos de águas costeiras e a da variação dos teores de fósforo (mínimo em 0,06% até o máximo de 0,71%, expressos em P_2O_5), associado a variação de salinidade (mínimo em 24,31 ‰ e máximo de 39,19‰), utilizados como parâmetros limitantes definiu a existência de três zonas características de origem de material em suspensão: uma predominantemente terrígena, uma de transição e outra predominantemente biogênica oceânica.

ABSTRACT

This investigation is mainly concerning the determination of chemical composition of the suspended matter (MES) in the estuarine plume of the Amazonas. This geochemical study allowed the indication of the possible location of the source of the suspended matter (MES) and changes of its distribution along the continent-ocean zone.

The X-ray diffraction analysis indicated the predominance of kaolinite, illite and quartz, associated to inorganic components. The presence of chlorite is also observed as subordinate mineral on trace mineral in some samples. Smectite is also present as well as chlorite, mainly as subordinate mineral.

The centesimal mineralogical composition of the analysed material was studied by X-ray diffraction analytical methods. This was used in stoichiometric calculations. The results obtained through the stoichiometric calculation confirm the tendency pointed out by the X-ray diffractograms. It was observed that kaolinite (maximum in 51,19%) the dominant clay minerals, associated to high percentages of aluminum, determining the dominance of this domain of this clay mineral in the samples. Considering this data, and that illite (maximum in 42,43%) is associated to the high amounts of potassium, it is possible to suggest that the domain of this clay mineral in the samples, it is associated to the presence of colloids of iron and titanium.

The evaluation of the mineralogy and nature of the organic matter associated to the suspended matter (MES), were used to the elementary analysis of carbon, nitrogen and hydrogen, complemented by infrared absorption spectrum.

The main inorganic components in the sediments and clay minerals, silica, colloids of iron together with organic matter (less than 3,6%).

In the infrared absorption spectra in the area, the most intense band area related to the dominant clay minerals in the matter (illite and kaolinite).

The relative bands of the chemical connections in the clay minerals dominate in the infrared spectrum. The clear and intense vibration band of the stretching extends since 1200 to 1000 cm^{-1} , with its more significant unfoldings to around of 1180 and 1034 cm^{-1} , being representative of the illite and kaolinite type structures. There is a clear band with weak registers around 950 to 915 cm^{-1} , related to the Al-OH connection, the band around 790-800, 750-780, 640-690 cm^{-1} or close to the 400-600 cm^{-1} interval, the intense absorption bands registered in the 4000-3400 cm^{-1} interval with several unfolding, related to the connection with hidroxila (-OH), common in clay minerals; and also an intense and medium band registered to the proximities of 1640 cm^{-1} , corresponding to the angular deformation of the HOH connection characteristic of H_2O present into the clay minerals.

The infrared absorption spectrum of the humic and fulvic of different , are similar, but not completely identicals. The gentle differences is due the weak alterations in its compositions. Perhaps the more interesting characteristic of the spectrum of humic acids is the intense and wide absorption bands related with the stretching vibrations to the C=O connection of several organic groups (carboxilic acid) and derived, aldehydes, cetons), in the interval ranging from 1600 to 1613 cm^{-1} indicate the presence of carboxilic band carbonil).

The most interesting aspects of the registered spectra is related to the clear (even so weak) absorption bands in the interval between 2959-2885 cm^{-1} , attributed to the methylene - CH_2 - of hydrocarbon groups; and carboxil and carboxilic groups. This allow us to conclude that the humic and the organic matter is originated from the amazon soils, such as podzols and latosoils.

The grade of elementary organic carbon extends from 1,27 to 2,05%, while the nitrogen ranges from 0,03% to 0,13%. These grades produce high C/N (minimum in 12,7% and maximum in 68,3%) indexes, of material rich in products of cellulose decomposition of vegetable origin.

The integration of chemical analysis data of the suspended matter (MES) and physical-chemical parameters of coastal waters together to the variation of the phosphorus grades (minimum in 0,06% until the maximum of 0,71% expressed in P_2O_5), also associated of the salinity variation (minimum in 24,31% and maximum of 39,19%), defined the existence of three different zones of origin to the suspended water: a predominantly clastic one and other predominantly related to biological oceanic processes.

1 INTRODUÇÃO

O rio Amazonas é o maior rio do mundo despejando grandes quantidades de material dissolvido e sedimentos no Oceano Atlântico. Todo o material carregado pelo Rio Amazonas, ao passar pelo estuário é interceptado pela Corrente Costeira Norte Brasileira (CCNB), que flui paralela a costa norte da América do Sul na direção leste – oeste e pelas correntes de maré.

O material em suspensão proveniente do rio Amazonas tanto deposita-se na Plataforma Continental do Amazonas quanto pode permanecer em suspensão por até 160 km a partir da foz do rio, a expansão deste material é sazonal.

A Plataforma Continental do Amazonas é um ambiente influenciado por processos terrestres da bacia do rio Amazonas e por processos oceanográficos no Oceano Atlântico, estes processos influenciam não somente a sedimentação mas também a dispersão dos sedimentos.

A geoquímica das águas do rio Amazonas é fortemente influenciada pelo tipo de ambiente ao qual estão associadas, e estes, por sua vez, sofrem ascendência do relevo e do tipo de processo intempérico, físico ou químico (GIBBS, 1965).

O rio Amazonas é responsável por cerca de 20% de toda água doce lançada nos oceanos (GIBBS, 1967; STALLARD & EDMOND, 1983) e um fluxo de sedimentos da ordem de $1,2 \times 10^9$ t/ ano (MEADE et al., 1985).

Quando as águas do rio Amazonas e a descarga de sedimentos finos entram no oceano, passam a ser influenciadas por processos locais e deve-se fazer uma consideração importante sobre o seu destino, a estratificação da salinidade sobre a plataforma continental adjacente (NITTROUER et al., 1990).

Neste trabalho aborda-se os aspectos geoquímicos do material em suspensão proveniente de rio Amazonas, que entra em contato com as águas do oceano. A correlação entre dados químicos e mineralógicos permite uma avaliação da composição química do material, da natureza e possível origem dos sedimentos em suspensão.

As análises químicas associadas a dados mineralógicos permitiram a quantificação dos argilominerais presentes no material em suspensão, elucidando as

variações composicionais que ocorrem nesse material ao longo do caminho para o oceano.

A matéria orgânica associada a esse material, e identificada por métodos como microcromatografia gasosa e infravermelho, mostram uma clara origem de lixiviação de solos amazônicos típicos.

A identificação de três zonas características permitiu a identificação da procedência do material em suspensão contido na pluma estuarina do rio Amazonas. Exibindo uma zona de material com procedência predominantemente terrígena na foz e outra zona de material com procedência predominantemente biogênica oceânica a "off shore", e ainda, há uma terceira zona a de transição.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESBOÇO FISIAGRÁFICO E GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1.1 Considerações Meteorológicas

A Amazônia é a maior bacia hidrográfica do mundo recoberta por uma floresta equatorial de clima quente e úmido e possui características bastante peculiares. A ocorrência de longos e intensos períodos de chuva é um dos fatores, que diferem esta região das outras partes do globo. A precipitação é fundamental para a caracterização climática. Os amazônidas distinguem as estações do ano pelas períodos chuvosos e secas, porém, o período de ocorrência e a intensidade destas fases dependem da localização geográfica (FERREIRA DA COSTA et al., 1998). A floresta contribui com 50% da chuva e a outra metade decorre da advecção da umidade do Oceano Atlântico (Salati et al., 1978¹ apud in FERREIRA DA COSTA et al., 1998). Durante a período chuvoso, grandes nuvens convectivas operam como principais promotores de chuva, e origem dos movimentos do ar, umidade e gases atmosféricos entre o dossel florestal e a média e alta troposfera (Grecco et al., 1990² apud in FERREIRA DA COSTA et al., 1998).

A precipitação média da região da bacia Amazônica é aproximadamente 2500 mm/ano, porém pode ser observada uma variação acentuada desse valor (SALATI, 1986).

O clima predominante na Plataforma Continental do Amazonas adjacente à costa do Amapá é de úmido a superúmido, com médias anuais de precipitação pluviométrica superiores a 2000 mm/ano (PALMA, 1979).

Na área de estudo são observadas condições meteorológicas mais severas durante os meses de novembro a março, quando a zona de convergência intertropical

¹ SALATI, E; MARQUES, J; MOLION, L. C. B. 1978. Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. *Interciência*, 3: 200-206.

² GRECCO, et al., 1990. Rainfall and surface kinematic conditions over Central Amazonia during Able 2b. *Journal of Geophysical Research*, 95 (D10): 17001 – 17014.

move-se sobre a região costeira, em direção ao sul, sob a ação dos ventos do quadrante nordeste, propiciando fortes chuvas e trovoadas (SALATI, 1986).

2.1.2 Marés e Correntes de Marés

Por toda a Plataforma Continental do Amazonas, circulam correntes de maré perpendicularmente em direção às isóbatas, durante a vazão e a enchente. Entretanto, as marés agem diferentemente sobre os dois locais do banco de areia, estendendo-se em direção ao Cabo Norte (BEARDSLEY et al., 1995). Para sul do banco de areia, as marés comportam-se como uma onda progressiva, que propaga-se na foz do rio (estende-se até Óbidos). Para o norte, as marés estão fixas em ressonância próxima com o embainhamento formado pelo banco de areia e pela linha de costa. Esta orientação, para ampla série de marés quase ao norte do banco de areia (> 5 m durante a subida), que decresce desviando ao norte ao longo da linha de costa.

As correntes de maré são orientadas principalmente na direção transversal da plataforma continental, chegando a 2m/s durante as grandes marés e diminuindo para menos que 80 cm/s na vazante (BEARDSLEY et al., 1995).

2.1.3 Fisiografia

A largura da Plataforma Continental é variável (330 km, em frente ao Canal Norte da foz do rio Amazonas e 125 Km na frente do Cabo Orange) (PALMA, 1979).

A feição mais proeminente observada na quebra da Plataforma Continental Norte é o "Canyon" do Amazonas, situado a NW da atual foz do Rio Amazonas, ocupando uma área de 162.000 km², com cerca de 700 km de extensão e largura entre 250 km, na quebra da plataforma continental, podendo atingir 650 km no seu extremo norte (Damuth & Kumar³, 1975 apud in MENDES, 1994)

³ DAMUTH H, J. E & KUMAR, N.1975. Amazon Cone morphology, sediments, age and growth pattern. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33: 1521-1552

2.1.4 Geologia Regional – A Bacia Amazônica

O setor norte do cráton Amazônico ou escudo das Guianas situa-se na região que envolve o extremo setentrional brasileiro, com terrenos abrangendo os estados de Roraima, Amapá, Acre e parte dos Estados do Amazonas e Pará (Almeida ⁴. et al., 1981 apud in SCHOBENHAUS et al., 1984)

O embasamento dessa região caracteriza-se por rochas cristalinas metamorizadas em diversos graus, dominando a fácies anfibolito e granulito. Essas rochas encontram-se intensamente e complexamente dobradas e recortadas por granitóides predominantemente homogêneos de composição granodioríticos, gerados em diversos eventos associados a pelo menos dois ciclos tectônicos principais: o Guriense sensu lato (Guriense a Aroense) e o Transamazônico (Suszczyński, ⁵ 1970 e Amaral⁶, 1974 apud in SCHOBENHAUS et al., 1984). Sobre este embasamento, desenvolveram-se a bacia paleozóico-mesozóica do Amazonas, a bacia paleozóico-mesozóica do Acre, o gráben do Tacutu, a bacia cenozóica do Marajó e a bacia cenozóica do Boa Vista. Com exceção da última bacia e do gráben, as demais bacias distribuem-se ao longo do eixo principal do rio Amazonas e Solimões, com direção aproximada leste-oeste (Figura 2.1). A região possui rochas sedimentares depositadas na Bacia do Amazonas, do Acre e em Tucutu. A presença de rochas intrusivas é registrada.

A Bacia do Amazonas possui uma área aproximada de 1000000 Km² e sua formação ocorreu no início do Paleozóico, as exposições do escudo das Guianas e o escudo do Brasil Central a confinam. Os afloramentos da bacia distribuem-se na faixa orientada segundo a direção WSW-ENE (ARAÚJO et al., 1976).

⁴ ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. 1981. Brazilian structural provinces an introduction. *Earth Sci. Rev.*, 19: 1-29.

⁵ SUSZCZYNSKI, E. F. 1970. La géologie et la tectonique de la plateforme Amazonienne. In: *Geol. Rundsch. Stuttgart*, 59(3): 1232-53.

⁶ AMARAL, G. 1974. *Geologia pré – cambriana da região Amazônica*. São Paulo. Instituto de Geociências da USP. Tese de Livre Docência. 212p.

A sedimentação a qual foi submetida a Bacia do Amazonas é marinha e homogênea, com o mar transgredindo de leste para oeste, constituindo neste período uma única bacia de forma alongada na direção E – W. Durante o Neodevoniano – Eocarbonífero, o mar começou a regredir, expondo toda a bacia a processos erosivos. No Neocarbonífero, a bacia foi tripartida, originando as sub-bacias do Alto, Médio e Baixo Amazonas. No Vestfaliano, um basculamento para oeste originou uma inversão no sentido da sedimentação da bacia, que passou a ser de oeste para leste. A partir deste evento a sub-bacia do Baixo Amazonas não foi mais invadida pelo mar. Somente, quando o alto de Purus foi recoberto durante a transgressão marinha vinda do oeste, estas bacias voltaram a ter o mesmo tipo de sedimentação (SCHOBENHAUS et al., 1984).

A bacia do Acre apresenta uma área de aproximadamente 150.000 Km², limitada a nordeste, leste e sudeste pelo Arco de Iquitos e a sul pelo escudo do Brasil Central. A oeste e noroeste estende-se no território peruano com o nome de Bacia da Pastaza, limitada pela cordilheira Andina Oriental (SCHOBENHAUS, et al., 1984).

A coluna estratigráfica na sua porção mais espessa possui 5000 m e compreende um intervalo paleozóico basal sobreposto por uma seção mesozóico-cenozóica (MIURA, 1972). O intervalo paleozóico, com uma extensão do Siluriano ao Permiano, é idêntico ao da Bacia do Amazonas.

O intervalo mesozóico–terciário exhibe várias fases do processo evolutivo da bacia. A seqüência consiste de evaporitos e sedimentos continentais vermelhos que passam, em direção ao oeste para sedimentos transicionais e marinhos. A seqüência do cretáceo Superior e Terciário consiste de sedimentos continentais, molássicos, na porção mais superior e revela um estágio intracontinental (ASMUS & PORTO, 1972).

A Bacia do Marajó localiza-se na porção norte do Estado do Pará, abrangendo uma área total aproximada de 50.000 Km². Está posicionada entre as Bacias paleozóicas do Amazonas e Paraíba, limitadas pelos Arcos Gurupá e Tocantins, respectivamente. Essa bacia é constituída pelas sub-bacias de Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba, e sua formação é relacionada ao evento extensional responsável pela formação do Oceano Atlântico Equatorial.

Os sedimentos têm sua gênese relacionada a ambientes fluviais e/ou deltaicos, constituídos por materiais terrígenos e químicos.

A idade da sedimentação se estende do Cretáceo Médio (Albiano) ao Quaternário (De Castro⁷ et al., 1978 apud in VITAL, 1996)

⁷ DeCASTRO, J. C.; MUIRA, K & BRAGA, J. A. E. 1978. Stratigraphic and structural framework of foz do Amazonas Basin. In: 10 th Annual Offshore Technology Conference, Huston. v 3: 1843-1847.

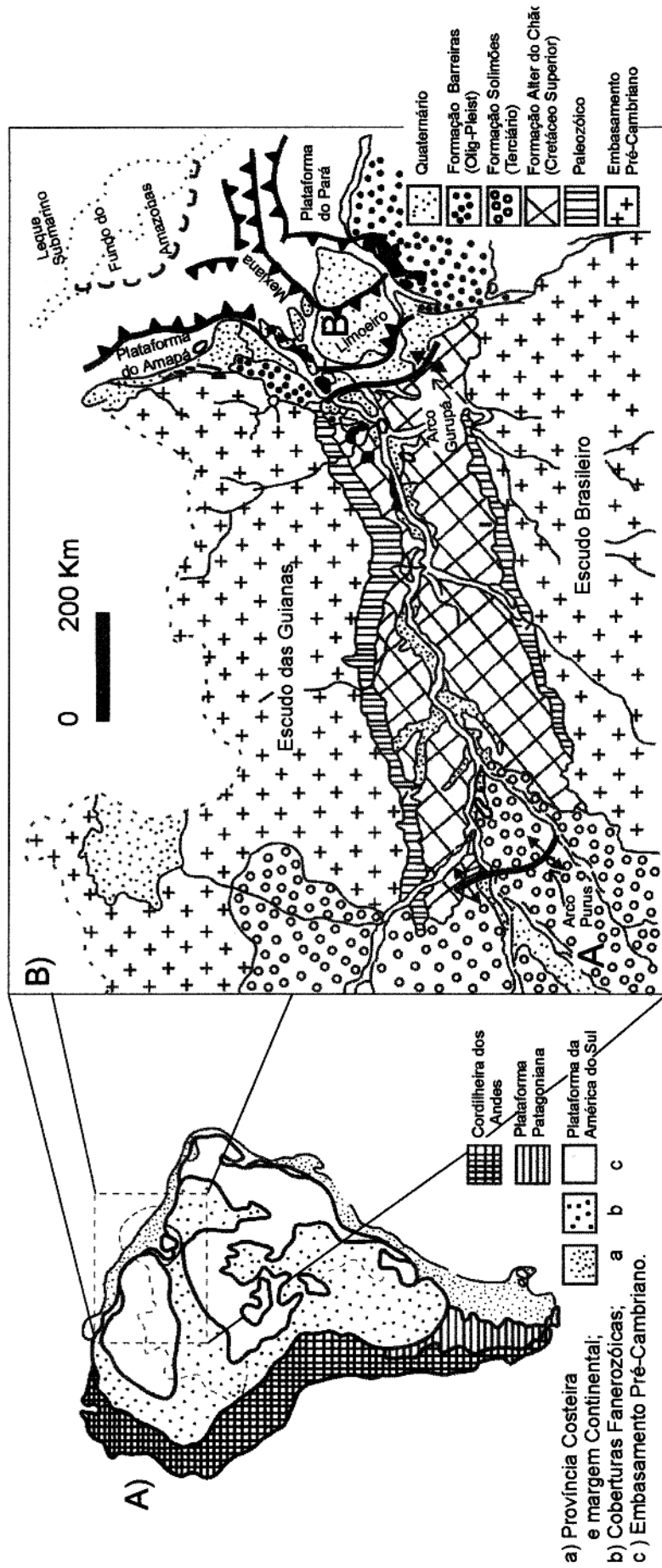


Figura 2.1 A) As maiores regiões geotectônicas da América do Sul (depois de ALMEIDA et al., 1981); B) Mapa geológico da Bacia Amazônica e da bacia da Foz do Amazonas (SCHOBENHAUS, et al., 1984)

2.1.5 Geologia Local – A Bacia da Foz do Amazonas

A região supracitada abrange uma área de 360.000 Km², dos quais 55% correspondem à plataforma continental até a isóbata de 200 m e 45% do cone do Amazonas, que se estende da quebra do talude continental até a planície abissal (BRUNO, 1987).

As províncias geológicas mais importantes são as Plataformas Continentais do Pará e Amapá, de embasamento raso, a sub-bacia de Caciporé, Plataforma Carbonática e o Cone do Amazonas.

Os sedimentos predominantemente terciários sobrepõem-se sobre às Plataformas Continentais do Pará e Amapá em até 2000 m (VITAL, 1996), constituem-se em prolongamentos de áreas terrestres do embasamento Pré-Cambriano. Os meios – grabens da sub – bacia de Caciporé bordejam a Plataforma Continental do Amapá e estão fortemente basculados para SW, e caracterizam os primeiros registros de rifteamento da margem continental, durante o Albo-aptiano. Adjacente a plataforma continental do Pará, na borda sul da Bacia da Foz do Amazonas, estende-se a fossa designada de garben de Mexiana Oriental (BRUNO, 1987).

A plataforma Carbonática terciária cobriu praticamente toda a bacia durante o Terciário – Inferior até o Mioceno Médio. No Oligoceno, formaram-se amplas calhas erosivas e no Mioceno-Inferior ocorreu uma espessa sedimentação de clásticos finos, que ocorreram nas bordas dos grandes blocos falhados e basculados, que estão soterrados por uma espessa sedimentação clástica terrígena do Terciário-Superior.

O cone do Amazonas recebeu uma volumosa sedimentação durante o Mioceno, Plioceno e Pleistoceno, transportada pelo rio Amazonas, cujo sistema de drenagem se implantou em consequência da Orogênese Andina, a partir do Mioceno- Médio/ Superior.

A coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas (Figura 2.2) é composta por quatro seqüências deposicionais (BRUNO, 1987):

(a) Na seqüência do Jurássico (?) ao Cretáceo Inferior, tectonicamente mais estável e na fase inicial, caracteriza-se pela presença de arenitos limpos, finos a médio, avermelhados, intercalados com derrames basálticos de idade Jurássica. A fase posterior é formada por sedimentos de idade Albo-Aptiana e sedimentação sin-tectônica regressiva de preenchimento da bacia lacustre. Na base, ocorrem folhelhos lacustres, passando a "subwackes" turbiticos, e "wackes" proximais;

(b) A Seqüência do Cretáceo Superior ao Paleoceno é composta por conglomerados sin-tectônicos da Formação Jacarezinho, depositados próximos às falhas da borda da bacia, passando a sedimentos flúvio-deltáicos da Formação Limoeiro próximo à quebra da Plataforma Continental, a sedimentos marinhos de talude da bacia;

(c) A Seqüência do Paleoceno ao Mioceno-Médio (Formação Marajó e Macapá) é caracterizada pela formação de uma plataforma subsidente, com depósitos de clásticos flúvio-deltáicos (Formação Marajó), carbonatos da plataforma e depósitos de talude (Formação Amapá). Essa seqüência possui três ciclos deposicionais menores. Os ciclos são iniciados com um suprimento intenso de clásticos grosseiros, seguindo-se a deposição de clásticos finos e carbonatos. Os ciclos têm idade aproximada, Eoceno, Oligoceno e Mioceno-Médio/ Inferior.

(d) A Seqüência do Mioceno - Médio ao Holoceno (Grupo Pará) está relacionada ao levantamento dos Andes, ocorrido no Mioceno-Médio, que deu origem a uma drenagem extensiva do Rio Amazonas e à construção do leque submarino do Amazonas. A deposição inicial no Neogeno foi controlada pela paleotopografia herdada da seqüência (C). A deposição de depósitos basais de talude foi limitada por uma escarpa carbonática, que correspondia a aproximadamente ao limite da plataforma no final do Paleoceno. Nos flancos da bacia, pode se observar um controle paleotopográfico mais pronunciado, onde a separação entre as duas províncias quaternárias (plataforma e leque submarino/talude) iniciou-se a partir da interseção da escarpa carbonática do Mioceno-Médio, com o limite da plataforma quaternária.

O Grupo Pará, que engloba a Formação Tucunaré e Pirarucu, representa a seção deltaica. As fácies proximais são representadas pela formação Tucunaré e consistem em areias grossas de origem fluvial, gradando para uma associação costeira, com areias grossas a finas, turfa e carbonatos terrígenos. A Formação Pirarucu representa as fácies distais dessa seção regressiva composta por areias finas e argilas prodeltaicas e por leques submarinos coalescentes, que são constituídos por argilas, arenitos muito finos, siltitos e folhelhos (Franke⁸, 1974 apud in BRUNO, 1987)

2.1.6 Aspectos Geológicos da Plataforma Continental do Amazonas

A Plataforma Continental do Amazonas enquadra-se na Margem Continental Norte do Brasil, que resulta do preenchimento da uma bacia sedimentar (Bacia da Foz do Amazonas) que, sob o controle tectônico, passa por uma longa história de subsidência e deposição (Santos⁹, 1972 apud in FARIA JR, et al., 1992). Segundo o mesmo autor, nessa bacia, são observados sedimentos do Cretáceo ao Holoceno, que repousam discordantemente sobre o Pré-Cambriano e/ou sobre remanescentes da Bacia Paleozóica do Maranhão. As feições de clásticos terrígenos (areias quartzosas litorâneas, lamas e areias transicionais) dominam a sedimentação na Plataforma Continental do Amazonas, e que nas partes mais externas, ocorrem as algas coralíneas e sedimentos biodetríticos e concluem que a maioria destes depósitos são relíctos (MARTINS & COUTINHO, 1981).

A Plataforma Continental do Amazonas representa um exemplo sugestivo de área com uma sedimentação terrígena ativa pretérita e atual. A influência fluvial constitui o elemento modelador de maior importância. Ela possui um acentuado controle não somente sobre a circulação oceânica, como contribui com um volumoso aporte de sedimentos terrígenos predominantemente finos, além de ser o responsável parcial pelo desenvolvimento da morfologia esculpida durante o nível de mar Wisconsiniano e no atual nível de estabilização (MARTINS, 1987).

⁸ FRANKE, M. R. 1974. Zonas de alta pressão na Foz do Amazonas. S.1. PETROBRÁS. Relatório Interno.

⁹ SANTOS, M. C. A. 1972. Paleogeografia do Quaternário Superior na Plataforma Continental Norte Brasileira. In: Cong. Bras. Geol., 26. Belém. 1972. Anais. S.B.G. v. 2:267-288.

Durante o nível do mar baixo, a morfologia era representada por uma extensa planície costeira, submetida à uma forte influência fluvial, com uma expressiva carga sólida, canalizada diretamente para o Cone do Amazonas e mar profundo adjacente. Devido a estes sedimentos serem canalizados através de vales, elevações vizinhas permaneceram livres da influência da sedimentação terrígena, desenvolvendo uma sedimentação rica em carbonato explicando a presença de bioclásticos e de oolitos de águas rasas encontrados na borda da plataforma continental.

Neste estágio de desenvolvimento, pouco material foi transportado pelas correntes litorâneas. Correntes de marés fortes, ondas e os processos associados às diferenças de gradientes de salinidade são os processos físicos, que direcionam o transporte dos sedimentos nesta plataforma (KINEKE et al., 1991). Cerca de meio bilhão de toneladas de sedimentos acumulam-se anualmente sobre a Plataforma do Continental do Amazonas (KUEHL et al., 1986), variando entre a taxa de 0,1 cm/ano, próximo a costa até 10 cm/ano nas zonas de 30-50 m de profundidade.

BACIA DA FOZ DO AMAZONAS *

ERA	SISTEMAS	SÉRIES	FORMAÇÃO	DEP. SEQ.	SISTEMAS DEPOSICIONAIS
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	TUCUNARE	T. Q	FLUVIAL
		PLEISTOCENO	PIRARUCU		
		PLIOCENO			
	TERCIÁRIO	MIOCENO	M A R A J Ó A M A P Á J A C A R E Z I N H O	T	DELTA-FLUVIAL DELTA(MARAJÓ) E PATAFORMA(AMAPÁ) COM CANYONS SUBMARINOS, ESCARPA
		OLIGOCENO			
		EOCENO			
MESOZÓICO	CRETÁCIO	PALEOCENO	LIMOEIRO	K. T	DELTA EM LEQUE E ESCARPA(?)
			JACAREZINHO		
PALEOZÓICO		PRÉ-CAMBRIANO	EMBASAMENTO		

* Depois de Schaller et al.(1971) e De Castro et al. (1978)

BACIA AMAZÔNICA**

ERA	SISTEMAS	W	FORMAÇÃO	E	DEP. SEQ.	SISTEMAS DEPOSICIONAIS
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO NEOGENO PALEOGENO	ARCO PURUS	SOLIMÕES ALTER DO CHÃO NOVA OLÍNDIA TATUIRA MIRIM GERAÍ TROMBETA	ARCO GURUPA	K-T	FLUVIO LACUSTRE
						FLUVIAL
MESOZÓICO	CRETÁCIO					
PALEOZÓICO	PERMIANO CARBONÍFERO DEVONIANO SILURIANO ORDOVICIANO				C-P Antigo	LACUSTRE FLUVIAL HIPERSALINO MARINHO RESTRITO MARINHO MARINHO/DELTAICO MARINHO/GLACIAL
					D-inicial C	MARINHO-MARGINAL MARINHO
					O-S Antigo	MARINHO GLACIAL FLUVIAL/MARINHO
PRÉ-CAMBRIANO	ALGONIKIANO	ACARI PROSPERANÇA	EMBASAMENTO		P-C	PLANÍCIE DE MARÉ ALUVIAL/FLUVIAL

** Depois de Schobenhuis et al. (1984) e Neves (1989)

Figura 2.2 Classificação estratigráfica e sistema deposicional para a Bacia da Foz do Amazonas e Bacia do Amazonas

2.1.7 Morfologia da Plataforma Continental do Amazonas

A Plataforma Continental do Amazonas estende-se desde a foz do rio Pará (PA) até o Cabo Orange (AP), com um gradiente suave, sendo que a isóbata de 100m marca a quebra da plataforma continental (NITTROUER & DeMASTER, 1986). A superfície da plataforma continental é de 249.000 Km², e sua maior extensão é atingida em frente ao canal norte do Rio Amazonas, 330 Km e diminui para 125 Km próximo ao Cabo Orange (ZEMBRUSCKI et al., 1972)

Os processos hidrodinâmicos fortes geram correntes de fundo da ordem de 100 cm/s (METCALF & STALCUP, 1967) e uma alta taxa de sedimentação, em torno de $1,2 \times 10^9$ ton /ano (Meade et al., 1985¹⁰, apud NITTROUER & DeMASTER, 1986), provocando assim uma grande complexidade na plataforma continental.

A Plataforma Continental do Amazonas é dividida em: Plataforma interna: o gradiente é de 1:4.000, sendo limitada, ao norte, pela isóbata de 40m. A isóbata de 20m é marcada por uma série de irregularidades, que desenham pequenas reentrâncias em frente a quase todos os sistemas estuarinos atuais do Rio Amazonas; Plataforma intermediária: esta é a área mais inclinada, com um gradiente de 1:300 e está situado entre as isóbatas de 40 e 60m (KUEHL et al., 1982), sendo marcada por uma série de feições erosivas; Plataforma externa: situa-se entre as isóbatas de 40 e 80m, apresentando um gradiente de 1:2.000 (KUEHL et al., 1982). Nesta área, pode se observar as principais feições erosivas, marcadas principalmente na isóbata de 80m, que desenham uma série de endentações longitudinais e paralelas, cujos comprimentos e larguras atingem, respectivamente, 130 Km e 20 Km.

A sedimentação na Plataforma Continental do Amazonas iniciou-se a partir do soerguimento dos Andes (Mioceno Médio). Na plataforma continental interna, ocorre uma alta taxa de sedimentação (até 10 cm/ano), que aumenta em direção ao mar. Na plataforma continental intermediária, a espessura das camadas de lama aumentam

¹⁰ MEADE, R. H.; DUNNE, T.; RICHEY, J. E.; SANTOS, U. M. & SALATI, E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediments in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, 228: 488-490.

(MILLIMAN, 1979) e a taxa de acumulação diminui nesta região, onde a taxa de acumulação é menor (KUEHL et al., 1982). Próximo à foz do Rio Amazonas, os sedimentos acumulam-se ao longo da isóbata de 70m (KUEHL et al., 1986).

2.1.8 Processos Oceanográficos na Plataforma Continental do Amazonas

Os índices pluviométricos altos, aliados a imensa área de captação da bacia, produzem descargas médias no rio Amazonas da ordem de 220.000 m³/s na cheia e de 100.000 m³/s na seca (RICHEY et al., 1986) e um fluxo de sedimentos da ordem de 1,2 x 10⁹ t/ ano (MEADE et al., 1985).

Quando as águas do rio Amazonas e a descarga de sedimentos finos entram no oceano, passam a ser influenciadas por processos locais, que modificam o seu destino, a estratificação da salinidade sobre a plataforma continental adjacente (NITTROUER, et al., 1995). A estratificação é bem estabelecida durante as condições de descida da maré e pobremente desenvolvida durante a subida da maré (GEYER & KINEKE, 1995).

A pluma turva na Plataforma Continental do Amazonas, é levada para noroeste pela Corrente Costeira Norte do Brasil (NBCC) que circula com velocidades de 40 - 90 cm/s sobre a Plataforma Continental (CANDELA, et al., 1992). A velocidade da NBCC varia com as estações, alcançando o máximo em agosto e setembro e o mínimo em abril. O tempo de residência na Plataforma Continental do Amazonas para águas e sedimentos na pluma é dependente também dos ventos alísios leste, os quais podem intensificar ao longo da plataforma continental e fluem associados com a NBCC, onde eles sopram para sudeste e podem inibir aqueles que sopram para nordeste (LENTZ, 1995).

2.2 ESBOÇO GEOQUÍMICO DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS DO RIO AMAZONAS E DE SEU ESTUÁRIO

2.2.1 Águas

Na região Amazônica, há três tipos de águas : - águas brancas, que são ricas em material dissolvido e em suspensão (SIOLI, 1957, 1968, 1975; GIBBS, 1965, 1967; SCHMIDT, 1973), sendo este tipo característico de todos os rios que tem substancial drenagem nos Andes, especialmente no canal principal do Amazonas e rio Madeira - águas claras, as quais são o tipo mais amplamente distribuídos na bacia e originados em áreas de solos ricos sobre o escudo e localizadas sobre terrenos terciários, apresentando concentrações altas de material dissolvido e pH. próximo ao neutro e, drenam a faixa isolada de carbonatos e sulfatos da baixa bacia amazônica; - águas negras que são mais diluídas do que as claras e intensamente coloridas por material húmico, sendo encontradas em áreas extremamente planas, e tem sido associadas à campina e aos escassos nutrientes dos solos podzol (SIOLI & KLINGE, 1962; SIOLI, 1968).

A origem das águas claras foi relacionada com áreas, onde os processos de erosão são menos intensos como no antigos escudo do Brasil Central e Guianas, bem como na bacia Amazônica Central. As águas negras são um resultado de processos organogênicos. A coloração escura deve-se a substâncias orgânicas dissolvidas (ácidos húmicos e fúlvicos), tais substâncias são derivadas da decomposição de folhas sob condições ácidas e subseqüentes processos edáficos, que acontecem em solos amazônicos. As substâncias dissolvidas tem alto peso molecular e contribuem para o baixo valor de pH das águas devido a sua acidez. Além desses fatores, são hábeis capturadores de metais dissolvidos (JUNK & FURCH, 1984).

Em solos caoliníticos uma grande parte das substâncias húmicas são fixadas sobre as partículas argilosas. Nos solos arenosos, uma grande parte é arrastada para os igarapés, originando uma água de cor escura. As outras fontes são áreas pantanosas (atolados) onde o material orgânico da floresta inundada é acumulado e lixiviado para fora pela água. Os rios podem mudar de cor, suas águas sendo 'brancas' devido a um aumento de sólidos em suspensão durante a estação chuvosa, ao passo que ela é clara na estação seca . Isto ocorre em rios como o Rio Branco, um afluente

do Rio Negro e em Igarapés na Amazônia Central. As águas do Amazonas perdem sua cor entrando na várzea, por causa da sedimentação do material em suspensão inorgânico e torna-se transparente, amarronzada ou esverdeada (JUNK & FURCH, 1984).

O relevo contribui com 76% da variação de salinidade e a porcentagem das rochas contribui com 4%, na parte superior da bacia dos tributários.

A geoquímica das águas do rio Amazonas é fortemente influenciada pelo tipo de ambiente ao qual estão associadas, e estes, por sua vez, sofrem ascendência do relevo e do tipo de processo intempérico, físico ou químico (GIBBS, 1965).

O ambiente de bacia tropical é dominado pelo relevo baixo e intemperismo químico. As bacias dos ambientes montanhosos andinos são dominadas pelo aumento de relevo e intemperismo físico (GIBBS, 1965). Uma diferença importante entre os Andes e a parte da planície da bacia é que nos Andes, a erosão física continuamente remove o resíduo sólido intemperizado, expondo a rocha fresca ao ataque químico (GIBBS, 1967). Em áreas de alta precipitação os fluxos de água são normalmente muito diluídos, e, devido a estas se movimentarem tão rapidamente através do sistema, têm pequeno tempo para reagir com a rocha. Também pelo fato de ocorrer área de alta precipitação geralmente em densa cobertura vegetal, isso impede a remoção dos produtos do intemperismo.

Fittkau (1971)¹¹ apud in JUNK & FURCH, 1984, que dividiu a bacia dentro de três províncias geológicas básicas (Figura 2.3).

- a) A região Andina e pré-Andina (região periférica do oeste);
- b) Os escudos arcaicos das Guianas e o Brasil Central (região periférica do norte e do sul);
- c) Amazônia Central.

Essas três províncias diferem com respeito a geoquímica e geomorfologia. Os Andes são montanhas jovens as quais iniciaram o seu levantamento no Terciário. Os processos de erosão intensiva afetaram anteriormente sedimentos marinhos ricos em elementos minerais, especialmente cálcio e magnésio. Conseqüentemente rios com

¹¹ FITTKAU, E. J. 1971. Ökologische gliederung das Amazonas-Gebietes auf geochemischer Grundlage. *M'ünster. Forsch. Geol. Paläont.*, 20/22: 35-50.

sua área de captura na região Andina e pré-Andina contendo cargas de sedimentos e altas concentrações de sais minerais com uma grande porcentagem de metais alcalinos terrosos e pH neutro.

Os escudos arcaicos das Guianas e Brasil Central relacionam-se com antiquíssimas formações geológicas sobre a terra. Em comparação com os Andes, o relevo é baixo, os processos de erosão existentes são relativamente menores. Entretanto, o intemperismo das rochas liberta pequenas quantidades de nutrientes minerais. A água derivada dessas áreas tem uma pequena carga de sedimentos e é pobre em elementos minerais, especialmente metais alcalinos terrosos, assim tem um valor de pH baixo (JUNK & FURCH, 1984).

A Amazônia Central é recoberta com sedimentos terciários de origem fluvial e lacustre. Estes solos tem altas frações de areia e material caolinítico. A disponibilidade de nutrientes minerais e valor de pH são extremamente baixos. O relevo é baixo e os gradientes em elevação são pequenos. A densa cobertura vegetal inibe os processos de erosão. Os rios com áreas de captura na Amazônia Central tem águas transparentes muito ácidas com concentrações extremamente baixas de nutrientes dissolvidos.

A heterogeneidade da geologia da bacia amazônica é refletida pelas condições hidroquímicas do fluxo de corrente (Furch and Junk¹², 1980 apud in JUNK & FURCH, 1984). A maioria dos compostos dissolvido são úteis para uma detalhada classificação, devido a sua variabilidade ser grande.

¹² FURCH, K., JUNK, W. J. 1980. Water chemistry and macrophytes of cheeks and rivers in Southern Amazonia and the Central Brazilian Shield. In: **Tropical Ecology and Development**, Ed . J. I. Furtado. The International Society of tropical Ecology , Kuala Lumpur: 771 – 796.

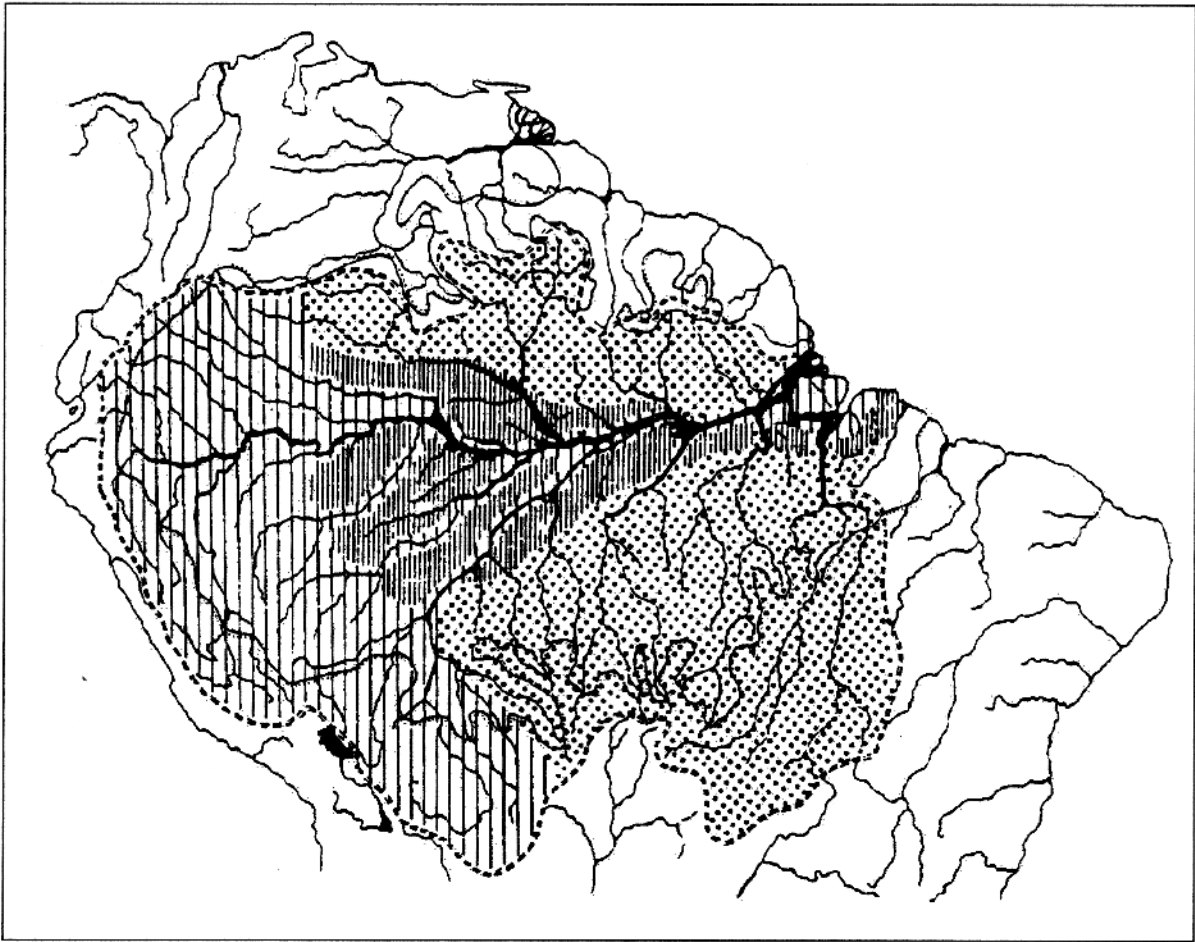


Figura 2.3 Classificação geoquímica da Bacia Amazônica (de acordo com Fittkau, 1971¹ apud in JUNK & FURCH, 1984)

¹ FITTKAU, E. J. 1971. Ökologische gliederung das Amazonas-Gebietes auf geochemischer Grundlage. *M'ünster. Forsch. Geol. Paläont.* 20/22. p 35-50

STALLARD & EDMOND (1981) estudaram os solutos na precipitação na bacia Amazonas, identificaram uma fonte marinha e uma fonte continental. A fonte marinha caracterizada por Na, K, Ca, Mg e Cl nas proporções idênticas as do sal do mar, com adição de sulfato em aproximadamente duas vezes a proporção a do sal do mar. O excesso de sulfato foi atribuído as emissões de dimetil sulfeto biogênico e sulfeto de hidrogênio da superfície do mar. As concentrações de componentes de sal do mar decresce com a distância fora do oceano. As fontes continentais foram caracterizadas por potássio, cálcio e sulfato, e as espécies de nitrogênio. Todos estes foram relacionados com as emissões biológicas de gases do decaimento de plantas (espécies de nitrogênio ou enxofre) ou queima de vegetação.

As águas da bacia amazônica foram divididas em quatro grupos (STALLARD & EDMOND (1983) :

- a) águas com uma carga catiônica total menor que 200 $\mu\text{eq/L}$, caracterizando-se por serem águas que drenam rochas silicatadas sob um regime de transporte limitado; as proporções catiônicas são similares aquelas na rocha, os valores de pH são baixos; e as concentrações relativas em silício, ferro e alumínio dissolvidos são altas;
- b) águas com uma carga catiônica total entre 200 e 450 $\mu\text{eq/L}$, são águas que drenam rochas silicatadas sob um regime de intemperismo limitado; comparando-se com as taxas na rocha, o sódio é enriquecido sobre o potássio e o cálcio sobre o magnésio;
- c) águas com uma carga catiônica total entre 450 e 3000 $\mu\text{eq/L}$, caracterizando-se por serem águas típicas de drenagem de sedimentos marinhos em camadas vermelhas associadas com carbonatos e evaporitos menores; as concentrações de cálcio, magnésio e alcalinidade são altas em águas de argila xistosa contendo pirita e camadas menores de xisto;
- d) águas com uma carga catiônica total maior que 3000 $\mu\text{eq/L}$, que ocorrem somente em associação com evaporitos maciços; contém tipicamente concentrações altas de sódio e cloro numa razão molar de 1:1.

O carbono orgânico dissolvido (COD) representa 50% da forma da matéria orgânica total transportada pelo rio Amazonas e predomina também como forma de

matéria orgânica em muitos tributários. A média total no canal principal esteve em 3,6 mg/L não havendo diferenças significantes entre a enchente ou a vazante. À jusante observou-se um aumento do COD durante a vazante, particularmente rio Negro abaixo. Na vazante, as concentrações de COD nos tributários foi comparável com as do canal principal; somente o rio Negro manteve altos valores (RICHEY et al., 1990).

As concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID) são estabelecidas pela litologia e intemperismo dos respectivos tributários da bacia (STALLARD & EDMOND, 1983). Em volta de 60-90% do C.I.D ocorre nos valores de pH do Amazonas entre 6,5-7,2. Durante a enchente observa-se uma maior diluição do C.I.D nos tributários do que no canal principal. O canal principal mostrou-se supersaturado em CO_2 com relação a atmosfera de 10-20 vezes, com uma média total de 130 μM . O C.I.D não apresenta mudanças à jusante, durante a enchente (média de 100 μM), porém aumenta à jusante, durante a vazante, de 110 μM a 180 μM ; observou-se que à jusante o aumento de CO_2 é acompanhado pelo decréscimo em pH (RICHEY et al., 1990). No canal principal o O_2 dissolvido esteve entre 50 –80 % insaturado em relação a atmosfera, com média total de 164 μM . Assim como o CO_2 , o O_2 dissolvido não apresenta variações à jusante. As concentrações foram significativamente baixas na vazante. As concentrações de O_2 nos tributários são semelhantes as do canal principal excetuando os rios Jutáí, Juruá e Purus na vazante (RICHEY et al., 1990).

O rio Amazonas é responsável por cerca de 20% de toda água doce lançada nos oceanos (GIBBS, 1967; STALLARD & EDMOND, 1983). A descarga dissolvida estimada por GIBBS (1967) foi de 290×10^6 t/ano, desconsiderando a descarga do rio. STALLARD & EDMOND (1983) estimaram em 220×10^6 ton/ano, sem considerar a concentração dos elementos dissolvidos. A descarga anual do Amazonas em $2,7 \times 10^6$ ton/ano estimada por MARTINELLI et al., (1989) coloca este rio como o maior transportador de material dissolvido do mundo, desempenhando um papel fundamental no transporte de material entre os continentes e os oceanos.

2.2.2 Sedimentos em Suspensão

O Rio Amazonas banha principalmente uma região baixa colonizada por uma floresta tropical chuvosa, uma grande parte de seus maiores tributários drena a região de montanhas dos Andes. GIBBS (1967) concluiu que mais de 80% da descarga anual de material em suspensão (5×10^9 toneladas) é derivada dos Andes. Assim como a vazão do rio, a carga de material em suspensão na coluna d'água também varia com as estações. Nos meses chuvosos, a média de carga em suspensão próxima à foz do rio atinge 125 mg/L, enquanto que na estação seca, a concentração fica em torno de 22 mg/L (GIBBS, 1967).

O sistema de dispersão amazônico é um dos mais importantes sistema rio/plataforma do mundo, tanto em termos de tamanho, descarga de água doce e sedimentos. O sistema amazônico de drenagem consiste, em dois sistemas de rios dissimilares: o Rio Amazonas e o Rio Pará. O Rio Amazonas é o maior rio do globo terrestre, tanto em termos de área de bacia de drenagem ($7 \times 10^6 \text{ Km}^2$) como em termos de descarga ($1,75 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{segundo}$). Durante a estação chuvosa de abril a junho, a vazão média em Óbidos (cerca de 450 km a montante da foz do rio) atinge $2,25 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{segundo}$, enquanto que no período seco, de outubro a dezembro, a vazão média fica em torno de $0,9 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{segundo}$ (MILLIMAN, et al., 1974).

Estudando as relações entre a química das águas, litologia e relevo estabeleceu-se que o regime de denudação da bacia amazônica deverá ser dividido em duas categorias, o limitado pelo intemperismo e o limitado pelo transporte, seguindo as idéias de Carson & Kirkby (1972)¹³ apud in STALLARD & EDMOND (1983). Num regime limitado pelo intemperismo, os processos de transporte removem o material intemperizado de uma escarpa firme que os processos intemperizantes produzem novos materiais. Como resultado os solos são fracos, e a camada de rocha não isolada da chuva que entra. O intemperismo é altamente seletivo: os minerais mais suscetíveis são removidos pela erosão física. As concentrações totais de soluto são altas devido haver uma extensiva relação entre a rocha fresca e a chuva que penetra. A somatória relativa dos diferentes elementos em solução que são completamente diferentes das

¹³ CARSON, M. A. & KIRKBY, M. J. 1972. *Hillslope, form and process*. Cambridge University Press, New York. 475p.

proporções nas rochas, o sódio e o cálcio são enriquecidos em solução em relação ao potássio e magnésio (STALLARD & EDMOND, 1983). Sob um regime limitado pelo transporte, em contraste a razão na qual o material intemperizado é removido tão vagarosamente que a taxa na qual a rocha fresca é alterada é igual a taxa na qual os minerais secundários são removidos, ou por dissolução ou por erosão. A taxa total de intemperismo é controlada pela taxa de remoção dos produtos do intemperismo, não pelo intemperismo da rocha fresca. Sob este regime, a taxa de vários cátions monovalentes e bivalentes em solução são similares a aqueles na camada de rocha, devido a essencialmente a todos os cátions na camada rochosa original serem dissolvidos fora, não restando nos sólidos produtos intemperizados. A proporção de sílica para cátions nestas águas é relativamente alta devido aos produtos intemperizados, tipicamente gipsita e caulinita, tendo uma baixa razão Si/Al.

3 METODOLOGIA

3.1 TRABALHOS PRELIMINARES

Os trabalhos preliminares consistiram da escolha da área de estudo dentro das abrangidas pelo Programa REVIZEE (Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva), além do levantamento bibliográfico sobre o assunto investigado objetivando o melhor desenvolvimento da metodologia a ser empregada na coleta, da preservação e análise das amostras de material em suspensão, sedimento de fundo e águas. Também, neste período, fez-se a organização do laboratório para as análises de águas e o preparo dos reagentes usados durante a amostragem e em análises.

3.2 TRABALHOS DE CAMPO

Executou-se os trabalhos de campo durante o período de queda das águas do rio Amazonas, estação seca, no âmbito da Operação Norte II do Programa REVIZEE (Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva), no período de 13 a 23 de outubro de 1997, a bordo do navio oceanográfico "ANTARES", pertencente a Marinha do Brasil, a amostragem foi realizada no período de estiagem que abrange os meses de junho a novembro.

3.2.1 Amostragem

Os pontos de amostragem foram georeferenciados, através de um sistema de posicionamento global, o GPS (Global Positionning System).

O material coletado no amostrador do tipo Rosette foi separado através de filtro millipore de 0,45 μm . Num total de 36 pontos (Figura 3.1), 11 apresentaram, após filtração, material em quantidade suficiente para análise. Desses 11 pontos (Tabela 3.1), selecionou-se 20 amostras para este estudo.

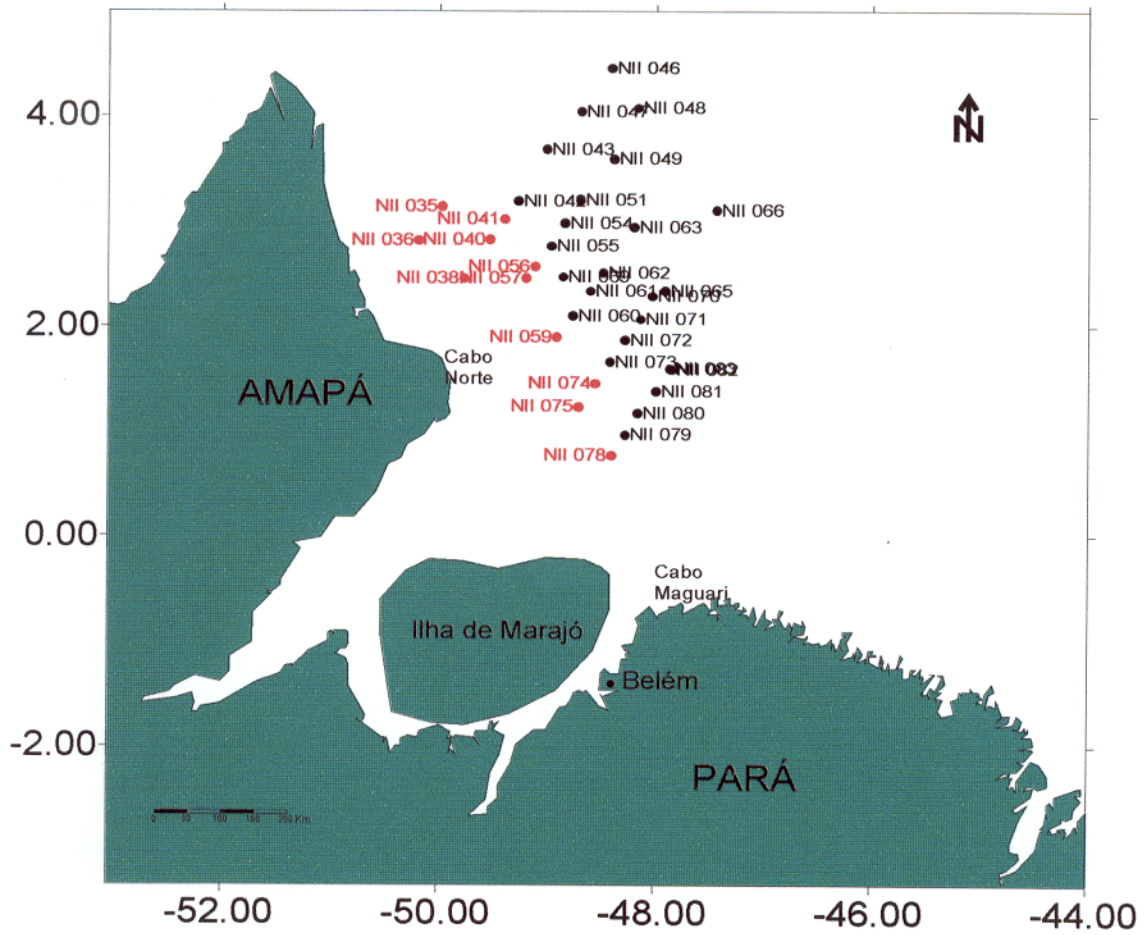


Figura 3.1 Mapa de localização dos pontos amostrados

Tabela 3.1 Caracterização dos pontos de amostragem selecionados para análise

Estação	Descrição utilizada no texto	Coordenadas geográficas		Profundidade de Amostragem (m)
		Latitude	Longitude	
35	35-10	3°07'51,46"N	49°58'41,09"W	7,84
	35-20			20,20
36	36-5	2°48'62"N	50°11'29"W	5,74
	36-10			10,57
	36-F			FUNDO (14,50)
38	38-5			4,39
	38-7			7,76
	38-14			14,48
	38-F			FUNDO(18,00)
40	40-12	2°49'22"N	49°32'33"W	11,197
	40-F			FUNDO(16,50)
59	59-5	1°53'41"N	48°55'22"W	4,12
74	74-5	1°27'N	48°44'50"W	4,08
	74-10			14,11
75	75-5	1°13'20"N	48°44'50"W	4,32
	75-10			10,58
78	78-5	0°45'49"N	48°24'81"W	4,25
	78-10			10,11

Obs.: 36-5 refere-se a amostra coletada na estação 36 a aproximadamente 5 metros, 36-F refere-se a amostra 36 coletada no fundo e assim sucessivamente.

3.2.2 Coleta e Separação de Material em Suspensão

Realizou-se a coleta de águas através de um amostrador de água do tipo Rosette (Figuras 3.2; 3.3; 3.4), composta por 12 garrafas de Niskin, com capacidade de 1,2 litros cada, o sistema de amostragem ligado a um medidor de condutividade, densidade e temperatura (C.T.D) e a um computador permitiu a amostragem em vários níveis de profundidade.

Fez-se a separação do material particulado para as análises, através de filtros de membrana de acetato celulose com porosidade de $0,45\mu\text{m}$ da marca Milipore.

3.2.3 Análise Realizadas a bordo do Navio

Salinidade , Temperatura , Densidade e pH

Fez-se a medição de salinidade, da temperatura e de densidade, através de método físico com o medidor do navio de condutividade, densidade e temperatura (C.T.D) (Figura 3.5) .Determinou-se o pH através do método potenciométrico, "in situ", com medidor de campo.

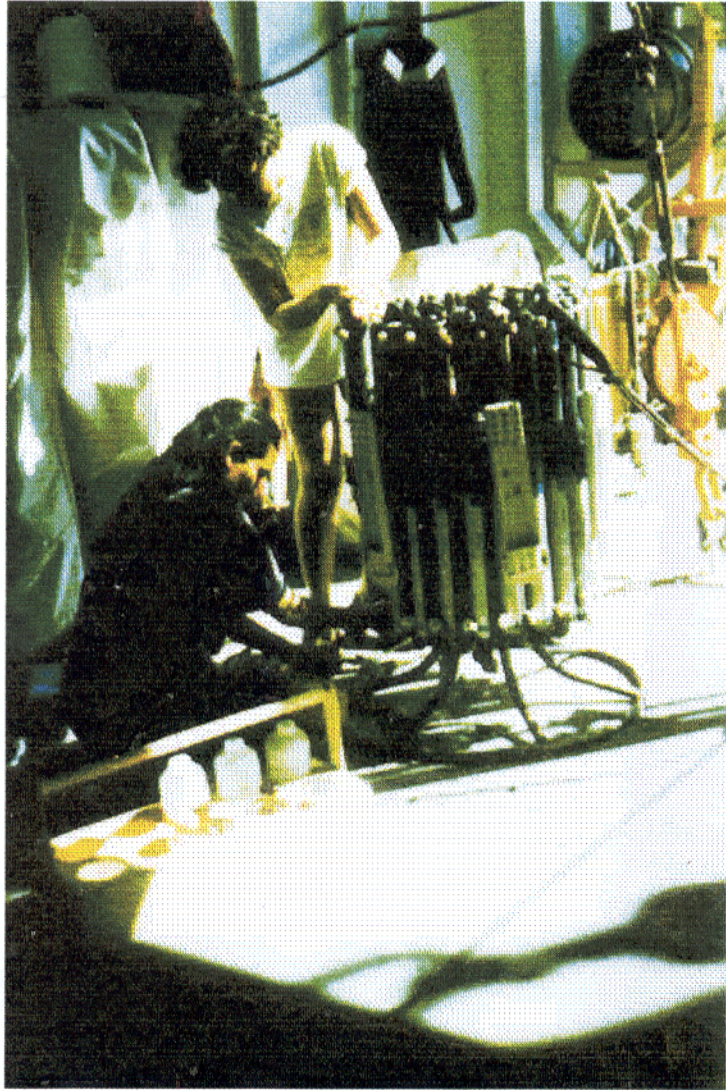


Figura 3.2 Coleta de material em suspensão no amostrador do tipo Rosette.

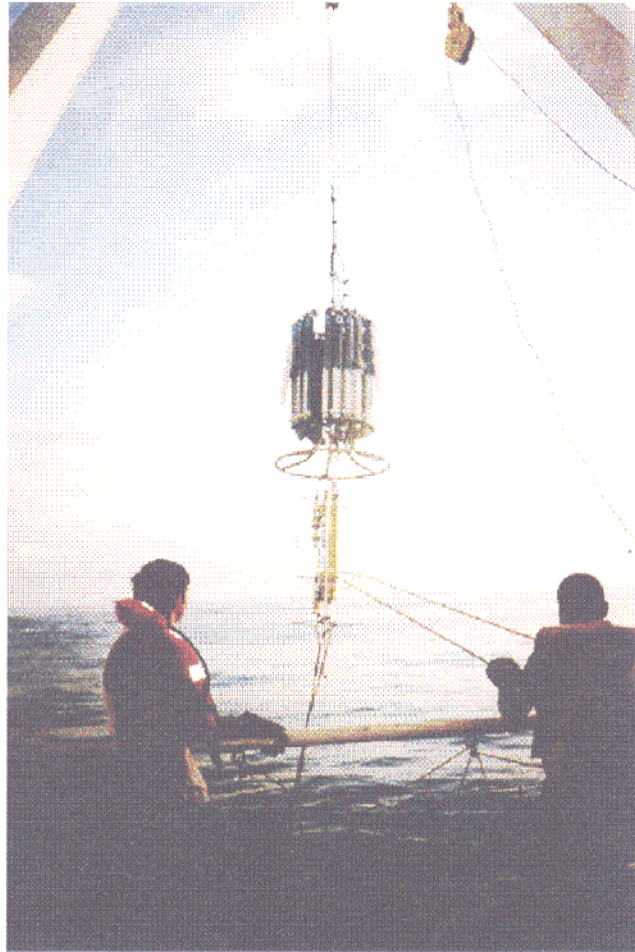


Figura 3.3 Conjunto de coleta de amostras: amostrador do tipo Rosette e medidor de condutividade, densidade e temperatura (C.T.D).

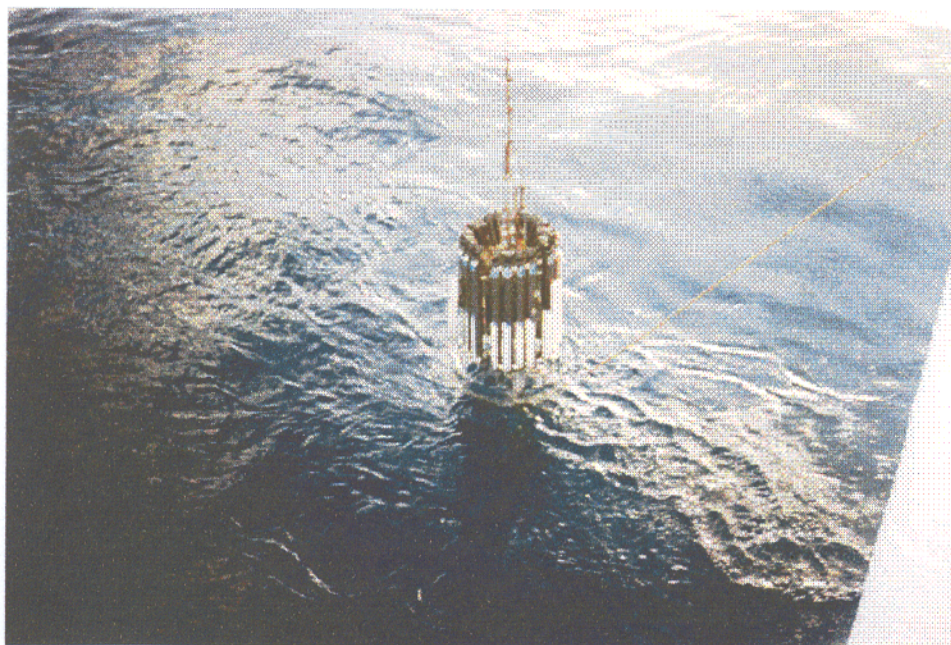


Figura 3.4 Amostrador do tipo Rosette

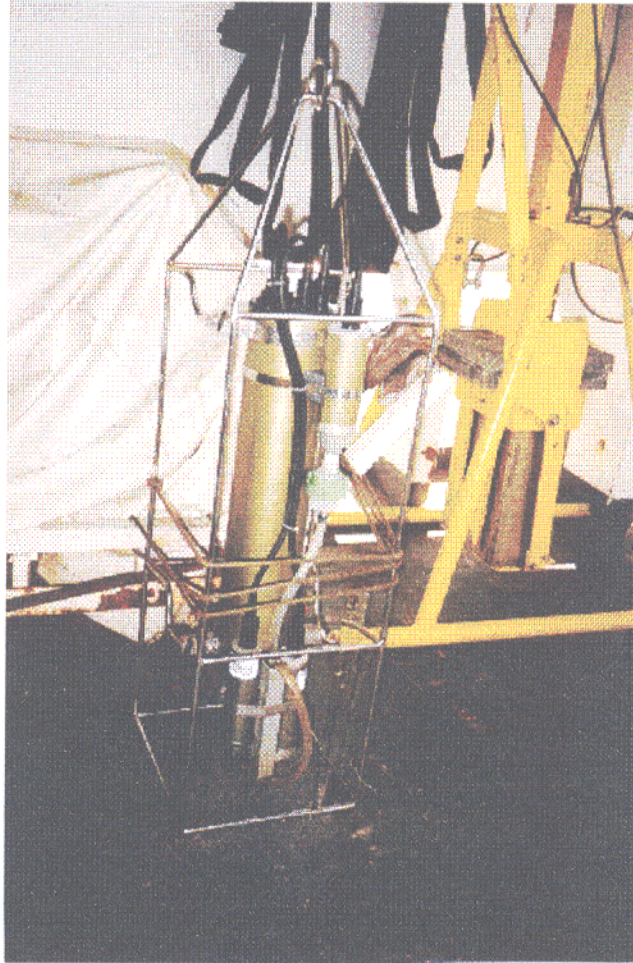


Figura 3.5 Medidor de condutividade, densidade e temperatura (C.T.D)

3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO

3.3.1 Tratamento Preliminar

As amostras de material particulado após filtração foram secas naturalmente e no laboratório foram pesadas, pulverizadas em gral de ágata e quarteadas para as análises posteriores (Figura 3.6).

3.3.2 Espectrometria do Infravermelho

As análises de infravermelho foram utilizadas principalmente para detectar grupamentos funcionais de argilominerais, a presença de matéria orgânica e ainda como ferramenta acessória a identificação do tipo de matéria orgânica presente no material particulado.

Utilizou-se para determinação dos espectros a técnica de disco KBr a uma concentração aproximada de 1% , pulverizada e homogeneizada simultaneamente, então comprimida a alta pressão em molde evacuado, de modo a formar uma pastilha. O registro espectral foi feito na região de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} em espectrofotômetro Perkin-Elmer, modelo FT 1760x, acoplado a um registrador automático.

3.3.3 Composição Mineralógica

Desagregou-se as amostras de material particulado e de sedimentos de fundo em aparelho de ultra-som; a seguir peneirou-se a amostra em peneiras com malhas de abertura 42 mesh; eliminou-se a matéria orgânica com H_2O_2 , e lavou-se a amostra várias vezes com água destilada para evitar interferência da água oxigenada na análise (JACKSON et al., 1950).

Separou-se a fração argilosa, por centrifugação e então secou-se a 50°C para posterior análise .

Identificou-se os minerais argilosos contidos nas amostras através de soluções foram preparadas na razão 2 mg/L, em balão volumétrico, desagregadas

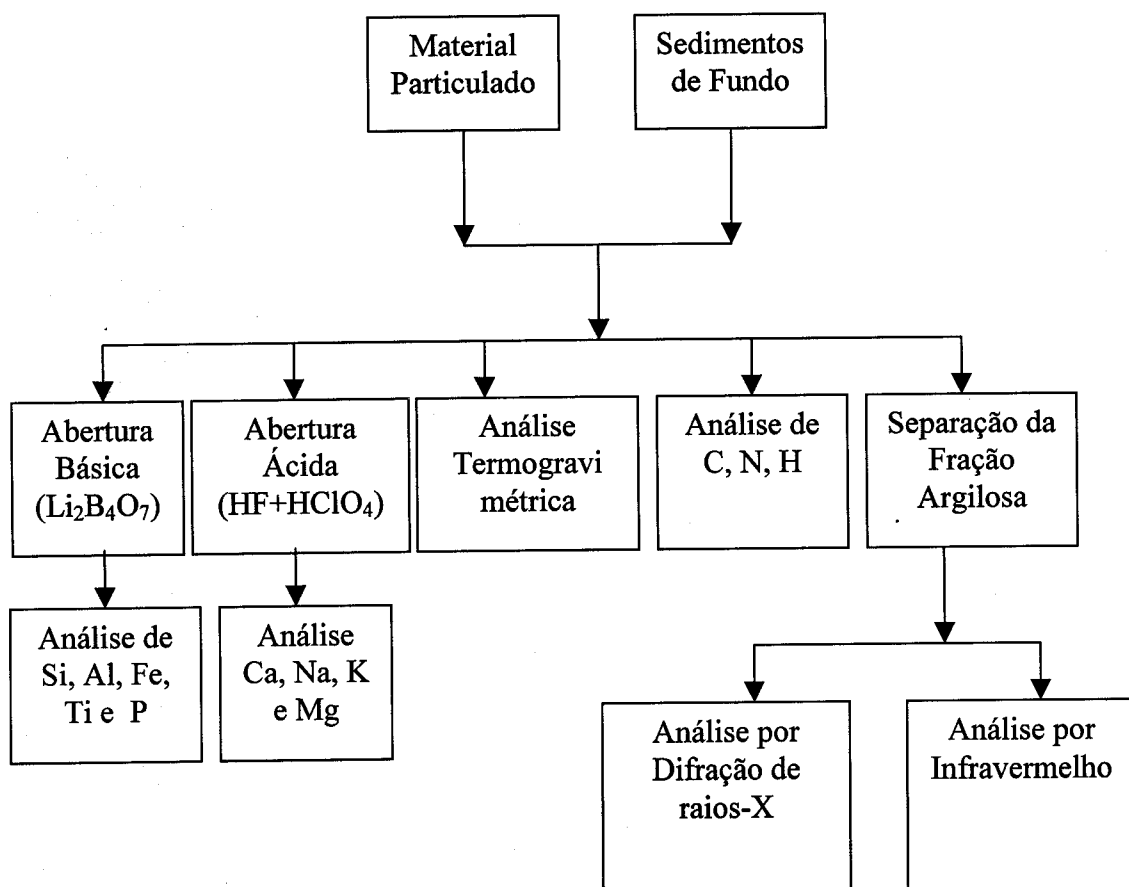


Figura 3.6 Esquema de análises aplicadas ao material particulado e sedimentos de fundo.

em ultra-som. Pipetou-se cerca de 2 mL da solução sobre a lâmina de vidro, o material que aderiu a lâmina foi submetido a difração de raios-X, obtendo-se um difratograma com os principais picos do material analisado.

Utilizou-se para identificação por difratometria de raios-X, um difratômetro do tipo Philips PW 1050 com monocromador de grafite e tubo de ânodo de cobre , sob as seguintes condições de varredura:

- faixa de varredura: 0-35 2θ
- constante de tempo: 0,5 seg.
- sensibilidade: 1000 imp/seg
- intensidade: 2×10^3

3.3.4 Análise Termogravimétrica

Utilizou-se esta técnica de análise para quantificar a água de constituição das amostras, a análise baseia-se em aquecer as amostras a diversas temperaturas, observando a porcentagem de perda de água. As amostras foram aquecidas entre 0 e 1000 °C em um intervalo de 10°C/min .

3.3.5 Análise de Carbono, Nitrogênio e Hidrogênio

Determinou-se carbono orgânico elementar e nitrogênio orgânico elementar e hidrogênio elementar nas amostras de sedimento, através da técnica de microcromatografia, utilizando-se para este fim um analisador de CHN, Hewlett Packard, modelo 185, dotado de microbalança eletrônica Cahn, modelo G com capacidade de 100-0,001 mg e um registrador Honeywell, modelo 16. Empregou-se como catalisador $\text{MnO}_2\text{-WO}_3$ (2:1). Todas as análises de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram realizadas no laboratório INGEOMINAS na Colômbia.

3.3.6 Análise Química do Material Particulado – Decomposição e Análise de Elementos Maiores e Traços

3.3.6.1 Decomposição de amostras de material particulado e sedimentos de fundo para análise dos elementos silício, alumínio, ferro total, fósforo e titânio.

Analisou-se as amostras a partir de uma base seca. Pesou-se cerca de 100 mg de amostra em cadinho de platina de 30 mL de capacidade, ao qual adicionou-se uma mistura fundente (tetraborato de lítio), homogeneizou-se e fundiu-se a amostra em forno mufla a temperatura entre 900 e 1000 °C, após fusão, aplicou-se um choque térmico para fragmentar a amostra que foi passada a um becker e dissolvida com ácido clorídrico para seguir-se a análise de sílica e os outros elementos maiores (MAXWEEL, 1968; JEFFERY, 1975).

3.3.6.2 Análise química dos elementos sódio, potássio, cálcio e magnésio

Analisou-se os elementos sódio, potássio, cálcio e magnésio por espectrometria de absorção atômica (E. A. A), utilizando-se o seguinte procedimento: tomou-se duas alíquotas da solução mãe obtida na decomposição da amostra para análise dos elementos acima citados. Transferiu-se uma alíquota para um frasco de polietileno, ao qual adicionou-se cloreto de cézio para análise de sódio e potássio. Em outro frasco de polietileno, adicionou-se estrôncio para analisar-se cálcio e magnésio. Os elementos foram analisados em dois tipos de espectrofotômetros de absorção atômica, um da marca Zeiss, modelo FMD4 e outro Perkin Elmer, modelo 400.

3.3.6.3 Determinação gravimétrica de silício

Evaporou-se a amostra fundida até a secura em beacker e umedeceu-se com ácido clorídrico e levou-se a secura por duas vezes. Adicionou-se mais uma quantidade de ácido e deixou-se em repouso para formação de sais em cloretos. Lavou-se as paredes do becker com água deionizada e aqueceu-se a solução em bico de Bunsen até a ebulição, decantou-se e filtrou-se em papel de filtro para balão volumétrico de quantidade conhecida. Limpou-se o becker com água acidificada, do filtrado analisa-se os elementos alumínio, ferro, fósforo e titânio. O papel de filtro é transferido para o cadinho de platina original para ser seco e calcinado em bico de Busen, após esta

operação faz-se a pesagem do cadinho, obtendo-se o peso P1 (cadinho +sílica +impurezas). A seguir, umedece-se o cadinho com ácido sulfúrico e adiciona-se logo após ácido fluorídrico, o qual leva-se ao banho de areia até a eliminação de fumos brancos, após o resfriamento nesta etapa soma-se mais ácido fluorídrico e leva-se em banho de areia até a secura completa, calcina-se o cadinho em forno mufla a temperatura entre 900 e 1000 °C, esfria-se e pesa-se para obter o peso P2. A diferença entre os pesos resultará no peso da sílica em relação a amostra original (BENNET & REED, 1971).

3.3.6.4 Determinação titrimétrica de alumínio com E.D.T.A

Utiliza-se uma alíquota da solução do filtrado da sílica (solução estoque) a qual em becker adiciona-se o indicador azul de bromofenol, a seguir adiciona-se solução de hidróxido de potássio gota a gota até a viragem de cor para azul, aquece-se em banho de areia, filtra-se, acrescenta-se o indicador azul de bromofenol e agrega-se ácido clorídrico gota a gota até a viragem para cor amarelo. Junta-se a mistura a solução de E.D.T.A 0,05 M e titula-se com o tampão de acetato de amônio até a coloração virar novamente para azul. Leva-se a solução a ebulição em bico de Busen, esfria-se e adiciona-se etanol e o indicador ditizona, por fim titula-se a solução resultante com solução padrão de zinco até a mudança de cor de azul para rósea permanente (JEFFERY, 1975).

3.3.6.5 Determinação espectrométrica do ferro total com orto-fenantrolina

Transferiu-se uma alíquota da solução estoque para balão volumétrico, adicionou-se solução de cloridrato de hidroxilamina, deixou-se em repouso e após algum tempo adicionou-se citrato de sódio, homogeneizou-se e deixou-se em repouso. Mediu-se a absorvância após uma hora em cubeta de 1 cm e comprimento de onda de 510 nm (JEFFERY, 1975).

3.3.6.6 Determinação espectrométrica de fósforo pelo método do azul de molibdênio.

Tomou-se uma alíquota da solução estoque a qual em balão volumétrica adicionou-se solução redutora (ácido sulfúrico+ milibdato de amônio+ ácido ascórbico), homogeneizou-se deixando em repouso por 24 horas e mediu-se a absorvância em cubeta de 1 cm e em comprimento de onda de 830 nm (JEFFERY, 1975; REEVES & BROOKS, 1978).

3.3.6.7 Determinação espectrométrica de titânio com peróxido de hidrogênio

Transferiu-se uma alíquota da solução estoque para balão volumétrico em que adicionou-se ácido fosfórico e peróxido de hidrogênio, homogenizou-se e mediu-se a absorvância em cubeta de 1 cm em comprimento de onda de 380 nm (JEFFERY, 1975).

3.3.7 Decomposição de Amostras de Material Particulado e de Sedimentos Fundo para Análise dos Elementos Sódio, Potássio, Magnésio e Cálcio e de Traços Selecionados (Manganês, Cobre, Zinco, Níquel, Cobalto)

Pesou-se uma quantidade de amostras que variou de 50 a 100 mg e fez-se um ataque parcial com HCl e um total com a mistura HF: HClO₄ (10+1) em seqüência ; após esta etapa aqueceu-se as amostras em banho de areia e seguiu-se uma seqüência de adições de mistura ácida HF:HClO₄ aquecida até a secura , por fim adicionou-se HCl para dissolução, transferiu-se a solução para balões volumétricos (solução mãe) (FERNANDES, et al.,1987) .

3.3.8 Análise por Absorção Atômica de Elementos-Traço Selecionados (Manganês, Cobre, Zinco, Níquel, Cobalto)

Analisou-se duas frações geoquímicas dos sedimentos para determinação dos elementos traços, a fase móvel e a residual. Utilizou-se para tal fim de dois tipos de abertura em algumas amostras. A fase móvel foi separada utilizando-se a metodologia de FERNANDES et al., 1987, que baseia-se em lixiviar a amostra com ácido clorídrico por 16 horas sob agitação contínua. O produto da lixiviação (fração móvel) é centrifugado e decantado para posteriormente ser analisado por Absorção Atômica. A fase residual é determinada por subtração do total que é medido após a abertura com

HF+HClO₄, anteriormente citada. Determinou-se a concentração dos elementos-traços utilizando-se um espectrofotômetro de absorção atômica da marca Beckman modelo DU-5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os estuários como o do rio Amazonas são caracterizados por flutuações hidrodinâmicas e hidroquímicas intermediárias entre águas fluviais e marinhas. As propriedades como a salinidade, concentração de material em suspensão, concentração de elementos maiores e traços, entre outras propriedades físico-químicas sofrem influência de variáveis hidrodinâmicas (CHESTER, 1982).

O rio Amazonas tem uma descarga média anual que representa um quinto da descarga dos rios da Terra; são de $1,0$ a $2,8 \times 10^5$ m³/s de água e $1,2 \times 10^9$ ton/ano de sedimentos (GIBBS, 1967; GIBBS, 1970; MEADE et al., 1985).

A descarga do rio Amazonas forma uma pluma espessa de 5 a 10 metros de água de baixa salinidade, a qual, durante o período de descarga máxima (maio e junho), estende-se "offshore", e confina-se na parte interna da Plataforma Continental do Amapá no período de descarga mínima (outubro e novembro) (GEYER & KINEKE, 1995).

A pluma estuarina do rio Amazonas estende-se sobre a Plataforma Continental e então desvia-se para noroeste, cobrindo a Plataforma Continental Norte Brasileira, entre o Equador e 5° N (LENTZ, 1995). A estrutura temporal e espacial da pluma, a distribuição e o destino final dos constituintes, tais como sedimentos e nutrientes, são influenciados por vários processos como a circulação de campo sobre a Plataforma Continental, a Corrente Costeira Norte (C.C.N), que flui para noroeste, desviando com velocidade entre 50-100 cm/s, os ventos alísios, entre outros processos (GEYER & KINEKE, 1995).

Tendo em vista todas essas características, optou-se neste trabalho pela realização de um estudo geoquímico, no qual analisou-se elementos maiores e menores, em alguns casos, os elementos traços, verificou-se a composição mineralógica, quantificou-se carbono, nitrogênio, hidrogênio e matéria orgânica do material particulado e de sedimentos de fundo. Tais constituintes tendem a variar ao longo da pluma, devido os aportes de material continental e oceânico.

Espera-se compor um quadro, que denote as variações geoquímicas e ambientais, que ocorrem na pluma estuarina do rio Amazonas.

4.2 RESULTADOS ANALÍTICOS

4.2.1 Quantificação do Material em Suspensão e Determinação dos Parâmetros Físicos e Físico Químicos

4.2.1.1 Quantificação do Material em Suspensão

O material constituinte da pluma estuarina do Amazonas pode ser dividido em duas frações, a dissolvida e a particulada. Esta última caracteriza-se como o material que é retido em filtro com porosidade $0,45\mu$. No presente trabalho, fez-se a filtração das amostras de água sob influência oceânica coletadas em todas as 34 estações do segundo cruzeiro da Operação Norte II (Programa REVIZEE), porém somente em 11 estações, observou-se a presença de material particulado (Tabela 4.1).

A concentração de material particulado variou horizontalmente de 2300 mg/L até o mínimo de 10 mg/L (Tabela 4.1). Observa-se que as concentrações mais altas de material em suspensão (M.E.S) localizam-se em pontos de coleta mais próximos à costa (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3), enquanto que a menor concentração ocorreu "offshore". Os dados coletados associados aos obtidos no medidor de condutividade, temperatura e densidade (C.T.D) levam a concluir que, essa distribuição está diretamente associada ao aumento de salinidade e densidade, não ocorrendo uma boa correlação deste parâmetro com a temperatura (Tabela 4.4), visto que no ponto em que há o máximo de material particulado ocorre o mínimo e salinidade e vice-versa.

Tal correlação entre a diminuição do material em suspensão e o aumento da salinidade está conforme o descrito por vários pesquisadores como GIBBS (1970), CHAMBLEY (1989), entre outros, para este tipo de ambiente.

No que se refere a distribuição vertical do material particulado em suspensão a concentração deste mostra-se muito variada (Figura 4.4), ocorrendo em partes uma maior tendência de haver mais material em suspensão em profundidade mais próximas à superfície, porém há certos pontos como, por exemplo, nas estações 38 A, 40 e 78 (Figura 3.1 e Tabela 4.1) em que há aumento da concentração de material particulado com o aumento da profundidade.

Tabela 4.1 Distribuição do material em suspensão, salinidade, densidade e temperatura ao longo das estações de coleta

Estação de Coleta	Longitude W	Latitude N	Pr. Loc. (m)	Pr. Col. (m)	M.E.S (mg/L)	S (‰)	D (g/L)	T (°C)
35	-49,85278	3,132523	25,7	3,416	48	34,35	22,06	27,51
				7,84	250	34,76	22,77	26,26
				20,22	52	36,11	24,06	25,38
36	-50,19465	2,811202	14,5	25,7				
				5,74	2300	24,31	14,42	27,88
				10,57	1450	25,38	15,22	27,87
38-A	-49,77537	2,450433	18	14,5				
				4,39	50	29,97	18,84	27,33
				7,76	50	33,85	21,79	27,2
40	-49,40417	2,820333	16,5	14,48	450	33,81	21,79	27,1
				18				
				4,059	50	34,23	22,03	27,34
41	-49,40417	3,012	64	11,197	200	35,6	23,4	26,27
				16,5				
				5,56	20	35,86	23,04	27,99
43	-49,00833	3,677	110	32,68	0	36,21	24,29	24,87
				49,32	0	39,19	24,36	24,6
				64				
46	-48,69407	4,0395	802	3,37	0	36,2	23,53	27,27
				52,27	0	36,19	23,71	26,72
				75,72	0	36,17	24,21	25,04
47	-48,41417	4,45	1000	110				
				5,48	0	36,25	23,55	27,34
				81,04	0	36,26	27,74	26,77
48	-48,17361	4,074444	1490	119,88	0	36,87	25,02	24,14
				200,9	0	35,47	26,46	14,4
				697,32	0	34,6	27,22	5,97
48	-48,17361	4,074444	1490	802				
				10,08	0	36,2	23,57	27,14
				98	0	36,28	23,89	26,33
48	-48,17361	4,074444	1490	171	0	35,59	26,35	15,35
				701	0	34,63	27,23	6,18
				950	0	34,7	27,45	4,91
48	-48,17361	4,074444	1490	1000				
				5,87	0	36,2	23,34	27,56
				111,87	0	36,48	24,3	25,54
48	-48,17361	4,074444	1490	211,55	0	35,28	26,57	13,19
				703,55	0	34,65	27,25	6,23
				908,48	0	34,77	27,5	4,89

Sobre este fato, GEYER & KINEKE (1995) afirmam que este tipo de distribuição deve-se provavelmente a fatores como a ressuspensão e mistura vertical. Há outros fatores que influenciam amplamente na distribuição do material em suspensão (M.E.S), e devem ser considerados como por exemplo, a Corrente Costeira Norte do Brasil (CCNB), que flui desviando a pluma no sentido noroeste com velocidades que variam de 50 a 100 cm/s próximo à superfície, e tem uma fraca velocidade próximo ao fundo. Além da CCNB, também há a influência das correntes de maré, que são orientadas principalmente na direção transversal da plataforma continental chegando a velocidade de 2m/s, durante as grandes marés e diminuindo para menos que 80 cm/s durante as marés de quadratura às proximidades da foz do rio.

4.2.1.2 Determinação dos Parâmetros Físicos e Físico-Químicos

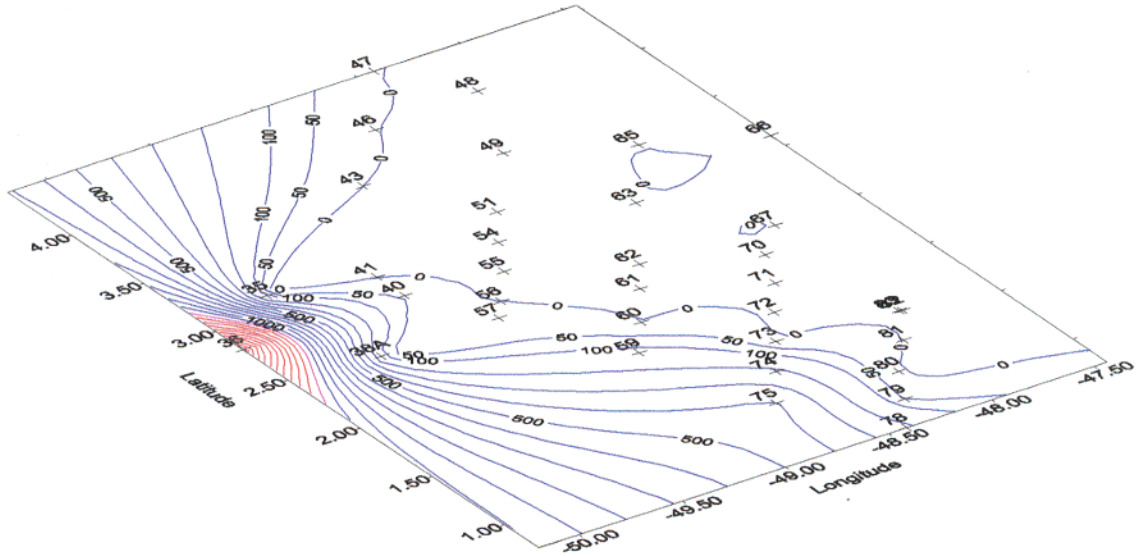
A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos dos parâmetros salinidade, densidade e temperatura. Optou-se pela determinação de pH somente nos pontos de amostragem, onde identificou-se material em suspensão suficiente para análise (Tabela 4.2).

Entre todas as estações selecionadas o mínimo de temperatura é de 4,78 °C, a 976m de profundidade, no ponto de amostragem 66, situado "offshore". Ressalta-se que este ponto de amostragem não apresentou material em suspensão suficiente para a análise; o máximo da temperatura é de 29,8 °C a 110 metros de profundidade na estação 63, a "offshore". Em estações, onde encontrou-se material suficiente para análise o menor valor da temperatura é de 25,38 °C a 20,22 m de profundidade ("offshore") e o maior valor de 28,81°C a 10,58 m (na região costeira, estação 75).

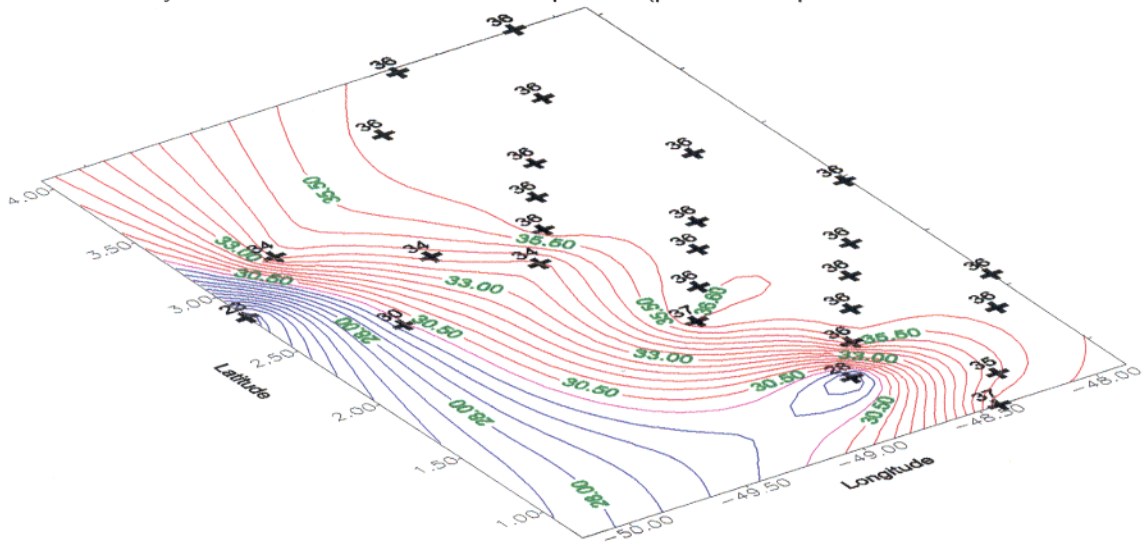
A salinidade mínima variou do mínimo de 24,31 ‰ (5,74m de profundidade) em região costeira (estação 36) ao máximo de 39,19 ‰ (49,32 m de profundidade) a "offshore" (estação 41). A salinidade mínima coincide com o local, onde há uma maior concentração de material em suspensão e a salinidade máxima com o zero de material em suspensão (Tabela 4.1).

A densidade mínima de 14,42 g/L encontra-se no mesmo ponto de coleta, onde há a salinidade mínima (estação 36) e a máxima é de 27,74 g/L (estação 46, profundidade de 81,04 m) "offshore".

O pH foi analisado somente nas estações, em que se fez análise química do material em suspensão, o intervalo de variação deste parâmetro está entre 7,72 (estação 38 a 4,39 m) e 8,22 (estação 40 a 12 metros), o menor valor está associado às profundidades menores, ocorrendo o inverso como o maior valor, tais valores de pH estão entre o neutro tendendo para o básico, isto reflete a clara influência oceânica nos pontos amostrados, indicando uma mistura crescente de massas d'água.

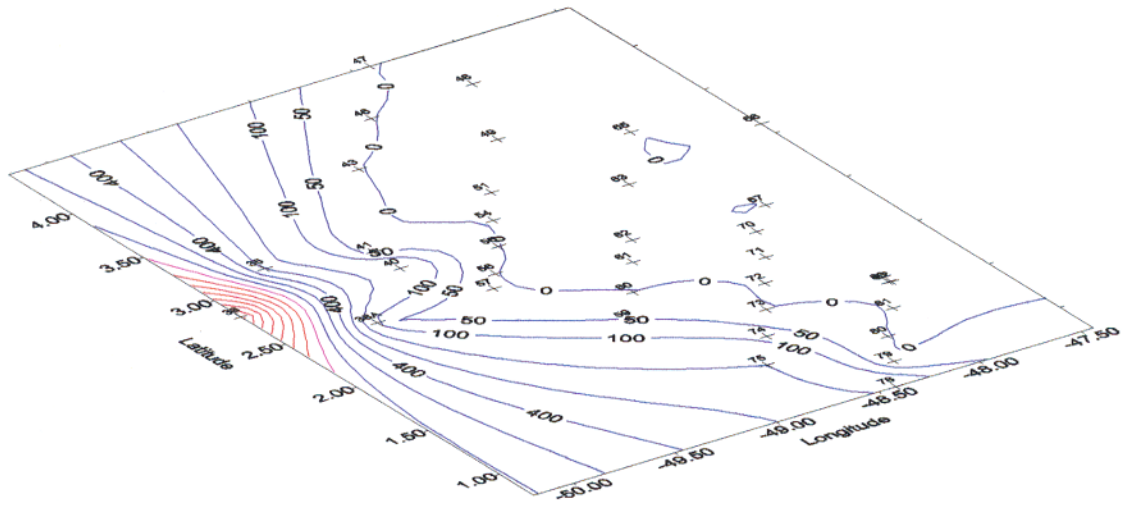


Distribuição horizontal do material em suspensão (pacote com profundidade entre 3 e 6 metros)

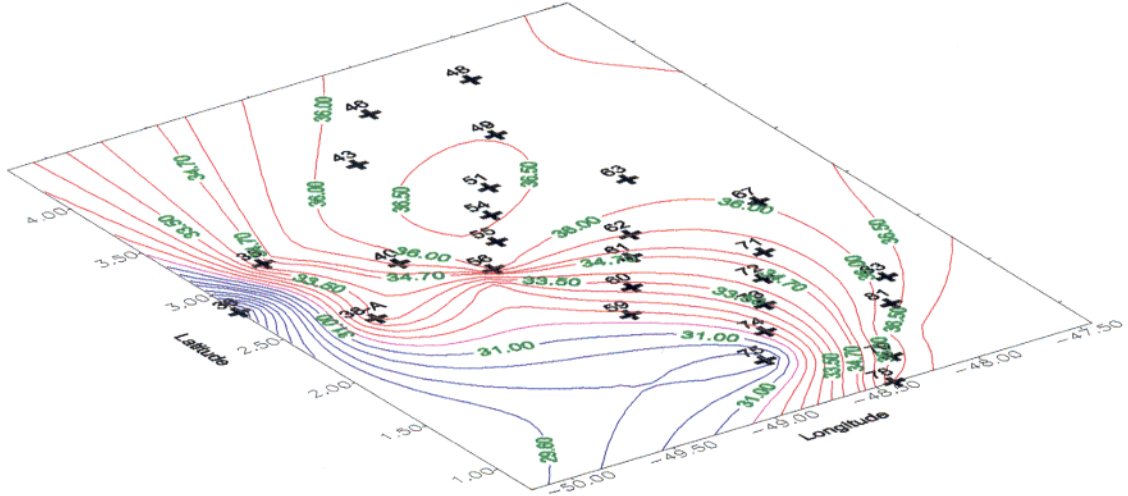


Distribuição horizontal de salinidade (pacote com profundidades entre 3 e 6 metros)

Figura 4.1 Isolinhas mostrando a progressão do material em suspensão ao longo das estações de coleta (entre 3 e 6 metros de profundidade, associadas com o gráfico de isolinhas de progressão de salinidades ao longo das estações de coleta). Obs.: máximos são indicados em linhas em vermelho, e mínimos em azul.

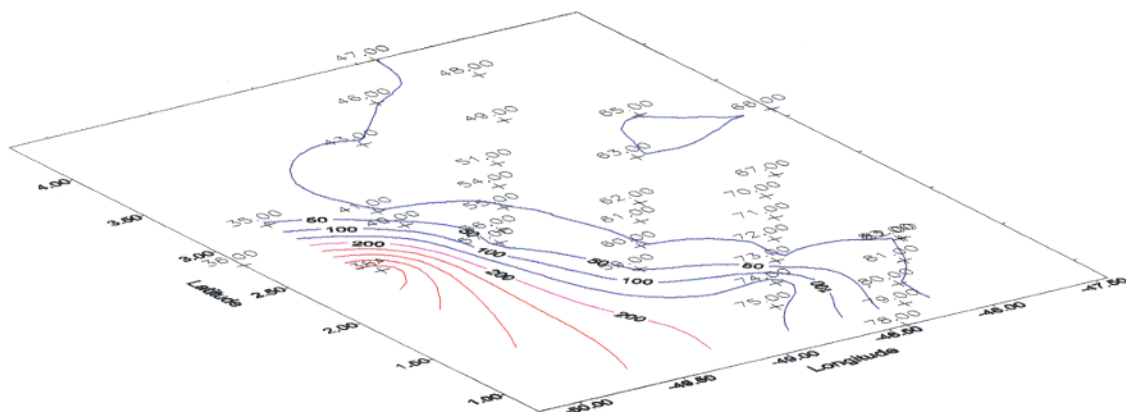


Distribuição horizontal do material em suspensão (pacote com profundidades entre 6 e 12 metros)

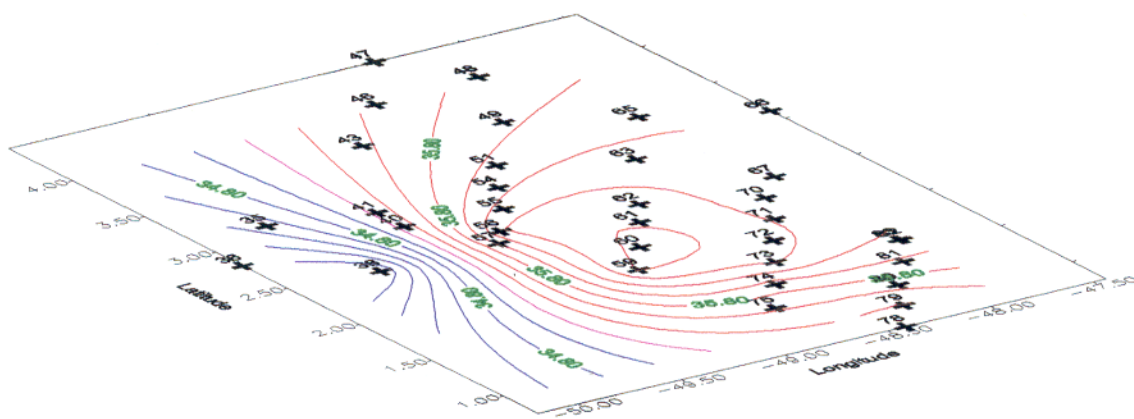


Distribuição horizontal da salinidade (pacote com profundidades entre 6 e 12 metros)

Figura 4.2 Isolinhas mostrando a progressão do material em suspensão ao longo das estações de coleta (entre 6 e 12 metros de profundidade), associadas como o gráfico de isolinhas de progressão de salinidade ao longo das estações de coleta.
Obs.: os máximos são indicados nas linhas em vermelho e mínimos nas linhas em azul.

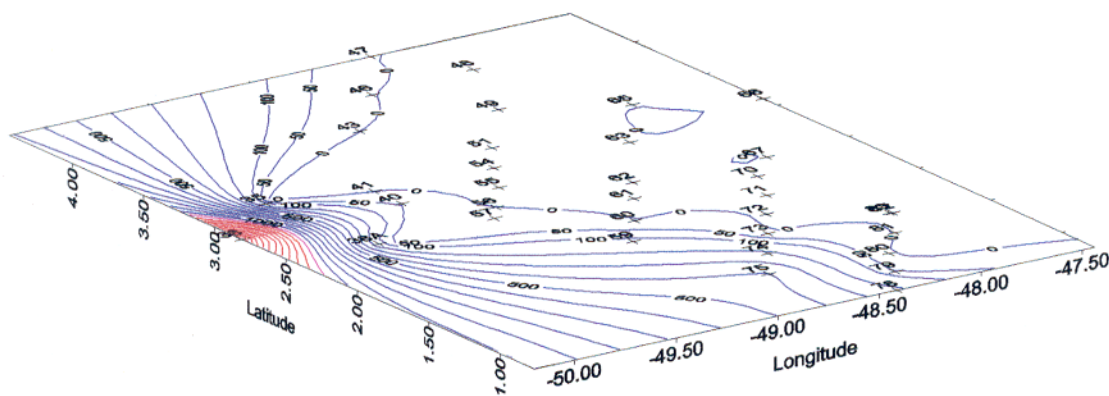


Distribuição horizontal do material em suspensão (pacote com profundidades entre 12 e 18 metros)

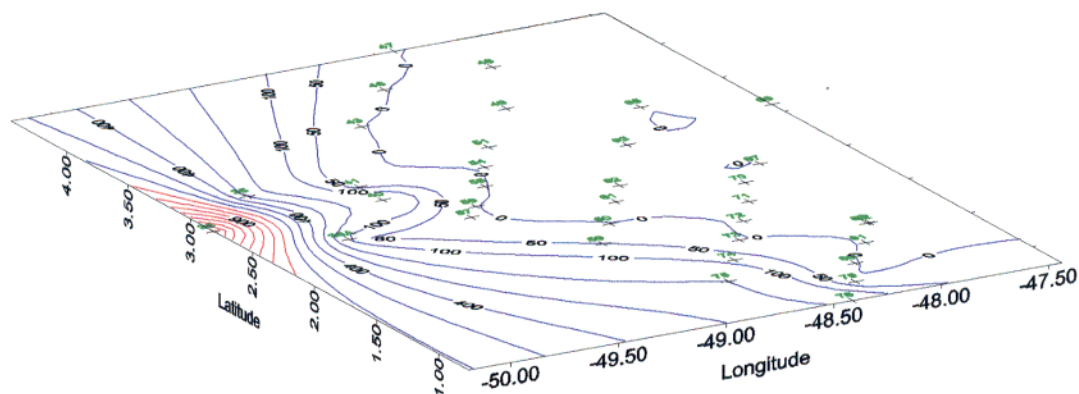


Distribuição horizontal da salinidade (pacote com profundidades entre 12 e 18 metros)

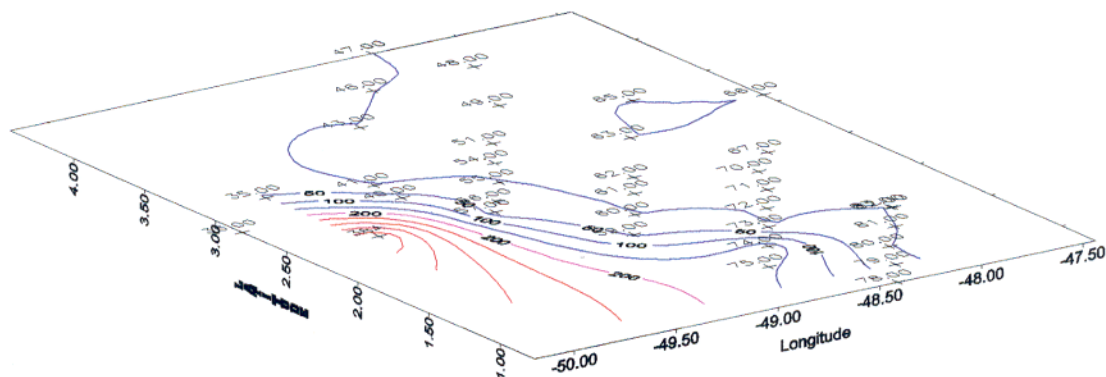
Figura 4.3 Isolinhas mostrando a progressão do material em suspensão ao longo das estações de coleta (entre 12 e 18 metros de profundidade), associadas com o gráfico de isolinhas de progressão de salinidades ao longo das estações de coleta Obs.: máximos indicado em linhas na cor vermelho, e mínimos em azul.



Distribuição do material em suspensão nas estações de coleta (profundidades entre 3 e 6 metros)



Distribuição do material em suspensão nas estações de coleta (profundidades entre 6 e 12 metros)



Distribuição do material em suspensão nas estações de coleta (profundidades entre 12 e 18 metros)

Figura 4.4 Isolinhas exibindo a variação do material em suspensão com a profundidade. As linhas em vermelho indicam os máximos de concentração e as em azul indicam os mínimos.

4.2.2 Apresentação dos Resultados Analíticos de Elementos Maiores, Menores e Traços

Os estuários e oceanos possuem diferentes quantidades e tipos de material particulado, os quais são importantes fatores na distribuição das espécies químicas e elementos traços. Os processos de floculação em estuários podem aumentar a reatividade da matéria particulada, e os processos erosionais de transporte em grande quantidade da fase particulada continental para estuários e oceanos (BERNHARD et al., 1986).

Amostrou-se 35 pontos (Figura 3.1), durante o 2º cruzeiro da Operação Norte II do Programa REVIZEE; 11 apresentaram material em suspensão suficiente para análise; destes, selecionou-se 13 amostras para análise de silício, alumínio, ferro, fósforo, titânio (expressos na forma de óxido) e água de constituição e 15 amostras para análise de cálcio, sódio, potássio, magnésio e manganês (todos expressos na forma de óxido).

O silício variou de 42,97% (Tabela 4.2) até o máximo encontrado em 52,54%. Os teores de alumínio apresentaram-se entre 18,19% e 25,60%. Observa-se que o mínimo ocorre em estação de amostragem "offshore", enquanto que, os máximos estão associados a pontos mais costeiros.

A quantificação de ferro exibiu valores entre 6,47% até 9,06%, encontrando-se o mínimo "offshore" e os máximos próximos à costa (Figura 4.5).

A dosagem de fosfato (valores expressos em P_2O_5) indicou extremos, com teores muito baixos em 0,06% e o máximo 12 vezes maior em 0,78% (Tabela 4.2). Observa-se, ainda, uma grande variação horizontal com valor mínimo em 0,06 % e máximo de 0,71% (Figura 4.6), assim como grandes variações verticais.

A determinação de titânio mostrou extremos ainda mais pronunciados que os de fosfato, com máximo em cerca de 97 vezes o mínimo este, em 0,02% (Figura 4.7).

O cálcio exhibe valores entre 0,52% e 1,73%, ressaltando-se que o mínimo encontra-se em amostra de sedimento de fundo localizada "offshore", e que o máximo aparece em sedimento em suspensão em zonas costeiras (Tabela 4.2). Os teores de sódio variaram de 1% a 5,95%, estando o mínimo ligado a material em suspensão

nas zonas costeiras. A dosagem de potássio apresentou valores de 1,86% (Tabela 4.2), em ponto de amostragem costeiro, e o máximo em 3,36% a "offshore". A quantificação de magnésio apresenta-se entre 1,4% e 3,25% em estações costeiras. A determinação de manganês indica quantidades entre 0,08% detectados em sedimentos de fundo a "offshore" e 0,18% encontrados em vários pontos costeiros.

Selecionou-se seis pontos dos amostrados para análise de elementos traço, determinou-se a presença dos componentes cobalto, cobre, níquel zinco e crômio.

A quantificação de zinco exhibe máximo em 200 ppm e mínimo em 20 ppm (Tabela 4.3) estando o maior teor associado ao material em suspensão em ponto de coleta costeiro, (estação 35, Figura 3.1), enquanto que o mínimo, está associado a sedimento de fundo, em estação também costeira (estação de coleta 36).

O cobre não mostra variações tão pronunciadas quanto as do zinco, mínimo em 51 ppm e máximo em 214 ppm (Tabela 4.3), estando os teores mínimos em estações de coleta costeiras e o máximo a "offshore" (estação 59, Figura 3.1).

A determinação de níquel revela uma variação muito pronunciada, com o máximo, cerca de 14 vezes maior que o mínimo (18 ppm) (Tabela 4.3), o máximo está associado a sedimento em suspensão costeiro na frente a foz do rio Amazonas (estação 74-5) e o mínimo a sedimento de fundo em estação costeira (estação 36), na costa do Amapá.

Os teores de crômio variam de 18 ppm, estação 78, próximo à foz do rio Amazonas, até o máximo de 119 ppm (estação 38) próxima a costa do Amapá (Tabela 4.3).

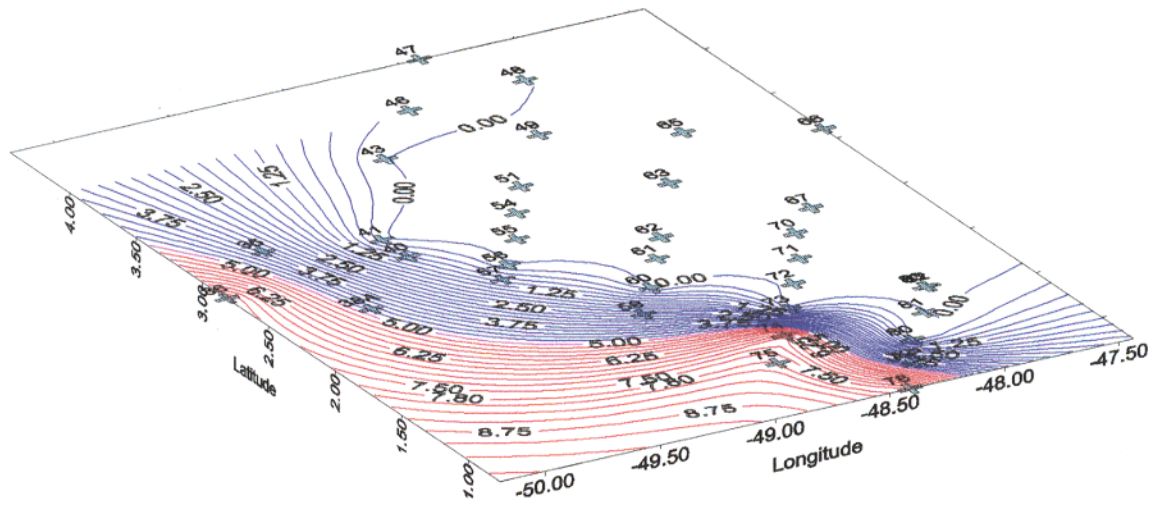
Tabela 4.2 Resultados das análises químicas para elementos maiores, parâmetros físicos e físico-químicos do material em suspensão e sedimentos de fundo

Amstr Comp	35-10	35-20	36-5	36-10	36-F	38-5	38-7	38-14	38-F	40-12	40-F	59-5	74-5	74-10	75-5	75-10	78-5	78-10
SiO ₂	45,59	ND	48,43	48,32	43,48	ND	ND	49,28	46,1	49,63	45,7	ND	52,54	42,97	45,49	47,98	46,86	ND
Al ₂ O ₃	18,4	ND	23,45	18,19	23,1	ND	ND	22,46	25,6	18,25	24	ND	18,22	24,7	22,96	21,21	20,66	ND
Fe ₂ O ₃	8,19	ND	7,58	9,06	9,53	ND	ND	6,91	6,87	6,47	8,54	ND	7,05	3,72	7,81	3,87	7,52	ND
P ₂ O ₅	0,53	ND	0,06	0,13	0,14	ND	ND	0,07	0,09	0,17	0,09	ND	0,23	0,64	0,48	0,78	0,71	ND
TiO ₂	1,66	ND	0,91	0,51	0,32	ND	ND	0,02	0,75	1,82	1,95	ND	0,28	0,87	1,19	1,73	0,09	ND
CaO	0,88	0,89	0,68	1,67	0,69	1,52	1,73	0,75	0,65	0,79	0,52	1,35	0,72	0,62	0,93	1,12	1,25	0,81
Na ₂ O	4,23	4,17	2,34	5	1,1	5,95	3,81	3,13	1	3,8	1,08	4,63	4,19	4,5	3,18	3,32	3,75	3,76
K ₂ O	3,36	2,42	2,7	2,87	2,83	2,64	1,86	2,6	2,66	2,38	2,34	2,49	2,38	2,8	2,6	2,64	2,47	2,47
MgO	1,81	1,71	1,72	1,6	2,07	1,4	3,25	1,76	2,01	1,7	1,59	1,82	1,61	2,84	1,63	1,82	2,08	1,65
MnO	0,14	0,18	0,18	0,14	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,08	0,15	0,13	0,08	0,18	0,2	0,07	0,18
H ₂ O ⁺	15	ND	11,61	12,5	14,69	ND	ND	12,25	14	14,58	13,98	ND	10,38	15,5	13,51	15	14,28	ND
S (%o)	34,76	36,11	24,31	25,38	ND	29,97	33,85	33,8	ND	35,6	ND	36,63	35,62	35,91	28,06	29,62	36,57	36,56
D (g/L)	22,77	24,06	14,42	15,22	ND	18,84	21,79	21,79	ND	23,4	ND	23,4	22,6	22,81	16,97	18,1	23,34	22,38
T (°C)	26,26	25,38	27,88	27,87	ND	27,33	27,2	27,1	ND	26,27	ND	28,49	28,8	28,8	28,7	28,81	28,55	28,56
pH	8,15	8,09	7,86	7,97	ND	7,72	7,95	8,09	ND	8,22	ND	8,09	8,13	8,17	8,09	8,01	7,86	7,83

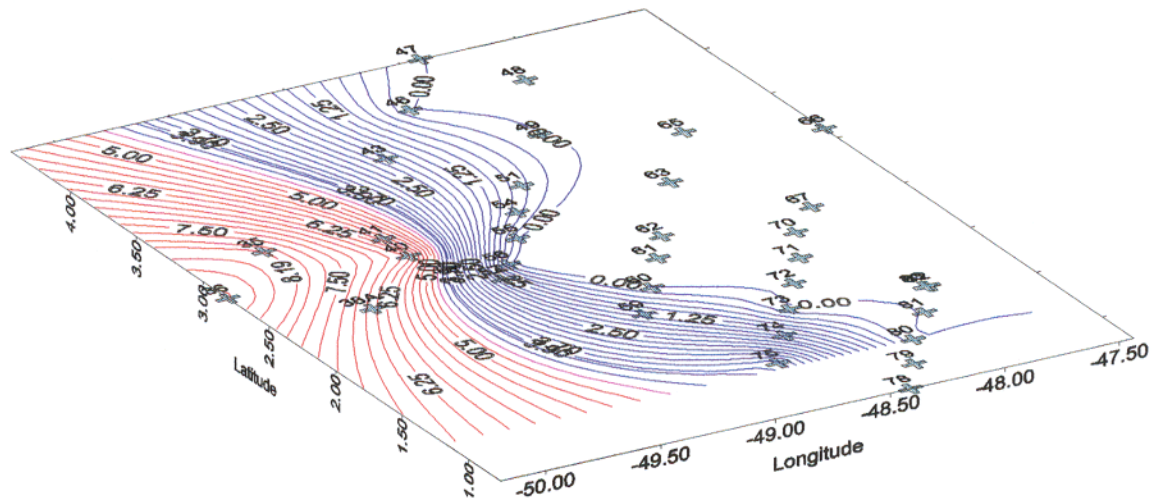
Obs.(1): Amstr: amostra; Comp: componente

Obs.(2): Amostra 35-10 refere-se a amostra coletada na estação de coleta 35 a aproximadamente 10 metros de profundidade e a amostra 38-F refere-se a amostra coletada na estação 38 no fundo, e assim sucessivamente.

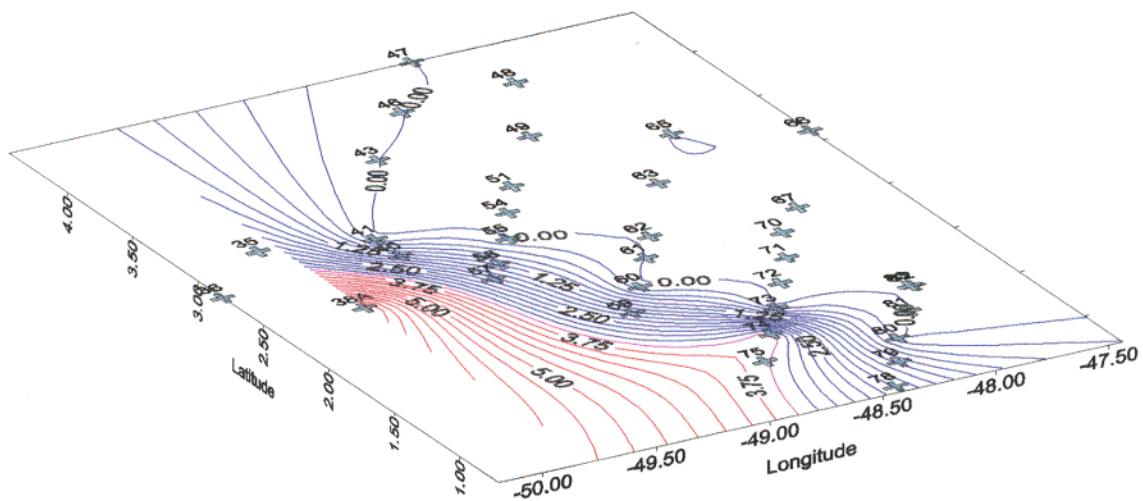
Obs.(3): N.D: não determinado



Distribuição horizontal de ferro (profundidades entre 3 e 6 metros)

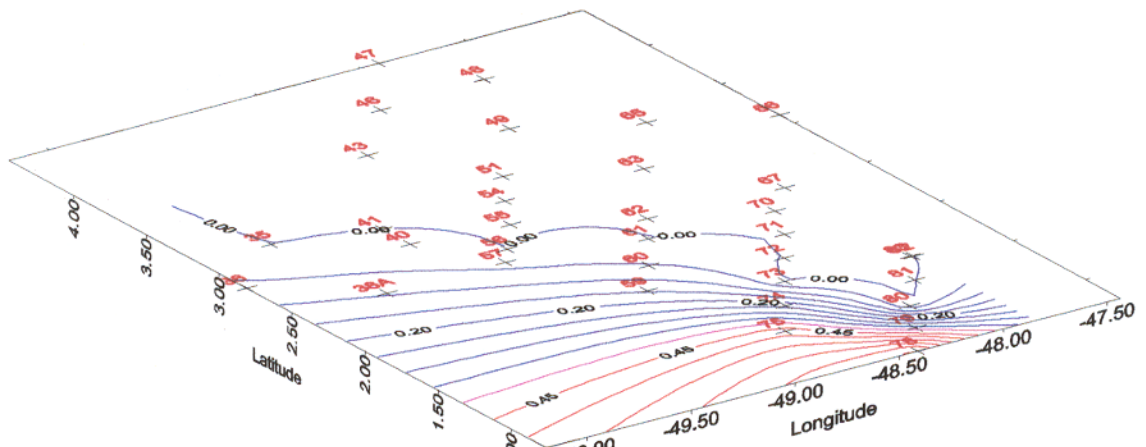


Distribuição horizontal de ferro (profundidades entre 6 e 12 metros)

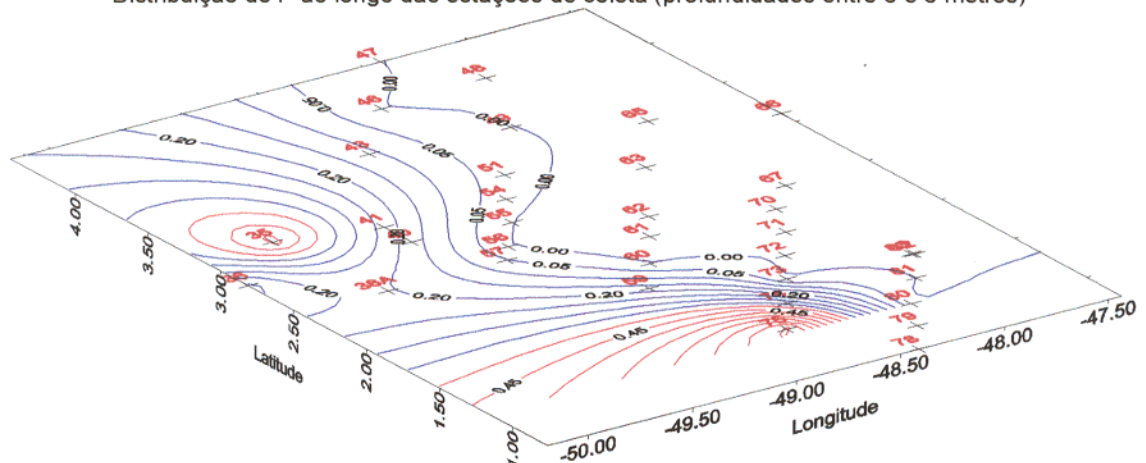


Distribuição horizontal de ferro (profundidades entre 12 e 18 metros)

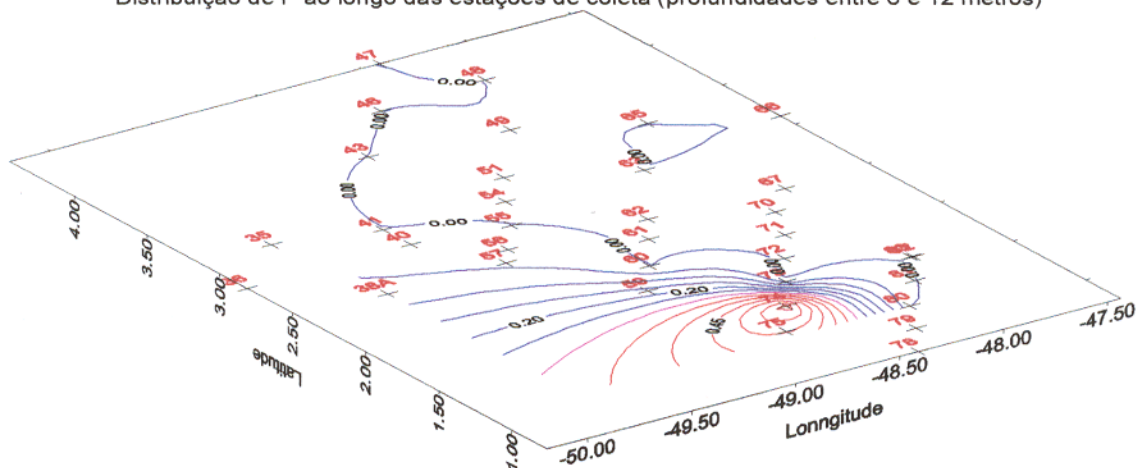
Figura 4.5 Distribuição horizontal e vertical do teor de ferro



Distribuição de P ao longo das estações de coleta (profundidades entre 3 e 6 metros)

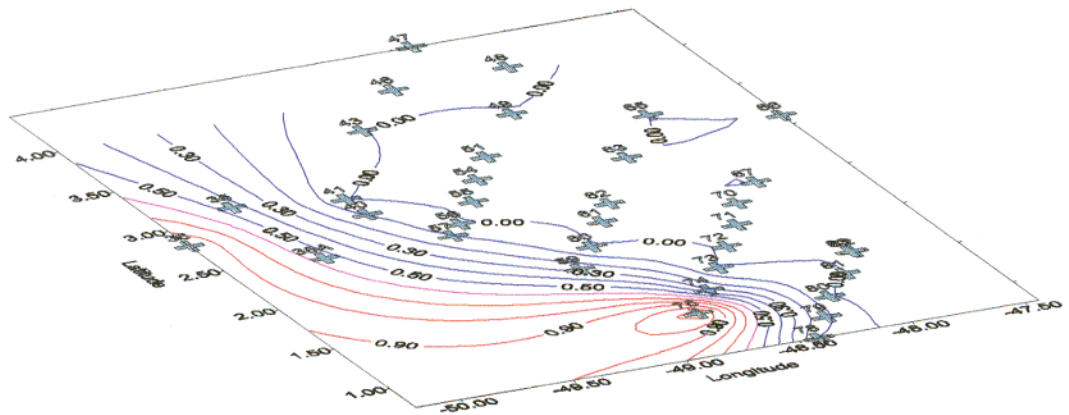


Distribuição de P ao longo das estações de coleta (profundidades entre 6 e 12 metros)

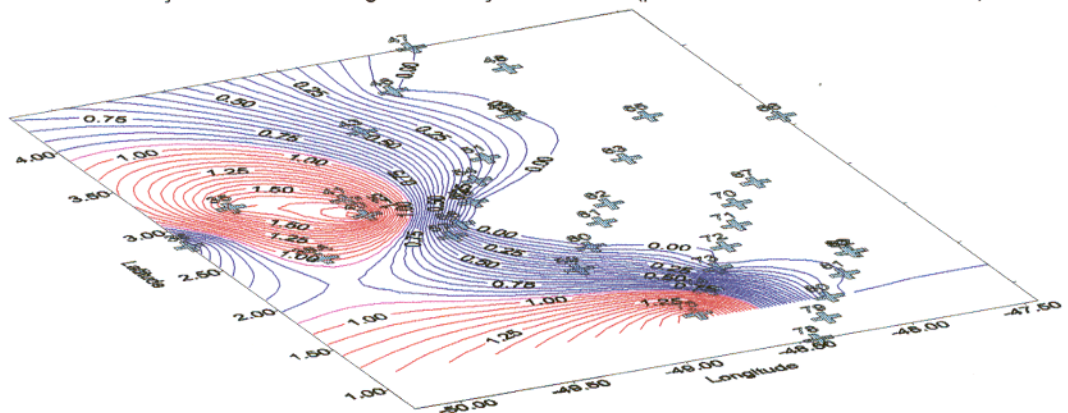


Distribuição de P ao longo das estações de coleta (profundidades entre 12 e 18 metros)

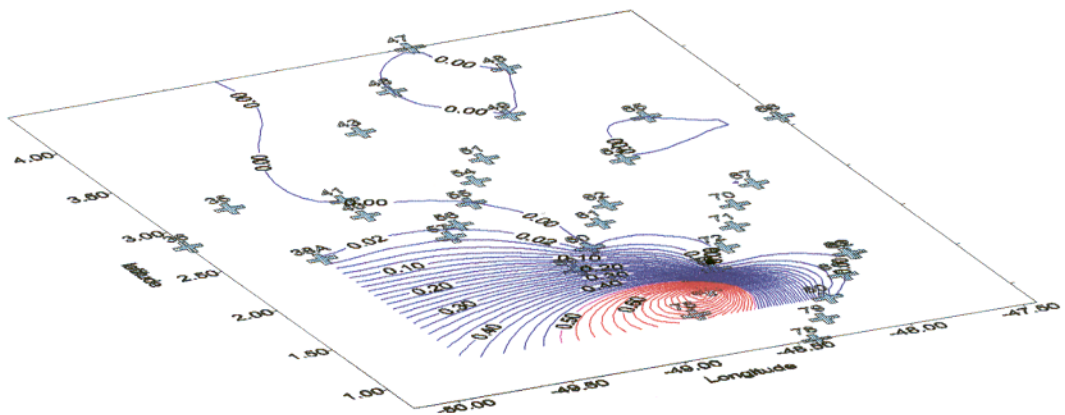
Figura 4.6 Isolinhas exibindo a variação vertical e horizontal do teor de fósforo. As linhas em vermelho indicam os máximos e as linhas em azul indicam os mínimos.



Distribuição de titânio ao longo das estações de coleta (profundidades entre 3 e 6 metros)



Distribuição horizontal de titânio (profundidades entre 6 e 12 metros)



Distribuição horizontal de titânio (profundidades entre 12 e 18 metros)

Figura 4.7 Isolinhas exibindo a variação vertical e horizontal do teor de titânio ao longo das estações de coleta. Os teores máximos são indicado por linhas em vermelho e os mínimos pelas linhas em azul.

Tabela 4.3 Resultados das análises químicas para elementos traços do material em suspensão e sedimentos de fundo

Amstr/ Comp	35-10	36-5	36-10	36-F	38-5	38-7	38-14	38-F	40-12	59-5	74-5	74-10	75-5	75-10	78-5	78-10
Min (ppm)	1400	1800	1600	N.D	1700	1600	1700	N.D	1600	1500	1300	800	1800	2000	700	1800
Zn (ppm)	200	138	N.D	20	N.D	N.D	195	176	N.D	N.D	163	N.D	N.D	N.D	145	N.D
Cu (ppm)	54	51	51	N.D	120	70	78	N.D	76	214	50	N.D	81	75	99	53
Co (ppm)	80	93	N.D	90	N.D	N.D	N.D	76	N.D	N.D	N.D	N.D	65	N.D	20	N.D
Ni (ppm)	150	160	N.D	18	N.D	N.D	259	152	N.D	N.D	229	N.D	N.D	N.D	150	N.D
Cr (ppm)	70	92	N.D	39	N.D	N.D	119	N.D	N.D	N.D	86	N.D	N.D	N.D	18	N.D
Fe ₂ O ₃ (%)	8,19	7,58	7,75	N.D	N.D	N.D	6,91	N.D	6,27	N.D	4,05	3,72	5,85	3,87	6,52	N.D
S (%o)	34,76	24,31	25,38	N.D	29,97	33,85	33,8	N.D	35,6	36,63	35,62	35,91	28,06	29,62	36,57	36,56
D (g/L)	22,77	14,42	15,22	N.D	18,84	21,79	21,79	N.D	23,4	23,4	22,6	22,81	16,97	18,1	23,34	22,38
T (Co)	26,26	27,88	27,87	N.D	27,33	27,2	27,1	N.D	26,27	28,49	28,8	28,8	28,7	28,81	28,55	28,56
PH	8,15	7,86	7,97	N.D	7,72	7,95	8,09	N.D	8,22	8,09	8,13	8,17	8,09	8,01	7,86	7,83

Obs.(1): Amstr: amostra; comp: componente

Obs.(2): Amostra 35-10 refere-se a amostra coletada na estação de coleta 35 a aproximadamente 10 metros de profundidade, e assim sucessivamente.

Obs.(3): N.D: não determinado.

4.2.3 Correlação de dados para elementos maiores menores e traços como os parâmetros físicos e físico-químicos

Correlacionando os dados da análise química para elementos maiores e menores do material em suspensão e de fundo, com os dados dos parâmetros físicos e físico-químicos determinados nas águas. Observa-se correlações positivas e negativas entre os parâmetros, no presente estudo, considera-se como correlações regulares ou razoáveis, as que estão entre 0,5 e 0,69 e como correlações boas todas acima de 0,69.

O silício apresenta correlações negativas razoáveis com alumínio e magnésio e boa correlação com a água de constituição (Tabela 4.4), indicando uma variação inversamente proporcional entre estes componentes. O alumínio exibe também uma variação inversamente proporcional com cálcio e sódio.

O ferro revela correlações negativas e regulares com fósforo e magnésio (Tabela 4.4). O fósforo aumenta proporcionalmente de maneira positiva com a água de constituição. Enquanto, o cálcio correlaciona-se positivamente com sódio e magnésio, e ainda, com a salinidade, que aumenta proporcionalmente a densidade.

A matriz de correlação entre os dados de análise química para elementos-traço, com os parâmetros físicos e físico-químicos demonstra haver uma correlação positiva entre manganês, cobalto e crômio, e uma correlação negativa entre manganês, salinidade e densidade (Tabela 4.5).

O zinco é diretamente proporcional ao níquel, crômio e com densidade; e, ainda, uma correlação inversamente proporcional com a temperatura (Tabela 4.5).

O cobre manifesta correlações inversamente proporcionais como o crômio e com o cobalto. Enquanto que o cobalto, exibe uma variação inversamente proporcional a da salinidade, densidade e temperatura e ainda apresenta uma variação diretamente proporcional com o crômio e com o ferro (Tabela 4.5).

O níquel exibe correlação diretamente proporcional com o crômio e pH e inversamente proporcional com o ferro (Tabela 4.5).

Tabela 4.4 Matriz de correlação entre os dados de análise química para elementos maiores e menores, com os parâmetros físicos e físico-químicos.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	CaO	Na ₂ O
SiO ₂	1						
Al ₂ O ₃	-0,592416162	1					
Fe ₂ O ₃	-0,02940263	-0,173926705	1				
P ₂ O ₅	-0,279430849	-0,115030434	-0,556526161	1			
TiO ₂	-0,14906489	-0,048018562	-0,204407185	0,167457351	1		
CaO	0,186370982	-0,552607297	0,139786317	0,304980408	-0,187415049	1	
Na ₂ O	0,319537952	-0,69229395	-0,294665369	0,453438033	-0,086845508	0,615007329	1
K ₂ O	-0,435336739	-0,117938987	0,143587629	0,197954923	0,044304555	-0,221662504	0,04314439
MgO	-0,625120942	0,448615684	-0,517203947	0,437164414	-0,207367403	0,185599612	-0,042337024
MnO	0,301533646	-0,054297016	-0,067525772	-0,186195387	0,134960285	0,134612656	0,046313789
H ₂ O ⁺	-0,741860546	0,22080816	-0,297342131	0,534475609	0,462630032	-0,036256917	-0,091118465
S (%o)	-0,022576033	-0,192171481	-0,312106774	0,328588144	-0,099373463	-0,221772212	0,180416146
D (g/L)	-0,010023261	-0,22875662	-0,273454227	0,280316465	-0,064131499	-0,208077428	0,195705135
T (°C)	-0,120265805	0,434744179	-0,362443189	0,433744647	-0,342653839	0,00285834	-0,105302436
pH	-0,04293183	-0,193865347	-0,288617474	-0,024726506	0,395703848	-0,454554726	-0,137593763
	K ₂ O	MgO	MnO	H ₂ O ⁺	S (%o)	D (g/L)	T (°C)
SiO ₂							
Al ₂ O ₃							
Fe ₂ O ₃							
P ₂ O ₅							
TiO ₂							
CaO							
Na ₂ O							
K ₂ O	1						
MgO	-0,304863072	1					
MnO	-0,021411465	-0,272399979	1				
H ₂ O ⁺	0,312909403	0,553063359	-0,202863715	1			
S (%o)	-0,26245642	0,276251284	-0,395584954	0,325943529	1		
D (g/L)	-0,247938672	0,276409457	-0,377956799	0,33234836	0,988580302	1	
T (°C)	-0,044587282	0,078491018	-0,259558453	-0,144667694	-0,147463991	-0,275556415	1
pH	0,145435389	0,126955307	-0,142025029	0,262556706	0,352893847	0,40261941	-0,207596059

Tabela 4.5 Correlação dos elementos-traços com parâmetros físico-químicos, matéria orgânica e seus componentes

	C	N	M.O	C/N	H	Mn (ppm)	Zn (ppm)
C	1						
N	-0,302194687	1					
M.O	0,819564763	-0,395189949	1				
C/N	0,325649716	-0,906005651	0,569947542	1			
H	0,633085614	-0,090569627	0,282260874	-0,007061047	1		
Mn (ppm)	0,109595897	-0,481575226	0,361644529	0,429790207	-0,398609387	1	
Zn (ppm)	-0,714253472	0,534238047	-0,706026873	-0,662455684	0,570272319	0,259716998	1
Cu (ppm)	0,474237042	0,242863415	0,430346714	-0,529107447	0,303572825	-0,143444353	-0,118585954
Co (ppm)	0,479225584	-0,551656788	0,467885357	0,623694386	-0,106691059	0,863830728	-0,222961358
Ni (ppm)	-0,551577075	0,239216682	-0,551564033	-0,523493628	0,373863179	0,371765697	0,826646712
Cr (ppm)	-0,461017864	0,035445871	-0,469527325	-0,383878632	0,583241884	0,911606051	0,534432052
Fe ₂ O ₃ (%)	-0,486537823	-0,039819596	-0,359404523	0,292356562	-0,210193204	0,173725885	0,246886533
S (%o)	0,524684323	0,552293985	0,357306441	-0,695331271	0,739094097	-0,529364375	0,432280611
D (g/L)	0,529340494	0,53758016	0,356313883	-0,672853635	0,753048671	-0,534215035	0,508122911
T (oC)	-0,495149039	-0,275980785	-0,278471336	0,294906988	-0,798853993	-0,176459049	-0,781081424
pH	0,449803434	0,62479705	0,139501047	-0,821317515	0,67893463	-0,18817978	0,846485688
Cu (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Fe ₂ O ₃ (%)	S (%o)	D (g/L)	T (oC)
1							
-0,949833291	1						
-0,042178183	-0,302638948	1					
-0,53582181	0,751432298	0,705425891	1				
-0,198617377	0,557309815	-0,518576499	-0,006902367	1			
0,29699603	-0,698237375	0,202260626	-0,397977405	-0,327187428	1		
0,296839201	-0,63707245	0,19819227	-0,362914636	-0,259388499	0,990591895	1	
0,164430411	-0,511750632	0,092376829	-0,335657997	-0,672724393	-0,028215975	-0,140894864	1
-0,006638828	0,31774958	0,508626945	0,460882509	-0,312852594	0,333643088	0,3817443	-0,15479662

4.2.4 Representação de Resultados da Análise de Argilominerais por Difração de Raios-X

Selecionou-se para análise de argilominerais por difração de raios-X, 10 amostras, entre as de material em suspensão e sedimentos de fundo.

As Figuras 4.8; 4.9; e 4.10 são exemplos dos difratogramas obtidos na análise por difração de raios-X. Os argilominerais identificados são caulinita (picos em aproximadamente 7,15 Å e 3,57 Å, em lâmina orientada normal e em glicol) ; illita (exibindo picos em aproximadamente 10 Å e 3,33 Å, em lâmina orientada normal, glicol e aquecida); alternância de comportamento da clorita (apresentando picos em 14 Å, 7 Å e 3,33 Å, em lâmina orientada normal, glicol e aquecida) e de esmectita (picos em aproximadamente 14,30 Å, em lâmina orientada normal, e 17 Å em lâmina orientada glicol, não apresentando picos em lâmina aquecida). Estes dois últimos argilominerais apresentam-se ora como mineral subordinado, ora como traços.

Detecta-se nos difratogramas uma dominância dos argilominerais caulinita e illita sobre os demais identificados (Figuras 4.8; 4.9 e 4.10). Considerando-se apenas a altura dos picos é possível distinguir uma dominância de caulinita sobre a illita, em amostras costeiras de material em suspensão, como a 36-S (ANEXO A) por exemplo, ocorrendo o inverso nas amostras situadas "offshore". Quanto ao sedimentos de fundo, discerni-se o domínio de caulinita sobre a illita nas três amostras analisadas.

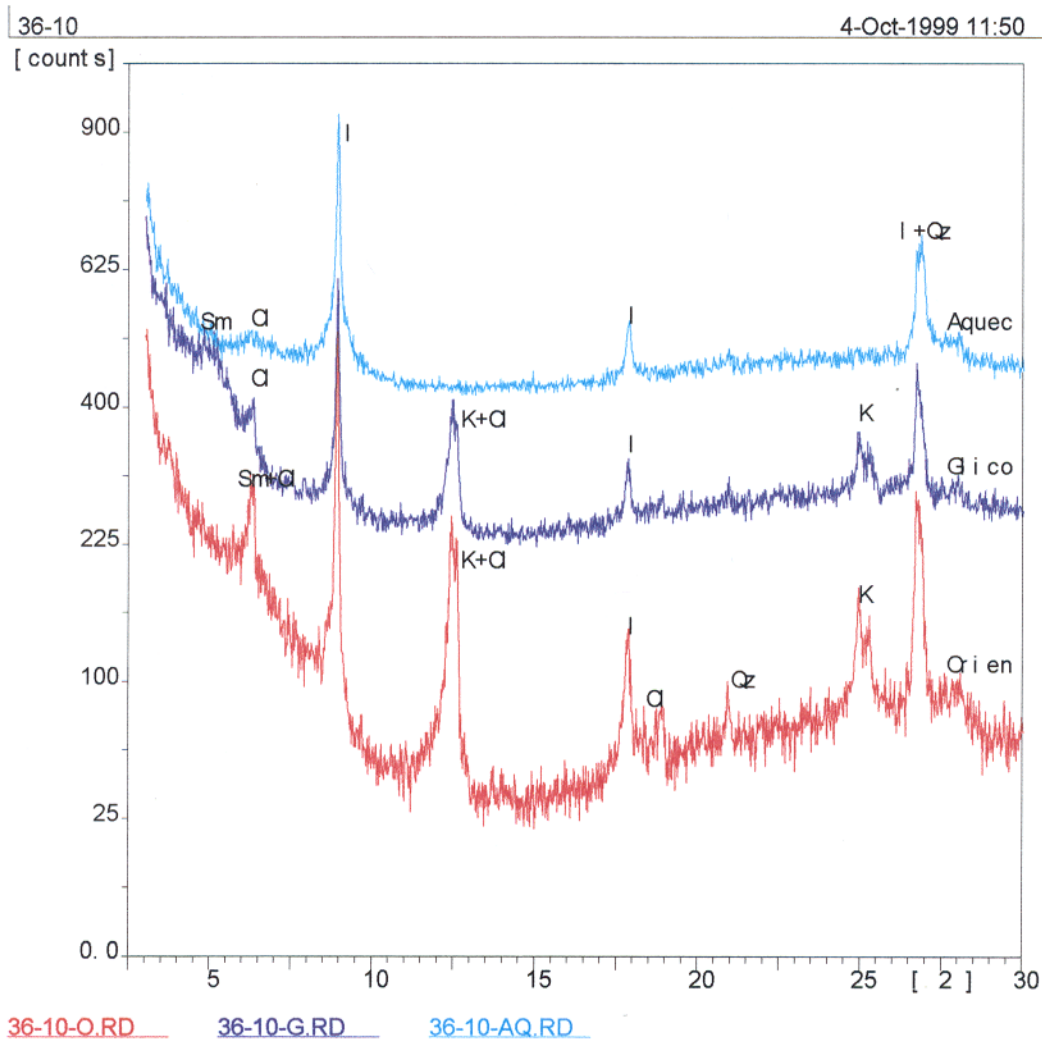


Figura 4.8 Difratoograma da análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida amostra 36-10.

Obs. (1) **36-10-O.RD** – refere-se a amostra coletada na estação 36, a aproximadamente 10 metros, análise em lâmina orientada normal; Obs. (2) **36-10-G.RD** – refere-se a amostra coletada na estação 36, a aproximadamente 10 metros, análise em lâmina orientada glicol; Obs. (3) **36-10-AQ.RD** - refere-se a amostra coletada na estação 36, a aproximadamente 10 metros, análise em lâmina orientada glicol; Obs. (4) Sm- esmectita; Obs. (5) Cl- clorita ; Obs. (6) K – caulinita; Obs. (7) I – illita; obs. (8) Qz- quartzo.

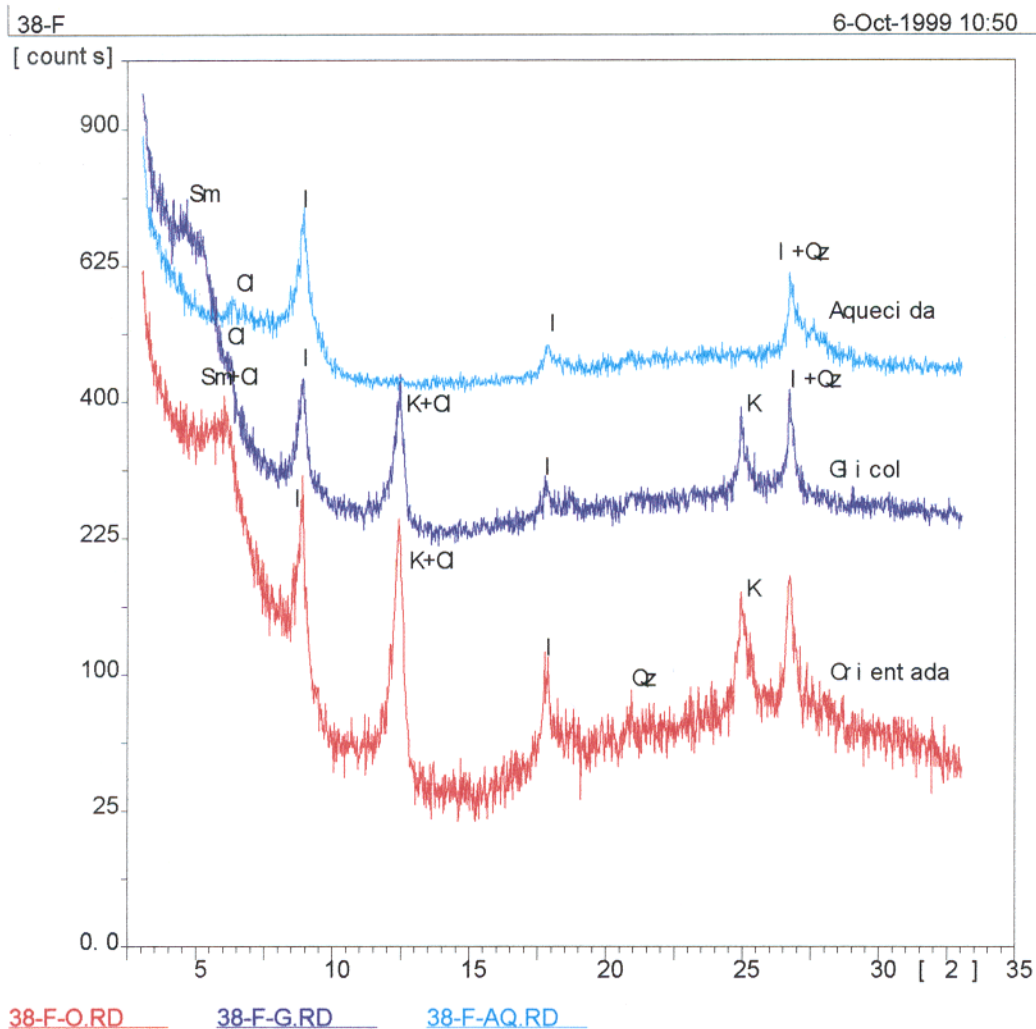


Figura 4.9 Difratoograma da análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida amostra 38-F.

Obs. (1) **38-F-O.RD** – refere-se a amostra coletada na estação 38 no fundo, análise em lâmina orientada normal; Obs. (2) **36-10-G.RD** refere-se a amostra coletada na estação 38 no fundo, análise em lâmina orientada glicol; Obs. (3) **36-10-AQ.RD** - refere-se a amostra coletada na estação 38 no fundo, análise em lâmina orientada aquecida; Obs (4) Sm- esmectita; Obs.(5) Cl- clorita ;Obs. (6) K – caulinita; Obs. (7) I – illita; obs. (8) Qz- quartzo.

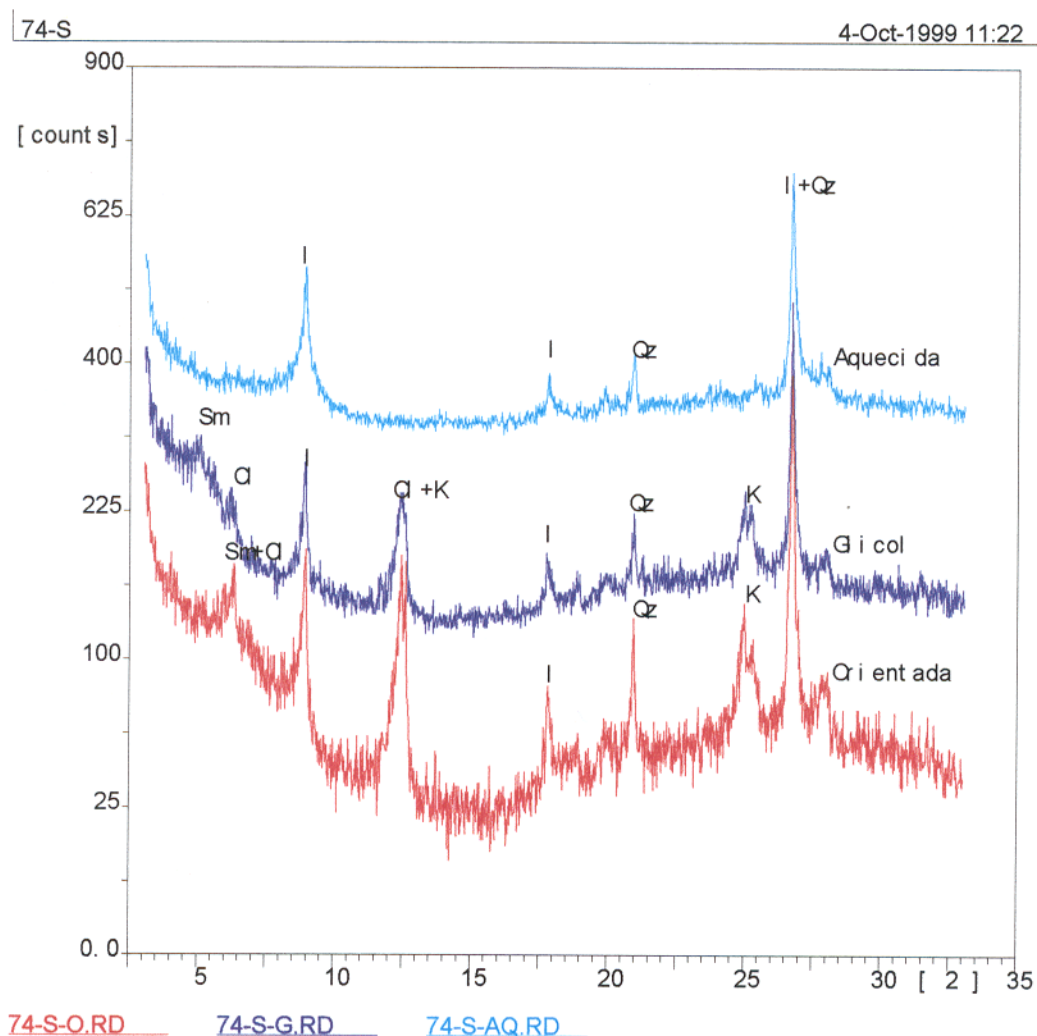


Figura 4.10 Difratograma da análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida amostra 78-5.

Obs. (1) **78-5-O.RD** – refere-se a amostra coletada na estação 78, a aproximadamente 5 metros, análise em lâmina orientada normal; Obs. (2) **78-5-G.RD** – refere-se a amostra coletada na estação 78, a aproximadamente 5 metros, análise em lâmina orientada glicol; Obs. (3) **78-5-AQ.RD** - refere-se a amostra coletada na estação 78, a aproximadamente 5 metros, análise em lâmina orientada glicol; Obs (4) Sm- esmectita; Obs.(5) Cl- clorita ;Obs. (6) K – caulinita; Obs. (7) I – illita; obs. (8) Qz- quartzo.

4.2.5 Tentativa de Quantificação dos Argilominerais com Base nos Resultados Analíticos

Os rios, através de suas cargas em suspensão, suprem os maiores fluxos de materiais sólidos para os oceanos. A carga em suspensão consiste de uma variedade de fases importantes, tais como os argilominerais, silte, colóides e matérias orgânicas. Cada uma dessas fases apresentará propriedades distintas, que influenciam a fórmula molecular dos argilominerais (CHESTER, 1982). O rio Amazonas, em seu percurso para o oceano, carrega em suspensão 9×10^{14} g/ano de sedimentos, os quais no estuário e na entrada do oceano, são influenciados por processos locais (DEGENS, et al., 1991).

Selecionou-se 10 amostras objetivando a quantificação dos argilominerais, dos quais determinou-se a estequiometria a partir de cálculos estequiométricos utilizando as fórmulas apresentadas por GRIM (1968) para clorita ($Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$) e caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$); e as propostas por WEAVER & POLLARD (1973) para illita ($K_{0,7}Na_{0,03}Ca_{0,10}Mg_{0,34}Fe_{0,88}Al_{1,22}Si_{3,54}O_{10}(OH)_2$) e esmectita ($Na_{0,02}Ca_{0,78}Fe_{1,05}AlSi_4O_{10}(OH)_2$).

Considerou-se para efeito de cálculo que os teores de potássio estão ligados somente à illita, que na mesma ocorrem substituições no octaedro de parte do alumínio e do magnésio pelo ferro. A partir do cálculo estequiométrico do teor de illita determinou-se as proporções dos outros argilominerais, admitindo-se que o teor de cálcio não consumido pela illita está todo associado à esmectita, que ocorreram substituições no octaedro por parte do alumínio e todo o magnésio pelo ferro. Obtidos os teores de illita e esmectita determinou-se teores de alumínio e silício consumidos por estas argilas, considerou-se que todo o alumínio restante está ligado ao argilomineral caulinita. O teor de magnésio não utilizado pela illita está totalmente incorporado à clorita. A porcentagem de silício não consumido pelos argilominerais está expresso na forma de óxido. O teor de ferro restante se apresenta na forma de hidróxido e expressa os colóides de ferro, da mesma forma estão os teores de titânio. A água de constituição resulta do saldo do cálculo estequiométrico.

Os resultados obtidos através do cálculo estequiométrico (Tabela 4.6) confirmam a tendência mostrada pelos difratogramas. Observa-se que os argilominerais

dominantes são caulinita (máximo de 51,19%) e illita (máximo de 42,43%) associada aos teores elevados de potássio.

4.2.6 Apresentação dos Resultados da Análise de Espectrometria de Infravermelho

Analisou-se 20 amostras de sedimentos em suspensão e de fundo. Observou-se através dos espectros de infravermelho o amplo domínio de compostos inorgânicos como os argilominerais, sílica e colóides de ferro e titânio sobre a matéria orgânica contida nas amostras.

Tomando como base alguns dos espectros (Figura 4.11) dos 20 analisados (ANEXO B) distingue-se bandas de vibração do estiramento Si-O (1200 a 1000 cm^{-1}), com seus desdobramentos mais significativos às proximidades de 1180 e 1034 cm^{-1} ; bandas associadas a argilominerais, relativas as ligações Al-OH (950 a 915 cm^{-1}); bandas intensas relacionadas com a hidroxila (bandas às proximidades de 790-800, 750-780, 640-690 cm^{-1} ou no intervalo de 400-600 cm^{-1} e as intensas bandas de absorção registradas no intervalo de 4000-3400 cm^{-1}); bandas características relacionadas com a água de constituição (banda registrada às proximidades de 1640 cm^{-1} correspondente à deformação angular da ligação HOH).

Com relação a matéria orgânica, é possível a distinção de bandas de absorção de ácidos húmicos, relacionadas com a ligação C=O (no intervalo de 1709 a 1715 cm^{-1}) e com o grupo carboxila (bandas registradas às proximidades de 1698 a 1701 cm^{-1} e em torno de 1400 cm^{-1}).

Tabela 4.6 Resultados obtidos na análise química e no cálculo estequiométrico para as 10 amostras analisadas.

Amstr/comp	35-10	36-5	36-10	36-F	38-14	38-F	40-12	40-F	74-5	75-5	78-5
SiO ₂	45,59	48,43	48,32	43,48	49,28	46,1	49,63	45,7	52,54	45,49	46,86
Al ₂ O ₃	18,4	23,45	18,19	23,1	22,46	25,6	18,25	24	18,22	22,96	20,66
Fe ₂ O ₃	8,19	7,58	9,06	9,53	6,91	6,87	6,47	8,54	7,05	7,81	7,52
P ₂ O ₅	0,53	0,06	0,13	0,14	0,07	0,09	0,17	0,09	0,23	0,48	0,71
TiO ₂	1,66	0,91	0,51	0,32	0,02	0,75	1,82	1,95	0,28	1,19	0,09
CaO	0,88	0,68	1,67	0,69	0,75	0,65	0,79	0,52	0,72	0,93	1,25
Na ₂ O	4,23	2,34	5	1,1	3,13	1	3,8	1,08	4,19	3,18	3,75
K ₂ O	3,36	2,7	2,87	2,83	2,6	2,66	2,38	2,34	2,38	2,6	2,47
MgO	1,81	1,72	1,6	2,07	1,76	2,01	1,7	1,59	1,61	1,63	2,08
MnO	0,14	0,18	0,14	0,15	0,17	0,16	0,16	0,08	0,13	0,18	0,07
H ₂ O ⁺	15	11,61	12,5	14,69	12,25	14	14,58	13,98	10,38	13,51	14,28
Total comp	99,79	99,66	99,99	98,1	99,4	99,89	99,75	99,87	97,73	99,96	99,74
Illita	42,43	34,1	36,24	35,74	32,83	33,59	30,05	29,55	30,05	32,83	31,19
Esmectita		4,01	10,3	2,85	4,48	2,71	5,29	1,63	4,34	6,64	11,26
Caulinita	30,48	45,15	28,88	43,81	43	51,19	33,16	49,04	33,39	43,61	37,03
Clorita	1,32	1,89	1,32		2,17	2,86	2,46	1,95	1,98		3,34
SiO ₂	8,89	6,84	9,53	4,08	9,82	2,59	15,89	6,11	19,24	6,67	8,61
Fe(OH) ₃	1,34	1,34	1,16	4,05	1,04	1,08	0,87	4,45	1,04	1,78	0,92
Ti(OH) ₄	2,41	1,32	0,74	0,46	0,03	1,05	2,55	2,73	0,39	1,66	0,13
H ₂ O	9,97	3,66	6,42	6,91	4,54	5,26	8,32	5,7	4,15	6,8	7,05
Total	96,84	98,31	94,59	97,9	97,91	100,3	98,59	101,2	94,58	99,99	99,53

Obs.: (1). Amstr. (amostras); comp (componentes): Fe(OH)₃ (colóides de ferro expresso como hidróxido); Ti(OH)₄ (colóides de titânio, expressos como hidróxido); H₂O (água de constituição, saldo do cálculo estequiométrico); Obs.. (2). Amostra 35-10 refere-se a amostra coletada na estação 35 a aproximadamente 10 metros; 36-F refere-se a amostra coletada na estação 36 no fundo e assim sucessivamente; Obs.. (3). Fórmulas utilizadas no cálculo estequiométrico (Weaver & Pollard, 1973): Illita: K_{0,7}Na_{0,03}Ca_{0,10}Mg_{0,34}Fe_{0,88}Al_{1,22}Si_{3,54}O₁₀(OH)₂; Esmectita: Na_{0,02}Ca_{0,78}Fe_{1,05}AlSi₄O₁₀(OH)₂; Clorita: Mg₆Si₈O₂₀(OH)₄; Caulinita Al₂Si₂O₅(OH)₄.

Obs.. (4). Considera-se todos os teores de potássio associados, apenas, à illita; considera-se substituições de alumínio e magnésio pelo ferro.

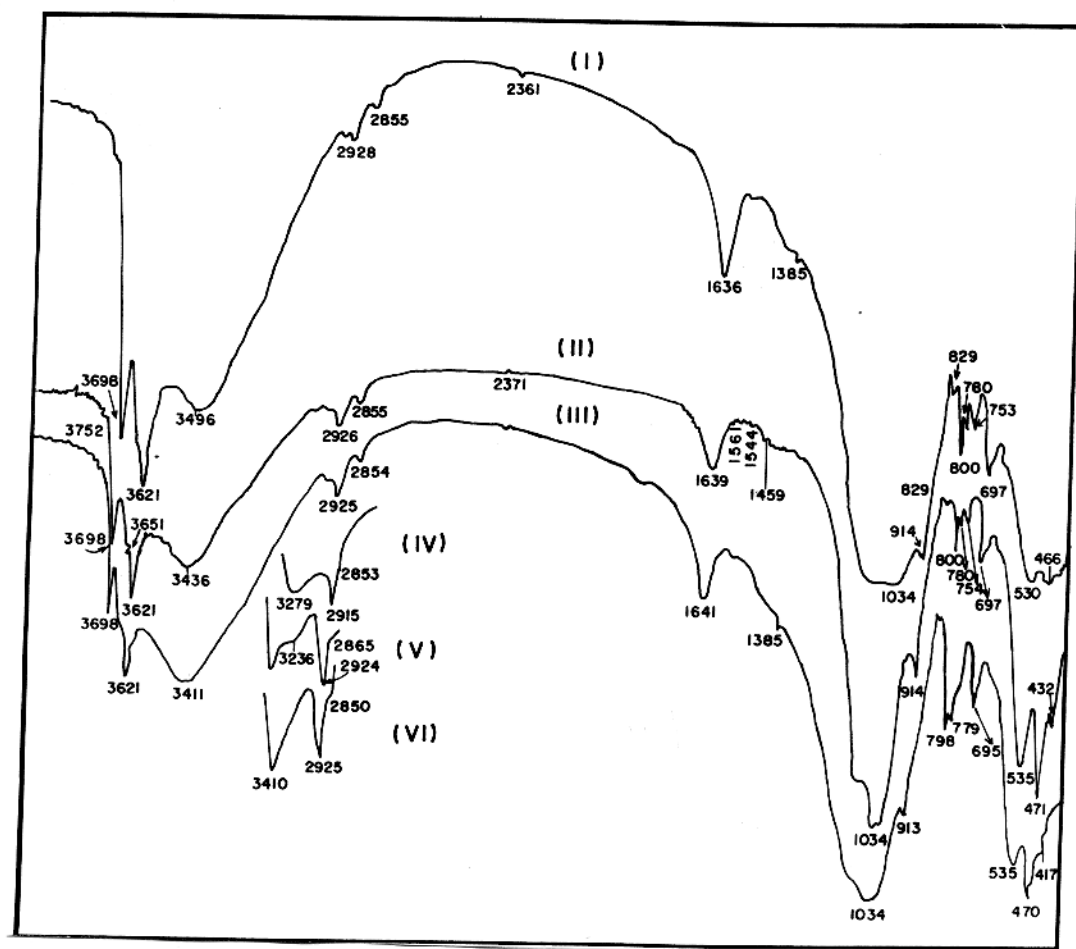


Figura 4.11 Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr. Sedimentos em suspensão e de fundo (águas costeiras sob a influência do rio Amazonas). Espectros de amostras selecionadas (I, II, III); detalhes (extratos) ampliados de espectros coletados na literatura por Marel & Bentelspacher, 1976 (IV, V e VI).

4.2.7 Apresentação dos Resultados para Análise de Carbono Orgânico Elementar, Hidrogênio Elementar, Nitrogênio Orgânico Elementar e Matéria Orgânica

Os resultados das análises para carbono orgânico elementar, nitrogênio orgânico elementar, hidrogênio elementar e matéria orgânica são apresentados na Tabela 4.7.

Os dados obtidos exibem teores de carbono orgânico elementar entre 1,11% e 2,05%, a variação de nitrogênio está entre o mínimo de 0,03% até o máximo de 0,13%, o hidrogênio está entre os intervalos, mínimo de 0,67% e máximo de 1,52%. Os teores de carbono e nitrogênio geram uma razão C/N com uma variação muito grande de 9,64 até o máximo de 68,3. Os teores de matéria orgânica variam de 1,91% a 3,53%.

Observa-se os teores mais elevados de matéria orgânica em pontos próximos à costa e em sedimentos de fundo.

Tabela 4.7 Teores de carbono orgânico elementar e nitrogênio orgânico elementar para as amostras de sedimentos em suspensão sob a influência do rio Amazonas

Amstr/ Comp	35-10	36-5	36-10	36-F	38-5	38-7	38-14	38-F	40-12	59-5	74-5	74-10	75-5	75-10	78-5	78-10
C	1,25	1,39	1,11	1,56			1,38	1,51	1,68				1,27			
N	0,13	0,03	0,03	0,03			0,06	0,03	0,06				0,1			
M.O	2,15	2,38	1,91	2,68			2,37	2,6	2,37				2,18			
C/N	9,64	46,33	37	52			23	50,3	23				12,7			
H	0,96	0,77	0,83	0,77			1,01	1,33	1,52				0,67			
S (%o)	34,76	24,31	25,38		29,97	33,85	33,8		35,6	36,63	35,62	35,91	28,06	29,62	36,57	36,56
D (g/L)	22,77	14,42	15,22		18,84	21,79	21,79		23,4	23,4	22,6	22,81	16,97	18,1	23,34	22,38
T (oC)	26,26	27,88	27,87		27,33	27,2	27,1		26,27	28,49	28,8	28,8	28,7	28,81	28,55	28,56
pH	8,15	7,86	7,97		7,72	7,95	8,09		8,22	8,09	8,13	8,17	8,09	8,01	7,86	7,83
Ilita	42,43	34,1	36,24	35,74			32,83	33,59	30,05		30,05		32,83		31,19	
Esmec		4,01	10,3	2,85			4,48	2,71	5,29		4,34		6,64		11,26	
Caulinita	30,48	45,15	28,88	43,81			43	51,19	33,16		33,39		43,61		37,03	
Clorita	1,32	1,89	1,32				2,17	2,86	2,46		1,98				3,34	
SiO ₂	8,89	6,84	9,53	4,08			9,82	2,59	15,89		19,24		6,67		8,61	
Fe(OH) ₃	1,34	1,34	1,16	4,05			1,04	1,08	0,87		1,04		1,78		0,92	
Ti(OH) ₄	2,41	1,32	0,74	0,46			0,03	1,05	2,55		0,39		1,66		0,13	
H ₂ O	9,97	3,66	6,42	6,91			4,54	5,26	8,32		4,15		6,8		7,05	
Total	96,84	98,31	94,59	97,9			97,91	100,3	98,59		94,58		99,99		99,53	

Obs. (1) Amstr (amostras); comp (componentes): Fe(OH)₃ (colóides de ferro expresso como hidróxido); Ti(OH)₄ (colóides de titânio, expressos como hidróxido); H₂O (água de constituição, saldo do cálculo estequiométrico); Obs.. (2). Amostra 35-10 refere-se a amostra coletada na estação 35 a aproximadamente 10 metros; 36-F refere-se a amostra coletada na estação 36 no fundo e assim sucessivamente;

4.3 ELEMENTOS MAIORES, SUAS CORRELAÇÕES E OS ARGILOMINERAIS

A distribuição de minerais na matéria em suspensão, que é transportada do continente para o oceano, depende principalmente das mudanças que experimentam ao longo do caminho tais como salinidade, pH, densidade, temperatura (CHESTER, 1982).

O intemperismo das rochas continentais e o subsequente transporte dos produtos intemperizados pelos rios dão conta da maior parte (~90%) material soluto e particulado lançado para os oceanos (MARTIN & MAYBECK, 1979) carregada como carga do rio estão nutrientes (ex. P, N, Fe) vitais para produção primária dos organismos marinhos.

Os principais minerais derivados da costa encontrados no material em suspensão oceânico total são os aluminossilicatos (argilominerais e feldspatos) e quartzo (CHESTER, 1990).

A composição dos elementos maiores dos particulados fluviais é prevista como reflexo do ambiente de intemperismo, onde as partículas são formadas (BERNER & BERNER, 1996).

A composição química da carga em suspensão pode ser um indicativo da espécie de intemperismo e taxa de denudação da bacia de drenagem. A correlação entre a composição química da carga em suspensão e aquela das rochas da bacia de drenagem auxilia na localização da fonte do material em suspensão.

Segundo estudos de vários pesquisadores, o alumínio é um constituinte maior e não reativo dos argilominerais, que constituem a maior parte do material em suspensão, e este componente na forma de taxa elemento/ taxa Al, por comparação, torna possível a determinação de que se os processos estuarinos causam o enriquecimentos de certos elementos terrígenos relativos ao material em suspensão (SHOLKOVITZ & PRICE, 1980). Tais taxas, segundo esses pesquisadores, são úteis para tal propósito pois independem das variações da concentração de material biogênico (ex: SiO₂, CaCO₃ e matéria orgânica). Tais considerações são importantes quando se considera sedimentos marinhos e material em suspensão que contêm grandes quantidades

de material biogênico.

Nas amostras analisadas (Tabela 4.8) neste estudo, embora tenha se tomado como base o trabalho de SHOLKOVITZ & PRICE (1980), utilizando as razões elemento/Al para definir as zonas de terrígenos e biogênicos, supõe-se aqui uma zona de transição e utiliza-se as razões P/P_{min} x salinidade para determinar as zonas predominantes de terrígenos, transição e biogênica. Na Tabela 4.9 observa-se as razões elemento/Al calculadas neste estudo, porém deve-se observar as razões que SHOLKOVITZ & PRICE (1980) utilizaram salinidade entre 0-10% para definir a zona terrígena e acima de 10% para biogênica, o que não é válido para este caso, pois as salinidades aqui determinadas são superiores a 20%, logo este tipo de cálculo não é aplicável ao presente caso, por isso fez-se novas considerações.

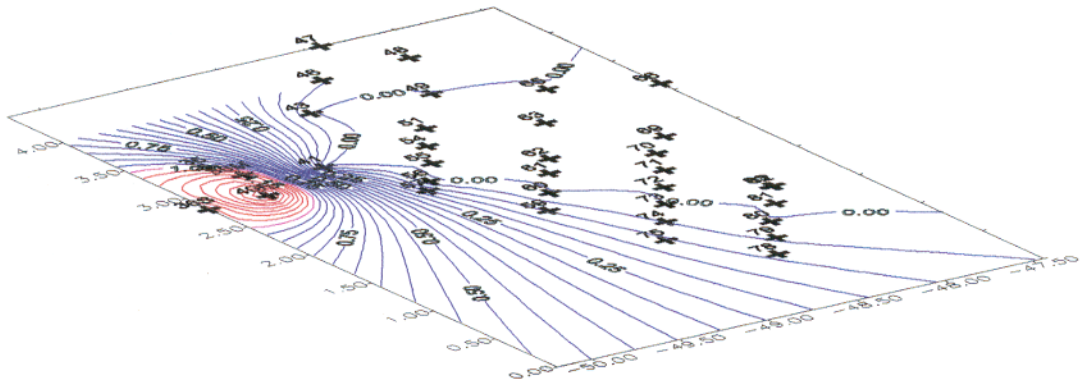
Propõe-se a seguinte distribuição de amostras neste estudo, baseada nos intervalos das razões P/P_{min} (Tabela 4.8), considerou-se que razões entre 1 e 2 caracterizam um material que possivelmente possui uma origem terrígena, logo zona terrígena, enquanto que as razões que apresentaram valores acima de 2 e inferiores a 8 determinam material que tem origem terrígena e biogênica, caracterizando desta forma uma zona de transição. As amostras que exibiram razões superiores a 8 determinam a zona biogênica oceânica, e supõe-se para afirmação deste fato que o aumento do conteúdo de fósforo é devido às contribuições de fósforo de origem biogênica oceânica (Figura 4.12).

As menores salinidades encontradas, em geral, estão relacionadas com a zona terrígena, ocorrendo exceções, amostra 38-14, que possui salinidade em torno de 33‰ e há ainda estações de coleta, que exibem salinidades inferiores a 30‰ e mostram razão P/P_{mim}, que caracterizam o material de origem biogênica oceânica. Observa-se um aumento do teor de P com a profundidade; tal fato pode ser explicado, através de mistura de massas de água citada por CHAMBLEY (1989); desta forma tem-se água salgada, que contém material biogênico penetrando na zona de terrígenos, tal material, dependendo da composição e das condições locais, pode permanecer em suspensão, assentar ou ser ressuspenso.

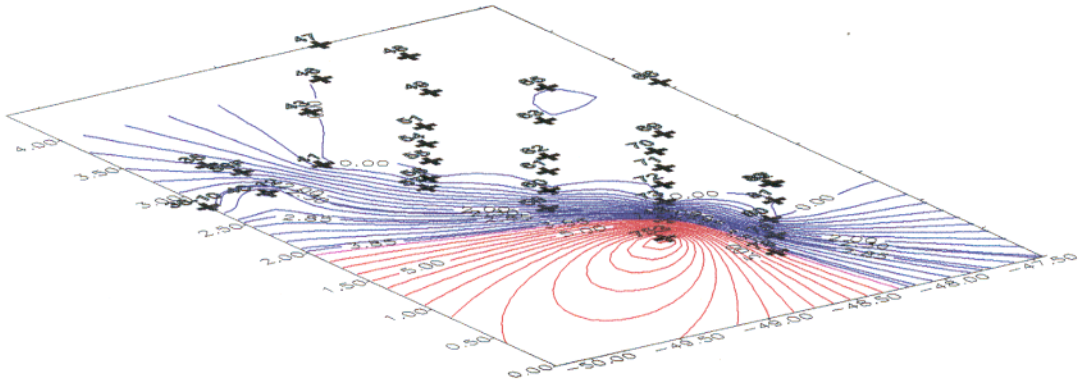
Tabela 4.8 Razões P/Pmin ao longo das estações de coleta

Amstr/ Comp	35-10	36-5	36-10	38-14	40-12	74-5	74-10	75-5	75-10	78-5	36-F	38-F	40-F
P ₂ O ₅	0,53	0,06	0,13	0,07	0,17	0,23	0,64	0,48	0,78	0,71	0,14	0,09	0,09
P/Pmin	8,83	1	2,16	1,16	2,83	3,83	10,66	8	13	11,8	2,33	1,5	1,5
S (% _o)	34,76	24,3	25,38	33,81	35,6	35,6	35,91	28,1	29,6	36,6	ND	ND	ND
pH	8,15	7,86	7,97	8,09	8,22	8,13	8,17	8,09	8,01	7,86	ND	ND	ND
P. de Coleta	7,5	5	10	14	11	4	14	4	10	4,2	ND	ND	ND

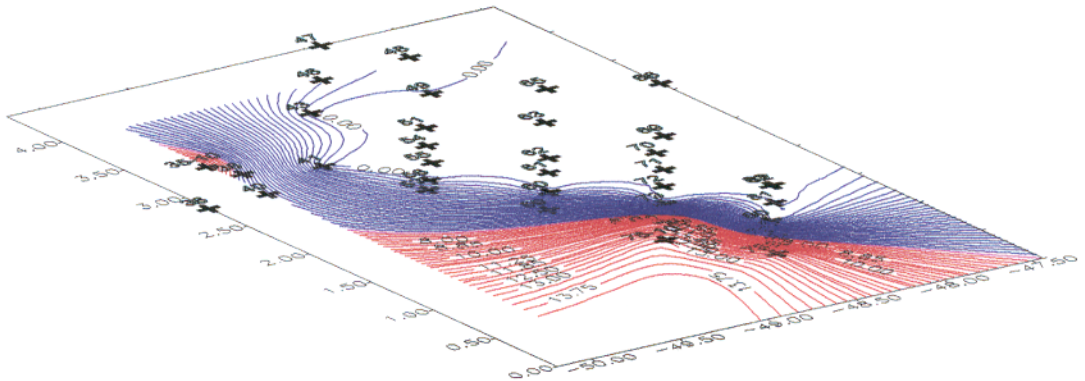
Obs. (1) Amstr – amostra, comp- componente; (2) S – salinidade; (3) P. de Coleta – profundidade de coleta de amostra; (4) 35-10 – refere-se a amostra coletada na estação 35 a aproximadamente 10 metros, enquanto que 36-F refere-se a amostra coletada na estação 36 no fundo, e assim sucessivamente; (5) ND – não determinado



Zona de material predominantemente terrígeno (razões P/P_{min} entre 1 e 2)



Zona de transição de material (razão p/p_{min} entre 2 e 8)



Zona de material de origem predominantemente oceânica (razão P/P_{min} maior que 8)

Figura 4.12 Localização das zonas de distribuição de material. As linhas em vermelho indicam a localização das zonas de distribuição do material.

Argilominerais

As diferentes quantidades e natureza de material particulado presente em estuários e oceanos são fatores importantes na distribuição das espécies químicas e elementos-traço. Os constituintes inorgânicos principais do material em suspensão incluem argilominerais, quartzo e feldspato. Os argilominerais constituem acima de 90% da fração fina, e exibem variações quantitativas relacionadas com as fontes originais e processos de intemperismo (CHESTER, 1982).

Os grupos fundamentais que constituem os tipos de estruturas cristalinas dos argilominerais conhecidos são grupos tetraédricos e octaédricos de átomos ou íons oxigênio e de íons hidroxila, ao redor pequenos cátions principalmente Si^{4+} e Al^{3+} ocasionalmente Fe^{3+} e Fe^{2+} , nos grupos tetraédricos e Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , ocasionalmente Cr^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Li^{+} nos grupos octaédricos, geralmente com um certo grau de substituição isomórfica (WEAVER & POLLARD, 1973).

Os resultados obtidos através do cálculo estequiométrico (Tabela 4.7) confirmam a tendência mostrada pelos difratogramas, observa-se que os argilominerais dominantes são caulinita (máximo em 51,19%), associada a altos teores de alumínio, observando-se o domínio deste argilomineral nas amostras, em que este fato ocorre, illita (máximo em 42,43%) associada aos teores elevados de potássio, quando ocorre o domínio deste argilomineral nas amostras. Tais resultados mostram que o modelo é válido como aproximação no cálculo estequiométrico para avaliação dos percentuais de argila em sedimentos transportados pelos rios.

4.4 CONSIDERAÇÕES BIOGEOQUÍMICAS

4.4.1 Quantificação de Argilominerais e sua Distribuição ao longo das águas sob Influência da foz do Amazonas

Utilizando-se como base os teores obtidos na quantificação dos argilominerais (Tabela 4.7), é possível se fazer algumas observações, a distribuição horizontal revela o domínio de caulinita sobre os demais componentes nos pontos de coleta mais costeiros (Figura 4.13), enquanto que "offshore", há um aumento gradativo de illita. A distribuição vertical expõe o aumento do teor de caulinita com a profundidade (Figura 4.14) inclusive nas amostras "offshore", havendo uma exceção no ponto 36-10, que embora esteja quase a 10 metros de profundidade, exhibe teores de illita superiores aos de caulinita, mas isso deve-se provavelmente a mistura de massas d'água.

A variação em teores e a alternância no domínio dos argilominerais horizontalmente e verticalmente pode ser elucidada, tomando como base principalmente os trabalhos de CHAMBLEY (1989), entre outros, que explica as distribuições de argilominerais com base na variação mineralógica devido a condições físicas ou mudanças nas fontes detríticas e a impressão química sobre os argilominerais, que é comumente limitada pela troca de cátions na superfície e posição intercamada. Desta forma, não está havendo formação de novos minerais quando os teores dos mesmos aumentam, como por exemplo, a esmectita (Figura 4.15), detectada aqui. Torna-se necessário para um melhor entendimento do ambiente, considerar processos como os de floculação e assentamento diferenciado que, embora, muito complexos devido a diversidade de fatores envolvidos, tendem, segundo CHAMBLEY (1989) a favorecer a preservação em suspensão de minerais esmectita, que passam diretamente do ambiente estuarino para o ambiente marinho. Quanto aos outros minerais assentam preferencialmente nos estuários, podendo, ainda, serem retrabalhados em direção ao mar aberto através da descarga do rio nos altos períodos de maré.

Considerando todos os fatores anteriormente descritos, o comportamento das argilas nas amostras analisadas, exibindo o predomínio de caulinita (Figura 4.16, 4.17; 4.18) em áreas mais costeiras e sua diminuição "offshore", seguido do aumento de illita, também em menor grau do aumento dos teores de esmectita. Acredita-se

que nos casos aqui mostrados, não há o desaparecimento de material quando este diminui ou a produção de novos minerais, quando estes aumentam, o que ocorre é o assentamento de caulinita com o aumento da salinidade e a esmectita não é afetada por esta variação, permanecendo em suspensão longe da costa. A carência de clorita e das argilas similares nos ambientes próximos a foz do rio, sugere segundo autores como CHESTER (1982), que as assembléias de minerais marinhos dependem exclusivamente de fontes detritais e não resultam de algumas modificações químicas identificáveis.

No que diz respeito à quantificação de argilominerais e de outros componentes inorgânicos, é importante ainda considerar as variações de titânio, aqui expresso como $Ti(OH)_4$, segundo WEAVER & POLLARD (1973), muito do conteúdo de titânio presente no material em suspensão é adsorvido aos argilominerais. Isto explicaria o fato de não se ter encontrado anatásio ou rutilo na identificação difratométrica, uma outra justificativa é que muito do titânio, que forma anatásio pode ser dispersado ou floculado independente da caulinita.

As partículas transportadas do continente para o mar experimentam mudanças em salinidade, pH em outras características físico-químicas. Os argilominerais, que formam a maioria dos constituintes da matéria em suspensão que entra no mar, passam do ambiente de rio pobre em íons dissolvidos para o ambiente marinho mais concentrado quimicamente (CHAMBLEY, 1989).

As correlações expostas na Tabela 4.10, revelam que argilominerais como a caulinita e clorita tem uma correlação positiva com o conteúdo de matéria orgânica, esta correlação positiva indica a predominância dos argilominerais caulinita e clorita em áreas mais costeiras, distribuindo-se de forma semelhante ao conteúdo de matéria orgânica. Anteriormente, se observava a diminuição do conteúdo destes argilominerais com o aumento da salinidade (item 4.4.1) e como no parágrafo acima. Tornou-se possível a partir destes dados da Tabela 4.10, fazer outro tipo de associação a dos argilominerais caulinita e clorita com o conteúdo de matéria orgânica (Figuras 4.19 e 4.20). O que parece estar ocorrendo é uma assimilação do conteúdo destes argilominerais pela matéria orgânica, deve-se observar que o conteúdo de matéria orgânica não é afetado pela salinidade, em termos de conteúdo ligado a matéria

orgânica somente a razão C/N parece ser afetada pela salinidade exibindo uma correlação inversamente proporcional a esta, de uma certa maneira este fato talvez explicasse a razão da aparente variação do conteúdo de certos argilominerais com a matéria orgânica e recairíamos na suposição anterior de CHAMBLEY (1989), que afirma que as proporções dos argilominerais caulinita, clorita diminuem com o aumento da salinidade.

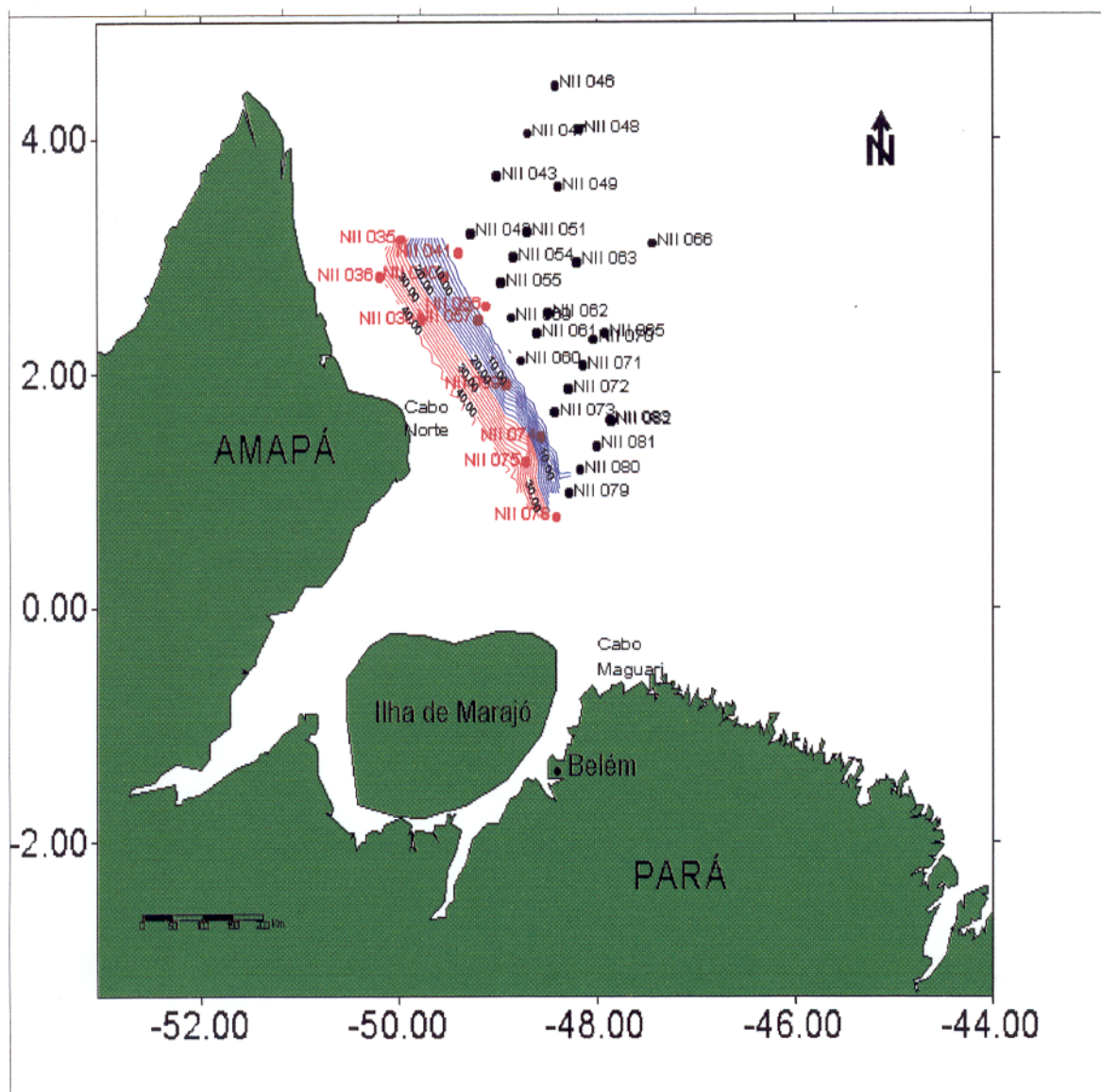


Figura 4.13 Distribuição horizontal de caulinita (profundidade entre 3 e 6 metros).
 Obs : linhas em azul indicam os teores mínimos, as em laranja indicam os máximos.

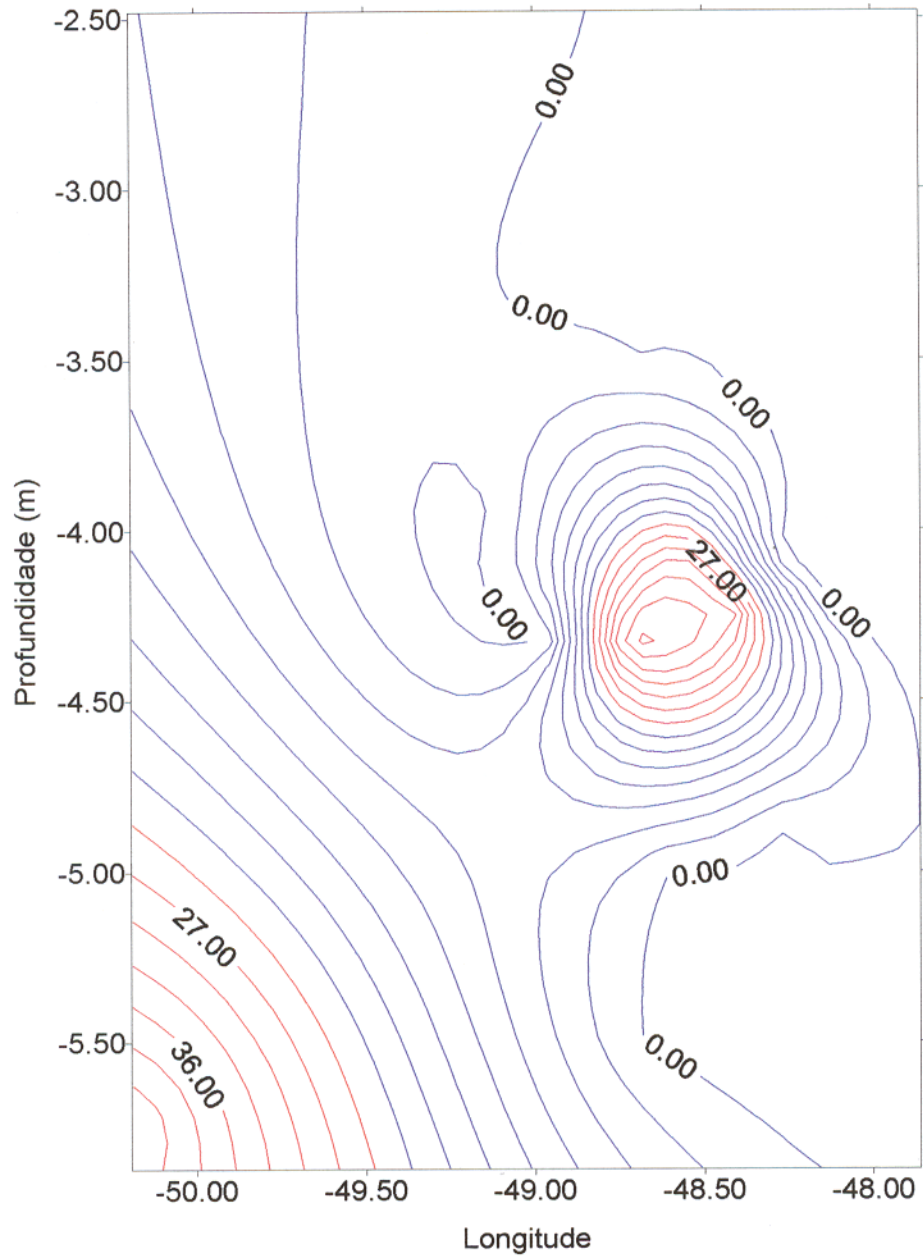


Figura 4.14 Distribuição vertical de caulinita. Os teores máximos são indicados por linhas em vermelho e os mínimos por linhas em azul.

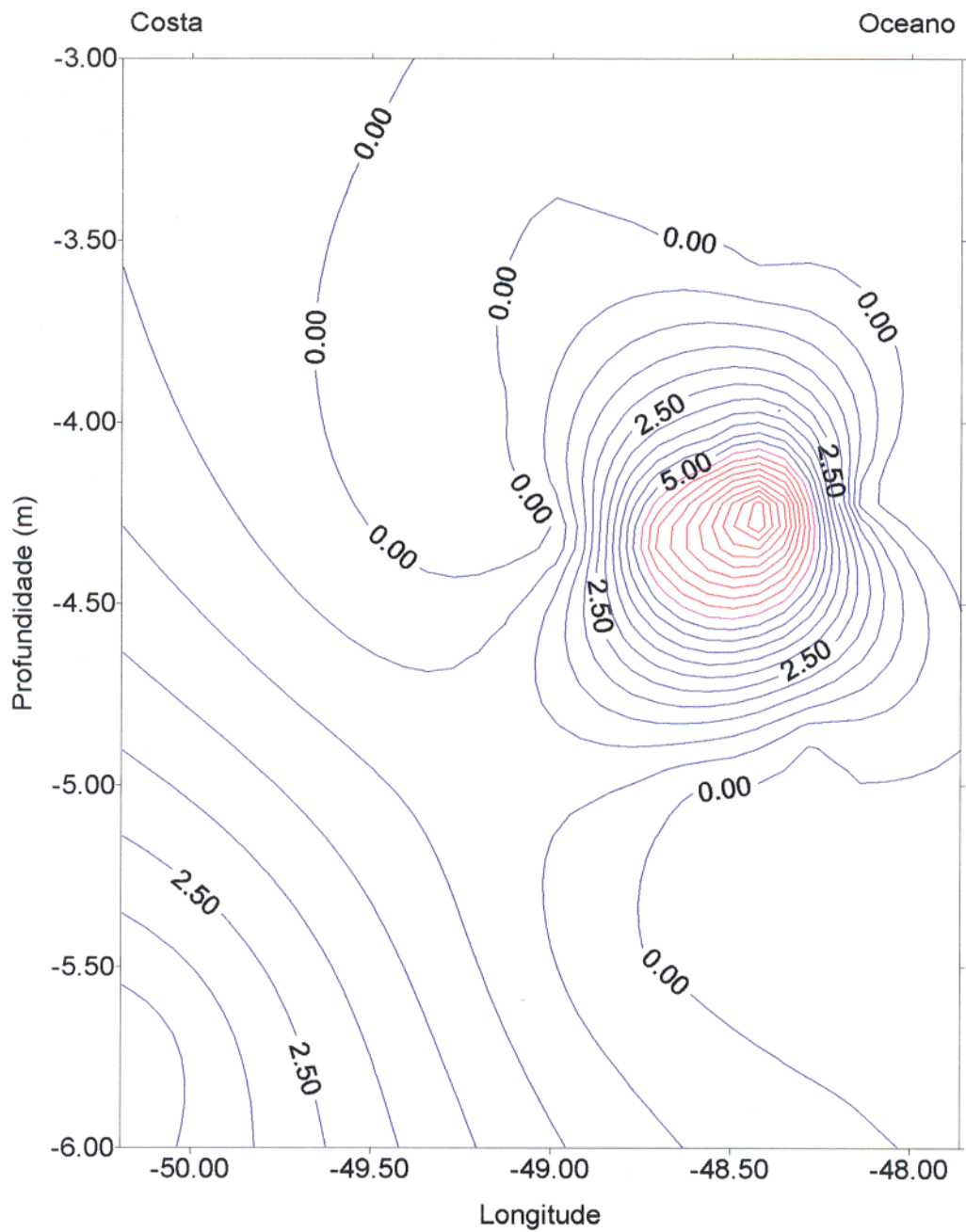


Figura 4.15 Distribuição vertical de esmectita. Os teores máximos são indicados por linhas em vermelho e os mínimos por linhas em azul.

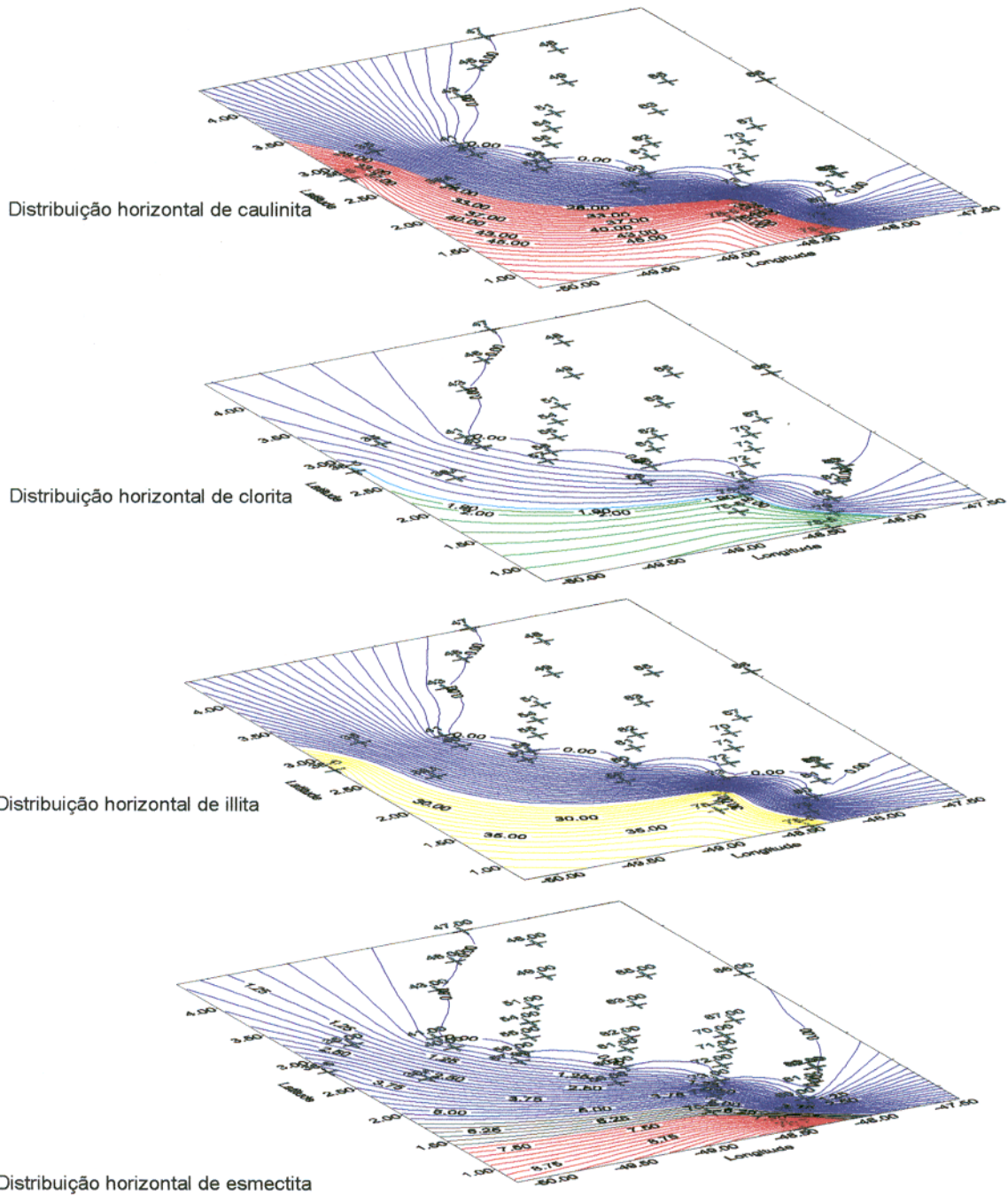
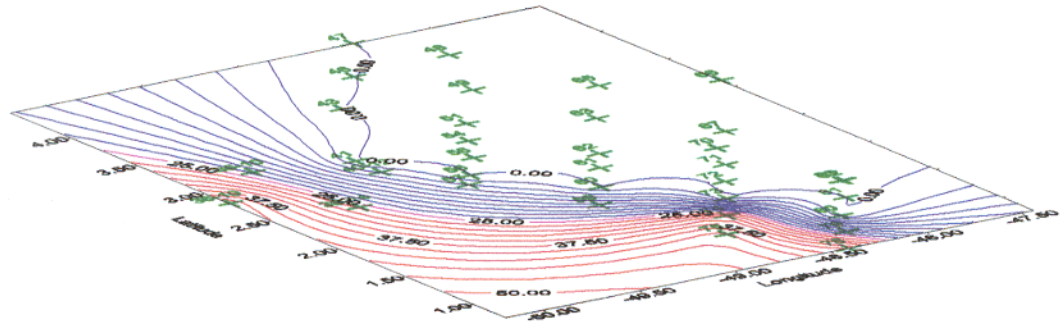
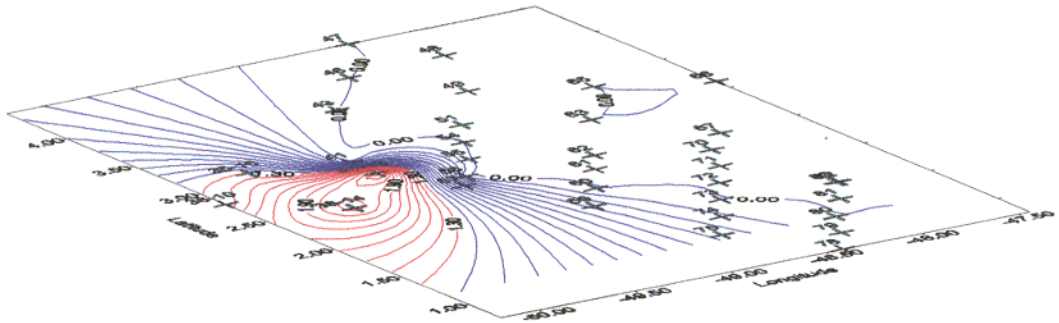


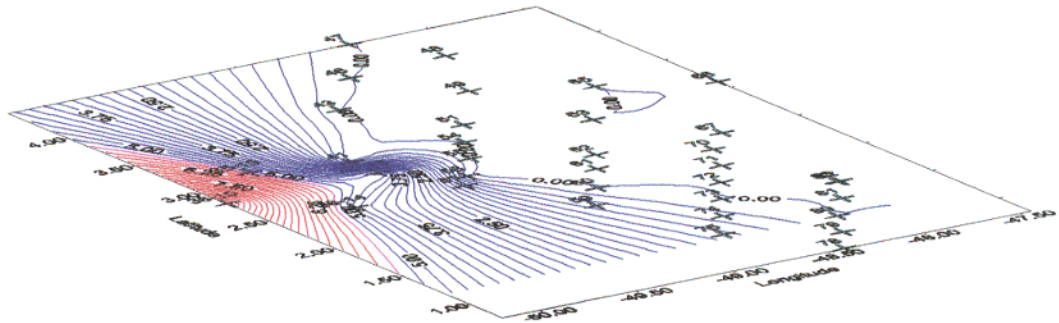
Figura 4.16 Distribuição horizontal dos argilominerais (profundidades entre 3 e 6 metros). Os teores máximos são indicados por linhas em vermelho, amarelo e verde enquanto que os mínimos são indicados por linhas em azul.



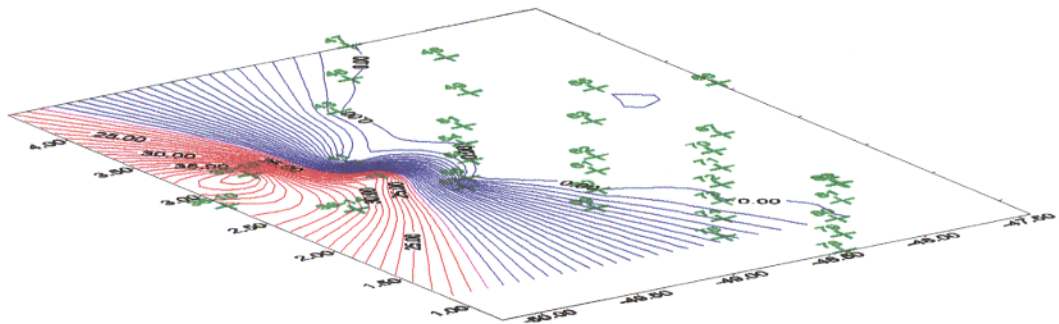
Distribuição horizontal de caulinita (profundidades entre 7 e 14 metros)



Distribuição horizontal de clorita (profundidades ente 7 e 14 m)

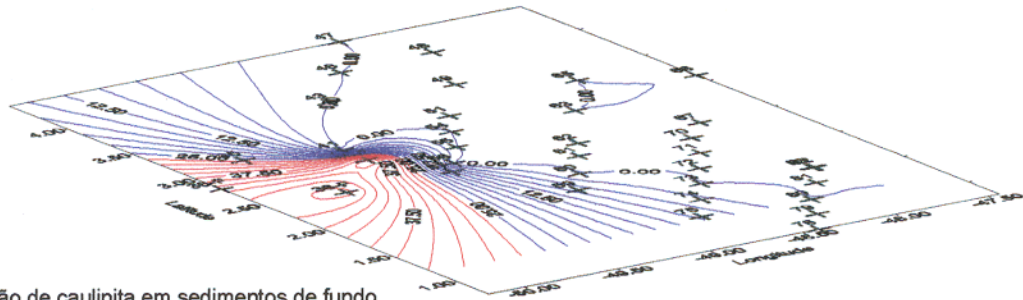


Distribuição horizontal de esmectita (profundidades entre 7 e 14)

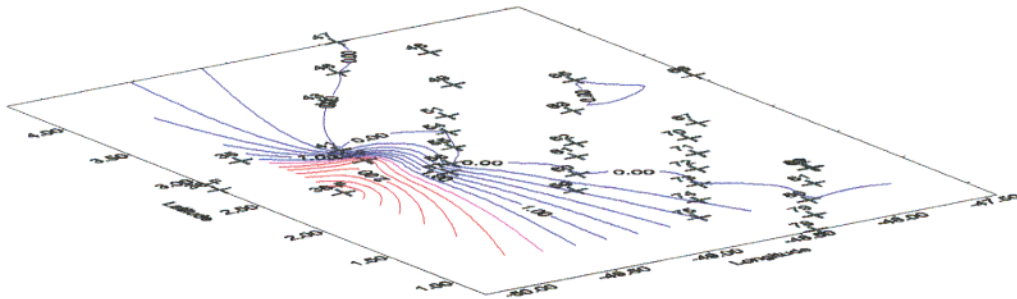


Distribuição horizontal de illita (profundidades entre 7 e 14 m)

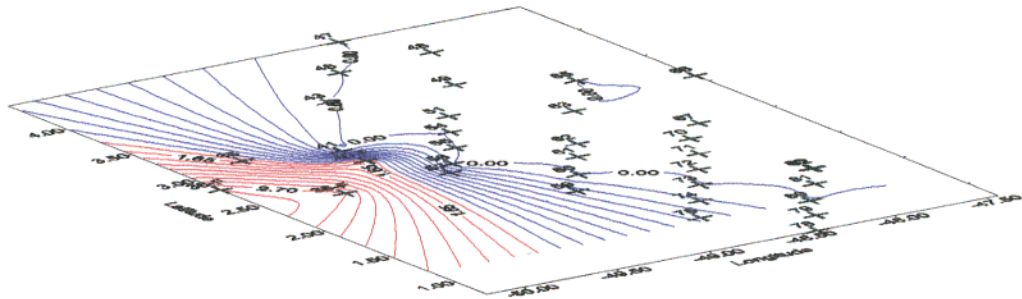
Figura 4.17 Distribuição horizontal dos argilominerias (profundidades entre 7 e 14 metros). Os teores máximos são indicados por linhas em vermelho e os mínimos por linhas em azul.



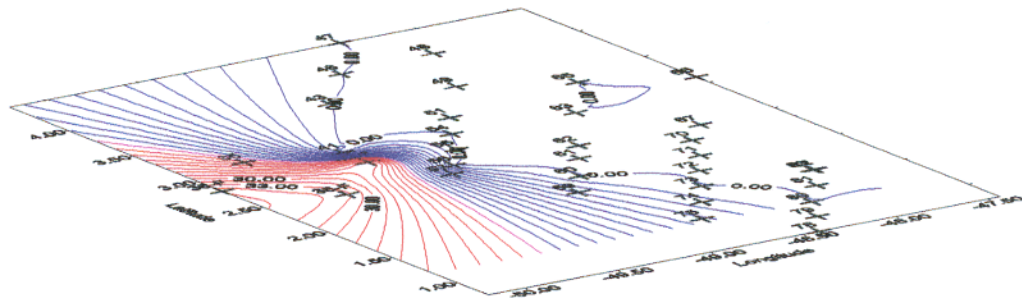
Distribuição de caulinita em sedimentos de fundo



Distribuição de clorita nos sedimentos de fundo



Distribuição de esmectita em sedimentos de fundo



Distribuição de illita em sedimentos de fundo

Figura 4.18 Distribuição dos argilominerais em sedimentos de fundo. Os teores máximos são indicados por linhas em vermelhos e os teores mínimos por linhas em azul.

4.4.2 Biogeoquímica do Fósforo, Nitrogênio e Carbono

A matéria orgânica particulada em rios normalmente varia de 1,3% a 8,4% e as concentrações estão entre 0,6 mg C/L e 14,2 mg C/L em diferentes classes (DEGENS, et al., 1991). Havendo porém rios, que ultrapassam estes valores.

Os teores de matéria orgânica decrescem logaritmicamente com o aumento das concentrações de sedimentos em suspensão, algo semelhante ocorre com a produção primária, que decresce com o aumento dos sedimentos em suspensão (MEYBECK, 1982).

4.4.2.1 Biogeoquímica do fósforo

O fósforo é um elemento essencial para todos os organismos biológicos, a baixa concentração de fósforo biologicamente assimilável em muitos sistemas aquáticos pode resultar na limitação da produção biológica, por exemplo (ESTEVES, 1988).

A ligação entre a absorção biológica de fósforo durante a fotossíntese nas águas de superfície, remineralização e reciclagem de fósforo na coluna d'água e nos sedimentos subjacentes, o soterramento de fósforo nos sedimentos de fundo e a incorporação dentro do registro das rochas sedimentares (STUMM & MORGAN, 1981).

O fósforo está presente nos ecossistemas aquáticos sob diversas formas e espécies químicas, agrupadas em cinco classes de interesse biológico: fósforo particulado, fósforo orgânico dissolvido, fósforo total dissolvido e fósforo total. O fósforo inorgânico compreende a maior parte das espécies presentes, embora a importância relativa entre as espécies químicas não possa variar sazonalmente (DAVIS, 1977; ESTEVES, 1988).

A origem do fósforo que entra no sistema pode ser natural ou artificial: O fósforo natural é proveniente de intemperização de rochas e lavagem de solo da bacia de drenagem, e material particulado resultante da decomposição de organismos alóctones. A origem artificial, aporta como esgoto doméstico (ESTEVES, 1988).

O sedimento pode contribuir com fluxos significativos de fosfato, provavelmente da decomposição de matéria orgânica depositada, por difusão molecular, incrementados por bioturbação e ressuspensão de sedimento (MARTENS et al., 1978).

Os fosfatos podem ser adsorvidos às argilas, tal processo pode se dar através de ligação química da carga negativa e do fosfato com a positiva das bordas ou por

substituição dos fosfatos por silicatos nas argilas, a adsorção de fosfato às argilas é favorecida pela diminuição de pH, em um pH ácido ou ligeiramente ácido ocorrerá maior adsorção de fosfato (STUMM & MORGAN, 1981). Este nutriente pode ser ainda liberado para o meio na forma inorgânica, através da decomposição da matéria orgânica por bactérias (HEM, 1970).

O comportamento do fósforo em ambientes estuarinos apresenta a peculiaridade de haver uma grande interação entre a forma dissolvida e a sólida (LISS, 1976)

O fósforo nas amostras analisadas não apresentou uma boa correlação com a salinidade confirmando, de certa forma, os dados reportados por LISS (1976) que afirma que a concentração de fósforo apresenta um comportamento conservativo permanecendo praticamente invariável por toda extensão de salinidade, embora no presente caso haja uma pequena correlação positiva entre fósforo e salinidade (Tabela 4.4).

O comportamento conservativo é possível devido a processos inorgânicos de remoção e liberação de fosfato. Em águas oxigenadas, o fosfato precipita adsorvido à oxí-hidróxidos férricos, enquanto que em ambientes anóxicos este ferro é reduzido, tornando-se mais solúvel, liberando o fosfato adsorvido (LISS, 1976).

Admite-se ainda que num mesmo estuário, podem ocorrer estes dois processos, simultaneamente em diferentes áreas ou um mesmo trecho pode alternar-se entre ambas as condições (BERNER & BERNER, 1996), estes fatores também poderiam explicar a grande variação vertical e horizontal de fósforo.

O fósforo aqui analisado é o particulado, que serviu de elemento limitante para determinação das zonas de distribuição de material biogênico oceânico, terrígeno e de transição. Estas suposições somente são possíveis, se considerarmos além dos processos acima os descritos por CHAMBLEY (1989) como a mistura de massas de água, desta forma, temos água salgada que contém material biogênico, penetrando na zona de terrígenos e os processos de ressuspensão e floculação de materiais, que depositam certos materiais inorgânicos que podem adsorver ou liberar fósforo para o ambiente.

Na determinação das zonas de material de diferentes origem é necessária somente a suposição de que o aumento de razão P/P_{mim} deve-se prioritariamente a misturas de massas d'água, podendo a partir disso admitir-se que o aumento do conteúdo de fósforo é devido principalmente a origem biogênica oceânica.

4.4.2.2 Biogeoquímica do nitrogênio

O aporte de nitrogênio em ecossistemas aquáticos costeiros se dá principalmente na forma de nitrogênio orgânico particulado e dissolvido, o nitrogênio inorgânico dissolvido (principalmente nitrato e amônia), oriundo de ambientes terrestres, ou por dissolução de nitrogênio atmosférico na água. A precipitação atmosférica também pode representar uma fonte de nitrogênio inorgânico.

As formas inorgânicas do nitrogênio podem sofrer transformações entre si, através de processos mediados por microorganismos. A nitrificação consiste na oxidação da amônia a nitrato, é realizada principalmente por bactérias autotróficas nitrificantes do sedimento, embora também possa ser mediada por organismos heterotróficos em condições especiais.

A quantificação de nitrogênio indicou mínimos em 0,03% e máximos em 0,13%, estando os mínimos associados a sedimentos de fundo, o que pode ser elucidado, considerando as suposições de LISS (1976) que afirma que o nitrogênio inorgânico particulado pode depositar-se no sedimento, e decompor-se em nitrogênio dissolvido, amônia, nitrito e nitrato, os quais podem voltar a coluna d'água por difusão molecular ou por processos advectivos, voltando a ser disponível para ser incorporado à biota, ou permanecer no sedimento sob forma residual; no caso aqui exposto das águas adjacentes a foz do Amazonas, o que parece ocorrer é a deposição de nitrogênio no sedimento seguido de decomposição.

4.4.2.3 Biogeoquímica do carbono

Os rios transportam carbono de fontes fundamentalmente terrestres para os reservatórios marinhos. A exportação para o oceano é da ordem de 800 Tg C/ano, o que pode ser considerado menos que a taxa, na qual o carbono entra nos sistemas de rios, devido a acumulação e oxidação pelos rios.

O carbono orgânico dos sistemas aquáticos continentais pode ter sua origem no carbono orgânico detrital ou no carbono orgânico da biota, juntos formam o carbono orgânico total. O carbono orgânico detritico é por sua vez composto pela fração de carbono orgânico dissolvido e carbono orgânico particulado detrital. O carbono orgânico também pode aparecer na forma orgânico-coloidal (ESTEVES, 1988).

O carbono ocorre em ecossistemas aquáticos costeiros como carbono orgânico vivo (integrante da biomassa), ou detritico, carbonatos, geralmente bioclásticos, e na forma de carbono orgânico dissolvido. Esta última forma assume grande importância especialmente em ambientes marinhos (BERNER & BERNER, 1987). As formas sob as quais o carbono orgânico se apresentam são inúmeras e complexas. Geralmente a maior parte do carbono orgânico nas águas marinhas é dissolvido, seguido pelo carbono orgânico detritico e por último pelo carbono orgânico vivo (particulado).

Os teores encontrados para carbono elementar orgânico se estendem de 1,11% a 2,05%, enquanto que os de nitrogênio, de 0,03% a 0,13%. Esses teores produzem índices de relação C/N elevada, variando de 9,64 até o máximo de 68,3; estes índices caracterizam provavelmente um material rico em produtos de decomposição de celulose, de origem vegetal.

A decomposição da matéria orgânica provoca modificações nas características físico-químicas do ambiente, especialmente no sedimento, influenciando o ciclo biogeoquímico de vários elementos, e determinando a forma, na qual eles estão presentes (BERNER & BERNER, 1996).

As substâncias orgânicas tem como um dos principais componentes os ácidos húmicos que são encontrados em vários tipos de sedimentos, teores entre 60 e 80% do carbono orgânico dissolvido e particulado constituem as substâncias húmicas, no caso de águas doces (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

A importância principal das substâncias húmicas está no transporte de elementos-traço e retenção pelos sedimentos por causa da grande quantidade presente (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

4.4.3 Identificação de Material Húmico na Matéria Orgânica

As características geoambientais do rio Amazonas têm sido descritas, onde se enfatizam a apreciável extensão de sua bacia de drenagem; a influência da floresta, da erosão, da sazonalidade, do considerável índice pluviométrico; do transporte de material em suspensão e da notável descarga (vazão), lançada para o oceano Atlântico (DEGENS et al, 1991).

Durante seu percurso, há aumento de turbidez e de intensidade de coloração, resultantes de contribuições de seus afluentes de "águas brancas" (ricas em sedimentos em suspensão) e de "águas pretas" (de coloração castanho-avermelhada devida a material húmico).

O conteúdo e a natureza química da matéria orgânica associada aos sedimentos em suspensão foi identificado a partir da análise química elementar para carbono e nitrogênio e hidrogênio, através de registros de difratogramas de raios-X, termogramas e espectros de absorção na região do infravermelho.

A composição química de detritos orgânicos de plantas e animais (incluindo microorganismos de solo e da floresta) é bastante complexa e variada. As substâncias predominantes nas frações orgânicas de solos são a celulose, a lignina, proteínas e misturas de compostos de elevado peso molecular, de coloração castanho-escura, de composição química variada, dependendo do tipo de solo e das condições de clima. Esses compostos orgânicos, de coloração castanho-escura, consistem, predominantemente, de frações denominadas ácidos húmicos e fúlvicos.

Nas amostras de sedimentos em suspensão e fundo selecionadas para a análise neste trabalho predominam os compostos inorgânicos (argilominerais, sílica, colóides de ferro), ficando a matéria orgânica com um conteúdo sempre abaixo de 3,6% (Tabela 4.7). Portanto, na interpretação dos registros de espectros de absorção na região do infravermelho, as bandas mais intensas estão relacionadas com os argilominerais dominantes no material, ou seja, a mistura illita e caulinita.

As bandas relativas às ligações químicas nos argilominerais dominam nos espectros aqui registrados (Figura 4.11) pelas razões já expostas. A nítida e intensa banda de vibração do estiramento Si-O, que se estende desde 1200 a 1000 cm^{-1} , com seus desdobramentos mais significativos às proximidades de 1180 e 1034 cm^{-1} (espectros I, II e III, Figura 4.11), por exemplo, é bem representativa de estruturas do tipo illita e caulinita, confirmando os resultados oriundos da difração de raios-X.

Também são importantes considerar as bandas associadas aos argilominerais: a nítida banda, com fracos dobramentos em torno de 950 a 915 cm^{-1} , relativa à ligação Al-OH; as bandas às proximidades de 790-800, 750-780, 640-690 cm^{-1} ou no intervalo de 400-600 cm^{-1} ; as intensas bandas de absorção registradas no intervalo de 4000 - 3400 cm^{-1} , com seus vários desdobramentos, relacionadas com as ligações com hidroxila, -OH, tão comuns em argilominerais (GADSDEN, 1975; MAREL & BEUTELSPACHER, 1976; OLPHEN & FRIPIAT, 1979).

Importante, ainda, é a intensa e média banda registrada às proximidades de 1640 cm^{-1} correspondente à deformação angular da ligação HOH, característica de água de constituição presente nos argilominerais (OLPHEN & FRIPIAT, 1979).

Os espectros de absorção na região do infravermelho de ácidos húmicos e fúlvicos, de diferentes origens, são semelhantes, porém não são idênticos. As diferenças (sutis) são resultantes de breves alterações em suas composições. Talvez a característica mais interessante do espectro de ácidos húmicos seja o aparecimento de intensas e largas bandas de absorção relacionadas com as vibrações de estiramento da ligação C=O de vários grupos funcionais orgânicos (ácidos carboxílicos e seus derivados, aldeídos, cetonas), no intervalo de 1709 a 1715 cm^{-1} e de vibrações de compostos aromáticos às proximidades de 1600 a 1613 cm^{-1} . As bandas registradas às proximidades de 1698 a 1701 cm^{-1} e em torno de 1400 cm^{-1} indicam a presença de grupos carboxila e carbonila.

Considerando os baixos teores de matéria orgânica nas amostras aqui selecionadas (sempre abaixo de 3,6%), é de se esperar que não seja possível o registro, de modo mais efetivo, de todas essas bandas supracitadas. Na maioria dos casos, há superposição de bandas relacionadas com os argilominerais dominantes nas amostras. Apesar disso, é possível estabelecer algumas considerações

praticamente definitivas.

Os aspectos mais interessantes dos espectros registrados para três amostras, aqui selecionadas (espectros I, II e III, Figura 4.11), dizem respeito ao aparecimento das nítidas (porém fracas) bandas de absorção no intervalo de $2959 - 2855 \text{ cm}^{-1}$, atribuídas aos grupos metileno $-\text{CH}_2-$ de hidrocarbonetos; e à presença de fraca (porém nítida) banda em torno de 1385 cm^{-1} referente aos grupos carboxila e/ou carbonila.

A interpretação mais imediata desses resultados leva à conclusão de tratar-se de material húmico presente na matéria orgânica oriunda de lixiviações e drenagem de solos amazônicos típicos, tais como podzólicos e latossólicos (vide comparação de espectros coletados por MAREL & BEUTELSPACHER, 1976, Figura 4.11).

Com efeito, a julgar pela predominância desses tipos de solos em áreas da floresta amazônica (equatorial, quente, úmida) ao longo das margens do curso do Amazonas; pela notável presença de material húmico nessas águas fluviais; e pelo transporte e despejos desse material nas águas costeiras do oceano Atlântico, à foz do grande rio, é de se esperar que haja, ainda, influência de material húmico na matéria orgânica transportada pelos sedimentos em suspensão.

4.4.4 Elementos-Traços

Os elementos-traços estão presentes nos sedimentos em suspensão geralmente adsorvidos à matéria orgânica, deve-se considerar também que os metais-traços nos sedimentos de fundo não estão imobilizados, embora a princípio parecem estar, podem ser liberados como resultado de processos e transformações que sofrem no local. No caso de substâncias orgânicas dissolvidas, estas tem a capacidade de complexar metais, aumentando a sua solubilidade do metal-traço e alterando a distribuição entre as formas reduzidas e oxidadas, podendo ainda diminuir a toxidez do metal e alterar a disponibilidade para biota aquática, influenciando também na proporção em que são adsorvidos ao material em suspensão (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

Uma remobilização dos elementos-traços em sedimentos de fundo e em suspensão em primeiro plano é perigosa, mas tal consideração depende de vários fatores entre os quais se pode citar a elevação da concentração de sal, mudanças nas condições redox, uma queda nos níveis de pH, uma aumento no uso de agentes

complexantes, além das transformações bioquímicas, através das quais os metais pesados são transferidos dos sedimentos para os organismos aquáticos (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

Observando a Tabela 4.5 das correlações dos elementos-traços constata-se que os elementos-traços zinco e níquel apresentam uma correlação negativa com o carbono orgânico elementar, logo também possuem este tipo de correlação com a matéria orgânica também. Isto pode indicar que há uma possível remobilização destes elementos que inicialmente pareciam estar ligados à esta matéria orgânica, estão, agora, de alguma forma sendo liberados para o ambiente, porém não é possível saber se esta liberação é potencialmente perigosa ou não, devido não se ter analisado as diversas frações dos sedimentos, é possível apenas se fazer as afirmações anteriormente realizadas. O zinco possui ainda uma razoável correlação positiva com o nitrogênio elementar, logo aumenta na proporção inversa a razão C/N, indicando o decréscimo com o aumento da influência de produtos de decomposição de celulose vegetal.

Baseado na correlação entre os elementos-traços e os percentuais de argilominerais calculados (Tabela 4.10), observa-se uma correlação positiva entre o cobre e a clorita, este tipo de correlação deve-se adsorção deste elemento-traço por efeito de polarização, fato comentado por FÖRSTNER & WITTMANN (1983) ou, ainda, que pode entrar na estrutura como por exemplo, o chumbo que entra na estrutura dos argilominerais devido ao seu raio iônico ser muito similar ao do potássio, substituindo este elemento na esmectita.

O manganês, o cobalto e o cromo apresentam correlações negativas com a esmectita (Tabela 4.7), observou-se anteriormente que estes elementos também exibem uma correlação negativa com a matéria orgânica, e sugeriu-se anteriormente que estes elementos estariam adsorvidos a matéria orgânica, agora com estes novos fatos também se deve considerar a adsorção destes a argilominerais, embora estejam correlacionando-se negativamente estes podem ter anteriormente aderido às argilas por efeitos de polarização (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983) e, devido a processos locais, como mistura de massas d'água, serem liberados para o ambiente.

Entre os demais elementos-traços, os que merecem destaque devido a boas correlações com os outros elementos e propriedades são o manganês que exibe uma correlação negativa com a clorita, e ainda, o cobalto e o cromo que apresentam o mesmo tipo de correlação com este argilomineral. As mesmas suposições lançadas sobre as correlações negativas da esmectita com estes elementos.

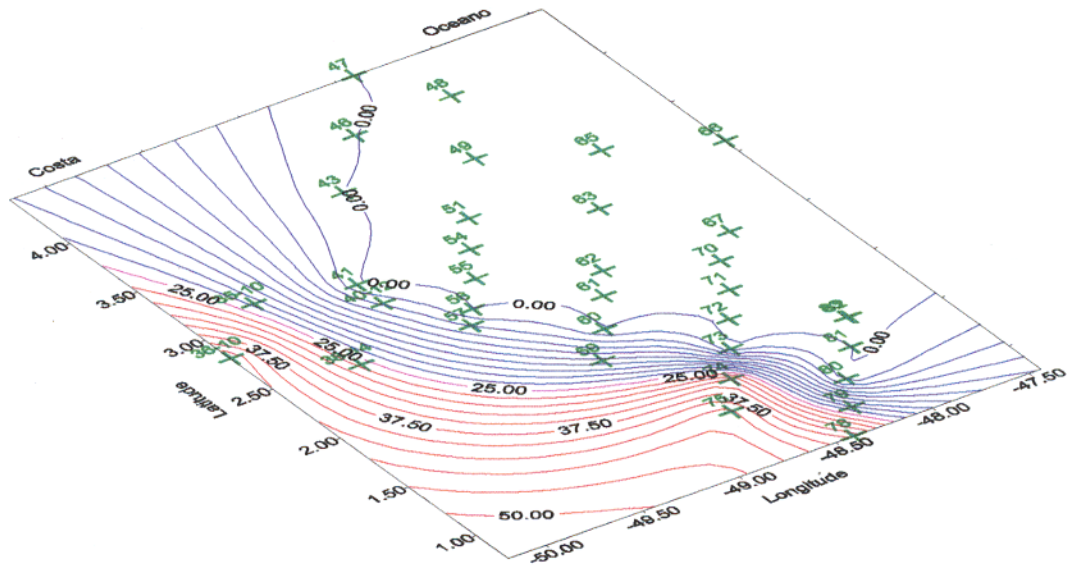
Tabela 4.9 Razões elemento/Al ao longo das estações de coleta

Amstr / Razão	35-10	36-5	36-10	38-14	40-12	74-5	74-10	75-5	75-10	78-5	36-F	38-F	40-F
Si/Al	2,18	2,14	2,341	1,933	2,4	2,54	1,53	1,74	2	2	1,66	1,59	1,68
Fe/Al	0,59	0,43	0,658	0,406	0,47	0,51	0,29	0,26	0,47	0,48	0,55	0,38	0,47
P/Al	0,02	0	0,005	0,002	0	0,01	0,013	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0
Ti/Al	0,1	0,04	0,032	0,001	0,11	0,02	0,039	0,06	0,09	0	0,02	0,03	0,09
Ca/Al	0,06	0,04	0,124	0,045	0,06	0,05	0,033	0,05	0,07	0,08	0,04	0,03	0,03
Na/Al	0,32	0,14	0,385	0,195	0,29	0,32	0,252	0,19	0,22	0,25	0,07	0,05	0,06
K/Al	0,29	0,18	0,247	0,181	0,2	0,2	0,177	0,18	0,19	0,19	0,19	0,02	0,15
Mg/Al	0,11	0,08	0,099	0,088	0,07	0,1	0,129	0,08	0,1	0,11	0,1	0,09	0,07
Mn/Al	0,01	0,01	0,011	0,011	0,01	0,01	0,004	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01

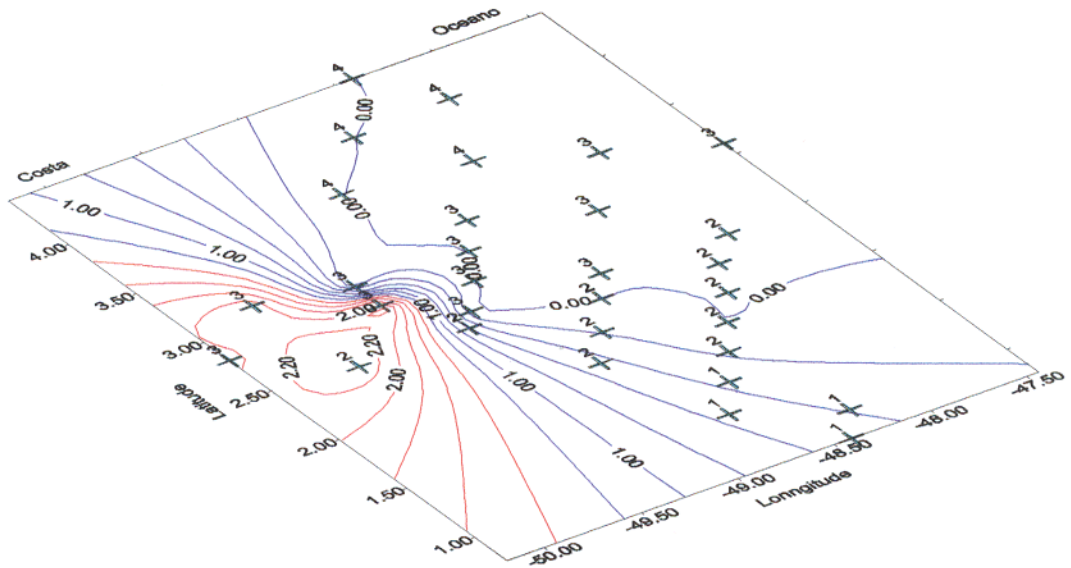
Obs. (1) amstr – amostra, comp- componente; (2) 35-10 – refere-se a amostra coletada na estação 35 a aproximadamente 10 metros, enquanto que 36-F refere-se a amostra coletada na estação 36 no fundo, e assim sucessivamente; (3) ND – não determinado

Tabela 4.10 Matriz de correlação entre os elementos-traços e os percentuais de argilominerais calculados

	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Fe ₂ O ₃ (%)	S (%)	D (g/L)
Mn (ppm)	1								
Zn (ppm)	0,259717	1							
Cu (ppm)	-0,14344	-0,11859	1						
Co (ppm)	0,863831	-0,22296	-0,94983	1					
Ni (ppm)	0,371766	0,826647	-0,04218	-0,30264	1				
Cr (ppm)	0,911606	0,534432	-0,53582	0,751432	0,705426	1			
Fe ₂ O ₃ (%)	0,173726	0,246887	-0,19862	0,55731	-0,51858	-0,0069	1		
S (%)	-0,52936	0,432281	0,296996	-0,69824	0,202261	-0,39798	-0,32719	1	
D (g/L)	-0,53422	0,508123	0,296839	-0,63707	0,198192	-0,36291	-0,25939	0,990592	1
T (°C)	-0,17646	-0,78108	0,16443	-0,51175	0,092377	-0,33566	-0,67272	-0,02822	-0,14089
pH	-0,18818	0,846486	-0,00664	0,31775	0,508627	0,460883	-0,31285	0,333643	0,381744
Illita	0,138022	0,065296	-0,44096	0,494829	-0,37031	-0,03393	0,751618	-0,22095	-0,17613
Esmectita	-0,60275	0,16675	0,39522	-0,93912	0,123653	-0,57683	0,307885	-0,00076	-0,02632
Caulinita	0,356192	-0,25199	0,330318	0,3012	-0,19954	0,174525	-0,07355	-0,31079	-0,32932
Clorita	-0,64097	-0,43242	0,891382	-0,75822	-0,19734	-0,62136	-0,38057	0,522722	0,486756
SiO ₂	-0,17467	0,33373	-0,2196	-0,4355	0,624106	0,344329	-0,69303	0,551331	0,543711
Fe(OH) ₃	0,51323	-0,90802	-0,16222	0,448021	-0,83788	-0,37346	0,136932	-0,58424	-0,59106
Ti(OH) ₄	0,364576	0,287485	-0,19387	0,457002	-0,17536	0,074474	0,277115	-0,04332	0,012242
H ₂ O	-0,23662	-0,00842	0,209001	-0,21042	-0,44077	-0,53314	0,360562	0,361299	0,400367
T (°C)		Illita	Esmectita	Caulinita	Clorita	SiO ₂	Fe(OH) ₃	Ti(OH) ₄	H ₂ O
1									
pH									
1									
Illita									
0,023075									
1									
Esmectita									
0,288928									
-0,47417									
1									
Esmectita									
0,288928									
0,305064									
-0,33392									
1									
Caulinita									
0,298229									
-0,26264									
1									
Clorita									
0,298229									
-0,04921									
0,570382									
1									
SiO ₂									
-0,04921									
0,570382									
1									
Fe(OH) ₃									
0,256033									
-0,0312									
0,50638									
1									
Ti(OH) ₄									
-0,61058									
0,50638									
1									
H ₂ O									
-0,55954									
0,409844									
0,499993									
1									
0,40048									
-0,4946									
-0,12261									
-0,0224									
0,121101									
0,613259									

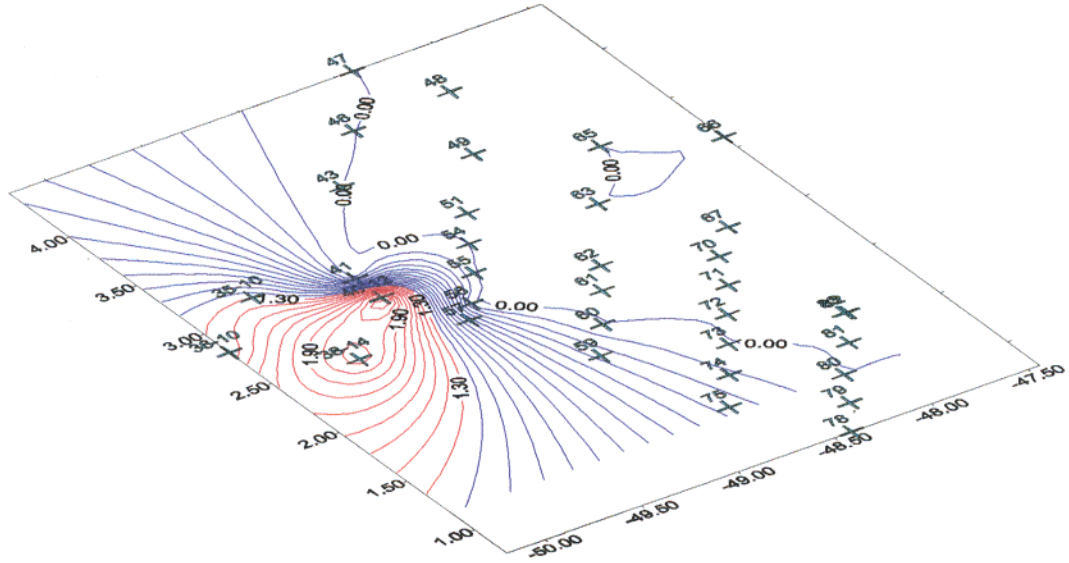


Distribuição horizontal de caulinita (profundidades entre 6 e 12 metros)

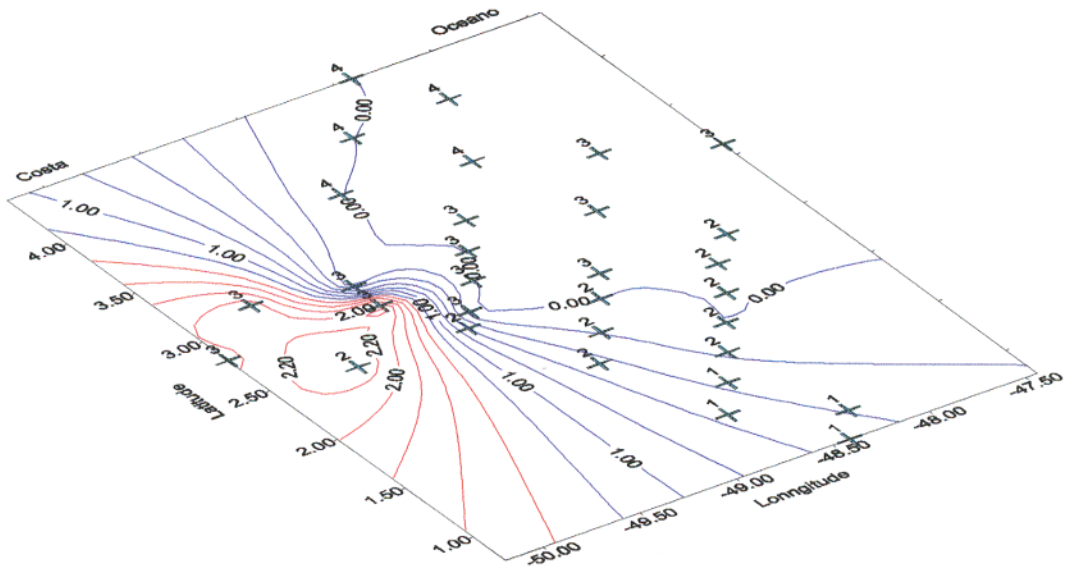


Distribuição horizontal de matéria orgânica (profundidade entre 7 e 14 m)

Figura 4.19 Isolinhas exibindo a variação horizontal do conteúdo de matéria orgânica e a distribuição de caulinita ao longo das estações de coleta.



Distribuição horizontal de clorita (profundidades ente 6 e 14 m)



Distribuição horizontal de matéria orgânica (profundidade entre 7 e 14 m)

Figura 4.20 Isolinhas exibindo a variação horizontal do conteúdo de matéria orgânica e a distribuição de clorita ao longo das estações de coleta. Teores máximo indicados por linhas em vermelho e teores mínimos por linhas em azul.

5 CONCLUSÕES

- Observa-se que as maiores concentrações de material em suspensão (maior concentração de 2300 mg/L) estão em pontos próximos à costa em pontos como as estações 36, 38 e 78; e tendem a zero "offshore";
- A diminuição da concentração em material em suspensão é inversamente proporcional a salinidade horizontalmente distribuída. A distribuição vertical do material em suspensão apresenta-se ligado a fatores como a resuspensão e mistura vertical;
- A identificação do particulado em suspensão mostra que este é formado principalmente de componentes inorgânicos, como os argilominerais;
- Entre os argilominerais identificados caulinita e illita apresentam-se como dominantes e clorita e esmectita alternam-se apresentando-se ora como mineral subordinado e ora como mineral traço;
- Os percentuais de argilominerais calculados por estequiometria confirmam os registros oriundos da difração de raios-X exibindo como argilominerais dominantes a caulinita (máximo em 51,19%, associada aos altos teores de alumínio, e illita (máximo em 42,42%) teor relacionado com valores mais elevados de potássio, confirmando ainda a tendência na alternância de clorita (mínimo em 1,32% e máximo em 3,34%) e esmectita (mínimo de 1,63% e máximo de 11,26%) como mineral subordinado e mineral traço;
- Nos pontos costeiros observa-se a ampla dominância dos argilominerais caulinita e illita, havendo uma tendência a "offshore" de domínio de illita, a esmectita é outro argilomineral que tende a aumentar com a distância da costa. Tais variações são devidas a processos de floculação e assentamento diferenciado;
- As observações referentes a matéria orgânica indicam tratar-se de material húmico originário das lixiviações e drenagens de solos amazônicos típicos; através de análise por infravermelho é possível identificar bandas relativas a grupos metileno, hidrocarbonetos e/ ou carbonila ou carboxila;
- O teor de matéria orgânica mostra-se sempre a baixo de 3,6% e os teores de carbono orgânico elementar (variando de 1,27% a 2,05%) com os de nitrogênio orgânico elementar (0,03% a 0,13%) produzem índices da relação C/N elevados

característicos de material que provem de produtos de decomposição de celulose de origem vegetal;

- Os elementos traços exibem variações que estão possivelmente associadas a adsorção destes com a matéria orgânica e nos casos em que há correlação negativa entre estes pode estar ocorrendo a remobilização destes devido a fatores locais. Ou ainda, os elementos traços que exibem correlações negativas podem ter estado anteriormente adsorvidos aos argilominerais e devido a processos locais como a mistura de massa d'água serem liberados para o ambiente;
- O teor de fósforo particulado serviu como elemento limitante para identificação das zonas de distribuição de material de diferentes origens. Determinou-se a existência de três zonas de tipos diferentes de material, cada uma associada a um tipo de origem. Uma de material de origem predominantemente terrígena, outra de transição de material e uma última de origem predominantemente biogênica oceânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMINOT, A & CHAUSSEPIED, A . 1983. **Manual des analyses chimiques en milieu marin.** 395 p.
- APHA, AWWA, WPCF.1976. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington. D.C. American Public Health Association. 1193p.
- ARAUJO, J. F. V et al., 1976. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAM BRASIL **Folha SB 20. Purus.** Rio de Janeiro, DNPM. p. 17-128. (Levantamento de Recursos Naturais, 10).
- ASMUS, H. F. & PORTO, R. 1972. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: CONG. BRAS. GEOL, 26., Belém, 1972. **Anais.** Belém, SBG. v.2, p. 67-90.
- ASTON, S. R. 1979. Estuarine Chemistry . In: RILEY, J.P. & CHESTER, R. (eds). **Chemical Oceanography.** Academic Press. v. 7. p. 362-400.
- BENNETT, H & REED, R. H. 1971. **Chemical Methods of Silicate Analysis.** Oxford, Pergamon Press.
- BERNER, E. K & BERNER, R .A. 1987. **Global water cycle: geochemistry and environment.** Prentice Hall.
- BERNER, E. K & BERNER, R .A. 1996. **Global environment: water, air and geochemical cycles.** Prentice Hall.
- BERNER, R. A. & RAIIO, J. L. 1994. Phosphorus in sediments of the Amazon river and estuary: Implication for the global flux of phosphorus to the sea. **Geochim. Cosmochi. Acta**, 58: 2333-2339.
- BERNHARD, M. et al. 1986. **The importance of chemical "speciation" in the environmental process.** Berlin, Springer – Verlag. 762p.
- BOLIN, B & COOK, R. 1983. **The interconnections of biogeochemical cycles.** New York, J. Wiley & Sons. p. 365-383.
- BREARDSLEY, R. C. et al. 1995. The M₂ tides on the Amazon shelf. **Journ. of Geoph. Res.**, 100 (C2): 2377-2390.

- BROWN, G. 1972. **The X-ray identification and crystal structures clay minerals mineralogical**. London, Society Clay mineralogical. London, Society Clay Mineral Groups. 544p.
- BRUNO, G. L.G. 1987. **Argilocinese no Cone do Amazonas. Bacia da Foz do Amazonas**. Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. 103p. Tese (Mestrado em Geologia). Escola de Minas, UFOP, 1987.
- CANDELA, J. et al., 1992. Separation of tidal and subtidal current in ship-mounted acoustic doppler current profiler observations. **Journ. of Geoph. Res.**, 97 (C1): 796-788.
- CANFIELD, D. E. 1997. The geochemistry of river particulates from the continental USA: Major elements. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 61(16): 3349 – 3365.
- CHAMBLEY, H. 1989. **Clay sedimentology**. Springer – Verlag. 623p.
- CHESTER, R. 1982. Particulate aluminium fluxes in the eastern Atlantic. **Mar. Chem.** 11. 1-16.
- CHESTER, R. 1990. **Marine geochemistry**. London: Unwin Hyman. 698p.
- DAVIS, R. A. 1977. **Principles of oceanography**. London, Addison-Wesley. Public.
- DEGENS, E. T.; KEMPE, S.; RICHEY, J. E. 1991. **Biogeochemistry of major world rivers**. J. Wiley & Sons, SCOPE, ICSU, UNNEP. 356p.
- DEMASTER, D.J.; KNAPP, G. B; NITTROUER, C. A. 1983. Biological uptake and acumulation of silica on the Amazon Continental Shelf. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 47:1713 – 1723.
- DEVOL, A. H. & HEDGES, J. I. The bigeochemistry of Amazon river mainstem. In: McCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E.; (eds). **The biogeochemistry of the Amazon basin**. New York, Oxford University Press. (no prelo).
- DREVER, J. I. 1988. **The geochemistry of natural waters**. 2 ed. N. Jersey, Prentice Hill. 437p .
- DURY, G. 1995. The Amazon River In. The Groelier Multimedia Encyclopedia. CD-ROM.
- ESTEVEES. F. A. 1988. **Fundamentos de liminologia**. Rio de janeiro, Interciência, FINEP. 575p.

- FARIA JR, L. E. C.; VITAL, H.; TORRES, A. M.; SILVA, M. S. da.; SOUTO, F. A. F.; COSTA, J. A. 1992. Estudo sedimentológico e mineralógico da Plataforma Continental do Amazonas – Projeto MAR 3.1 (JOPS' 90/91). In: INTERN. SYMP. ON THE QUATERNARY OF AMAZONIA. Manaus Brasil. Resumos. p. 75-77.
- FERNANDES, H. M.; AZEVEDO, H. L. P.; BARCELLOS NETO, C. C. 1987. Investigação da poluição do Arroio Pavuna, Rio de Janeiro, por metais pesados, através do uso do sedimento como parâmetro geoquímico. In: CONG. BRAS. GEOQUIM., 1. Porto Alegre. **Anais. SBGQ.** v. 2; p. 171-183.
- FERREIRA DA COSTA, R. et al., 1998. Viabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta. Amaz.** 28(4): 395-408.
- FORSTNER, U & WITTMANN, G. T. W. 1983. **Metal pollution in the aquatic environment.** 2 ed. Berlin, Heidelberg. Springer – Verlag. 486p.
- FRANCISCONI, O. ; COSTA, N.P. de A. ; COUTINHO, M. G. de N.; VICALVI, M. A. 1974. Geologia costeira da plataforma Continental Brasileira. In: CONG. BRAS. GEO. 28. 1974. **Anais. SBG.** v. 3; p. 305-321.
- GADSDEN, J. A. 1975. **Infrared spectra of minerals and related inorganic compounds.** Betterworths, Chichester.
- GARRELS, R. M & MACKENZIE, F.T. 1971. **Evolution of sedimentary rocks.** Norton.
- GEYER, W. R. & KINEKE, G. G. 1995. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. **Jour. Geoph. Res.** 100 (c2): 2321-2339.
- GIBBS, R.J. . 1965. **The geochemistry of the Amazon river basin.** San Diego, University of California. 95p. Tese (Doctorate in Oceanography). 1965.
- GIBBS, R. J. . 1967. The geochemistry of the Amazon river system. Part I. The factors that control the salinity, the composition and the concentration of the suspended solids. **Geol. Soc. Amer. Bull,** 78: 1203-1232.
- GIBBS, R.J. 1970. Circulation in the Amazon River Estuary and the adjacent Atlantic Ocean. **Journal of Marine Research,** 28: 113 - 123.
- GIBBS, R.J. 1972. Water Chemistry of the Amazon River. **Geochim. Cosmochim. Acta,** 36: 1061 - 1066.

- GORINI, M. A. 1981. The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil. In: PETROBRAS: **Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. Reconhecimento global da margem continental brasileira.** Rio de Janeiro. DNPM, CPRM, DHN, CNPq (Relatório final). p. 72-90.
- GRASSHOFF, K; EHRARDT, M & KREMLING, K. 1983. **Methods of seawater analysis.** Verlag Chemie. 419p.
- GRIM, R.E. 1968. **Clay mineralogy.** 2 ed. Mcgraw-Hill. 596p.
- HEDGES, J. I. et al., 1986. Compositions and fluxes particulate organic material in the Amazon river. **Limnol. Oceanogr.** 31(4):717-738.
- HEM, J. D. 1970. **Study and interpretation of the chemical characteristic of natural waters.** Liverpool University Press. p. 36-52.
- JACKSON, M. L. ; WHITTIG, L. D.; PENNINGTON, R. P. 1950. Segregation procedure for mineralogic analysis of soils. **Proc. Soil Sci. Am.**, 14:77-81.
- JEFFERY, P. G. 1975. **Chemical methods of rock analysis.** Oxford, Pergamon Press. 522p.
- JUNK, W. J. & FURCH, K. 1984. The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationships with the biota. In: FREHERME, J. E.. 1984. **Amazon rain forest.** Oxford, Pergamon Press. 480p.
- KINEKE, G. C. et al., 1991. Distribution and characteristics of suspended sediment on the Amazon Shelf. **Oceanography**, 4: 19-24.
- KUEHL, S.A.; DeMASTER, D.J. ; NITTROUER, C.A. 1986. Nature of sediment accumulation on the Amazon. **Continental Shelf Research**, 6: 209-225.
- 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.
- LENTZ, S. J. 1995. The Amazon river plume during AMASSEDS: subtidal current variability and the importance of wind forcing. **Journ. of Geoph. Res.**, 97 (C1): 796-788.

- LISS, P. S. 1976. Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing, 4: 93-130. In: BURTON, J. B.; LISS, P. S. 1976. **Estuarine chemistry**. London. Academic Press. 299p.
- LOFTS, S & TIPPING, E. 1998. An assemblage model for craton binding by natural particulate matter. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 62: 2609-2625.
- MABESONE, M.J., **Sedimentologia**, 2ed. Recife. Editora Universal da UFPe: 475p.
- MAREL, H. Van der & BEUTELSPACHER, H. 1976. **Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures**. Amsterdam, Elsevier. 209 p.
- MARTENS, C. S; BERNER, R. A. ; ROSENFELD, J. K. Interstitial water chemistry of anox long Island Sounds sediments. 2. Nutrient, regeneration and phosphate removal. **Limnol. Oceanogr.** 23(4): 605-617.
- MARTIN, J. M. & MEYBECK, M. 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Mar. Chem.** 7: 173 – 206.
- MARTINELLI, L. A. et al., 1989. Descarga de sólidos dissolvidos totais no Rio Amazonas e seus principais tributários. **Geochi. Brasil**. 3 (2): 141-148.
- MARTINS, I. R. 1987. **Descrição de testemunhos da Plataforma Continental Sul Brasileira**. Porto Alegre. 167p. (Notas técnicas do CECO, 5).
- MARTINS , L. R. & COUTINHO. P. N. 1981. The Brazilian Continental Margin. **Earth. Sci. Rew.** , 17: 87-107.
- MAXWEEL, J.A. 1968. **Rock and mineral analysis**. New York. John Wiley.
- MEADE, R. T. et al. 1985. Storage and remobilization of sediments in the lower Amazon river of Brazil. **Science**. 228: 488-490.
- MENDES, A. C. 1994. **Estudo Sedimentológico e estratigráfico dos sedimentos holocênicos da Costa do Amapá setor entre a Ilha de Maracá e o Cabo Orange**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Tese (Mestrado em Geologia) – Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA. 247 p.
- METCALF, W.G. & STALCUP, M.C. 1967 - Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. **Journ. of Geoph. Res.**, 72 (2): 4959-4975.

- MEYBECK, M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. **Am. J. Sci.** , 282:401-450.
- MILLIMAN, J.D. 1979 - Morphology and Structure of Amazon Upper Continental Margin. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 63: 936-958.
- MILLIMAN, J. D.; SUMMERHAYES, C. P.; BARRETO, H.T. 1974. Contribuição ao estudo do material em suspensão da Plataforma Continental do Amazonas. In: CONG. BRAS. GEO., 27. São Paulo. **Anais S.B.G.** v. 3; p. 263-282.
- MIURA, K. 1972. Possibilidades petrolíferas da bacia do Acre. In: CONG. BRAS. GEO. 26, Belém. **Anais. S.B.G.** v. 3; p. 15-20.
- MÜLLER, P. J. 1977. C/N ratios in Pacific deep-sea sediments: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. **Geochim. Cosmochim. Acta.** : 765-776.
- NATIONAL RESEARCH COUCIL (NRC).1978. **Nitrates**: an environmental assesment. Washington, D. C. National Academy of Sciences. 723p.
- NITTROUER, C.A.; & DeMASTER, D.J. 1986. Sedimentary Process of The Amazon Continental Shelf: Past, Present and Future Research. **Continental Shelf Research**, 6: 5-50.
- NITTROUER, C.A.; KUEHL, S.A., DeMASTER, D.J.; KOWSMANN, R.O. 1986. The Deltic Nature of Amazon Shelf Sedimentation. **Geological Society of American Bull**: 444-458.
- NITTROUER, C. A. et al. 1995. A Multidisciplinary Amazon Shelf Sedimentary Study - The River, Ocean and Research. In. Figures from Presentation from AMASSEDS session at agri fall meeting San Francisco - December, 4: 201-207.
- OLPHEN, H. Van & FRIPIAT, J. J. 1979. **Data handbook for clay minerals and other non-metallic minerals.** Oxford, Pergamon Press.
- PALMA, J. J. C. 1979. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte. In: PETROBRAS. **Geomorfologia da Margem Continental Brasileira e áreas oceânicas adjacentes.** Rio de Janeiro. CENPES/DINTEP. p. 53 – 88. (Projeto REMAC, 7).

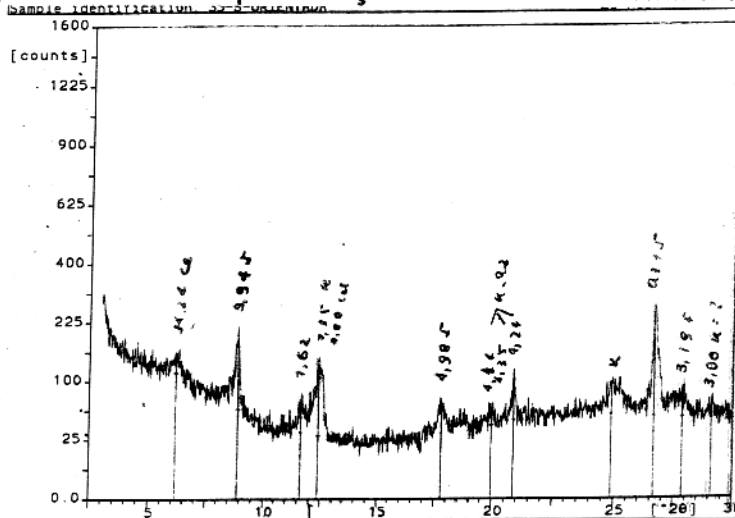
- PETROBRAS. 1979. **Coletânea de trabalhos (1974-1977): Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira**. Rio de Janeiro. DNPM, CPRM, DHN, CNPq. 392p.
- REEVES, R.D. & BROOKS, R. R. 1978. **Trace elements analysis of geological materials**. New York, John Wiley.
- RICHEY, et al., 1986. Water discharge and suspended sediment concentration in the Amazon River, 1982/1984. **Wat. Res. Resour.** 22: 756-764.
- RICHEY, et al., 1990. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnol. Oceanogr.** 35 (2): 352-371.
- SALATI, E., 1986. Climatology and hydrology of Amazônia. In: PRANCE, G. T. & LOVEJOY, G. T. (eds). **Amazônia**. 1986. Oxford, Pergamon Press. p. 267 - 276.
- SCHMIDT, G. W. 1973. Primary production of phytoplankton in the three types of amazonian waters. 3. Primary production of phytoplankton in a tropical floodplain lake of central Amazonia, Lago do Castanho, Amazonas, Brazil. **Amazoniana**. 4:379-404.
- SCHOBENHAUS, C. et al., 1984. **Geologia do Brasil**. Brasília, DNPM. 501p.
- SHOLKOVITZ, E. R. 1979. The physical and chemical processes controlling the chemical composition of suspended matter of Tay river and estuary. **Estuarine Coast. Mar. Sci.** 8: 523 -545.
- SHOLKOVITZ, E. R. & PRICE, N. B. 1980. The major-element of suspended matter in the Amazon estuary. **Geochim. Cosmochim. Acta.** 44 :163-171.
- SIOLI, H. 1957. Valores de pH de águas amazônicas. **Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi**. Série avulsa, Belém (1):27-41.
- SIOLI, H. 1967. Studies in Amazonian waters. In: SIMPÓSIO SOBRE BIOTA AMAZONICA, Rio de Janeiro, **Anais**. CNPq. v. 3; p. 461-488.
- SIOLI, H. 1968. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana** 1: 267-277.
- SIOLI, H. 1975. Tropical river- The Amazon. In: WHITTON, B. A. **Ecology**. Oxford, Blackwell. Cap. 18; p. 461-488.

- SIOLI, H & KLIGE, H. 1962. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. **Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi**. Série avulsa, Belém (4):37-41.
- SOUZA, M. F. 1993. **Distribuição espacial, sazonal e fontes de nutrientes na lagoa de Araruama-RJ**. Dissertação de Mestrado. UFF. 163p.
- STALLARD, R. F. 1980. **Major element geochemistry of the Amazon river sistem**. Woods Hole Oceanographic Institution. Massachusetts. (Doctoral Dissertation), Woods Hole Oceanographic Institution. Massachusetts. 366p.
- STALLARD, R. F & EDMOND, J. M. 1981. Geochemistry of the Amazon 1. Precipitation the dissolved load at the time of peak discharge. **Journ. of Geoph. Res.**,86: 9841-9858.
- STALLARD, R. F. & EDMOND, J. M. 1983. Geochemistry of the Amazon: 2- The influence of geology and weathering on the dissolved load. **Journ. of Geoph. Res.**, 88: 9671-9988.
- STUMM, W & MORGAN, J. J. 1981. **Aquatic Chemistry**. 2 ed. New York, Wiley-Interscience. 583p.
- THOREZ, J.1976. **Practical identification of clay minerals**. Belgic, G. Lelotte. 90 p.
- TUREKIAN, K. K. 1977. The fate of metals in the oceans. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 41 :1139-1144.
- VITAL, H. 1996. **Sedimentology of the lowermost Amazon (Rio Xingu – Macapá) and the “Estreito de Breves”- Brazil**. Kiel: Christian – Albrechts – Universitat. These (Doktorgrades). 189p.
- WANDERLEY FILHO, J. R. & COSTA, J. B. S. 1996. Contribuição a evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. In: SIMPÓSIO de GEOLOGIA da AMAZÔNIA 3. Belém. **Anais**. Belém: 244 –259.
- WEAVER, C. E. & POLLARD, L. D. 1973. **The chemistry of clay minerals**. Elsevier. 213p. (Developments in the sedimentology 15).
- ZEMBRUSCK, S.G.; BARRETO, H.T.; PALMA, J.J.C.; & MILLIMAN, J.C. 1972 - Estudo Preliminar das Províncias Geomorfológicas da Margem Continental Brasileira. In. CONG. BRAS. GEO. 26, Belém, **Anais**. S.B.G.; v. 2: p. 198-209.

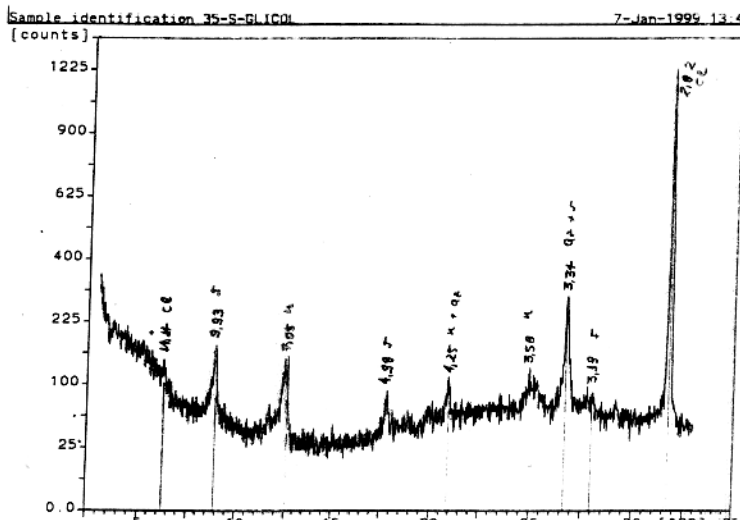
ANEXO A

Anexo A1- Difratomogramas de análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 35-S.

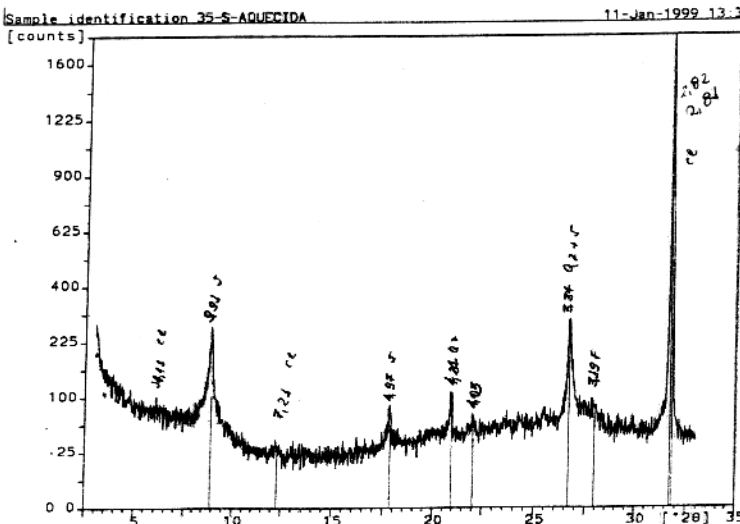
- Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



- Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

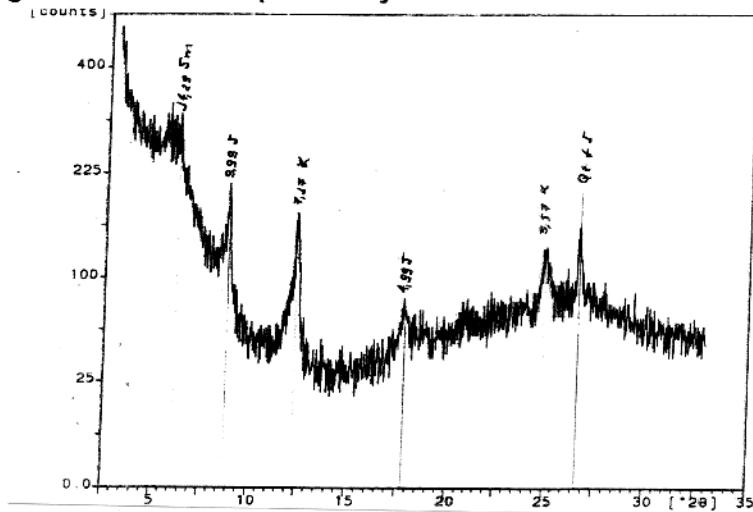


- Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

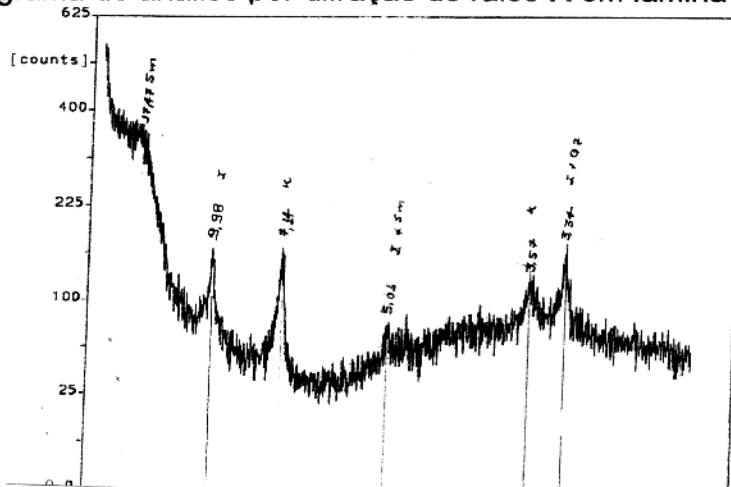


Anexo A3- Difratomogramas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 36-F

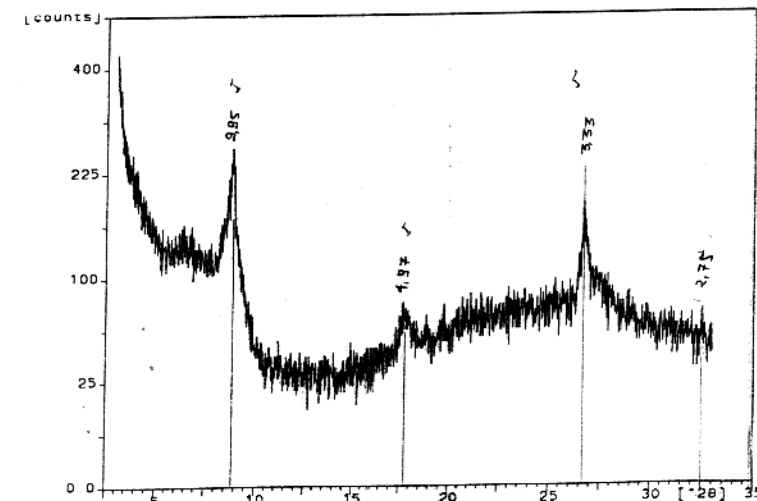
Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

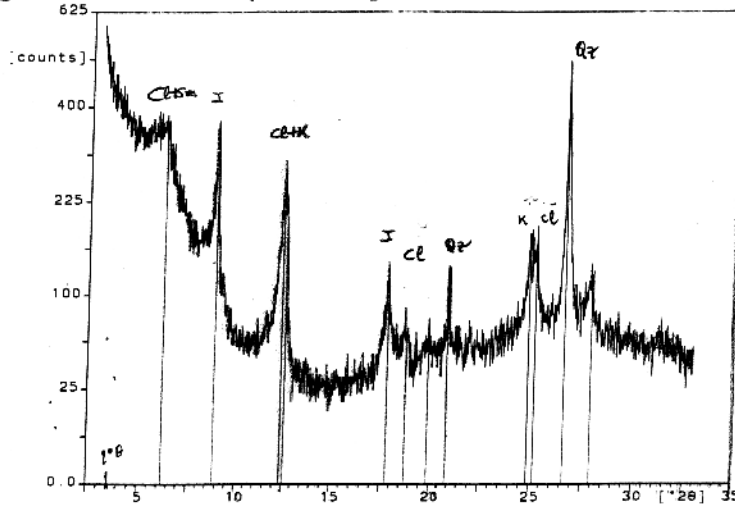


Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

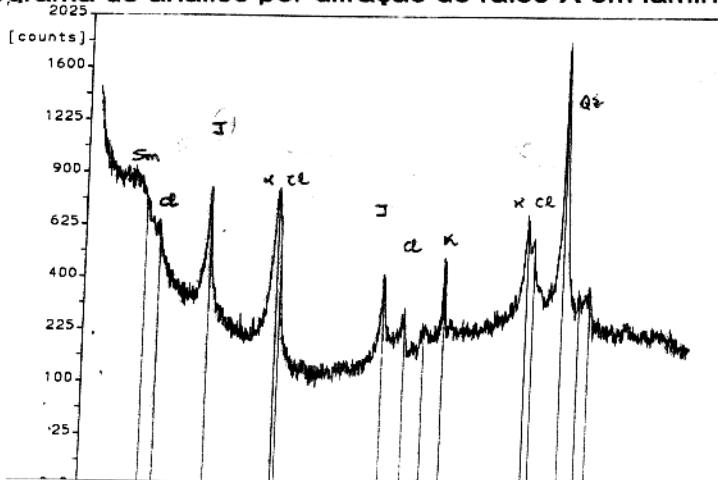


Anexo A4- Difratomogramas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 38^A-15.

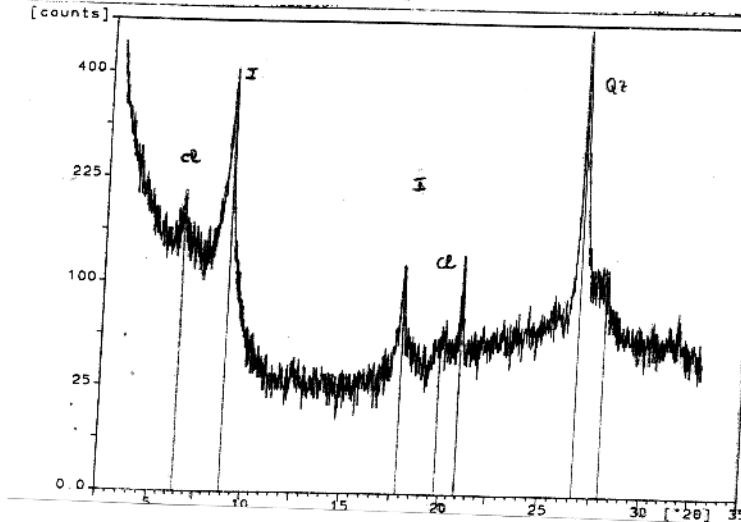
Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

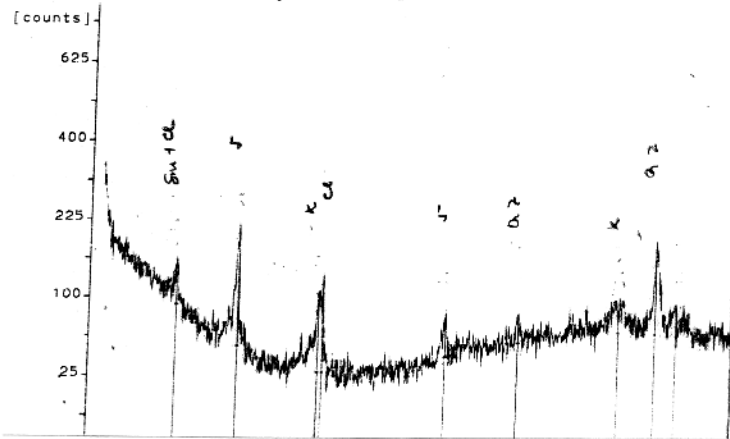


Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

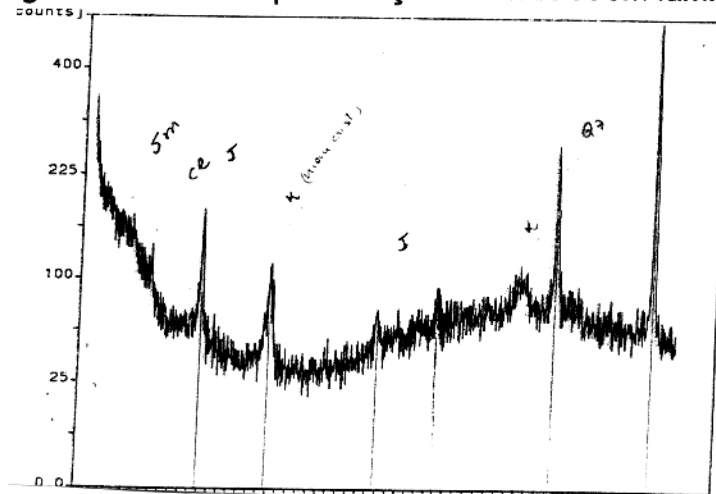


Anexo A5- Difratomogramas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 40-12.

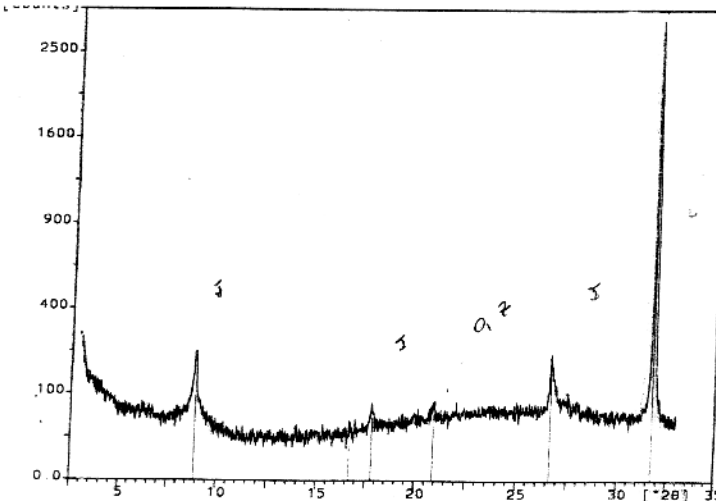
Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

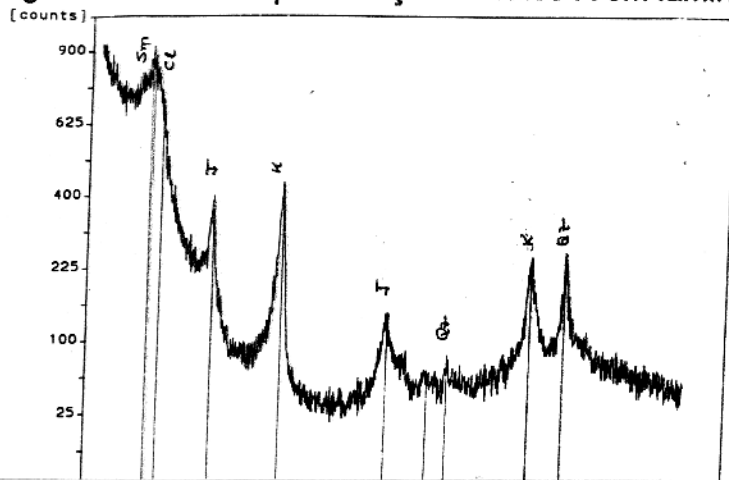


Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

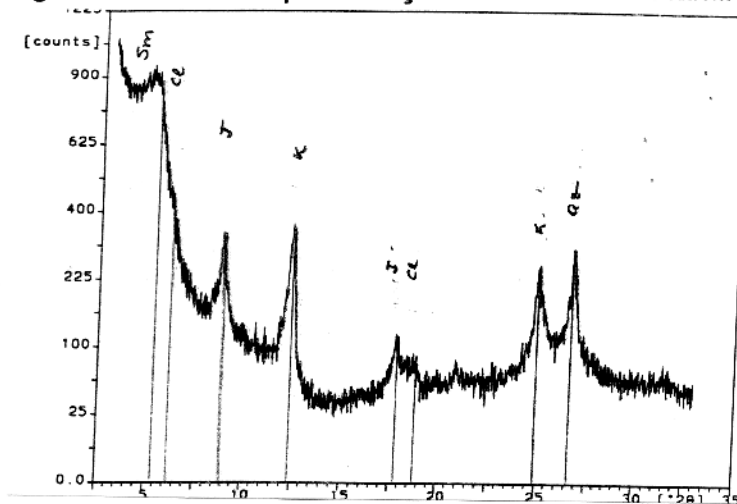


Anexo A6- Difratoformas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 40-F.

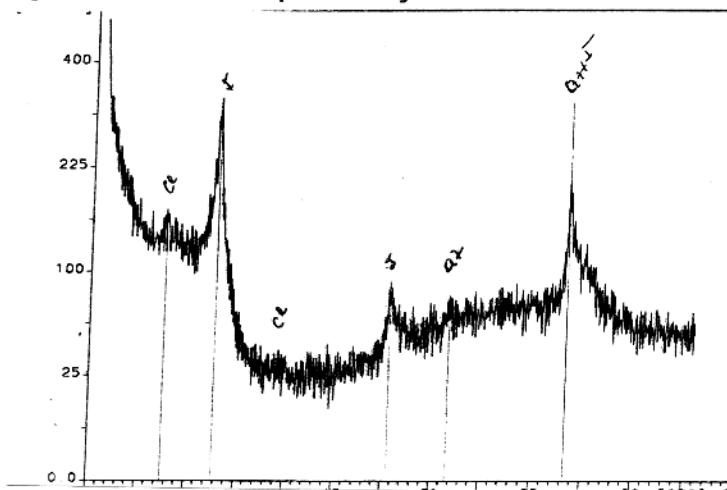
Difratoforma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difratoforma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

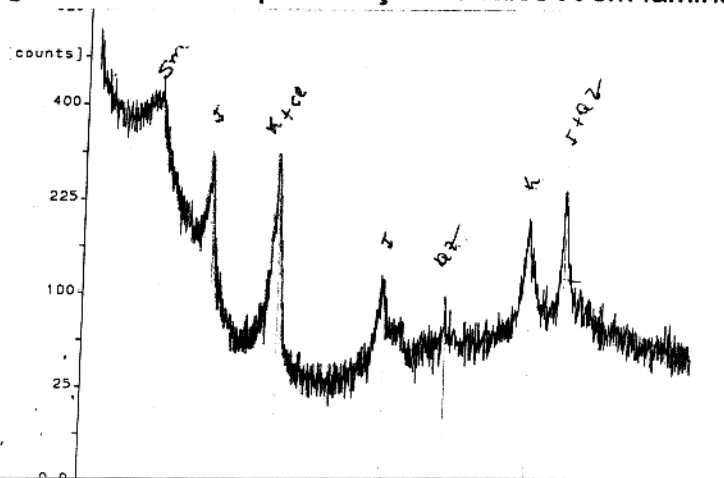


Difratoforma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

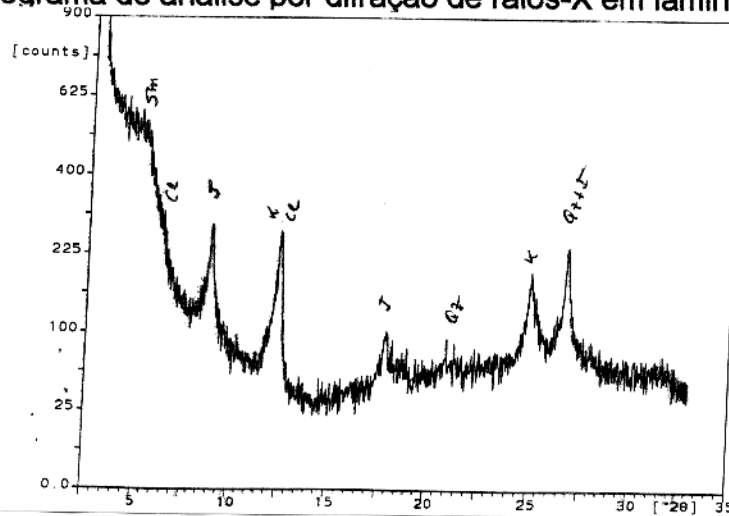


Anexo A7- Difractogramas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 75-S.

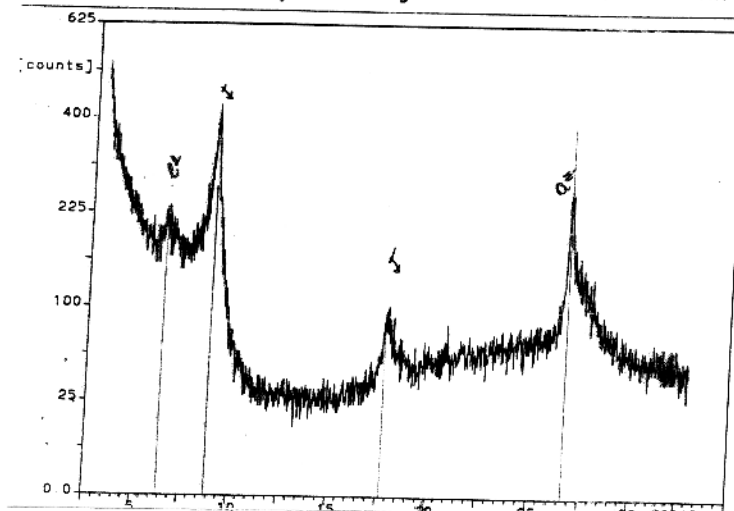
Difractograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difractograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

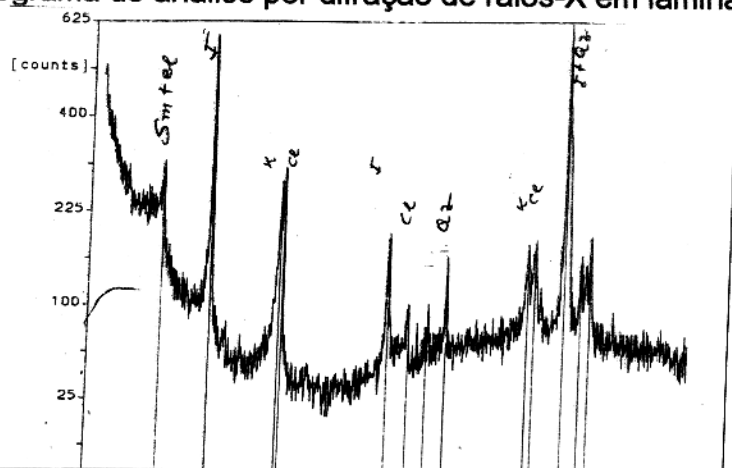


Difractograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

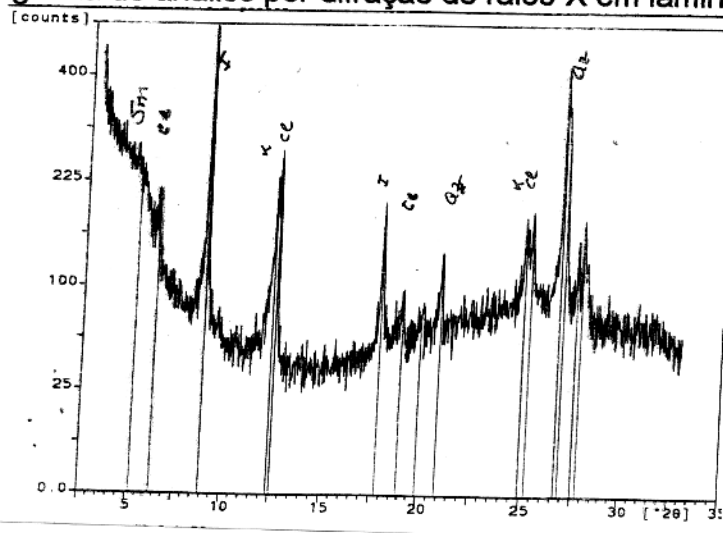


Anexo A8- Difratogramas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 78-S.

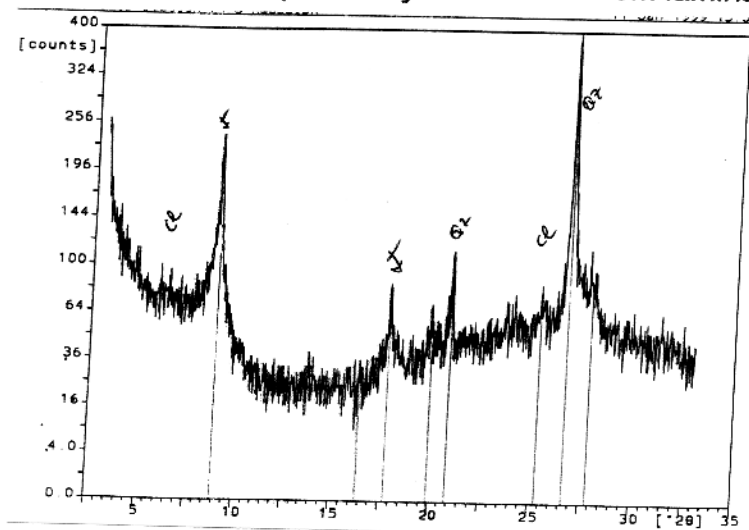
Difratograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difratograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

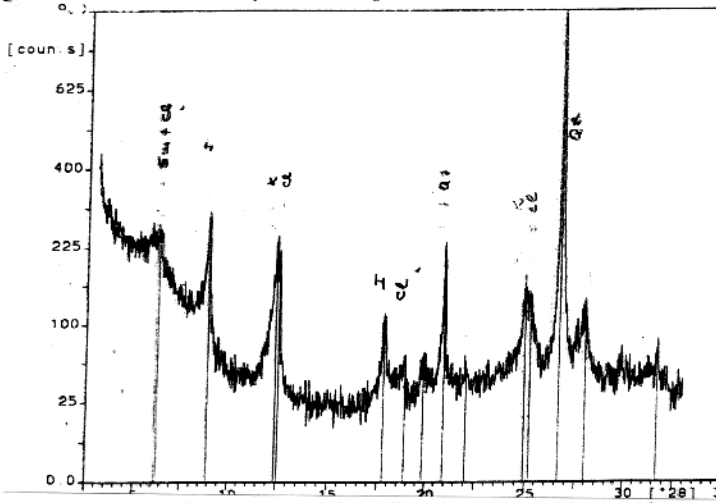


Difratograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

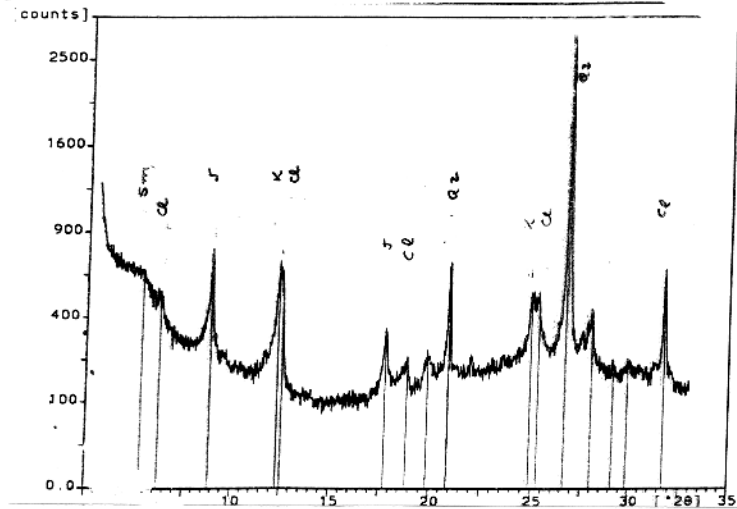


Anexo A9- Difratomogramas de Análise por difração de raios-X em lâmina orientada normal, glicol e aquecida, amostra 78^A-15.

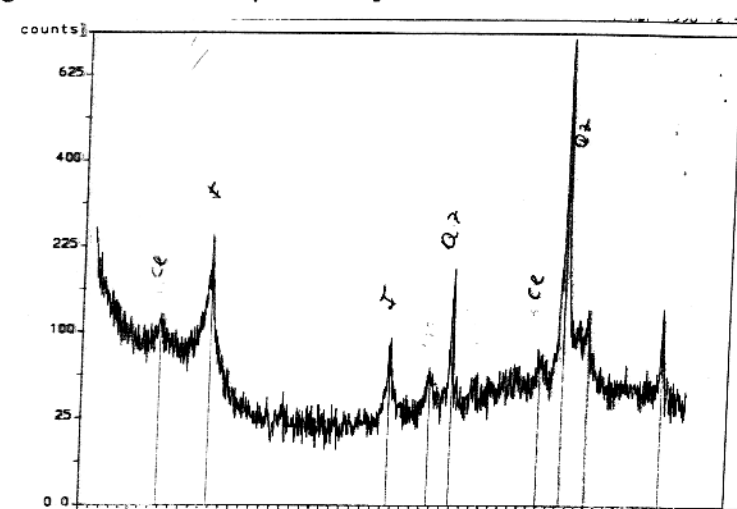
Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina orientada.



Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina glicol.

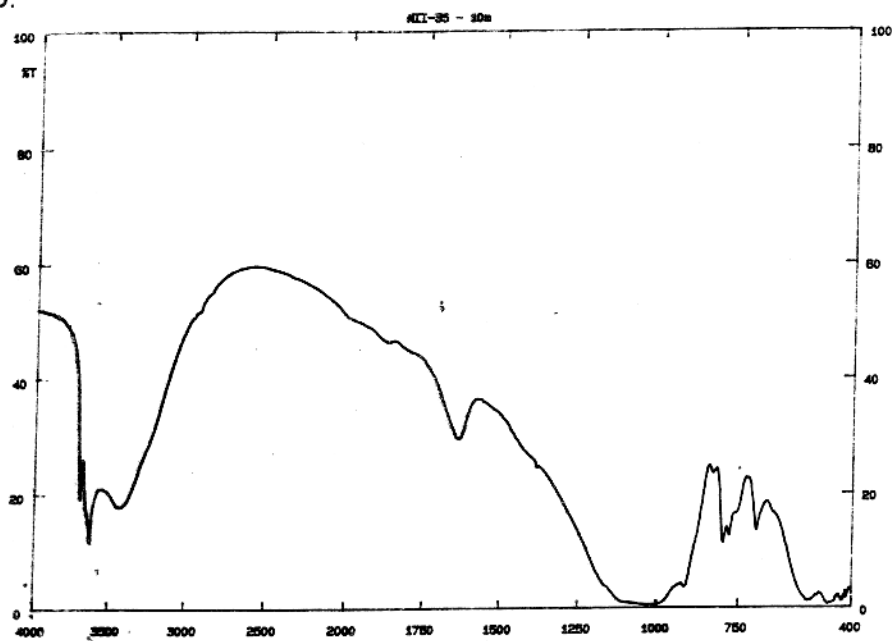


Difrátograma de análise por difração de raios-X em lâmina aquecida.

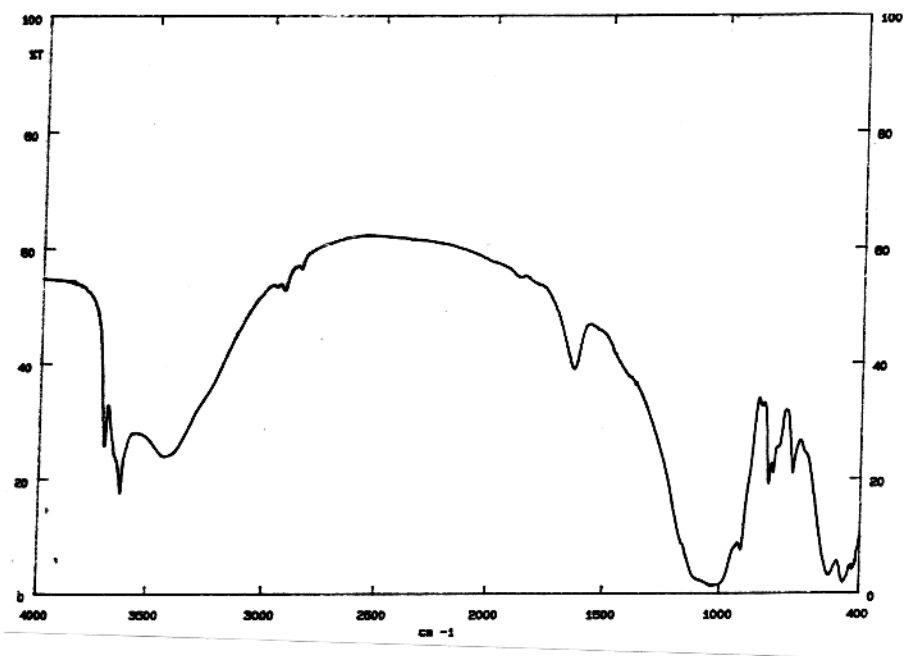


ANEXO B

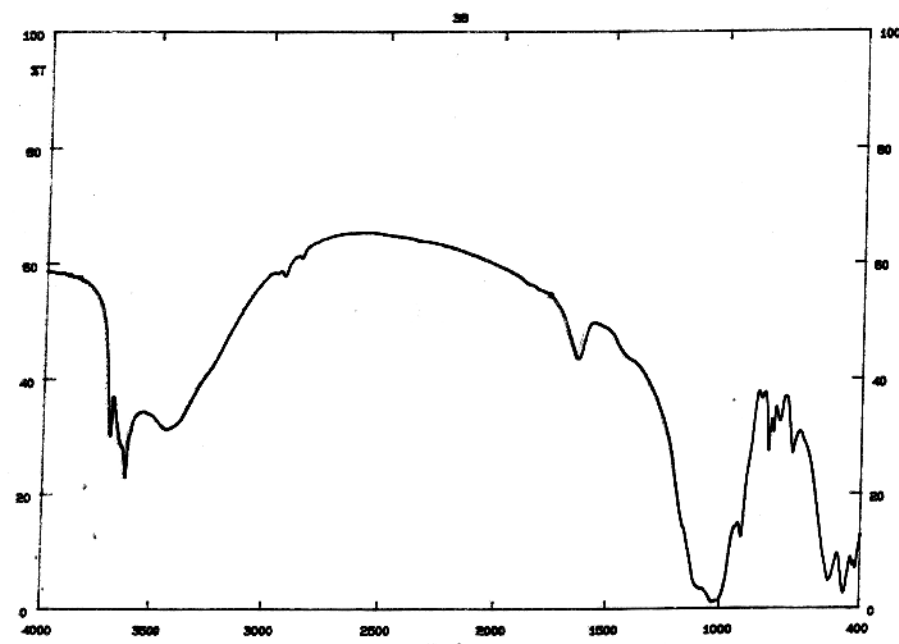
ANEXO B1- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 35-10.



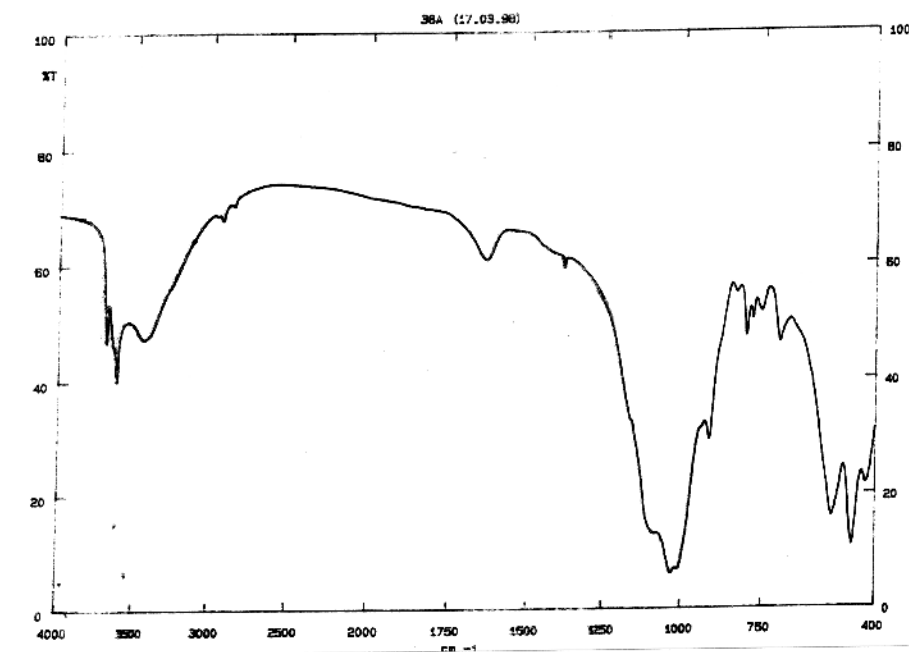
ANEXO B2- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 35-20.



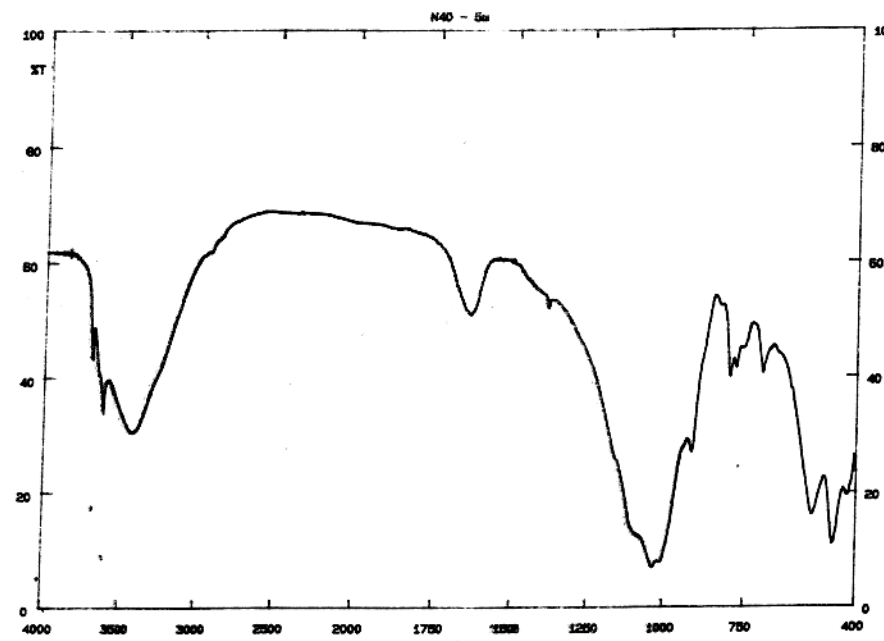
ANEXO B3- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 38^A-7.



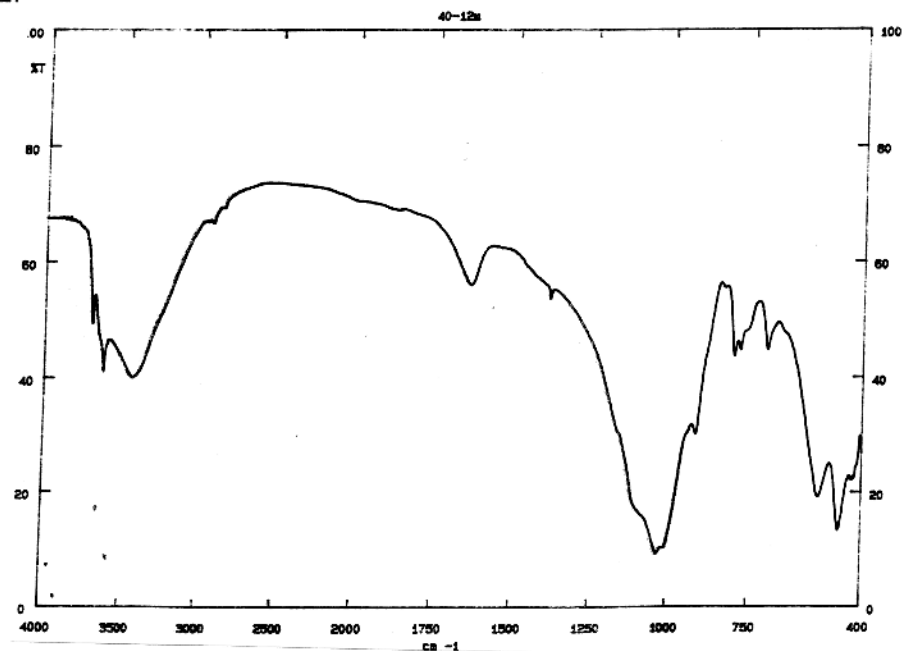
ANEXO B4- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 38^A-15.



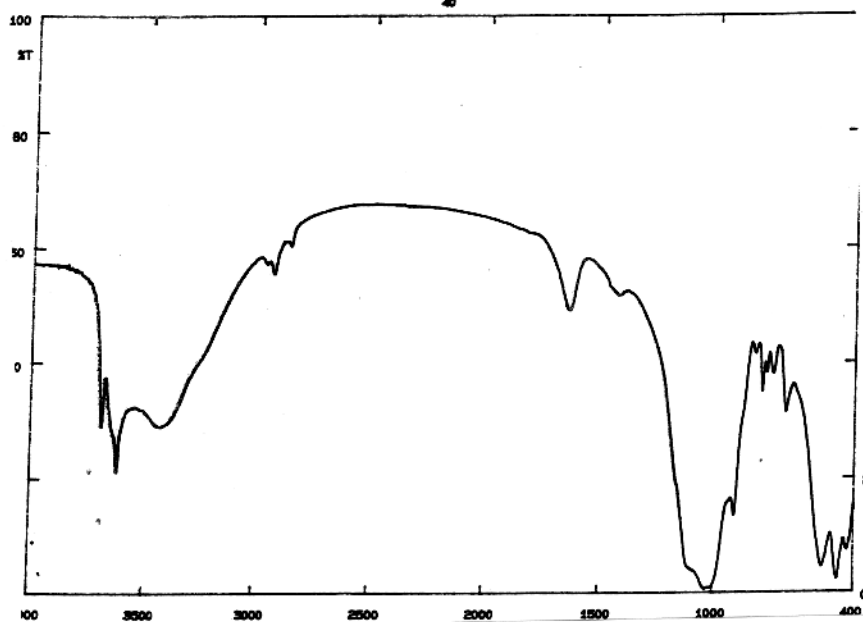
ANEXO B5- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 40-S



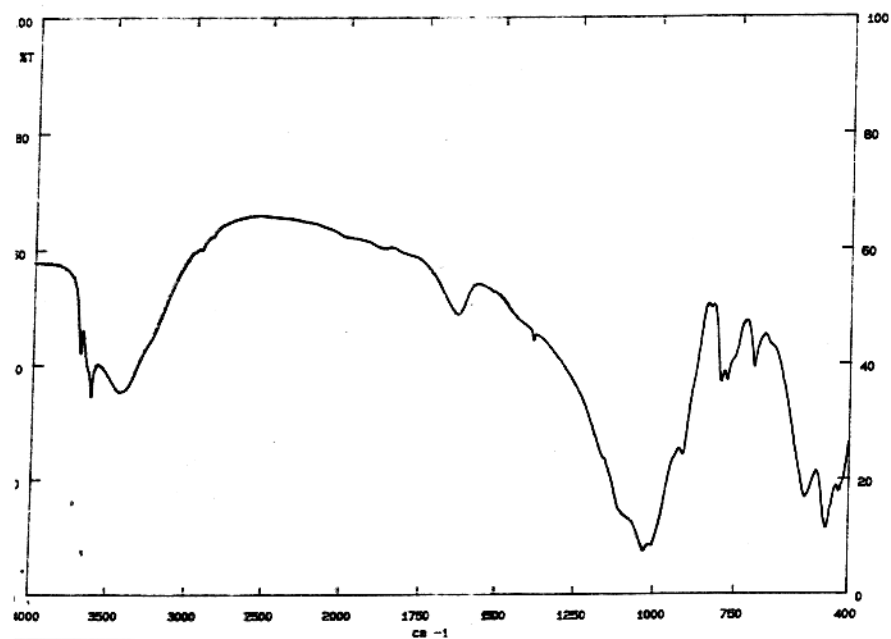
ANEXO B6- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 40-12.



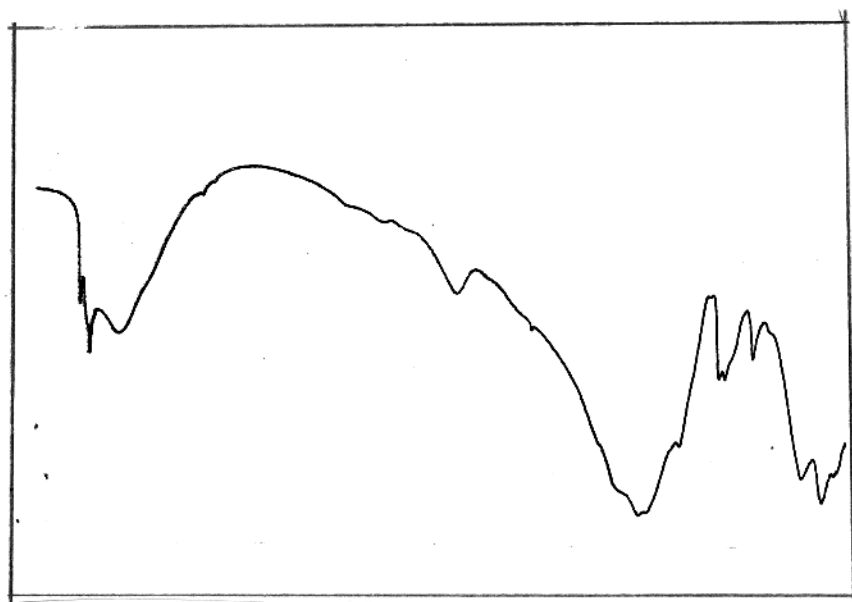
ANEXO B7- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 40-F



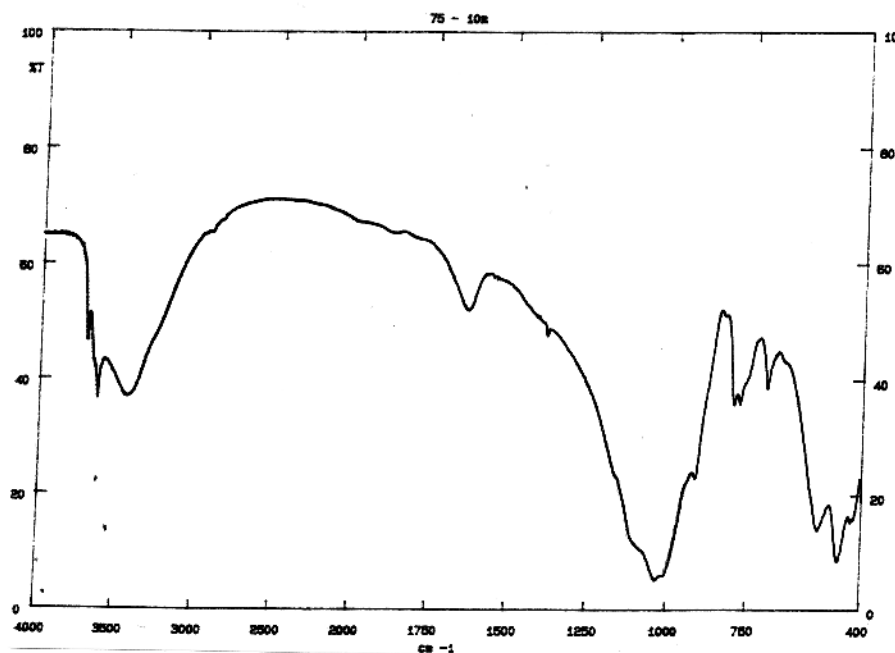
ANEXO B8- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 74-S.



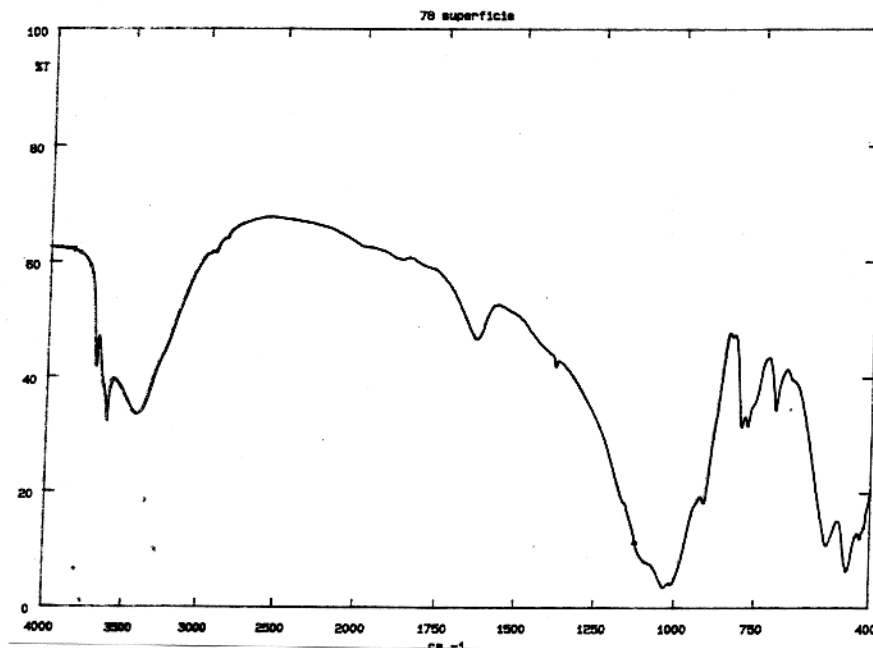
ANEXO B9- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 75-S.



ANEXO B10- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 75-10.



ANEXO B11- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 78-5.



ANEXO B12- Espectros de absorção na região do infravermelho. Prensagem em KBr.
Amostra 78-15.

