

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ESTUDO DO GEOSISTEMA DO LAGO ARARI
ILHA DE MARAJÓ # PARÁ

Tese Apresentada por

HELENICE VITAL

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

Geociências da

Universidade Federal do Pará

Aprovado: 30.12.1988

Luís Faria Jr.

Comitê de Tese

LUIS ERCILIO DO C. FARIA JR. (ORIENTADOR)

Haroldo Erwin Asmus

HAROLDO ERWIN ASMUS

Gilberto Macedo Dias

GILBERTO MACEDO DIAS

A minha mamãe, Dedê,
e ao Val.

" De longe também se ama
quem não pode amar de perto "

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho tornou-se possível graças a uma série de colaborações prestadas por pessoas e entidades, ao longo das diferentes etapas de seu desenvolvimento, às quais externamos o nosso mais sincero e profundo reconhecimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-GNPQ pelo auxílio financeiro, prestado em 1986, através do Projeto "Estudo do Geossistema do Lago Arari" e pela concessão de bolsa de estudo durante os três anos deste mestrado.

À Comissão Interministerial para Recursos do Mar-CIRM, que através de sua Secretaria - SECIRM, e sub secretaria para o PSRM, financiou a execução do projeto "Desenvolvimento de Métodos Geológicos e Geofísicos no Golfão Marajoara", no qual esta pesquisa foi inserida a partir de 1987. Cumpre acrescentar aqui o papel do Programa de Geologia e Geofísica Marinha - PGGM, pela definição das diretrizes nas pesquisas em Ciências do Mar, assessorando a SECIRM.

Ao Programa de Ensino e Pesquisa em Ciências do Mar - PROMAR da UFPA, pela acolhida desde meu início no curso de Pós-Graduação em Geociências.

Ao Prof. Luis Ercílio (PROMAR-UFPA), pela orientação conferida, além da amizade, ajuda e estímulo oferecidos durante todas as etapas deste trabalho.

Aos Profs. Gilberto Dias (UFF-RJ) e Haroldo Asmus (FURG-RS), membros da Banca Examinadora, pelas críticas e sugestões à primeira versão desta tese, que muito contribuíram para este produto final.

Ao Prof. Roberto Vizeu(PROMAR-UFPA) pelo apoio nas campanhas de campo, bem como pelas sugestões apresentadas em algumas partes do texto da tese.

Ao Prof. Charles Nittrouer da Universidade Estadual de Nova York(SUNY), pela orientação e ajuda na aplicação do método de datação Pb-210 nas amostras do Lago Arari.

Ao Prof. Werner Truckenbrot(DGL-UFPA) pelas discussões e críticas referentes aos argilos-minerais.

A direção do Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará-IDESP pela cessão das fotografias aéreas e ao Instituto Nacional de Meteorologia(2º DISME - Belém) pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos amigos de dentro e fora do PROMAR, Odete e Humberto, pelo apoio nas etapas de campo, Tereza, Aninha e Val, pelos "serões" e ajuda na arte final.

A Lillian e Cleise pelas colaborações e sugestões na geoquímica das águas e dos sedimentos de fundo do Lago arari.

Aos Profs. Waterloo(DGQ/UFPA) e Paulo Sucasas(PROMAR/UFPA) pela leitura crítica dos capítulos referentes aos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos, respectivamente.

Aos técnicos dos laboratórios de Sedimentologia, Hidroquímica, Análises Químicas e Absorção Atômica, do Centro de Geociências - UFPA, pela ajuda nos trabalhos de laboratório.

A Prof. Ruth Léa Bemerguy pela ajuda na coleta de bibliografia referente a ilha de Marajó.

Aos colegas do Centro de Pós-Graduação em Geociências, em especial aos da sala 4(Admilson, Zorano e Marília), pelo companheirismo, discussão e incentivo, de

fundamental importância para a conclusão da presente tese.

Às minhas famílias, Norte-Riograndense, que mesmo distante estava sempre presente, e Paraense, que me acolheu neste período, meus maiores incentivadores.

Finalmente, aos caboclos de Jenipapo e Santa Cruz do Arari e à própria "Civilização Marajoara", pela permissão de violar, em nome das Ciências Geológicas, seu habitat eterno, o Lago Arari.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

RESUMO	01
ABSTRACT	04
1. INTRODUÇÃO	06
1.1 Apresentação e Objetivos	06
1.2 Localização da Área e Acesso	07
2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS	10
2.1 Relevo e Hidrografia	10
2.2 Clima e Parâmetros Meteorológicos	15
2.3 Vegetação	18
2.4 Condições Sócio-Econômicas	18
2.5 Arqueologia	22
3. METODOLOGIA	24
3.1 Etapa Preliminar	24
3.2 Etapa de Campo(amostragem)	24
3.3 Etapa de Laboratório	28
3.3.1 Preparação	28
a) Sedimentos de Fundo	28
b) Sedimentos em Suspensão	29
c) Testemunhos	29
3.3.2 Quantificação da Matéria Orgânica	31
3.3.3 Quantificação do Material em Suspensão	32
3.3.4 Quantificação e Identificação dos Argilo-Minerais ...	32
3.4 Integração dos Dados e Interpretação	33

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS	35
4.1 Considerações Gerais	35
4.2 Estratigrafia	37
4.3 Evolução Tectono-Sedimentar	40
5. AS ÁGUAS DO LAGO ARARI	43
5.1 Parâmetros Físico-Químicos	43
5.1.1 Ph	45
5.1.2 Temperatura	45
5.1.3 Condutividade	47
5.1.4 Teor de Oxigênio Dissolvido	48
5.2 Material em Suspensão	49
5.3 Componentes Biológicos	51
5.4 Circulação e Mecanismos de Dispersão	53
6. SEDIMENTOLOGIA DO LAGO ARARI	61
6.1 Considerações Gerais	61
6.2 Sedimentos do Lago Arari	63
6.3 Geoquímica dos Sedimentos de Fundo	70
7. VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO NO LAGO ARARI	77
7.1 Considerações Gerais	77
7.2 A presença do Pb-210 em Sedimentos de Lagos	78
7.3 Estimativa Radioisotópica da Acumulação e Mistura de Sedimentos	81
7.4 A Taxa de Sedimentação no Lago Arari	84
8. DISCUSSÃO: A ORIGEM DO LAGO ARARI	89
9. CONCLUSÕES FINAIS	95
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 01 - Mapa de localização da ilha de Marajó e área estudada	09
Figura 02 - Bacias e sub-bacias do rio Arari.....	11
Figura 03 - Superfícies e níveis prováveis de inundação na <u>Bacia</u> do rio Arari	13
Figura 04 - Mapa de vegetação característica dos diversos ecossistemas da ilha de Marajó	19
Figura 05 - Mapa de localização do lago Arari e posicionamento das amostras coletadas	25
Figura 06 - Fotografia do amostrador "Challenger", utilizado na coleta de sedimentos	27
Figura 07 - Fotografia do testemunhador <u>Zullig</u>	27
Figura 08 - Arcabouço estrutural da região costeira e de parte da plataforma continental norte brasileira	36
Figura 09 - Esboço geológico da região da Foz do Rio Amazonas.	36
Figura 10 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas	38
Figura 11 - Mapa de localização das medições de correntes	55
Figura 12 - Gráfico de avaliação do teste Rayleigh	57
Figura 13 - Mapa de vetor médio das correntes	59
Figura 14 - Mapa interpretativo do trend regional das correntes	61
Figura 15 - Feições geomorfológicas modeladas na superfície por eventos geológicos recentes	62
Figura 16 - Difractogramas de argilo-minerais do Lago Arari ...	66
Figura 17 - Mapa de distribuição espacial dos argilo-minerais do	

Lago Arari (sedimentos de fundo)	68
Figura 18 - Gráfico de dispersão para relação Cu x Zn	75
Figura 19 - Gráfico de dispersão para relação Cu x (Cu/Zn) ...	75
Figura 20 - Gráfico de dispersão para relação Cu x Mn	76
Figura 21 - Gráfico de dispersão para relação Cu x Fe	76
Figura 22 - Série radioativa natural do U-Pb	80
Figura 23 - Caminhos através dos quais o Pb-210 é incorporado aos sedimentos do lago	80
Figura 24 - Perfis da atividade do Pb-210 no substrato do Lago Arari	86
Figura 25 - Batimetria e perfis batimétricos do Lago Arari ...	90
Figura 26 - Fotografia da imagem de radar mostrando os cordões litorâneos, paleocanais e lagos relíquias na área circunvizinha ao Lago Arari	92

TABELAS

Tabela 01 - Dados meteorológicos para o ano de 1987. Estação Soure, Ilha de Marajó-Pa	16
Tabela 02 - Classificação dos lagos amazônicos a partir de parâmetros físico-químicos	44
Tabela 03 - Parâmetros físico-químicos do Lago Arari	44
Tabela 04 - Quantificação dos sólidos em suspensão nas águas do Lago Arari	50
Tabela 05 - Quantificação da matéria orgânica dos sedimentos de fundo	65
Tabela 06 - Concentração de Cu, Zn, Mn e Fe nas argilas do Lago Arari	71
Tabela 07 - Comparação entre as médias de Cu, Zn, Mn do Lago Arari e diversos autores	71

Tabela 08 - Comparação entre as concentrações de Cu, Zn, Mn, Fe do Lago Arari e rios reconhecidamente poluídos ...73

Tabela 09 - Matriz de correlação para os metais na fração móvel dos sedimentos de fundo do Lago Arari73

Tabela 10 - Dados da atividade do Pb-210 total em testemunhos do substrato do lago Arari88

RESUMO

O Lago Arari, localizado na região de campos naturais da Ilha de Marajó/PA, é caracterizado, principalmente, por uma extrema variação sazonal. Na época das cheias, de fevereiro a junho, alcança uma superfície aquosa em torno de 200 km², com profundidade média de 2.5 m (máxima de 4.0 m), enquanto nas estiagens fortes, setembro a dezembro, ocorre frequentemente o desaparecimento quase completo de suas águas. Objetivando o estudo de seu Geossistema, foram investigados e avaliados, durante um ciclo hidrológico anual, todo o conjunto de parâmetros que compõem o ambiente lacustre Arari.

A temperatura média anual para 1987 foi de 27,9° C e a precipitação de 2546.2 mm, máxima no mês de março (613 mm) e mínima em novembro (0.0 mm). Em consequência das elevadas taxas de precipitação, associada à temperatura, também a insolação, evaporação e umidade relativa do ar são elevadas.

Este lago pode ser considerado do tipo "águas brancas", de acordo com seus parâmetros físico-químicos: pH aproximadamente neutro (6.8 - 7.0), temperatura média de 27.8° C, condutividade entre 50 e 100 μ mhos/cm e teor de O₂ dissolvido entre 7.5 e 8.2 mg/l. O valor da concentração média do material em suspensão é muito maior no período seco (máximo de 839 mg/l) que no período chuvoso (máximo de 176 mg/l). No período das cheias, perfis ecobatimétricos registram a presença de "ecos-fantasmas" interpretados como relacionados à uma camada de argila em suspensão (floculada). A composição do fitoplâncton e zooplâncton também está relacionada às variações sazonais, com maiores concentrações no período seco. Destacam-se no fitoplâncton os grupos BACILLARIOPHYCEAE, CYANOPHYCEAE e

CHLOROPHYCEAE e no zooplâncton os filo ROTIFERA e ARTHROPODA.

O sistema de circulação do lago apresenta correntes com velocidades em torno de 30 cm/s, podendo chegar até 52 cm/s no ponto de influxo do rio Arari, com direção de entrada preferencialmente SE e NE, demonstrando que estas são fortemente influenciadas pelo regime de ventos da região. Estes arrastam as águas do lago em direção a margem oeste resultando num processo de erosão da mesma, enquanto na margem leste ocorre um assoreamento constante.

O material terrígeno pelítico é predominante em todo o Lago Arari (suspensão e sedimentos de fundo), constituindo-se basicamente de minerais argilosos, caulinita, illita e esmectita, e partículas muito diminutas de quartzo. A análise semi-quantitativa dos argilo-minerais, permitiu estabelecer nos sedimentos de fundo 3 zonas com diferentes paragêneses: (I) caulinita > esmectita >> illita (razão C/E = 1.4/1 e C/I = 2/1), (II) caulinita > illita >> esmectita (razão C/I = 1.3/1 e C/E = 2.4/1), e (III) illita > caulinita >>> esmectita (razão C/I = 1/1 e C/E = 4/1). Ainda no material argiloso de fundo, foram identificados níveis de intraconglomerados (granulometria entre 2-4 mm), formados por componentes aloquímicos, constituídos de hidróxidos de ferro cuja origem está ligada aos processos de ressecamento do leito do lago, durante o período de estiagem.

A concentração média dos elementos traços presentes nos sedimentos de fundo é bem reduzida: Cu (83 ppm), Zn (64 ppm), Mn (217 ppm) e Fe (1674 ppm). A boa correlação positiva na relação Cu x Zn e negativa nas relações Cu x Fe e Cu x Mn indicam que o Cu e Zn estão associados aos argilo-minerais e não aos óxidos de ferro e manganês, não restando dúvidas que o

efeito do enriquecimento antrópico na concentração absoluta ainda é inexpressivo neste lago.

A taxa de sedimentação para o Lago Arari, determinada através do método de datação Pb-210, é da ordem de 1.8 mm/ano e serve de apoio a tentativa de atribuir uma idade para o início do processo de formação do Lago Arari.

Considerando as características tectônicas da área é possível admitir que esta parte do Marajó encontra-se em vias de elevação desde o Pleistoceno, tendo sido substrato marinho durante este período.

Assim sendo, a evolução do Lago Arari está intimamente ligada a formação da própria ilha de Marajó, ou seja, durante o período anterior a 6000 anos B.P., a parte correspondente a esta ilha constituía região continental e, somente após a elevação do nível do mar e o consequente afogamento gradativo da drenagem que fluía para o Atlântico, ocorreu o surgimento das ilhas, "furos" e dos lagos, característicos da fisiografia atual da região Norte do Brasil.

ABSTRACT

The Arari Lake is situated in the eastern part of the Marajó Island (State of Pará) and it is characterized by extreme seasonal variation. During the wet season (February to June) its water surface reaches 200 km² with an average depth of 2.5 meters, while in the dry season (September to December) the water often disappears completely. With the aim of investigate its geosystem, the waters, sediments and their interactions were studied.

The results of the physico-chemical conditions in the Arari Lake fresh water (temperature, salinity, pH, O₂, conductivity) indicated that it is a "white water lake". No thermal or chemical stratification was detected in the lake; apparently the shallow depth together with intense wind mixing produces an essentially homogeneous water mass. The concentration of suspended material is highest in summer, and "ghost echoes" produced by these layers of fluid mud are often observed. The composition of fitoplancton and zooplancton are influenced by seasonal regimes too, with the highest concentrations in the wet season. Current systems, with velocities up to 52 cm/s are controlled largely by the prevailing strong northeasterly winds.

Suspended and bottom sediment samples were collected for mineralogical and geochemical studies. X-ray analysis revealed the presence of kaolinite, illite and smectite as the clay materials dominant in the lake. Semi-quantitative analysis of their abundance allowed a spatial distribution of clay minerals on the bottom lake. Although the bottom lake is muddy, levels of allochemical components were recognized with the form

of sub-rounded grains (size 2-4 mm) and are constituted of iron hydroxides, which represent interconglomerates or pseudo conglomerates in the mud. The trace elements identified (Cu, Zn, Mn and Fe) in very low concentrations indicate the unpolluted nature of the region by trace metals.

The high accumulation rates (1.8 mm per year), calculated from the decrease of excess Pb-210 activity in the region of the lakebed, and preserved geomorphic features around Arari Lake, seen in radar images, leads to the hypothesis that it is a remnant of a much larger lake.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação e Objetivos

As principais pesquisas realizadas até recentemente na ilha de Marajó objetivaram, independente dos métodos empregados (hidrogeológicos, geoquímicos ou geofísicos), a avaliação de recursos de água subterrânea desta ilha. Esses estudos concentraram-se, em sua maioria, na região dos campos naturais, na parte oriental da ilha, principalmente ao longo do rio Arari.

Com a criação e implantação do PROMAR (Faria Jr., 1986), a Linha de Pesquisa em geologia e geofísica marinha, do Centro de Geociências da UFPA, vem se desenvolvendo e executando preferencialmente estudos sobre os estuários que estão inseridos na região do Golfão Marajoara. O Lago Arari, implantado na ilha de Marajó, faz parte da evolução deste Golfão, sendo também objeto de investigação científica do PROMAR, particularmente no que se refere as variações que operam no seu geossistema. A pesquisa aqui apresentada visa estabelecer um modelo para este ambiente sedimentar, nas condições em que ele se encontra, e suas interações com o Sistema Oceano/Estuário que o circunda.

O geossistema de um lago abrange, além da sua massa líquida, os materiais sólidos em suspensão e sedimentados no seu leito (Lerman, 1978). Assim, foram investigados e avaliados, durante um ciclo hidrológico anual, os parâmetros físicos e químicos que compõem o Lago Arari: O volume das águas nele contido e as respectivas variações sazonais; as propriedades físicas e químicas das águas; a quantidade de

sólidos em suspensão e sua respectiva composição mineralógica; o sistema de circulação horizontal e vertical das águas no lago. Importantes neste estudo foram, ainda, a determinação do relevo do fundo, os tipos de sedimentos depositados, suas propriedades texturais e mineralógicas, bem como sua distribuição espacial.

Investigações especiais foram realizadas nos sedimentos de fundo, como a determinação dos elementos traços para fins ambientais, e sobre a atividade de radioisótopos (Pb-210), objetivando estabelecer as taxas de sedimentação e a datação das sequências sedimentares do subfundo do Lago Arari.

1.2. Localização da Área e Acesso

Situado na região de campos naturais, na parte oriental da ilha de Marajó, e abrangendo uma superfície aquosa de aproximadamente 200 km², em águas altas, o Lago Arari está localizado mais precisamente na folha SA-22-X-B (Soure), sendo delimitado pelas coordenadas geográficas: 49°06' a 49°10' de longitude oeste, e 0°35' a 0°46' de latitude sul. Santa Cruz do Arari é o núcleo urbano mais importante, encontrada na margem ocidental, e mais a sul, onde nasce o rio Arari, situa-se a Vila de Jenipapo, ambas com uma população em torno de seis mil habitantes.

O transporte fluvial para o Marajó tem uma importância relevante, no que diz respeito as suas ligações com Belém e com os diversos pontos do Golfão Marajoara. O Lago Arari é ligado a Baía do Marajó através do rio homônimo, particularmente uma importante via de transporte por ser navegável durante quase todo o ano, sendo que no verão, as embarcações de médio e grande porte navegam somente em condições

de maré alta. Para norte, o rio Jenipapocú é o mais importante, fazendo a conexão com a região costeira e o próprio oceano Atlântico, através do canal das Tartarugas(fig. 01). O acesso por via aérea está restrito a taxi-áereo devido não existirem linhas regulares de aviação comercial para a ilha. Do ponto de vista terrestre interno, as rodovias são precárias e praticamente inexistentes, sendo mais utilizadas na época das secas(setembro a dezembro), quando parte do leito do Lago Arari inclusive é usado como rodovia e/ou campo de aviação.

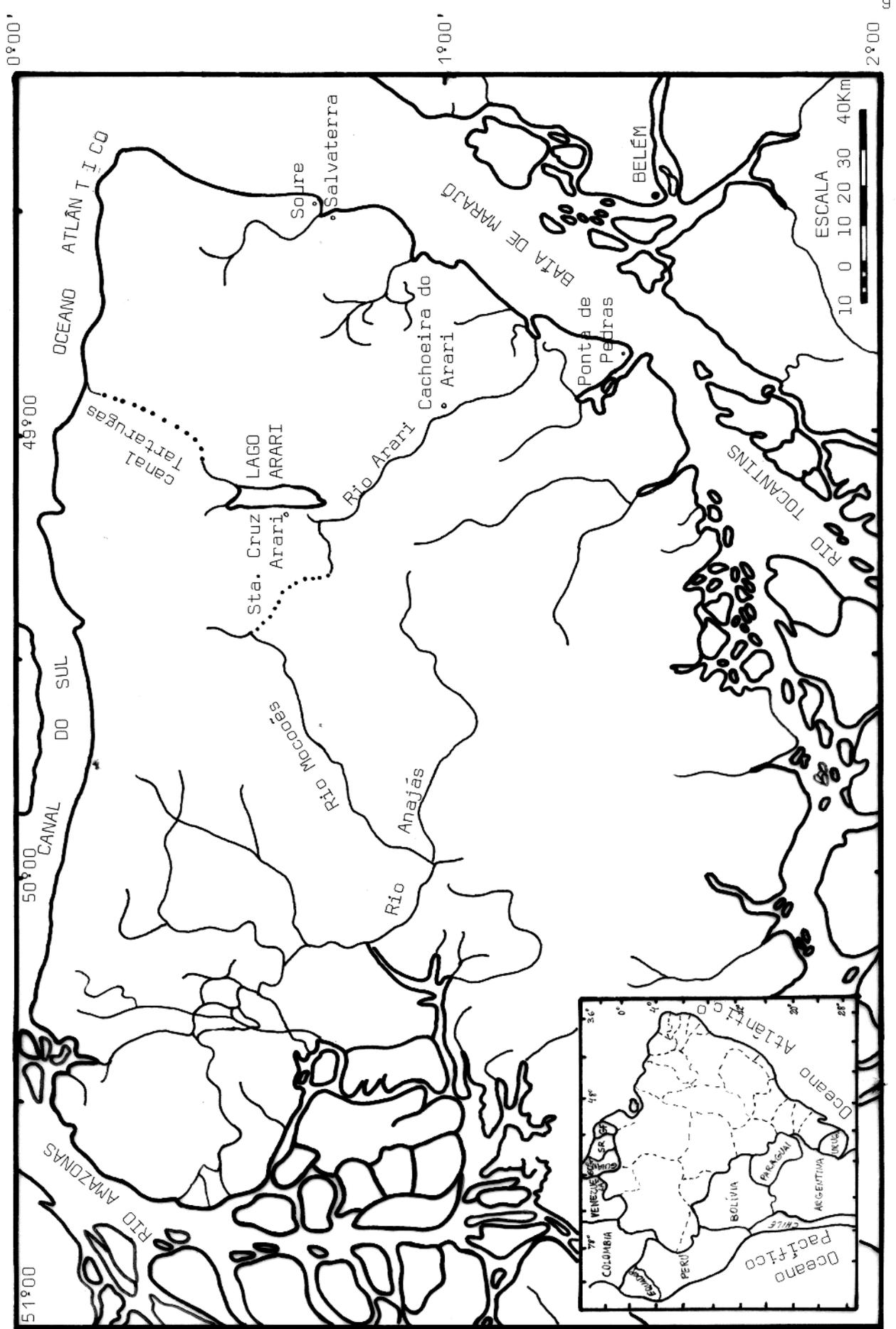


FIGURA 01 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA - ILHA DE MARAJÓ/PA
(FONTE: OEA, 1974)

2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

2.1. Relevo e Hidrografia

A topografia da ilha além de baixa é notavelmente plana. Apenas os "tesos" (vide item 2.5) quebra a extrema horizontabilidade do terreno, constituindo-se nas porções de terra mais altas, geralmente não inundadas durante as cheias. Não são observadas altitudes com cotas superiores a 15 metros. Para o interior, o relevo declina lentamente, até ser coberto pelas águas fluviais. Na realidade, ainda não foi feito nenhum mapeamento topográfico, documento indispensável para definir o relevo. Nos mapas existentes, feitos geralmente com base em mosaicos semicontrolados de radar, não há suficiente informação altimétrica (OEA, 1974).

Em termos de solos, o Marajó apresenta em sua maior extensão dois grandes grupos: o de terras altas, bem drenados, e o de planícies baixas, hidromórficos. Nas terras altas acham-se as associações com a presença de latossolos amarelos, areias quartzosas vermelho-amareladas e alguns podzols, estando a área coberta principalmente pela mata tropical. As planícies baixas, onde a vegetação é de savana e de campo limpo, tem associações de lateritas hidromórficas com suas diferentes fases. Além destes, ocorrem solos salinos predominantemente na costa norte e extremo-oriental da ilha.

A rede hidrográfica interna do Marajó é pouco densa e encontra-se muito influenciada pela topografia plana e pelo efeito de marés. A Bacia do rio Arari é a mais importante do ponto de vista sócio-econômico e com maior número de informações hidrológicas (fig. 02).

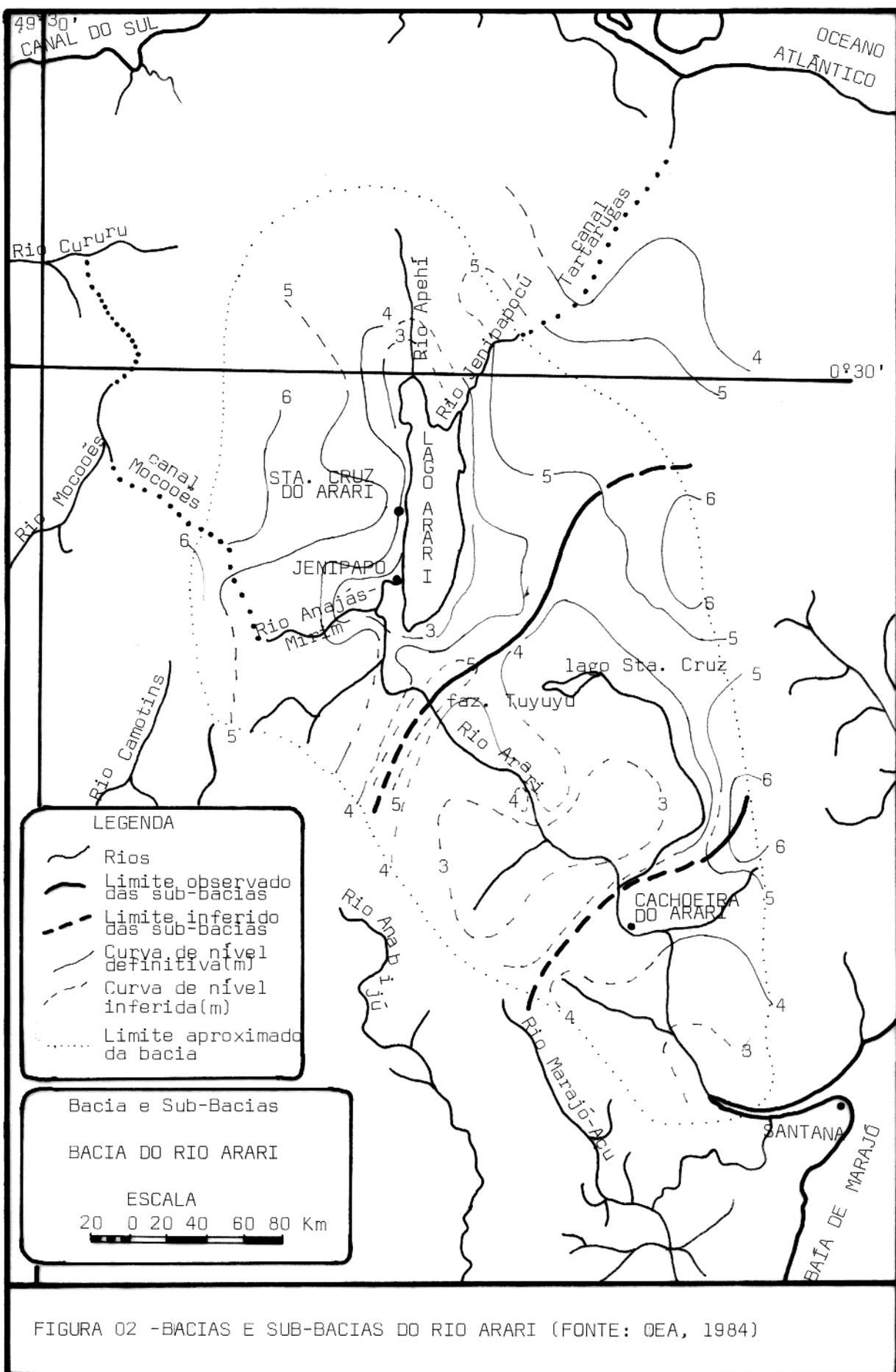


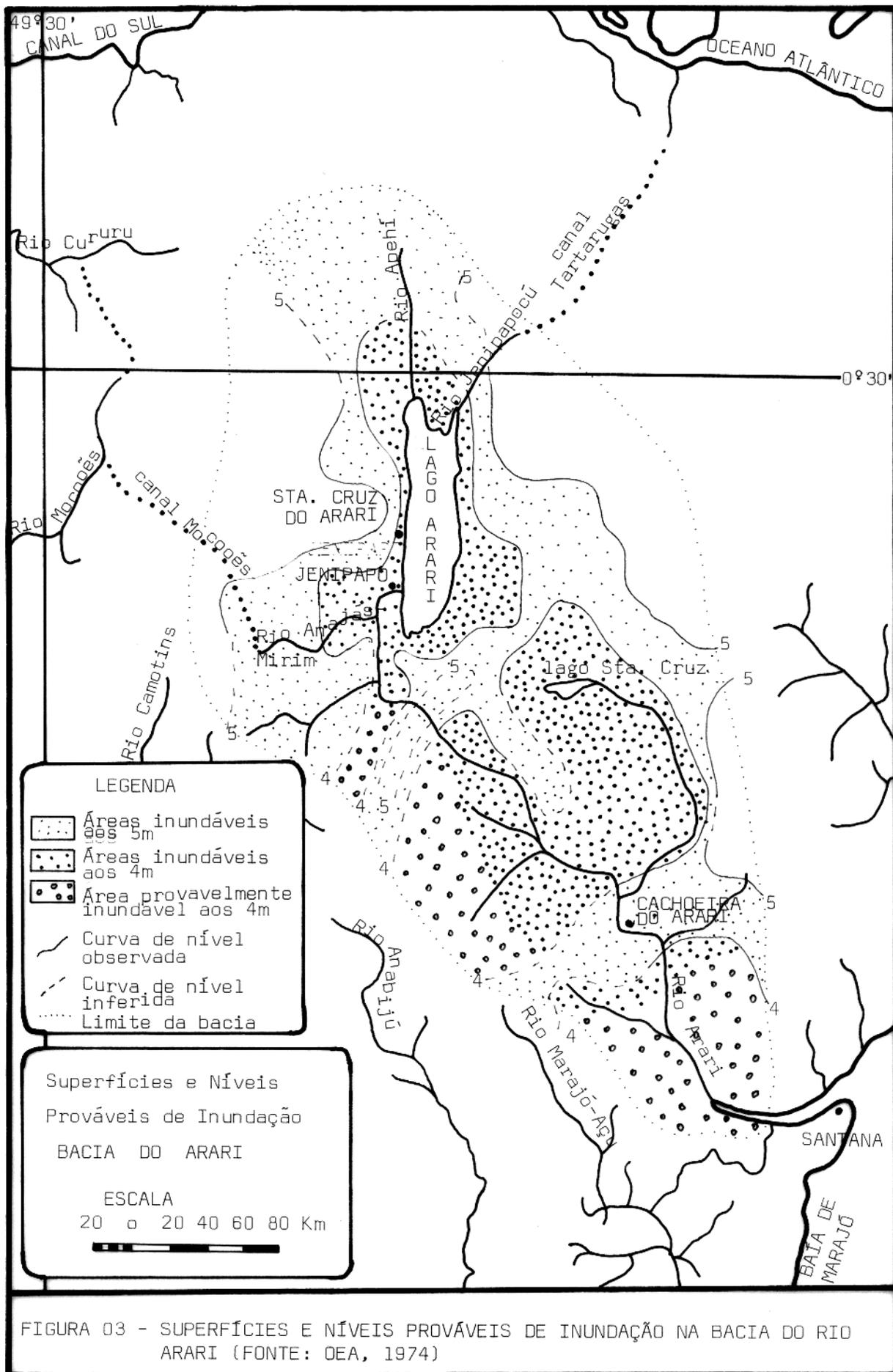
FIGURA 02 -BACIAS E SUB-BACIAS DO RIO ARARI (FONTE: OEA, 1984)

Os recursos hídricos da ilha são derivados principalmente das precipitações pluviométricas e, em menor grau, das marés provenientes do oceano Atlântico, do rio Amazonas e da Baía do Marajó (fig. 01). Esses recursos provocam repetidas enchentes anuais, resultado da combinação de uma topografia inexpressiva (que está associada a um sistema fluvial insuficientemente desenvolvido) e da baixa permeabilidade do solo, as quais são agravadas pela elevada precipitação no período fevereiro/abril.

A medida que as chuvas diminuem (depois de maio) e a enchente recua, quantidades consideráveis de água são ainda retidas nos lagos e depressões, dentre as quais a maior é o Lago Arari, que chega a sofrer uma redução de 60% em sua área (Serra e Tancredi, 1982/Tancredi e Serra, 1986).

A Bacia do rio Arari foi subdividida pela OEA(1974) em 3 sub-bacias sucessivas. As duas primeiras são depressões amplas, formando os lagos Arari e Santa Cruz. a terceira é aberta com declive até a Baía do Marajó (fig. 03).

A sub-bacia do Lago Arari fecha-se nas proximidades da Fazenda Tuyuyu, compreendendo cerca de 1900 Km², sendo cercada por elevações de aproximadamente 4 a 6 metros. Nesta sub-bacia encontram-se os rios Apehí e Jenipapocú, que desembocam no Lago Arari (fig. 03). Ambos são de curso sinuoso e de gradiente muito baixo (OEA, 1974). Na estiagem, embora seus leitos estejam parcialmente cheios, devido em parte ao pequeno desnível em relação ao lago, a drenagem é nula ou quase nula. Em função disso, foi aberto um canal (Tartarugas) no rio Jenipapocú com o objetivo de estimular a drenagem e manter o lago ligado a região costeira.



No extremo sul desse lago (próximo a Jenipapo) nasce o rio Arari, a principal calha fluvial da região. Poucos quilômetros adiante, este rio recebe o Anajás-Mirim na sua margem direita, com características semelhantes às dos rios Apehí e Jenipapocú. Um canal liga o Anajás-Mirim ao rio Mocoões, o qual é utilizado para a navegação em águas altas e médias. A avalanche de águas provinda do rio Anajás-Mirim e canal Mocoões ao atingir o rio Arari, o faz com tal impacto sobre os barrancos da margem esquerda deste, que no início do período das chuvas, causa a bifurcação de sua trajetória, determinando o fenômeno tão frequente de inversão da direção do escoamento na direção do Lago Arari (IDESP, 1974).

Em virtude do baixo escoamento e/ou das depressões, mesmo antes que os níveis da água subam nas cidades de Cachoeira e Santa Cruz, ocorrem áreas inundadas em diferentes partes das bacias (fig. 03).

Os centros povoados de Santa Cruz do Arari e Jenipapo sofrem o fenômeno das inundações com intensidade diferente devido a sua elevação topográfica e localização. Santa Cruz, um pouco mais elevada (média de 4.8 m), na margem esquerda do lago, quase não é coberta pela inundação e, apenas em função da retenção da água de precipitação pelo solo impermeável, a construção de casas é feita sobre estivas (pilares) a mais ou menos 1 m da superfície. Em Jenipapo (média 4.30 m), as inundações são anuais e todas as casas são construídas sobre pilotis de até 2.5 m sobre o solo.

O problema das inundações no inverno na sub-bacia do Lago Arari é resultado da retenção das águas pluviais, do aporte dos tributários no curso médio e inferior do rio

Arari. Além disso, o relevo plano, a concavidade da área e as influências das marés dinâmicas ampliam a área inundável.

O Lago Arari é uma grande represa com um volume de água variável entre 100 e 600 x 10⁶ m³. As medidas de batimetria, numa área de 94 Km², registraram uma profundidade média de 1.3 m e um volume de água armazenada de 118 x 10⁶ m³ (IDESP, 1974).

2.2. Clima e Parâmetros Meteorológicos

As características climáticas gerais são definidas por sua posição geográfica entre o Equador e o Paralelo 2° 00' S. Segundo a classificação de Koppen, a região possui clima tropical, quente úmido, entre os tipos Am1 e Af1. A região de matas caracteriza-se pelo tipo Af1, enquanto na região dos campos naturais o tipo Am1 é predominante.

A temperatura média na região é da ordem de 27° C, com pouca variação mensal, sendo mais baixa na zona da mata do que na dos campos. As variações diárias são mais importantes nos campos naturais, pois produz-se apreciável queda da temperatura durante a noite.

Na região estudada, os valores médios mensais da temperatura para o ano de 1987, variaram entre a máxima de 28.2°C e a mínima de 26.5°C, com uma oscilação de apenas 1.6°C e uma média anual de 27.9°C (tab. 01).

As chuvas são muito abundantes e chegam em média a 2500 mm/ano (região dos campos) e mais de 3000 mm/ano (região das matas), concentradas, 90%, nos meses de janeiro a julho e o restante entre agosto e dezembro. Em geral são precipitações duradouras, de baixa intensidade, provocando as

TABELA 01 - OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS. ESTAÇÃO: SOURE. ESTADO: PARÁ. PERÍODO: 1987
 DADOS FORNECIDOS PELO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2º DISME-Belem/PA

MESES	TEMPERATURA DO AR (°C) (Med. comp.)	PRECIPITAÇÃO (mm) (altura tot.)	EVAPORAÇÃO TOTAL (mm)	INSOLAÇÃO (horas e décimos)	UMIDADE RELATIVA (%)	PRESSÃO ATMOSFÉRICA (Mb)
JANEIRO	27.2	492.4	66.3	140.9	84	1012.1
FEVEREIRO	27.1	407.3	65.6	147.4	84	1011.9
MARÇO	26.6	613.7	51.8	72.4	82	1011.4
ABRIL	27.3	432.8	45.9	97.2	86	1011.2
MAIO	27.9	173.8	67.8	206.4	82	1011.6
JUNHO	28.1	130.5	80.9	230.1	80	1013.5
JULHO	27.7	146.6	83.8	259.5	82	1013.1
AGOSTO	28.2	50.2	107.2	265.2	78	1012.6
SETEMBRO	28.7	1.3	119.7	248.2	76	1012.7
OUTUBRO	28.7	22.7	134.5	262.3	74	1012.7
NOVEMBRO	28.7	0.0	136.1	251.7	75	1011.2
DEZEMBRO	28.7	74.9	124.1	241.7	77	1011.5
ANO 1987	27.9	2546.2	1083.5	2423.0	80	1012.1

inundações que se estendem até o mês de agosto e representando um importante fator no equilíbrio das secas na região (IDESP, 1974).

É possível observar na tabela 01 que, para o ano de 1987, o mais alto valor registrado para a precipitação pluviométrica total mensal está no mês de março, com 613 mm, enquanto o menor é registrado no mês de novembro, com 0.0 mm. Verifica-se, ainda, que os meses de menor precipitação foram agosto, setembro, outubro e novembro. A precipitação anual para 1987 foi de 2546.2 mm.

O nível das águas do Lago Arari está em estreita correlação com o fenômeno da precipitação. O nível hidrostático do lago sobe após cada pico de precipitação, voltando a baixar após o período de estiagem.

As elevadas taxas de precipitação, associadas à temperatura, insolação e evaporação, produzem os elevados valores de umidade relativa do ar (tab. 01). Os dados disponíveis revelaram que esta foi menor nos meses de setembro, outubro e novembro de 1987, quando, também, menor é a precipitação, e mais elevada são temperatura, insolação e evaporação. Em geral a umidade relativa do ar mantém-se acima de 75% durante todo o ano, sendo menor na zona dos campos que nas matas. A intensidade da evaporação é um dos fatores importantes no estabelecimento da estiagem, favorecendo para que os solos, em poucas semanas, fiquem totalmente secos.

As observações meteorológicas da estação de Soure (tab. 01) demonstraram as pequenas variações climatológicas características de regiões tropicais, sem presença marcante das estações sazonais, primavera, verão, outono e inverno.

2.3. VEGETAÇÃO

A ilha de Marajó possui duas regiões fisiográficas distintas: as matas, situadas na parte ocidental, e os campos naturais, na parte oriental. Apresenta a característica singular de inundar-se, todos os anos, com maior ou menor intensidade, atingindo uma área de até cerca de 70% de sua superfície. O período de inundação, ou invernos (fevereiro a junho) é seguido de forte estiagem, o verão (setembro a dezembro), durante o qual a obtenção e manejo de água tornam-se extremamente difíceis.

As duas regiões características do Marajó possuem ecossistemas naturais distintos (fig. 04). Na região dos campos a vegetação é constituída de espécies herbáceas com pequenas "ilhas" de vegetação arbustiva, ocorrendo a mata ciliar margeando os rios e os mangues na zona costeira norte e nordeste da ilha. Na região de matas, nos terrenos mais elevados, desenvolve-se uma floresta tropical, tipo Hyléa denominada de "terra firme". Nos baixios inundáveis ocorre predominantemente os aningais. A presença da mata secundária, localmente conhecida como capoeira, é mais marcante nas áreas habitadas e/ou trabalhadas anteriormente para a agricultura. O desmatamento para extração da madeira e implantação de fazendas pecuárias vem alterando a fisiografia desta região em alguns pontos, especialmente no sudoeste da ilha.

2.4. Considerações Sócio-Econômicas

O Lago Arari pode ser considerado o maior e mais importante reservatório hídrico e piscicultor de toda região central da ilha de Marajó. Desde o início da era cristã que a

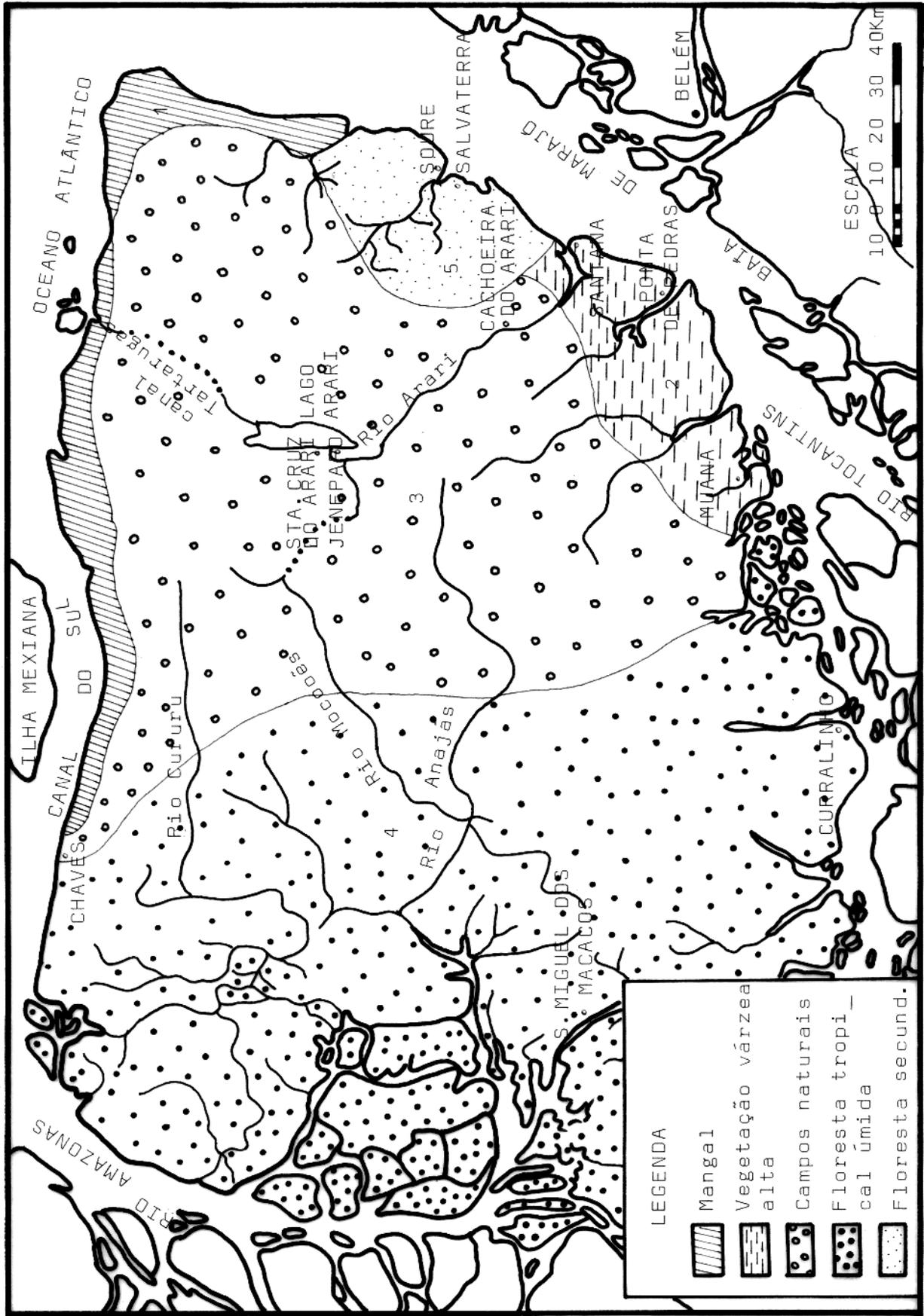


FIGURA 04 - MAPA DE VEGETAÇÃO CARACTERÍSTICA DOS DIVERSOS ECOSISTEMAS DA ILHA DE MARAJÓ/PA(FONTE: OEA,1974).

civilização marajoara (item 2.5) se desenvolveu mais evidentemente nas suas cercanias.

O caboclo do Marajó, elemento étnico predominante, resulta da miscigenação branco-índia, estando nos dias atuais transfigurado na condição de vaqueiro, em função da expansão da pecuária na ilha nas últimas décadas.

Da pecuária e da pesca dependem economicamente, de maneira direta e indireta, mais de 90% da população de todo o Marajó, a qual segundo as últimas estimativas ultrapassa 200 mil habitantes, a maioria constituída de indivíduos de baixíssima renda.

2.4.1. Pecuária

A pecuária é a atividade econômica mais importante, sendo a de corte a mais difundida, estando em fase de evolução o regime de criação extensivo-extrativo para extensivo-racional. Dentre os rebanhos que mais se destacam aparecem os bovinos, bubalinos, suínos, e equinos, que apresentam baixos índices de produtividade, à exceção do bubalino, cuja performance vem sendo cada vez mais promissora.

Pequena parcela da produção animal é absorvida pela própria ilha, destinando-se, entretanto, grande parte à Belém e menores quantidades ao Estado do Amapá e a Guiana Francesa.

Embora a ilha apresente extensas áreas de campos, com cerca de 165 espécies de gramíneas nativas (IDESP, 1974), sua capacidade de suporte é baixa (quase 3 hectares por animal), devido principalmente ao regime hidrológico que restringe a área de pastoreio.

2.4.2. Pesca

A localização da ilha de Marajó possibilita o desenvolvimento da pesca tanto fluvial e lacustre quanto marinha, tornando a região a segunda produtora de pescado do Estado do Pará, só superada pela Região do Salgado (IDESP, 1974).

A pesca é de caráter essencialmente artesanal e as embarcações utilizadas são de pequeno porte, em geral de remo e à vela, com exceção das " geleiras ", barcos maiores, utilizados para o transporte do pescado à Belém e adjacências.

A falta de especialização da mão-de-obra, cujos conhecimentos empíricos são fruto da experiência herdada através de gerações, e a existência de uma infra-estrutura muito carente de transporte e comercialização, completa o quadro psicultor na região do Marajó.

A comercialização da produção comporta um excessivo processo de intermediação entre produtor, "aviador", "geleiro", comerciante no mercado (em Belém o Ver-o-Peso), talhistas e, finalmente, o consumidor, o qual encarece excessivamente o pescado, remunerando mal o produtor em benefício dos intermediários.

No Lago Arari a atividade de pesca é realizada com maior intensidade do que em qualquer outro local no interior da ilha. A reserva de peixes neste meio hídrico é grande e densa, mas, segundo Meschkat (1959, in IDESP, 1974), os peixes apresentam desenvolvimento inferior ao normal. No tempo das enchentes, as espécies crescem em toda a área alagada, vindo depois concentrar-se nos lagos remanescentes no período das secas. Estes lagos ficam conseqüentemente superpovoados, ocasionando ao peixe, um regime de fome, durante o qual seu

crescimento se opera muito lentamente.

A pesca no Lago Arari, em função da necessidade da preservação da fauna aquática, é proibida durante a maior parte do ano, sendo permitida, oficialmente, apenas de agosto a dezembro, executada, entretanto até o mês de janeiro.

2.5. Arqueologia

A chamada "Cultura Marajoara" teve início em tempos pré-colombianos (≈ 1000 AC), quando a ilha de Marajó foi ocupada por tribos indígenas que se sucederam em ciclos sucessivos. Simões(1950), com base nestes ciclos, definiu 5 fases arqueológicas nesta ilha:

1. Ananatuba (980 ± 200 AC) - Esta fase se desenvolveu preferencialmente na costa norte da ilha, até o rio Camará, e teve como principal característica o uso de incisões e de hachurados simples.

2. Mangueiras (contemporânea à fase anterior, a partir do terço final da mesma) - Evoluiu principalmente na parte oeste do Marajó, chegando a atingir a ilha de Caviana. A sua cerâmica foi caracterizada dentro da tradição de borda incisa e recebeu influência particularmente no que diz respeito à ornamentação da fase anterior.

3. Formiga (AD 100 a 400) - Presente na região que se estende de Chaves ao Lago Arari e caracterizada por uma cerâmica de qualidade inferior as duas primeiras fases.

4. Marajoara (AD 480 ± 200 , AD 580 ± 200 e AD 690 ± 200) - Desenvolvida em uma área de aproximadamente 100 Km de diâmetro, tendo o Lago Arari como centro. Desta fase faz parte a tradição policrômica, que se destacou pela exuberância e

variedade da decoração, utilizando pintura vermelha e preta sob englobo vermelho.

5. Aruã (século XII a século XVIII) - Evoluiu no litoral leste(municípios de Chaves e Soure), parte do Amapá, ilhas de Mexiana e Caviana. A louçaria aruã é de qualidade inferior.

A fase Marajoara, considerada o apogeu da arte ceramista de toda a civilização da ilha de Marajó, teve outra característica muito importante, qual seja o início das construções dos "tesos" ou "mounds". Referidas construções, basicamente aterros artificiais, erguidos sobre terrenos alagadiços, passaram a ser utilizados para moradia, cemitério e refúgio dos habitantes da parte central da ilha durante longos períodos de inundações. Atualmente, estes são os locais considerados como os maiores e melhores sítios arqueológicos do Marajó.

O "teso" do Pacoval, localizado na margem leste do Lago Arari, próximo ao rio homônimo, apesar das sucessivas escavações e erosão natural é considerado pelos pesquisadores do Museu Paraense "Emílio Goeldi", um dos maiores depósitos de cerâmica da fase Marajoara(fig. 05).

Mais recentemente, a aplicação de métodos geofísicos(magnéticos e eletro-resistivos) à pesquisa de sítios arqueológicos(Alves, 1979), possibilitou a determinação de feições arqueológicas em dois sítios arqueológicos no Estado do Pará, comprovando a validade dos métodos. O "teso" do Pacoval, atualmente em condições de terra firme, mesmo nos períodos chuvosos, é um testemunho de que referida área foi submetida no passado (Cultura Marajoara) a grandes inundações.

3. METODOLOGIA

Este trabalho teve seu desenvolvimento a partir de atividades realizadas no campo e em laboratório, subdivididas em quatro etapas: (1) Preliminar, (2) Campo, (3) Laboratório e (4) Integração dos dados e interpretação.

3.1. Etapa Preliminar

Constou principalmente da análise de fotografias aéreas (Cruzeiro do Sul - 1966) na escala de 1:20.000, imagens de radar e carta planimétrica do Projeto Radam (1974) na escala de 1:250.000, cujo resultado foi a confecção de um mapa-base na escala de 1:20.000. As figuras de localização e posicionamento das amostras no lago foram reduzidas a partir deste referido mapa (figs. 05, 09, 10, 12, 15 e 23).

Incluiu-se nesta etapa, também, uma viagem a área de caráter exploratório e logístico durante o mês de abril/87.

3.2. Etapa de Campo (Amostragem)

Os levantamentos de dados e coleta de amostras no campo foram feitas utilizando-se o barco/motor CURUPIRA do Centro de Geociências da UFPa, devidamente equipado com a instrumentação necessária para operações geológicas e geofísicas de navegação interior como na Amazônia. Referidos dados foram coletados em 3 campanhas realizadas nos meses de Junho/87, setembro/87 e Junho/88 de forma a abranger um ciclo hidrológico anual do Lago Arari.

O posicionamento do barco e dos pontos de coleta

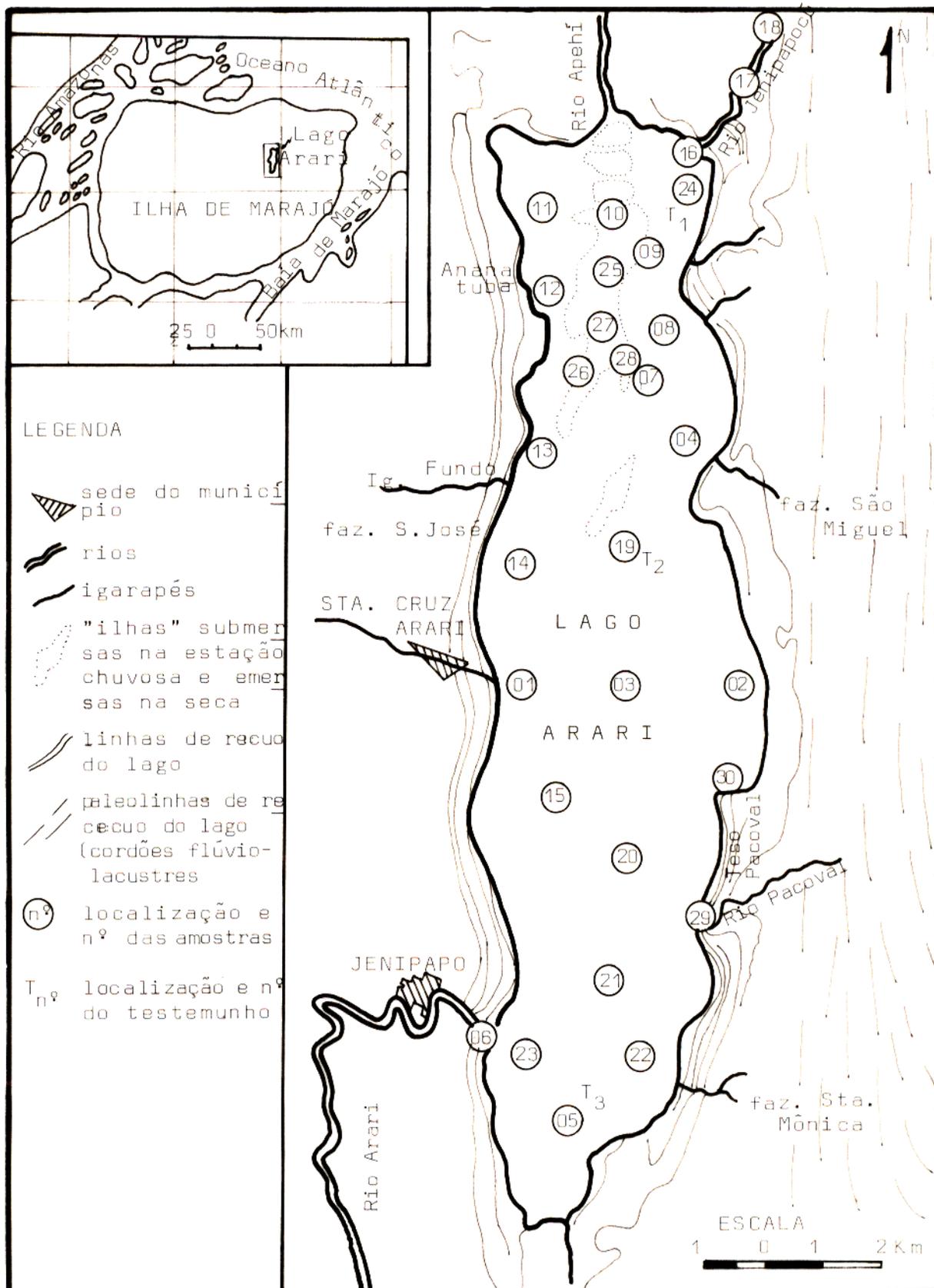


FIGURA 05 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO LAGO ARARI E POSICIONAMENTO DAS AMOSTRAS COLETADAS

foi feito utilizando-se um posicionador eletrônico marca MOTOROLA, modelo MINI-RANGER, através da amarração dos mesmos a duas estações fixas, de coordenadas conhecidas. As radiais, que partiam das estações fixas em terra, proporcionaram ângulos de intersecção para o posicionamento (fig. 05). Os perfis batimétricos foram realizados com um ecobatímetro de precisão (marca RAYTHEON), com registrador contínuo, que opera na frequência de 200 Khz.

As amostras de sedimentos de fundo foram retiradas do leito do lago com auxílio de um amostrador de arrasto, desenvolvido no PROMAR-UFPa denominado "Challenger" (semelhante a conhecida draga de Gibbs) (fig.06). As amostras de suspensão foram coletadas a uma profundidade de 0,5m com auxílio de garrafas de Van Dorn. Os testemunhos (para datação dos sedimentos do fundo do lago) foram obtidos utilizando-se amostrador Zullig (fig.07). É importante ressaltar que este amostrador não se mostrou eficiente para coleta de amostras argilosas do substrato do Lago Arari. A perfuração e recuperação dos testemunhos não excedeu profundidades maiores que 20 cm, em virtude do tubo coletor ser constituído de acrílico, uma vez que o material argiloso exigia algo mais cortante/resistente, talvez alumínio.

Os parâmetros físico-químicos (temperatura, ph, condutividade, salinidade e teor de oxigênio dissolvido) foram obtidos "in loco" utilizando-se para medidas de ph, um aparelho marca WTW (Wissenschaftliche Technische Werkstätten), modelo PH 91, com precisão de 0,01. Para determinar temperatura e teor de oxigênio dissolvido, empregou-se um aparelho marca YSI (Yellow Springs Instruments Co. Inc), modelo 57, com precisão de 0,5

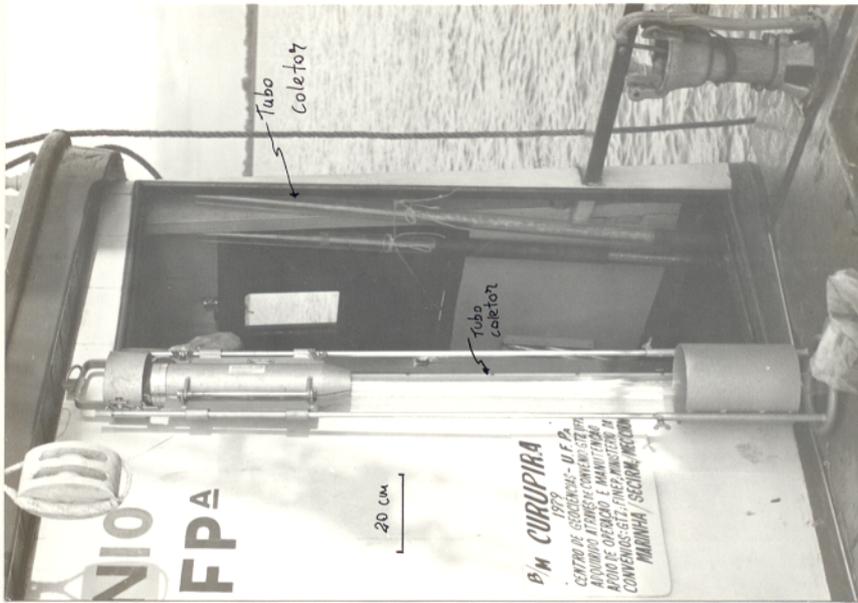
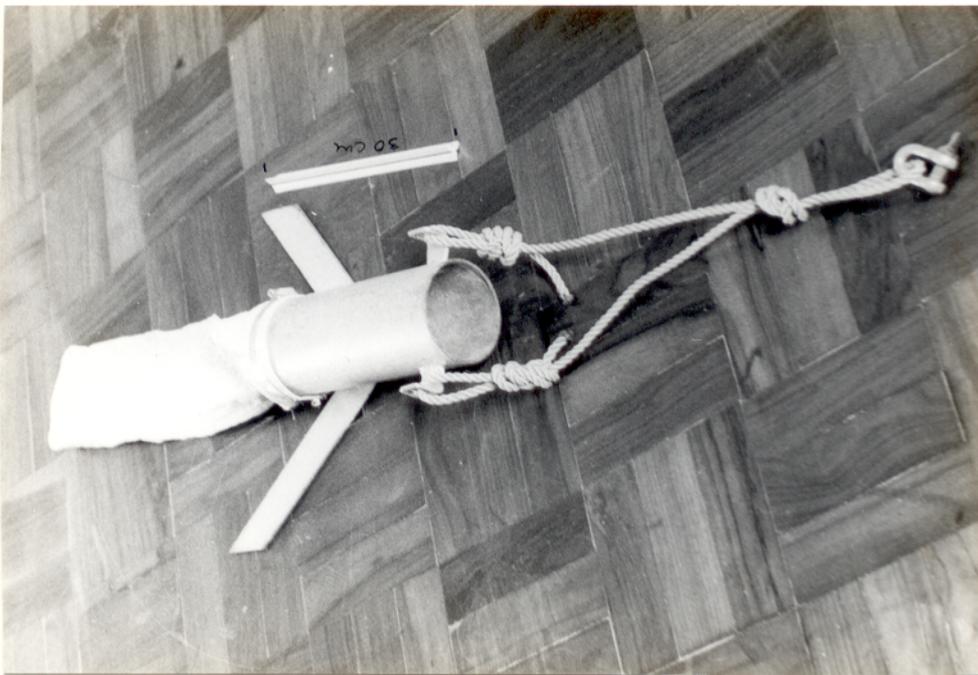


FIGURA 06) - AMOSTRADOR "CHALLENGER" FIGURA 07) - TESTEMUNHADOR ZULLIG

mg/l para O_2 e $0.1^\circ C$ para a temperatura. Nas medidas de condutividade e salinidade foi utilizado um aparelho de marca YSI, modelo 33, com precisão de até 2.5 mhos/cm para a condutividade e 0.5% para a salinidade. Estes parâmetros foram obtidos a 0.5 m da superfície e a cerca de 2,0m de profundidade, sempre que possível nos mesmos locais em que foram coletadas as amostras de sedimentos.

As medidas de velocidade e direção das correntes foram efetuadas em superfície e a 2.0m abaixo desta superfície da água, com um correntômetro digital, de eixo vertical Rotor Savonius, marca Hidrocean, modelo PALM - S/D1, pertencente ao CG/UFPa.

3.3. Etapa de Laboratório (Procedimentos Analíticos)

3.3.1. Preparação

a. Sedimentos de fundo

As amostras foram atacadas inicialmente com água oxigenada ($H_2 O_2$) para eliminação e quantificação da matéria orgânica. Depois de lavadas seguidas vezes com água destilada foram peneiradas a úmido, empregando-se a peneira de 62μ , objetivando separar a fração pelítica das areias.

A fração maior que 62μ foi analisada em lupa binocular e depois, abandonada (quase sempre) em virtude da inexpressiva quantidade de material para análises mais refinadas. A fração menor que 62μ foi seca em estufa a $50^\circ C$, depois concentrada por sedimentação em cilindro de Atterberg e/ou centrifugação. Desta foi retirada uma alíquota para difratometria de "rocha total" e 10g para separação da fração menor que 2μ . Estas subfrações foram utilizadas na preparação

de lâminas orientadas (técnica "pipette-on-glass-slide") e nas análises químicas para estudo dos elementos traços. As lâminas orientadas foram analisadas por difratometria de raios-x nas condições "normal", com atmosfera de "etileno-glicol" e aquecidas à 550°C/2hs, em aparelho marca PHILLIPS, modelo PW 1729, com válvula de Cu.

Para identificação dos elementos traços foram selecionadas 10 amostras representativas da área total do lago, as quais foram atacadas com HCL, 0.5M, durante um período de 16 horas, sob agitação contínua, na razão sólido/líquido do equivalente a 1:20(g/ml). O produto desta lixiviação (fração móvel do sedimento) foi filtrado em membranas milipore de 0,45mm e analisado para Cu, Zn, Mn, Pb, Co, Ni, Cr, Cd e Fe através de espectrofotometria de absorção atômica em chama, utilizando-se aparelho ZEISS, modelo FMD4.

b. Sedimentos em Suspensão

A água coletada com a suspensão sólida foi armazenada em frascos de polietileno de 1000 ml e transportadas imediatamente após a coleta para o laboratório, onde procederam-se as filtrações através de bomba de vácuo. Retirou-se uma alíquota de 100 ml para quantificação do material em suspensão e os 900 ml restantes foram concentrados, empregando-se cilindros de Atterberg. A identificação dos minerais argilosos foi feita através de difratometria de raios-x (lâminas orientadas nas condições "normal", "glicolada" e a 550° C/2hs).

c. Testemunhos

Foram testemunhados três pontos (T1, T2, T3) com

profundidade média de 20 cm com a seguinte distribuição: T1 na parte norte do lago, próximo a boca do rio Jenipapocu; T2 no centro do lago e T3 na parte sul do lago (fig. 05).

Em laboratório, após secarem à temperatura ambiente, os testemunhos foram retirados do equipamento e divididos em intervalos predeterminados (vide item 7). Cada intervalo foi pesado e acondicionado em sacos plásticos, devidamente etiquetados e enviados à State University of New York para determinação da velocidade de sedimentação através da técnica de datação por meio do Pb-210. Utilizou-se a seguinte metodologia:

- Preparação - Cada intervalo do testemunho (vide tab.10, item 7.4) foi pulverizado separadamente em um gral de ágata para reduzir a heterogeneidade:

- " Spiking" (rastreamento) - aproximadamente 2g do sedimento foi rastreada com Po-208 (em HCl 6M). O rastreador deveria ser igual a atividade total esperada para a amostra.

- Lixiviação - a amostra foi inicialmente lixiviada com 10 ml de HNO₃ concentrado e 10 ml de HCl 0,4 concentrado, e a seguir com 20 ml de HCl 6M, utilizando-se becker pyrex de 250 ml.

- Separação - o resíduo foi transformado em volume com HCl diluído (<1M), e a solução separada do particulado por centrifugação. O resíduo foi lavado três vezes.

- Blindagem ("plating") - o Po-208 foi blindado em uma placa de prata por eletrodeposição espontânea e medido por espectroscopia de partícula alfa. Após serem lavadas, as soluções foram despejadas em uma jarra de vidro e colocadas em agitador magnético. Ácido ascórbico foi adicionado lentamente

para reduzir o Fe (até ocorrer a remoção da cor amarelo brilhante). A placa de prata (com 0,02 cm de espessura), suspensa a partir de um gancho de vidro, foi introduzida na solução. A blindagem foi mantida por 24 horas (no agitador) à temperatura ambiente. Um dos lados da placa de prata foi coberto com glyptal epoxy.

Todas as atividades são registradas como dpm (desinteração por minuto) por grama, e o limite de confiança é uma unidade de desvio padrão, obtida a partir de imprecisões associadas com peso das amostras, atividade do rastreador e contagem estatística. A atividade é corrigida para os dados do conjunto de amostra.

3.3.2. Quantificação da Matéria Orgânica

Inicialmente colocou-se uma alíquota de 20g de cada amostra (considerado como peso inicial) para secar em estufa a 50°C. Depois de seca, esta alíquota foi novamente pesada e em seguida atacada com H₂O₂ concentrado, por um período de aproximadamente 48 horas. Após eliminada a matéria orgânica a amostra foi seca em estufa a 110°C e novamente pesada. A determinação da quantidade de matéria orgânica foi obtida em % (tab.05, item 6.2) utilizando-se as seguintes relações:

$$P_i - P_{50} = X \quad \text{e} \quad P_{50} - P_{110} = Y$$

$$\text{assim, } P_{50} \frac{\quad}{\quad} 100(\%) \quad \text{então, } Z(\%) = \frac{Y \times 100}{P_{50}}$$

$$Y \frac{\quad}{\quad} Z(\%)$$

Onde: P_i é o peso inicial; P₅₀ é o peso da amostra após secar a 50°C; P₁₁₀ é o peso da amostra após secar a 110°C e Z é a

quantidade de materia orgânica presente na amostra(em %).

3.3.3. Quantificação do Material em Suspensão

Para quantificação do material em suspensão foram filtrados 100 ml de cada amostra em cadinhos com placa porosa,fixa, de porcelana, formato "gooch", marca Schott/Mainz-Jena-glas 2D4, com capacidade de 30 ml e diâmetro médio dos poros entre 5-10 m (Voguel,1961). Cada cadinho filtrante foi acoplado a um kitasato de 1500 ml, através da boca, com um anel vedador de borracha. Ao kitasato acoplou-se uma mangueira ligada a uma bomba à vácuo para provocar sucção na membrana do filtro, auxiliando e agilizando o processo de filtração.

Para este procedimento, cada cadinho, antes de ser usado, foi colocado em dessecador por cerca de 3-4 horas e, posteriormente, pesado em balança analítica com precisão de 1×10^{-3} g. Após a filtragem, o cadinho foi seco em estufa a 60-80° C, por 4 horas, sendo em seguida colocado no dessecador por 3-4 horas e novamente pesado. A determinação da concentração do material retido no filtro foi feita empregando-se a fórmula fornecida pela CETESB (1978):

$$\text{Conc. em mg/l} = \frac{(M2 - M1) 1000}{\text{Vol. da amostra filtrada em ml}}$$

sendo M1 o peso inicial do cadinho, em gramas, e M2 o peso do mesmo, após a filtragem (tab.04). Para a reutilização dos cadinhos, estes foram lavados com H₂O no ultrassom e, em seguida, fervidos em HCl diluído por 30 minutos.

3.3.4. Quantificação e Identificação dos Argilo-Minerais

Os argilo-minerais foram identificados por suas

difrações basais máximas, de acordo com as tabelas e dados de Brown(1961) e Thorez(1976), e segundo as condições: normal(amostra seca a temperatura do ar-26° C), glicoladas (atmosfera de etileno-glicol) e a 550° C/2hs. A análise quantitativa dos mesmos seguiu a metodologia de Biscaye(1965).

O material cujo pico (001) expande de 14 Å (normal) para 17 Å, quando glicolado, é considerado como proveniente de um mineral pertencente ao grupo da esmectita. A área deste pico foi utilizada como sua medida de abundância relativa. Devido ao fato deste pico expandido ser muito largo e ocorrer a um ângulo 2θ baixo, torna-se difícil o estabelecimento de uma linha base, o que dificulta e torna a medida da área desse pico imprecisa (Biscaye, op. cit.).

A caulinita e clorita, apesar de terem os seus picos de 7.1 Å e 3.5 Å coincidentes, nas amostras normais e glicoladas são diferenciadas ao serem aquecidas a 550°C/2hs, uma vez que desaparecem os picos da caulinita permanecendo os da clorita.

A illita é facilmente identificada pelas sequências basais 10, 5, 3.3, 2.3 Å, não afetadas pela glicolação e aquecimento a 550°C. Os picos de 10 e 5 Å são os mais utilizados para avaliações quantitativas por serem fortes e bem diferenciados dos picos de outros minerais.

3.4. Integração dos Dados e Interpretação

A partir dos dados obtidos nas etapas anteriores foram feitos estudos conclusivos para integração dos mesmos, correspondente a última etapa do trabalho. Merecem citação durante esta fase o emprego, mais uma vez, das imagens de radar e fotografias aéreas, agora de caráter final, na definição e

interpretação dos dados finais e correlativos, assim como, o refinamento dos parâmetros obtidos utilizando métodos gráficos, computacionais e/ ou trigonométricos. Além disso, a elaboração de gráficos e tabelas comparativas, bem como consultas a bibliografias especializadas, etc, foram outras dentre as atividades desta última etapa, que permitiram no seu conjunto, discussões sobre a origem do Lago Arari e uma proposta para explicar a evolução do seu Geossistema. O certo é que todas as etapas, de uma forma ou de outra, estão refletidas e consolidadas aqui, através da elaboração desta tese.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

4.1. Considerações Gerais

A ilha de Marajó faz parte da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas, a qual compreende uma parte emersa, denominada de Bacia Sedimentar do Marajó (Ludwig, 1964; Castro e Vasconcelos, 1970), e uma parte situada sobre a plataforma continental, totalizando uma superfície de aproximadamente 180.000 km².

A estruturação regional da Bacia da Foz do Rio Amazonas é considerada como relativamente simples, estando vinculada a ação de esforço de distensão. Duas grandes fossas - o Graben de Limoeiro e o de Mexiana - e duas plataformas - do Pará e do Amapá - formam o arcabouço estrutural básico desta área sedimentar (figs. 08 e 09).

O Graben de Limoeiro, separando a Bacia do Baixo Amazonas da Plataforma do Pará, estende-se numa direção SW/NE, enquanto que o Graben de Mexiana, de direção NE/SW, separa as plataformas do Pará da do Amapá, esboçando um monoclinal com mergulho para SE (fig. 08).

A Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas é limitada, a Noroeste, pelo Escudo das Guianas e a Sudoeste pelo Escudo Central Brasileiro (Schaller et al., 1971) (fig. 08). O Arco do Gurupá, entre esses dois Escudos, separa a Bacia do Marajó da Bacia Paleózoica do Baixo Amazonas, e o Arco Tocantins separa-a da Bacia do Maranhão (Schaller et al., op. cit.) (fig. 08). Para norte, a Bacia estende-se oceano adentro, tendo como limite externo o talude continental, embora haja registro da ocorrência de seções turbidíticas sobre a planície abissal de

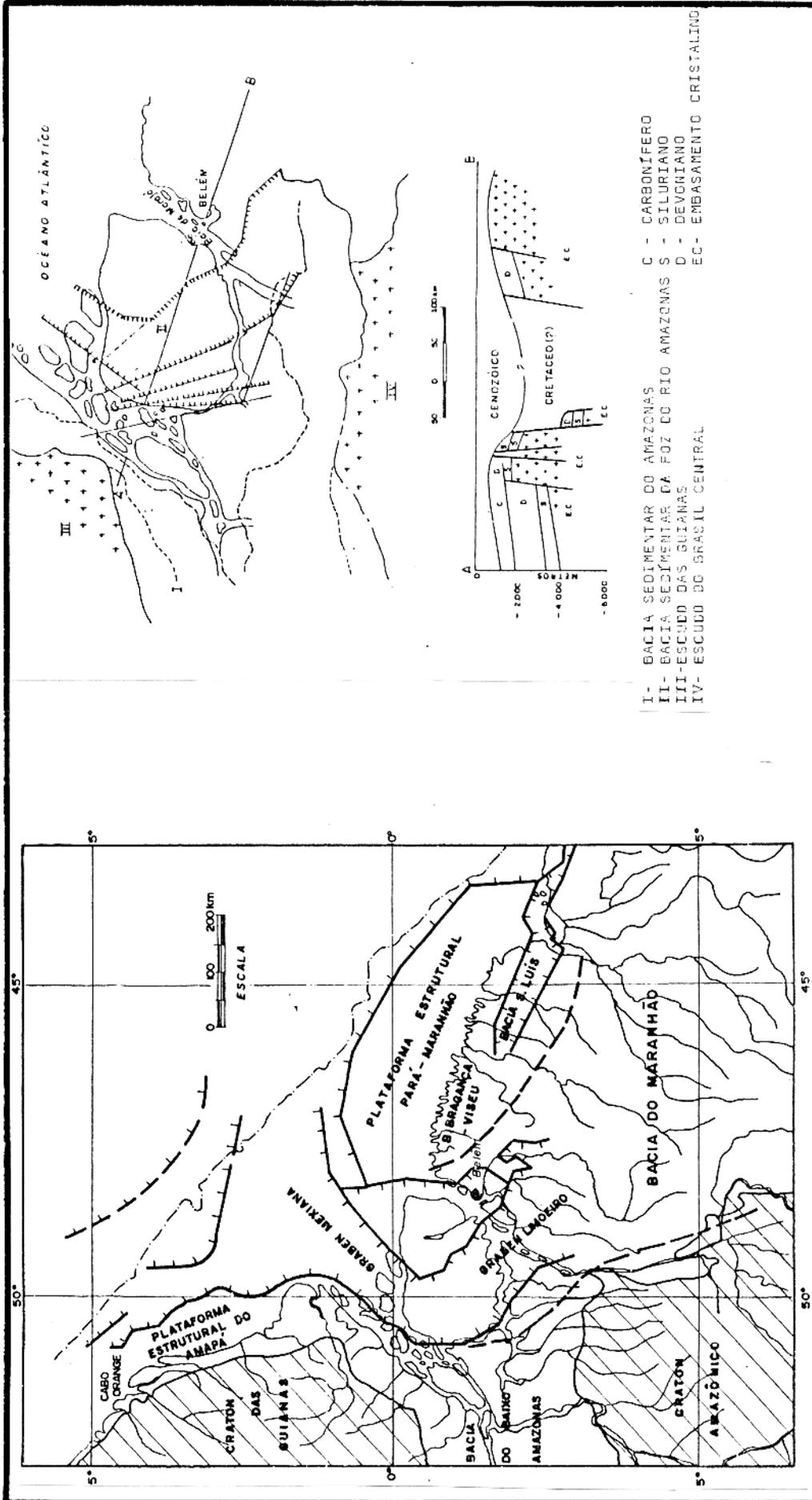


FIGURA 08 - ARCABUÇO ESTRUTURAL DA REGIÃO COS TEIRA E DE PARTE DA PLATAFORMA CON TINENTAL NORTE BRASILEIRA (MODIFICA DO DE GORINI, 1979, in PINHEIRO, 1987)

FIGURA 09 - ESBOÇO GEOLOGICO DA REGIÃO DA FOZ DO RIO AMAZONAS (SEGUNDO BEURLEN, 1970 e WESNER e WOOLDRIDGE, 1964, in PORSANI, 1981)

Demerara, a mais de 1.500 Km NNE da Foz do Rio Amazonas (Damuth e Fairbridge, 1970).

Os primeiros trabalhos sobre a Bacia Sedimentar do Marajó utilizaram dados dos poços perfurados pelo Conselho Nacional de Petróleo - CNP, destacando-se, nesta fase, os trabalhos de Petri (1954) e Amaral (1955).

A PETROBRÁS executou, posteriormente, levantamentos geofísicos e uma série de perfurações de poços na área emersa desta Bacia, cujos resultados foram analisados em vários relatórios internos, especialmente nos de Troelsen (1964), Ludwig (1964), Castro e Vasconcelos (1970), Daemon e Lima (1970)

4.2. Estratigrafia

Schaller et al. (1971) propõem uma Coluna Estratigráfica para a Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas incluindo um espesso pacote de sedimentos neocretácicos e cenozóicos, os quais repousam discordantemente sobre um embasamento constituído por rochas do Pré-Cambriano Indiferenciado (granito-gnaisses, xistos, quartzitos e filitos), que fazem parte do Escudo das Guianas e do Escudo Brasileiro. Ainda segundo este autor, sequências sedimentares remanescentes do Paleozóico, também indiferenciado, das Bacias do Amazonas e Maranhão, estão presentes abaixo dos sedimentos cenozóicos (fig. 10).

A sequência estratigráfica inicia com a Formação Jacarezinho, do Neocretáceo, constituída de cerca de 1.000 m de clásticos grosseiros, oriundos de tálus e leques aluviais, provavelmente adjacentes às falhas do Graben de Limoeiro. Esta Unidade grada lateral e verticalmente para a Formação

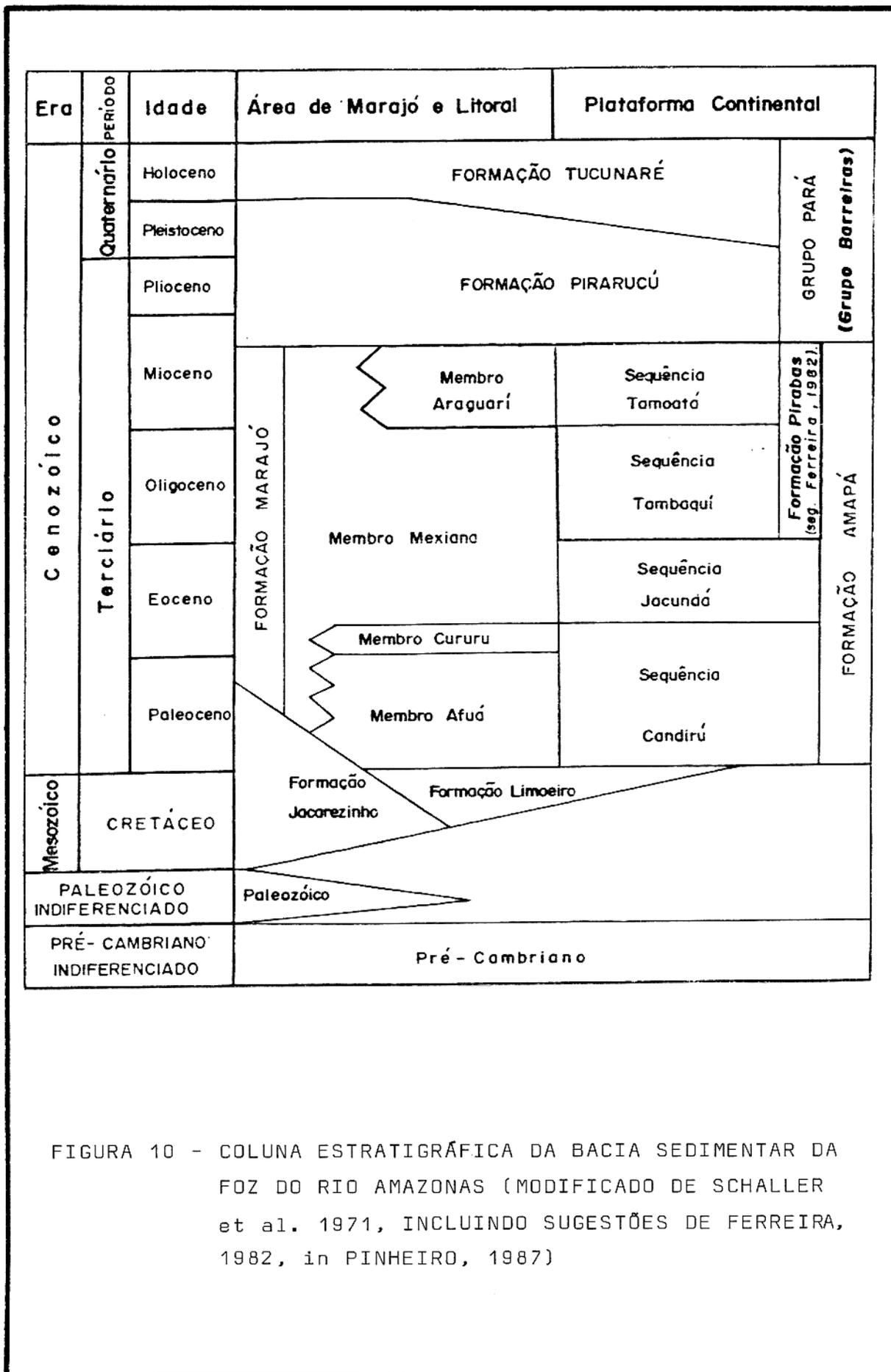


FIGURA 10 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA SEDIMENTAR DA FOZ DO RIO AMAZONAS (MODIFICADO DE SCHALLER et al. 1971, INCLUINDO SUGESTÕES DE FERREIRA, 1982, in PINHEIRO, 1987)

Limoeiro, de mesma idade, e de grande espessura no graben homônimo e no de Mexiana, onde atinge espessuras da ordem de 1.500 m. Sua litologia sugere uma origem fluvial para essa formação. Algumas camadas marinhas intercaladas permitem supor ainda ligeiras transgressões. Assentando concordantemente sobre a Formação Limoeiro ocorrem as formações Marajó (área de Marajó e litorânea) e Amapá (plataforma continental) de idade terciária (fig. 10).

A Formação Marajó atinge até 2.000 m de espessura no Graben de Limoeiro e no de Mexiana, adelgaçando-se rapidamente sobre as plataformas do Amapá e do Pará. Constitui-se de sedimentos clásticos, sendo subdividida em 4 membros (Schaller et al., 1971): Afuá, Cururu, Mexiana e Araguari.

A Formação Amapá, considerada por Schaller et al (1971) como uma gradação lateral da Formação Marajó, é constituída por cerca de 3.000 m de carbonatos terciários - essencialmente calcários (Paleoceno a Mioceno Médio), que ocorrem na plataforma continental. Está informalmente subdividida por Schaller et al (op. cit) em 4 sequências (fig. 10): Candirú, Jacundá, Tambaqui e Tamoatá.

Em direção a borda sul da plataforma do Pará, a parte superior das formações Amapá e Marajó grada para os sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas. Segundo Ferreira (1982), o Membro Araguari da Formação Marajó e grande parte da Formação Amapá (Sequência Tambaqui e Tamoatá) devem ser denominadas Formação Pirabas. Sotopostos a essas duas formações, com contatos parcialmente discordantes, estão os sedimentos do Grupo Pará, composto de clásticos do Mioceno ao Holoceno, que ocorrem na embocadura do Rio Amazonas e se

estendem na Plataforma Continental Norte do Brasil. Para oeste o Grupo Pará diminui de espessura rapidamente, sendo sua distribuição na região continental concentrada nos vales pleistocênicos do Rio Amazonas. Na direção leste atinge espessura da ordem de 200 m. Toda a sequência do Grupo Pará grada em direção ao Talude Continental para a mais marcante feição fisiográfica adjacente à plataforma setentrional da América do Sul, o Cone do Amazonas. Esta sequência é considerada de origem fluvial a parálica e nerítica, e está subdividida em duas formações: Piraruçu, na base, predominantemente argilosa, e Tucunaré, no topo, mais arenosa. Ferreira (1982) ao se referir a estes clásticos continentais, adverte que quando sobrepostos aos sedimentos marinhos da Formação Pirabas, os mesmos são conhecidos na literatura como representantes do Grupo Barreiras.

4.3. Evolução Tectono-Sedimentar da Foz do Amazonas

A sedimentação na região da Bacia da Foz do Amazonas inicia-se, provavelmente, no Triássico Superior (130 m.a.) associada ao processo de rifteamento e separação continental América do Sul X África (Rezende e Ferradaes, 1971), o que permite classificar esta Bacia como do tipo V de Klemme (1971), também denominada de bacia de margem passiva, do tipo Atlântico, ou "pull apart".

Segundo Ludwig (1964), a Bacia do Marajó esteve provavelmente conectada com as Bacias do Amazonas e Maranhão entre o Siluriano e o Devoniano, quando registraram-se uma transgressão e uma regressão marinha. No Carbonífero ocorreu um longo período de elevação epirogenética, onde as pressões

tectônicas de SE para NW e NW para SE resultam no Arco de Marajó, com alinhamento N 35° E, separando a Bacia do Amazonas da do Maranhão (Ludwig, op. cit.). A atuação subsequente de processos erosionais removeram quase que totalmente os sedimentos paleozóicos daquela região.

A ruptura progressiva do Gondwana desencadeou a partir da atual área apical do grande cone do Amazonas, um fraturamento que se propagou intracratônicamente através das Bacias Paleozóicas do Amazonas e Maranhão (eventos similares ocorreram na Nigéria e Bacia do Paraná). Formaram-se, parcialmente, o Atlântico Norte e o Atlântico Sul. Entre estes se interpuseram uma cadeia de protomares restritos (Rezende e Ferradaes, 1971).

Com a expansão do fundo do Oceano Atlântico e dos deslocamentos laterais da Zona Equatorial da Dorsal Meso-oceânica sucederam-se impulsos diferenciais na deriva dos continentes. A partir daí ocorreu a abertura do sistema de fraturas do Triássico Superior acompanhadas de reajustes verticais epirogenéticos dos escudos, resultando na tafrogenia cretácica da área. Seguindo a orientação das fraturas triássicas, no sentido da Margem Continental para a Bacia Paleozóica do Amazonas, formaram-se, sucessivamente nesta tafrogenia, o Graben de Mexiana, e deste, no rumo da Bacia Paleozóica do Maranhão, desenvolveu-se igualmente o Graben de Limoeiro (Rezende e Ferradaes, op.cit.).

O preenchimento desses grabens se processou principalmente às expensas de sedimentos provenientes da bacia de drenagem pretérita do Tocantins-Araguaia, na qual se inclui, em grande parte, a Bacia Paleozóica do Maranhão. Esta

sedimentação foi predominantemente de natureza continental, no Graben de Limoeiro e transicional a marinho no Graben de Mexiana (Rezende e Ferradaes, 1971).

Entre o Cretáceo e Paleoceno acumularam-se os clásticos continentais das formações Jacarezinho e Limoeiro em uma superfície tectonicamente ativa. Do Eoceno ao Mioceno-Médio depositou-se uma espessa seção sedimentar. Neste período originaram-se, sobre a plataforma suavemente subsidente, os carbonatos da Formação Amapá, enquanto na região costeira, depositaram-se os clásticos da Formação Marajó (Schaller et al, 1971).

Desde o soerguimento miocênico dos Andes, sedimentos siliciclásticos tem predominado na margem continental leste da América do Sul, provavelmente, oriundos daquela e constituindo-se na principal fonte de sedimentos para a Bacia do Marajó.

Como a plataforma tem estado tectonicamente estável desde o Cretáceo (velocidade de subsidência em torno de 15-20 cm por 10 anos (Kumar et al., 1977)), a maioria dos sedimentos foram arrastados, nos períodos de abaixamento do nível do mar, para além dessa plataforma, resultando na formação do Cone Amazonico (Damuth & Kumar, 1975; Milliman et al., 1975; Milliman, 1979).

A partir do Mioceno Superior, extinguiu-se definitivamente a sedimentação de carbonatos e, desde então, os clásticos do Grupo Pará vem sendo acumulados. Este grande influxo de clásticos determinou um processo muito ativo de escavação e preenchimento de numerosos canais e "canyons" submarinos, menores do que aqueles escavados nos carbonatos (Schaller et al, 1971).

5. AS ÁGUAS DO LAGO ARARI

5.1. Parâmetros Físico-Químicos das Águas do Lago Arari

Em função das condições físico-químicas e, principalmente, de transporte de material sólido (suspensão) e/ou dissolvido (iônico), são reconhecidos e diferenciados três tipos de rios, cuja existência encontra-se relacionada à formação geológica, pedológica e climatológica de cada região (Sioli, 1951; Sioli & Klinge, 1962).

1. Os rios de águas com muitas substâncias em suspensão, de coloração marrom amarelada, são denominados de águas-brancas, e representados pelos rios Solimões, Madeira e Purus.

2. Rios de águas transparentes, sem substâncias em suspensão e coloração levemente esverdeada, denominados de águas claras, são representados pelos rios Tapajós e Xingu.

3. Rios de águas transparentes, sem substâncias sólidas em suspensão, com coloração marrom a preta devido à presença de substâncias húmicas, são denominados de águas pretas e estão representados pelos rios Negro, Unini, Tefé e Tapauá.

Ribeiro (1978), estudando exemplos característicos de ecossistemas lacustres da Região Amazônica (Lagos Castanho, Cristalino, Jacaretinga, Tarumã-Mirim e Redondo), utiliza esta mesma classificação chamando-os de lagos de água preta, de águas brancas e de águas claras (Tab. 02). O Lago Arari, considerando seus parâmetros físico-químicos (Tab. 03), pode ser considerado como um lago de água branca (comparar com a

TABELA 02 - CLASSIFICAÇÃO DOS LAGOS AMAZÔNICOS A PARTIR DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, Segundo RIBEIRO (1978).

TIPOS DE LAGOS PARÂMETROS	LAGO DE ÁGUA PRETA (TARUMÁ-MIRIM)	LAGO DE ÁGUA BRANCA (CASTANHO, REDONDO, JACARETINGA)	LAGO DE ÁGUA CLARA (CRISTALINO)
pH	4.5 - 5.0	6.5 - 7.7	5.1 - 5.3
TEMPERATURA (°C)	25.9 - 29.9	27.5 - 29.5	29.2 - 30.0
CONDUTIVIDADE (mho/cm)	6.97 - 9.04	46.26 - 60.48	4.11 - 4.54
O ₂ DISSOLVIDO (mg/l)	1.60 - 9.20	3.00 - 8.20	6.40 - 7.20

TABELA 03 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO LAGO ARARI - ILHA DE MARAJÓ/PA.

PARÂMETROS	PERÍODO CHUVOSO (Junho/87)			PERÍODO SÉCO (Setembro/87)		
	MIN	MAX	MÉDIA*1	MIN	MAX	MÉDIA*2
pH	6.1	7.9	7.0	6.5	7.0	6.8
TEMPERATURA (°C)	25.0	28.9	27.7	26.3	29.5	27.9
CONDUTIVIDADE (mho/cm)	50	80	65	82	100	90
O ₂ DISSOLVIDO (mg/l)	7.6	8.2	7.8	7.5	7.8	7.7
PROFUNDIDADE (m)	1.0	4.0	2.5	0.5	1.5	1.0

*1 - média de 30 leituras; *2 - média de 21 leituras

Tab. 02). Como este lago sofre a influência apenas das marés dinâmicas, provenientes do Atlântico, através dos rios Arari e Jenipapocú (fig. 01, 05), os valores medidos de salinidade foram extremamente reduzidos, tanto no período chuvoso como durante a estiagem. Devido a isso não consta nos itens seguintes uma discussão mais específica sobre essa propriedade química no Lago Arari.

5.1.1. pH

O pH das águas refere-se a atividade do íon hidrogênio, considerando sua concentração, e indica o balanço entre os ácidos e as bases (álcalis) presentes na água. O potencial de hidrogênio iônico nas águas naturais constitui-se num dos fatores ecológicos, que age como controlador das atividades respiratórias dos animais e plantas, e regulador dos principais processos metabólicos nos seres vivos.

Na região do Marajó há uma predominância de pH ácidos para a maioria das águas superficiais e subterrâneas, com valores variando entre 4.4 a 7.7 (IDESP, 1974; Piuci, 1978; Tancredi e Serra, 1986; Tancredi et al., 1987).

As medidas obtidas no Lago Arari revelaram um equilíbrio do pH aproximadamente neutro (entre 6.8 - 7.0) de suas águas, tanto no período sêco como chuvoso (Tab. 03).

5.1.2. Temperatura

A temperatura da água e sua variação são inerentes às condições climáticas de cada região, exercendo uma grande influência na solubilização de compostos naturais e

constituindo-se num fator controlador para a vida e para os processos químicos que se realizam no ambiente aquático. A temperatura é responsável, ainda, pela determinação dos padrões que controlam as taxas de metabolismo e crescimento do fitoplâncton, que representa a base de toda a cadeia ecológica ligada a este tipo de ambiente aquático (Lerman, 1978).

Segundo os trabalhos desenvolvidos na região do Marajó (IDESP, 1974; Tancredi e Serra, 1986; Tancredi et al., 1987, entre outros), a temperatura da água subterrânea está compreendida entre 25.0°C e 29.5°C, sendo a média 27.5°C.

Os dados levantados no presente trabalho demonstraram que as variações sazonais são insignificantes e que não há a presença de uma estratificação térmica permanente, muito embora ocorra um leve aumento da temperatura, de um modo geral, no período seco (Tab. 03). Segundo Ribeiro (1978), as variações de temperatura entre a superfície e o fundo estão mais relacionadas com a profundidade dos lagos. Beadle (1974, in Ribeiro 1978) considera o vento como o principal fator determinante da circulação e conseqüente desestratificação térmica em lagos tropicais.

No Lago Arari verificou-se que as variações horárias são mais significativas que as sazonais, conforme constata a análise da variação de temperatura de suas águas, a 1 m de profundidade, durante um dia completo, em condições meteorológicas normais: no início da manhã (7-8 horas) a temperatura situa-se na faixa de 26° a 27°C; com a insolação, esta se eleva gradativamente, até 29°C próximo das 14 horas; durante a tarde e pela noite decal lentamente alcançando valores em torno de 26°C entre 16 e 18 horas, e mínimos, na

faixa de 25°C, entre 20-24 horas.

5.1.3. Condutividade

A condutividade da água é a capacidade desta conduzir a corrente elétrica e reflete a quantidade de eletrólitos presentes, cuja concentração é controlada principalmente pelo tipo de rocha onde está implantada a bacia fluvial (Santos, 1986).

A condutividade elétrica é o valor recíproco da resistividade e normalmente varia com a temperatura e com a concentração de íons dissolvidos. Em regiões tropicais, como é o caso do Lago Arari, os valores de condutividade nos ambientes aquáticos estão mais relacionados com as características geoquímicas da região, onde se localizam, e com as condições climáticas (estação seca e de chuva), do que com o estado trófico (Esteves, 1988).

Dados obtidos nas águas subterrâneas do Marajó (IDESP, 1974; Tancredi e Serra, 1986; Tancredi et al., 1987), registraram valores entre 15 μ mhos/cm e 15.000 μ mhos/cm. As medidas realizadas no Lago Arari demonstraram que no período de chuvas a condutividade apresentou valor médio em torno de 65 μ mhos/cm, com máximos na faixa de 80 μ mhos/cm. Durante o período mais seco a condutividade aumenta, alcançando a média de 90 μ mhos/cm e máxima de 100 μ mhos/cm (Tab. 03).

Estas mesmas relações foram observadas por Egler e Schwassman (1962) e Pinheiro (1987), respectivamente, nas águas da Baía do Marajó e Baía do Guajará.

Os valores de condutividade registrados no Lago Arari (Tab. 03), apesar de mais altos que os registrados por Ribeiro

(1978) nos lagos Jacaretinga, Tarumã-Mirim, Cristalino, Castanho e Redondo, corroboram esse autor, que afirma serem os lagos de água branca mais condutores que os lagos de águas claras ou pretas.

5.1.4. Teor de Oxigênio Dissolvido

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O_2) é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos, sendo utilizado como melhor indicador da velocidade dos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no interior dos mesmos (Esteves, 1988).

As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas são resultado da decomposição da matéria orgânica, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, por exemplo do ferro e do manganês (Esteves, op. cit.)

Segundo Santos (1986), as variações da concentração de O_2 dissolvido podem ser resultantes, também, dos fenômenos biológicos e da oxidação da matéria orgânica, estando sua disponibilidade condicionada aos movimentos da massa de água e ainda à temperatura da mesma.

Dados do sistema Tocantins-Araguaia (Santos, 1986), revelaram que no período seco os teores variam em torno de 7.0 - 8.0 mg/l, enquanto que na época chuvosa registram-se valores de 5.0 - 6.0 mg/l. A queda dos valores de O_2 no período chuvoso é justificada, segundo este autor, pela entrada da matéria orgânica em grande quantidade nas águas em consequência das enchentes.

As medidas efetuadas no Lago Arari (Tab. 03)

mostraram teores de O_2 aproximadamente constantes nos períodos seco e chuvoso, com tendência para uma ligeira elevação durante a estação chuvosa. Este comportamento, apesar de não estar compatível com os dados levantados no sistema Tocantins-Araguaia, poderia ser explicado pela redução extrema do volume das águas do lago na época das secas, resultando numa concentração mais elevada da matéria orgânica nos locais de permanência das águas.

Diferenças de concentração de O_2 próximo a superfície e em profundidade são insignificantes.

5.2. Material em Suspensão

As águas do Lago Arari são caracterizadas principalmente pela elevada turbidez produzida por substâncias que permanecem em suspensão na água (argilas, siltes, microorganismos), o que confere as mesmas o aspecto "barrento" e coloração marrom-amarelada, conseqüentemente exigindo seu tratamento para consumo humano.

Os levantamentos realizados nesse lago demonstraram grandes diferenças no valor da concentração média do material em suspensão entre o período chuvoso e a época da seca. Durante o primeiro foram obtidos valores variando entre um máximo de 176 mg/l e um mínimo de 157 mg/l, enquanto que durante o verão obteve-se o máximo de 839 mg/l e mínimo de 427 mg/l (Tab. 04).

No Estuário Guajará, adjacente à Baía do Marajó, as variações na concentração do material em suspensão são muito reduzidas entre o período chuvoso e a estiagem, com valores pouco mais elevados para a primeira (Pinheiro, 1987). Na

TABELA 04 - QUANTIFICAÇÃO DOS SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NAS ÁGUA DO LAGO ARARI
 ILHA DE MARAJÓ/PA (mg/l).

PERÍODO DE COLETA DA AMOSTRA			
CHUVOSO (JUNHO/87)		SECO (SETEMBRO/87)	
Nº DA AMOSTRA	PESO	Nº DA AMOSTRA	PESO
AR - 05 (A)	166	AR - 04	609
AR - 15 (A)	159	AR - 05 (B)	628
AR - 16	168	AR - 14	294
AR - 17	169	AR - 15 (B)	552
AR - 18	157	AR - 19 (B)	617
AR 19 (A)	176	AR - 21	839
		AR - 22	523
		AR - 24	427

realidade, a elevação da concentração do material em suspensão no Lago Arari é consequência da intensa evaporação durante o período das secas, quando a profundidade média do lago reduz-se a menos da metade do período das cheias. É possível admitir, ainda, que nos meses mais secos a elevação da concentração do material em suspensão seja devido a presença de uma camada muito densa de argila floculada, próximo do fundo, que permanece praticamente imóvel. Esta camada pode ser facilmente remobilizada pela agitação das águas pelos ventos (quando a profundidade diminui), embarcações ou mesmo por imersão de instrumentos de medida. Este tipo de material denominado por Inghs e Allen (1957, in Dyer, 1979) de "fluid mud" (lama fluida), também conhecido no Suriname por "Slimgmud" e pelos franceses como "Grême de vase", tem sido detectado na turbidez máxima de inúmeros estuários, e frequentemente produzem "ecos-fantasmas" constituindo os denominados fundo falso (Dyer, 1979).

Nos meses de inverno, quando as precipitações são mais intensas e as descargas fluvial e pluvial do lago crescem, a camada de argila em suspensão pode ser mais diluída ou mesmo permanecer na zona mais profunda. Perfis ecobatimétricos realizados neste período, registraram em alguns locais (vide fig. 23, item B), a presença de pontos não contínuos, interpretados como ecos-fantasmas relacionados a referida camada.

5.3 Componentes Biológicos

Ao mesmo tempo da coleta de sedimentos e dados incluídos neste trabalho, foram também obtidas amostras de água

do Lago Arari para estudos hidrogeoquímicos e biológicos, a serem desenvolvidos por uma colega (Silva, Lillian Marques), que realizava Mestrado em Geoquímica no CPGG/UFPA)

Silva (no prelo) observou que existe uma grande diferença de composição de indivíduos do fitoplâncton nas águas do Lago Arari, ao que parece, relacionadas às variações sazonais e de alguns fatores ambientais, dentre os quais destacam-se o influxo e efluxo das águas nesse lago, penetração da luz, nutrientes e predação pelo zooplâncton herbívoro.

Ainda segundo Silva (op. cit.), durante o período de estiagem, desenvolve-se a maior concentração de indivíduos do fitoplâncton, destacando-se três grupos: BACILLARIOPHYCEAE gênero Melosira sp, CYANOPHYCEAE gênero Oscillatoria sp e CHLOROPHYCEAE gênero Microsterialis sp. No período de cheia, ocorre a redução dos mesmos, havendo predominância do gênero Oscillatoria sp. Segundo esta autora, o zooplâncton está representado pela predominância dos filos ROTIFERA (Keratella sp, Collotheca sp, Fillinia sp, Brachiomus sp, Sinatherina sp, Trichocerca sp) e ARTHROPODA, classe CRUSTACEA, subclasses COPEPODA e BRANCHIOPODA (Diaplanosoma sp, Bosmina sp, Bosminopsis sp), além de nauplios de CYCLOPOIDA E CALANOIDA.

Admite-se aqui, que as variações registradas por Silva (op. cit.) nos elementos biológicos do Lago Arari estejam mais relacionados com a concentração de nutrientes, íons dissolvidos e diluição da suspensão, uma vez que os parâmetros físico-químicos das águas (temperatura, O₂, salinidade e pH) não sofreram variações significativas durante o período investigado, que pudessem efetuar mudanças qualificativas e quantitativas do plancton.

5.4. Circulação e Mecanismos de Dispersão

A energia mecânica responsável pelo movimento das águas nos lagos é proveniente da força e da direção preferencial do regime de ventos. A variação destes e a complexidade geométrica das bacias de lagos naturais combinam-se para produzir, temporariamente, mudanças e movimentos não uniformes da água. O vento é, então, o fator determinante da movimentação da água, sendo seu efeito sentido em função da sua velocidade, da distância ao longo da superfície em que atua ("fetch") e da profundidade da água (Mortimer, 1953, in Schafer, 1985). Influência secundária na circulação dos lagos é a entrada de água dos rios, com os quais eles estão conectados, ou que deles recebe um influxo anual (Lerman, 1978).

Em princípio, não se pode compreender totalmente a complexidade desses movimentos, porque é necessário conhecer inúmeros parâmetros para sua completa descrição, devendo-se adotar uma estratégia de simplificação, ou seja, redução da complexidade para poucas variáveis estatísticas. Uma alternativa é fixar-se em alguma feição do comportamento do lago e a partir de uma realidade complexa produzir uma outra relativamente simples, isto é, um lago imaginário idealizado de forma que uns poucos parâmetros são suficientes para descrever seu comportamento. Um modelo conceitual satisfatório apresenta apenas a complexidade suficiente para simular o fenômeno de interesse, de forma tal que possa ser exibida uma certa correspondência quantitativa entre o comportamento do modelo e do protótipo. Naturalmente, existem limites claros nesta aproximação, porque um dado fenômeno interage com muitos

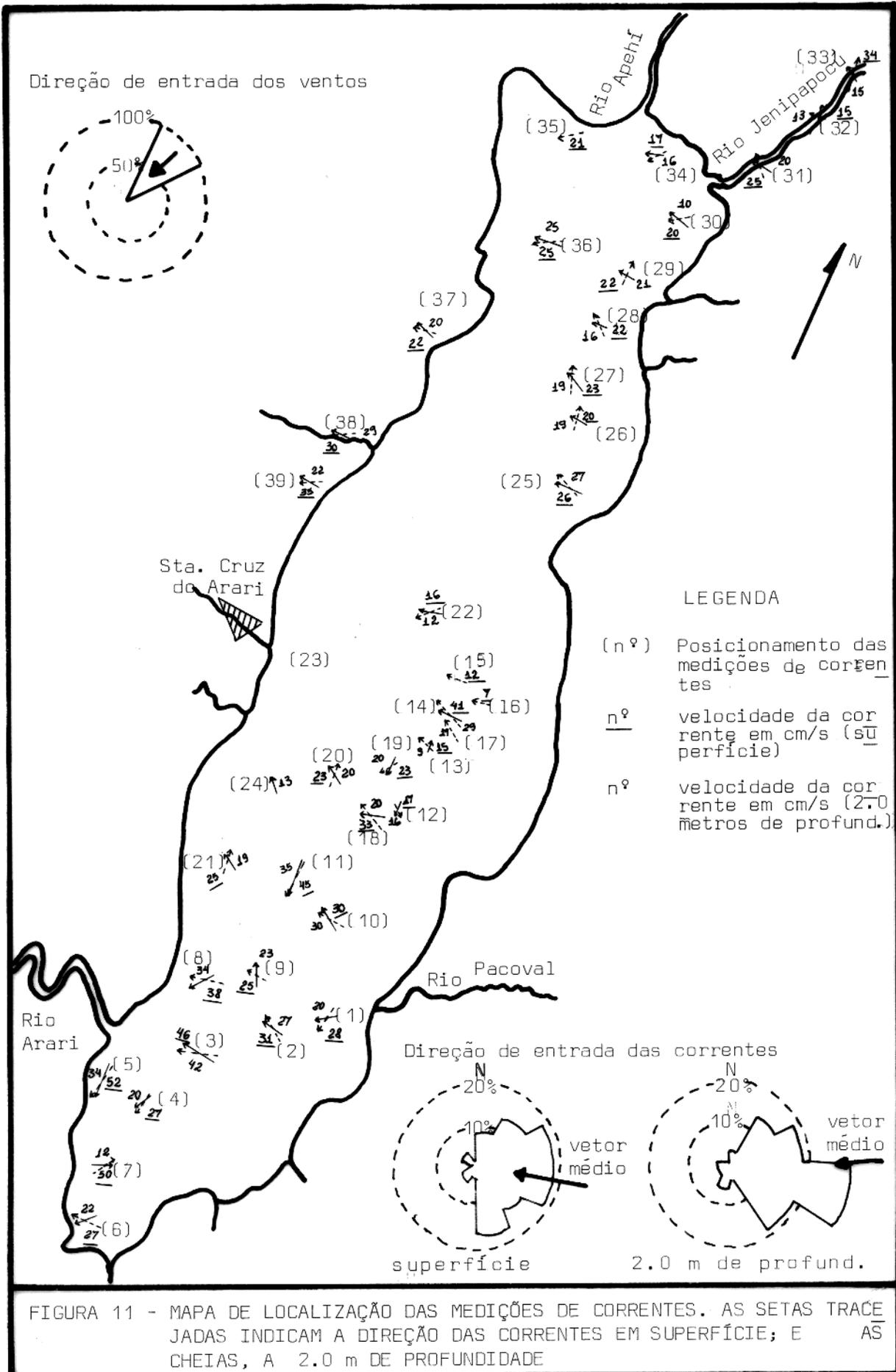
outros.

Considerando o exposto, foram feitas no Lago Arari medições das correntes de superfície geradas por forças externas: a fricção do vento, trocas de pressões atmosféricas, tempo de renovação por entrada e saída de água no lago e Força de Coriolis (neste caso considerada como praticamente inexistente dada a localização muito próxima do equador = 0). Foram realizadas ainda medições na profundidade de 2.0 metros, com o intuito de registrar movimentos abaixo da superfície da água, também associados a velocidade do vento e a distância de sua aplicação ("fetch").

Os resultados obtidos durante uma campanha realizada em junho/88, permitiram constatar que o Lago Arari apresenta um sistema de circulação próprio e bem definido, com velocidades máximas da ordem de 52 cm/s e 42 cm/s, respectivamente em superfície e a dois metros de profundidade, com direção preferencial SE-NE (fig. 11). O vento, neste período, atingiu uma velocidade de 16 m/s (57 Km/h), com direção predominante NE. O vetor médio, comumente usado para fluxo de direção das correntes foi calculado pelo método envolvendo a adição dos senos e cossenos para cada direção do movimento azimutal (método trigonométrico), utilizando-se a equação (1), obtendo-se o valor de 99° para a superfície e 93° à 2 metros de profundidade, o que reforça a direção E - SE.

$$\text{tang } x = \frac{\sum n \text{ sen } x}{\sum n \text{ cos } x} = y \quad \text{arcotang } y = \text{vetor médio (1)}$$

onde a tangente do vetor médio (tang x) é calculada dividindo-se a soma dos senos ($\sum n \text{ sen } x$) pela soma dos cossenos ($\sum n \text{ cos } x$). O vetor médio é o arcotangente deste valor. Faz-se necessário



que os sinais das funções trigonométricas sejam registrados precisamente.

Na análise de dados direcionais a dispersão dos dados é dada pelo vetor magnitude (equação 2). Para facilitar comparações, este vetor é expresso em percentagens (também conhecido como razão de consistência, Lindholm, 1987).

$$L = R / n \times 100 \quad (2)$$

$$\text{sendo } R = \sqrt{[(\sum n \text{ sen } x)^2 + (\sum n \text{ cos } x)^2]}$$

Onde (L) é o vetor magnitude em percentagem cujo valor é determinado dividindo-se R pelo número de medições(n) multiplicado por 100.

Os altos valores do vetor magnitude obtidos para o Lago Arari, 56% e 72%, respectivamente para superfície e 2 metros de profundidade, indicam um agrupamento de resultantes em torno do vetor médio (baixa dispersão) produzido pelas medições individuais, e geralmente tendendo para a mesma direção. Para se determinar se os azimutes são ou não distribuídos uniformemente foi utilizado o teste Rayleigh (Curry, 1956). Uma expressão gráfica deste teste está mostrado na fig. 12. No Lago Arari os vetores magnitude em superfície(A) e a 2 metros de profundidade(B) são maiores que o valor crítico(fig. 12), portanto, pertencem a uma população com orientação preferencial. Segundo Curry(op. cit.), se o vetor magnitude calculado para um determinado número de observações, for maior que o valor crítico, considera-se que este conjunto de dados pertence a uma população com orientação preferencial.

Como os trends regionais de correntes podem ser obscurecidos pela presença de dados não refinados, foram utilizados mapas de movimento médio que suavizam as variações

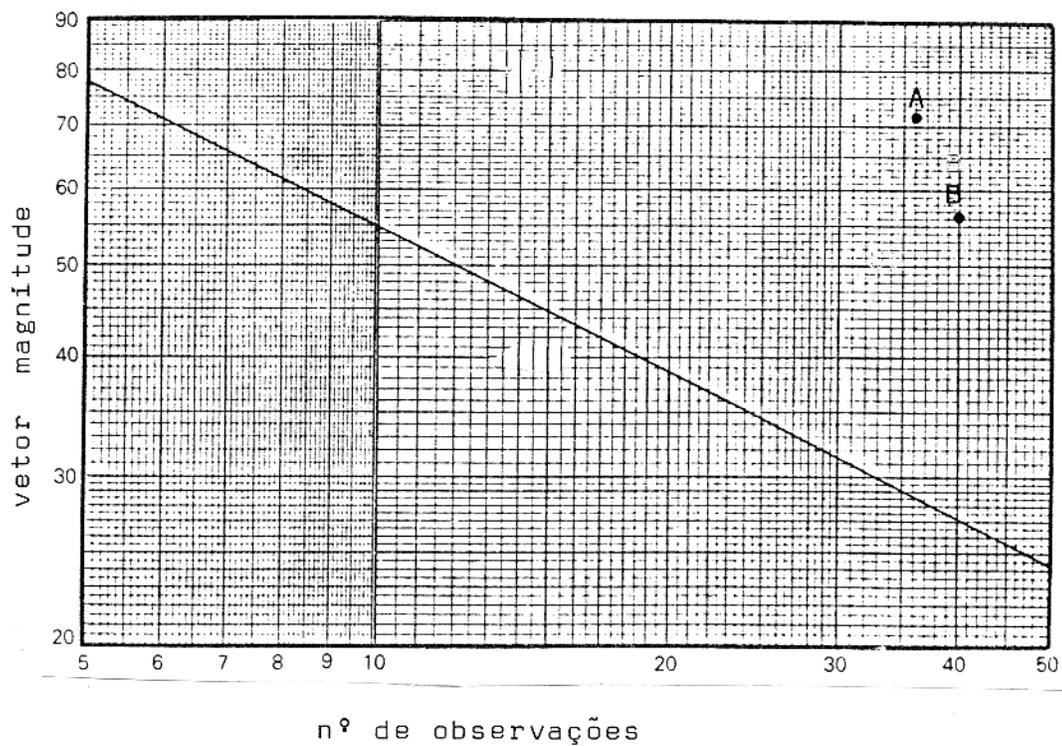
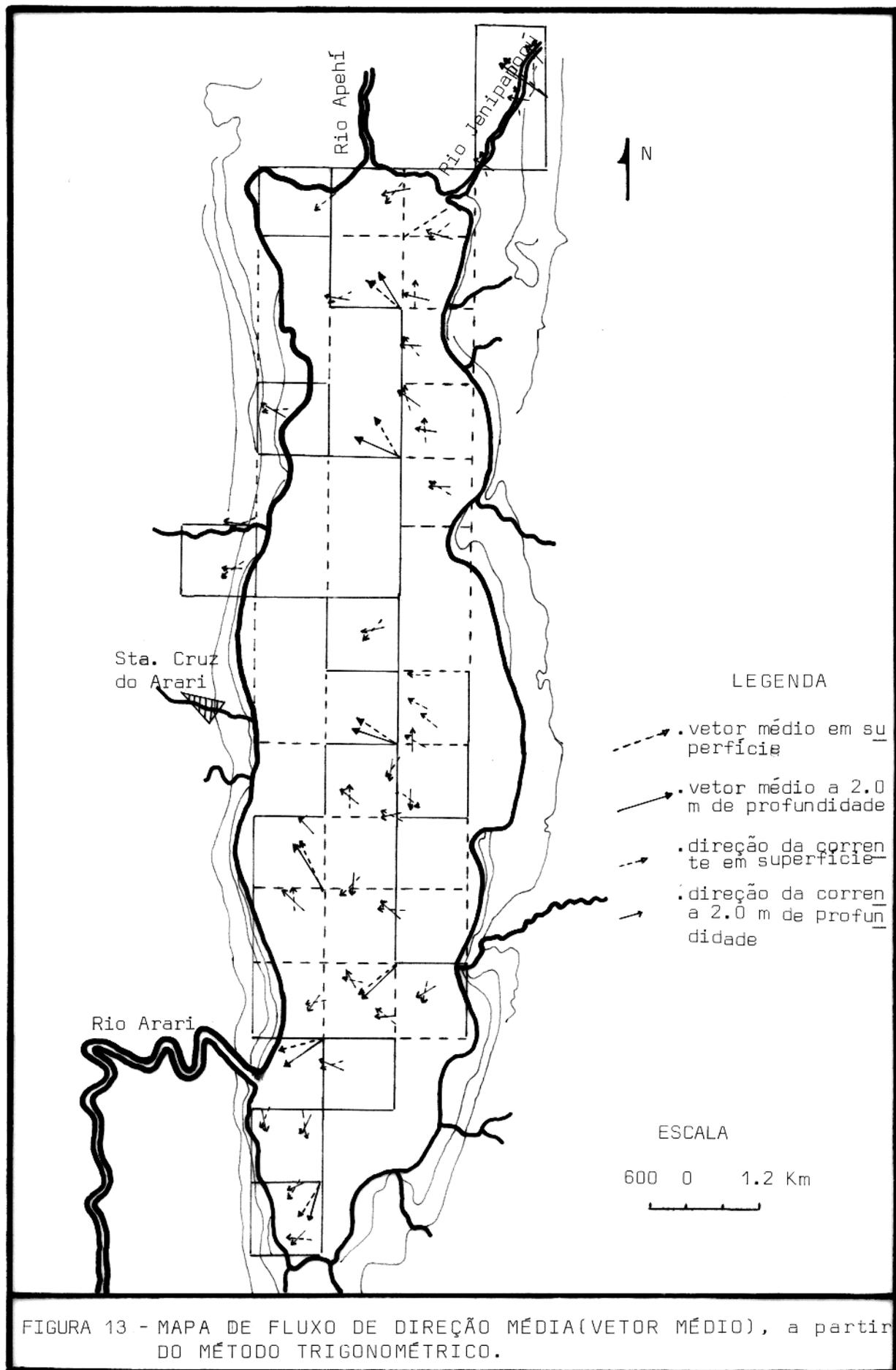


FIGURA 12 - GRÁFICO PARA AVALIAR O SIGNIFICADO DO VETOR MÉDIO USANDO O TESTE RAYLEIGH. O VETOR MAGNITUDE É MAIOR QUE O VALOR CRÍTICO QUANDO O PONTO É PLOTADO ACIMA DA LINHA INCLINADA, E MENOR QUE VALOR CRÍTICO QUANDO O PONTO ESTIVER SITUADO ABAIXO DA LINHA INCLINADA, A=SUPERFÍCIE; B=2 m DE PROFUNDIDADE.

locais(fig. 13). Para ajudar a explicar o trend regional incluiu-se um mapa interpretativo mais esquemático(fig. 14). Verifica-se que não existe uma variação muito grande entre as direções e velocidades de corrente medidas em superfície e a dois metros de profundidade, embora em profundidade as velocidade são quase sempre mais reduzidas.

Os menores valores de velocidade(superfície e a 2 metros de prof.) foram registrados nos pontos situados na parte central do lago, nas imediações de Santa Cruz(fig. 11). Por outro lado, correntes mais fortes estão presentes nas proximidades do rio Arari, provavelmente em consequência da influência deste. Apesar do Lago Arari receber influxo de outras fontes, a extensão de tais influências é relativamente menor quando comparadas com a dinâmica do rio Arari. A velocidade do rio, no seu ponto de influxo para o lago homônimo, varia entre 40 e 50 cms/s.

Segundo Lerman(1978), ventos unidirecionais ocasionam movimentos nas águas dos lagos que tem a capacidade de transportar seletivamente partículas finas na fração silte e argila, a maioria das quais encontram-se em suspensão ou são resuspendidas. Desta forma, a ação contínua dos ventos NE sobre a superfície do Lago Arari, associada ao trend geral das correntes no mesmo, arrasta suas águas em direção a margem oeste. O impacto das águas nesta margem resulta num processo de erosão, enquanto na margem leste ocorre o assoreamento constante (área em processo de colmatagem) devido ao maior aporte de sedimentos e consequente deposição dos mesmos. Estes processos de erosão -assoreamento são bem observados nos perfis ecobatimétricos, onde a margem oeste apresenta-se com um



declive bem pronunciado ao contrário do lado leste, bem suave(fig. 14).

Os dados utilizados aqui constituem a simplificação de um modelo, válido para uma aproximação adequada para uns poucos dias e/ou algumas horas. Ou seja, o padrão de correntes estabelecido para o Lago Arari é válido para o período das medições, embora em virtude da uniformidade do regime de ventos da região estudada acredita-se que haja uma constância muito provável no padrão de circulação de suas água e, portanto, o modelo proposto pode ser aceito.

6. SEDIMENTOLOGIA DO LAGO ARARI

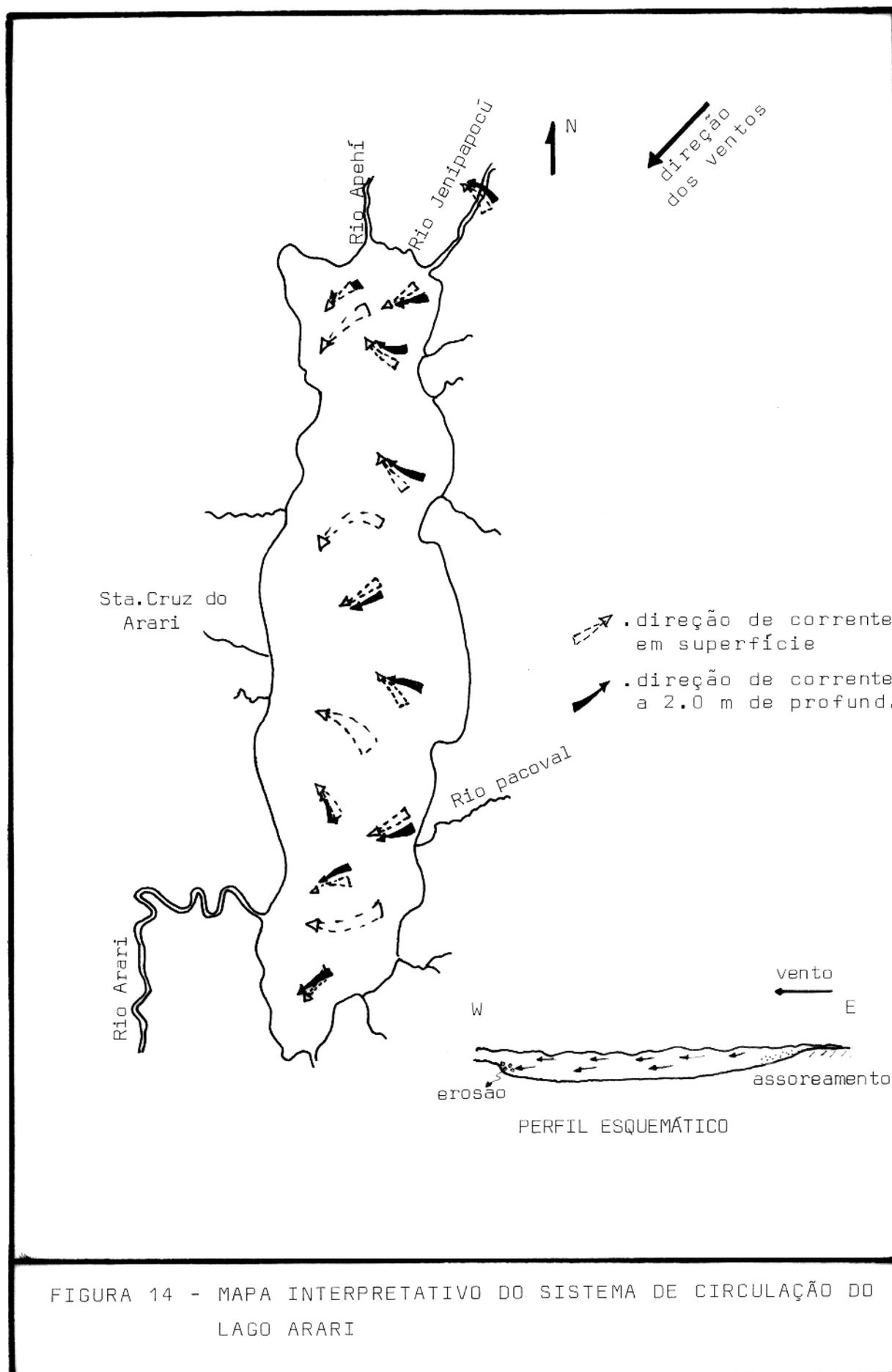
6.1. Considerações Gerais

O Lago Arari contém no seu substrato uma sequência estratigráfica que pode ser incluída na Formação Tucunaré, topo do Grupo Pará (equivalente ao Grupo Barreiras) (fig.10), cuja idade foi avaliada em 35.000 anos por Tancredi et al. (1975), utilizando datação C14 de sedimentos carbonosos.

Do ponto de vista regional, a parte oriental da ilha do Marajó é recoberta por sedimentos predominantemente argilosos, em cuja superfície estão presentes inúmeras feições geomorfológicas, modeladas por processos geológicos recentes.

É expressiva a variedade de formas sinuosas, meandrantas, e bifurcadas na porção centro norte, à direita do Lago Arari, e a noroeste dos campos naturais. A grande semelhança destas formas com as calhas de drenagens atuais, mostram que as mesmas certamente correspondem a paleocanais assoreados (fig. 15).

Segundo Bemerguy (1981), estes paleocanais refletem ambientes de sedimentação com maior energia de deposição dos sedimentos. Através de sondagens com até 50m de profundidade, este autor constatou serem os mesmos constituídos de areias de granulometria variada, desde muito grossa a muito fina, com diversas colorações, sendo comum a presença de matéria orgânica vegetal disseminada. Ainda segundo Bemerguy (op. cit.), intercalando as areias ocorrem sedimentos argilosos e na área externa aos paleocanais predominam argilas muito plásticas e carbonosas, onde, em geral, a matéria orgânica vegetal apresenta-se com finas raízes e pedaços de troncos.



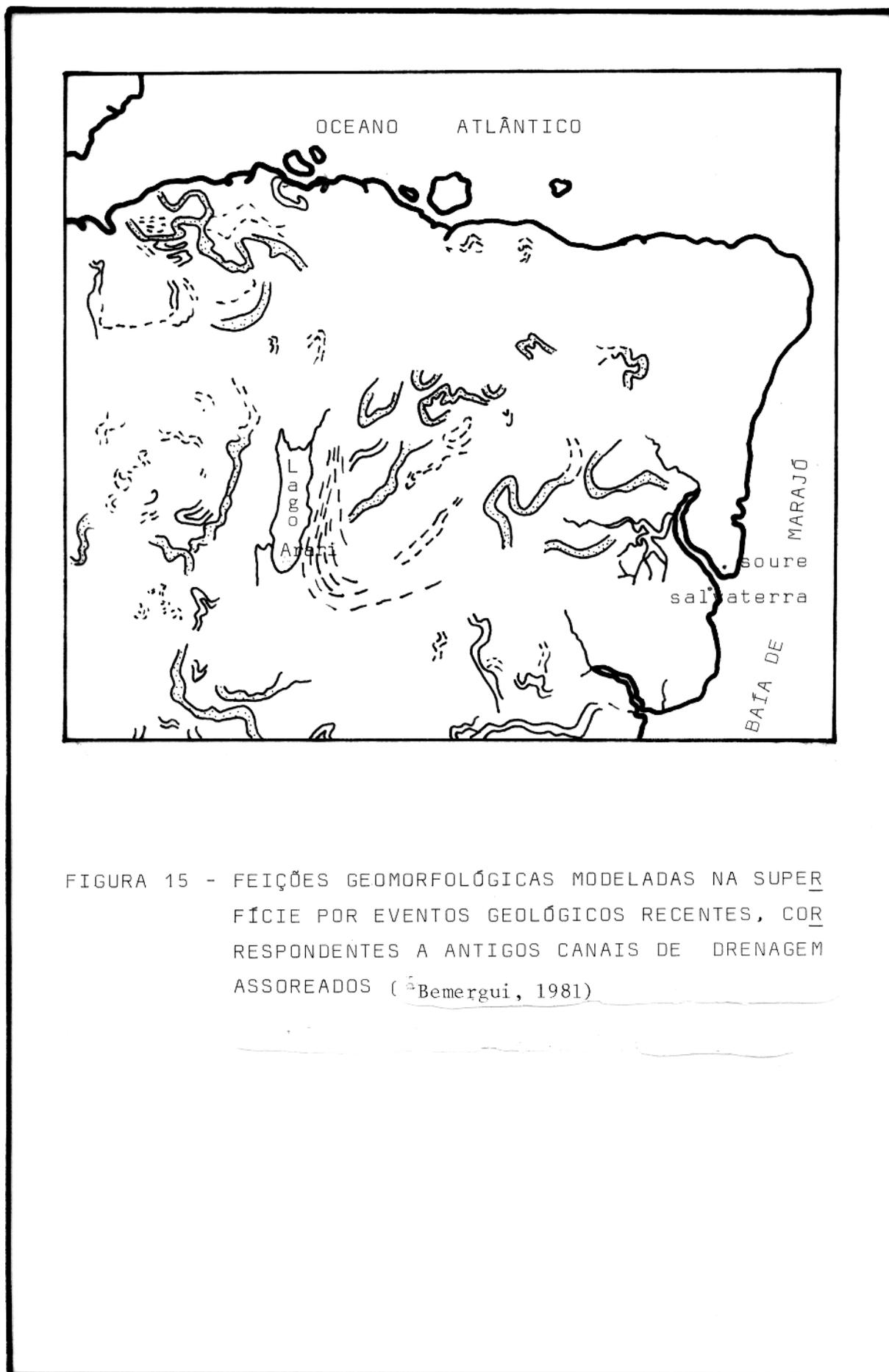


FIGURA 15 - FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS MODELADAS NA SUPERFÍCIE POR EVENTOS GEOLÓGICOS RECENTES, CORRESPONDENTES A ANTIGOS CANAIS DE DRENAGEM ASSOREADOS (Bemergui, 1981)

carbonizados, ocorrendo, eventualmente, a presença de concreções ferruginosas irregulares tanto na interface argila-areia, como ao longo das seções arenosas. Sondagens realizadas na região de Ponta de Pedras (Pluci, 1978) e nas adjacências do Lago Arari (Porsani et al., 1980; Porsani, 1981), demonstraram que estas areias se apresentam como corpos lenticulares.

Admite-se aqui que as feições isoladas de paleocanais são derivadas de uma antiga rede de drenagem, fortemente influenciada pelo regime das marés oceânicas (a exemplo de outros pontos na costa a norte do Lago Arari), a qual foi posteriormente assoreada à medida que essas marés não mais a atingia (ítem 7.4 e ítem 8).

6.2. Sedimentos do Lago Arari

A bacia sedimentar de um lago desempenha um papel importante na explicação dos inúmeros processos que ocorrem no seu sistema como um todo, incluindo sua superfície e sua bacia de drenagem. Assim, a interação entre os sedimentos e as águas do lago, bem como a composição mineralógica dos sedimentos, são fundamentais para a compreensão de seus processos evolutivos.

Uma das principais finalidades do estudo quantitativo mineralógico e geoquímico dos sedimentos (suspensão e fundo) de um lago é a avaliação das fontes desses componentes e a importância relativa de cada uma delas. Folk (1974) distingue três tipos de componentes:

- Terrígenos - minerais provenientes da erosão da área situada fora da bacia deposicional e transportados até o local de sedimentação como fragmentos sólidos;

- Aloquímicos - derivados do retrabalhamento de substâncias químicas precipitadas na própria bacia de sedimentação (componentes remobilizados em estado sólido dentro da bacia);

- Ortoquímicos - precipitados químicos normais e produzidos quimicamente na bacia, sem evidências significativas de transporte ou agregação.

Em essência, a fração terrígena pode ser considerada, essencialmente, como um reflexo dos processos físicos, enquanto as frações aloquímicas e ortoquímicas, refletem principalmente processos químicos.

No Lago Arari, os sedimentos originam-se dos cursos de água que o alimentam, trazidos pelas marés dinâmicas (destacando-se o rio Arari), da erosão pluvial da área externa circunvizinha e da erosão marginal provocada pelas correntes superficiais (menos efetiva). Foram investigados de maneira diferenciada os sedimentos de fundo e aqueles que compõem a suspensão mecânica.

Na suspensão mecânica foram identificados quatro grupos de argilo-minerais: caulinita, illita, esmectita e clorita. A análise semi-quantitativa destes minerais mostrou que a caulinita é o mineral predominante, seguido da esmectita e da illita em quantidades inferiores. A clorita ocorre como traço.

Os sedimentos de fundo, contendo uma quantidade razoável de matéria orgânica, por vezes chegando a 35% do total (Tab. 05), são também constituídos essencialmente de argilo-minerais, de quatro grupos: caulinita, illita, esmectita e clorita (fig. 16).

TABELA 05 - QUANTIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO LAGO ARARI - ILHA DE MARAJÓ/PA.

Nº DA AMOSTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO APÓS SECAR A 50°C (gr)	DIFERENÇA ENTRE PI E P50		PESO APÓS ATAQUE COM H ₂ O ₂ E SECAR A 110°C (gr)	TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA	
	PI	P50	(gr)	(%)		(gr)	(%)
AR - 07	20	12.2	8.8	44	10.2	2.0	7
AR - 08	20	10.8	9.2	46	10.0	0.8	7
AR - 09	20	11.6	8.4	42	10.2	1.4	12
AR - 10	20	13.2	6.8	34	12.0	1.2	9
AR - 11	20	11.8	8.2	41	9.9	1.9	16
AR - 12	20	12.3	7.7	39	10.4	1.9	15
AR - 13	20	13.0	7.0	35	11.3	1.7	13
AR - 14	20	15.1	4.9	25	13.0	2.1	14
AR - 15	20	14.4	5.6	28	12.8	1.6	11
AR - 16	20	12.2	7.8	39	11.0	1.2	10
AR - 17	20	18.8	1.2	6	12.1	6.7	36
AR - 18	20	10.1	9.9	50	8.2	1.9	19
AR - 19	20	15.2	4.8	24	13.8	1.4	9
AR - 20	20	11.5	8.5	43	10.8	0.7	6
AR - 21	20	13.4	6.6	33	12.8	0.6	5
AR - 22	20	16.5	3.5	18	15.0	1.5	9
AR - 23	20	11.6	8.4	42	10.9	0.7	6
AR - 24*	20	14.9	5.1	26	13.5	1.4	7
AR - 25*	20	18.3	1.7	9	17.5	0.8	4
AR - 26*	20	19.5	0.5	3	18.6	0.9	5
AR - 27*	20	20.0	0.0	0	18.0	2.0	10
AR - 28*	20	14.2	5.8	29	13.1	1.1	6
AR - 29*	20	20.0	0.0	0	18.2	1.8	9
AR - 30*	20	18.3	1.7	9	18.0	2.0	10

* - amostras coletadas no período seco; as demais no período chuvoso.

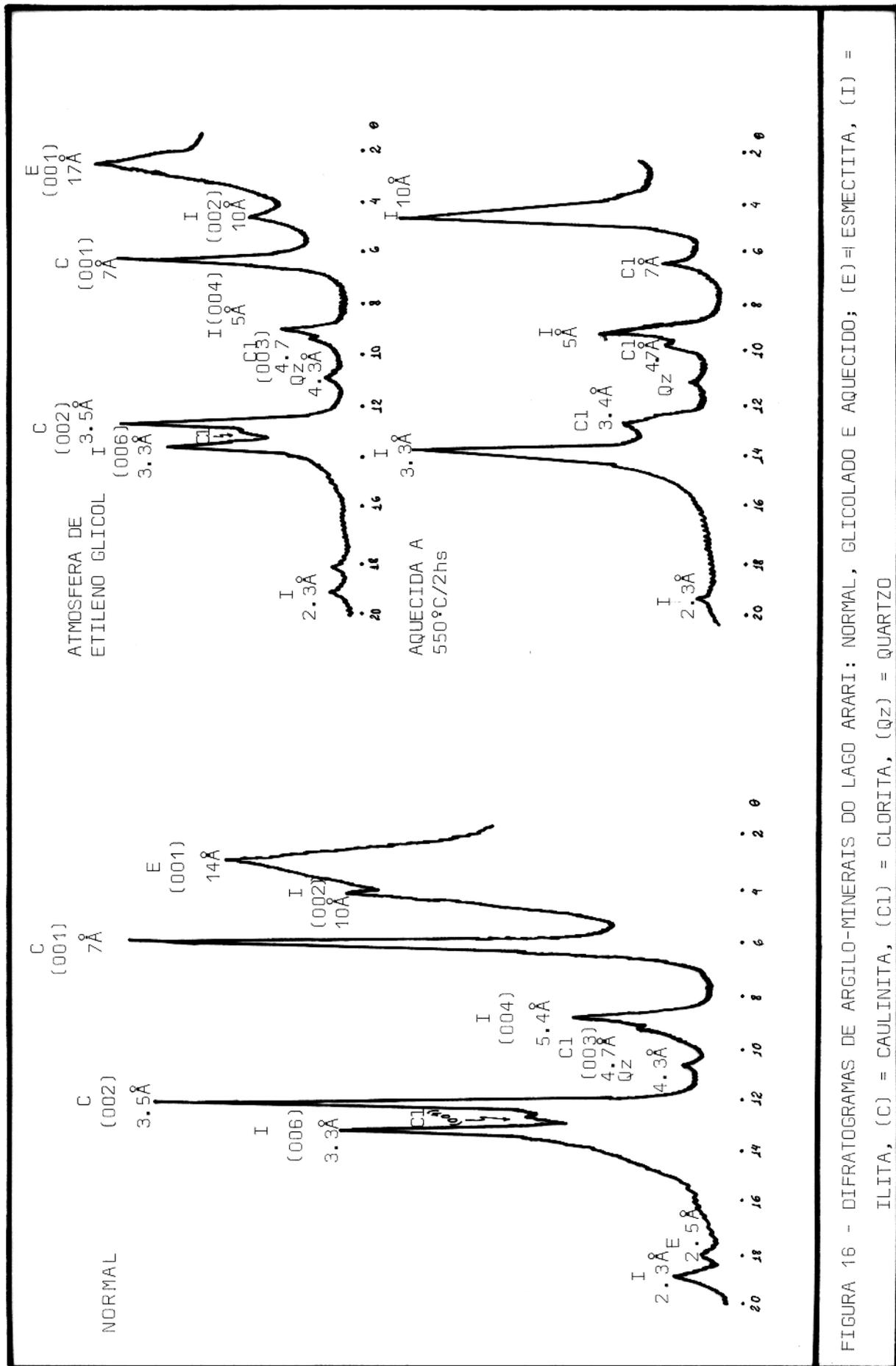


FIGURA 16 - DIFRATOGRAMAS DE ARGILO-MINERAIS DO LAGO ARARI: NORMAL, GLICOLADO E AQUECIDO; (E)= ESMECTITA, (I) = ILITA, (C) = CAULINITA, (Cl) = CLORITA, (Qz) = QUARTZO

A partir de estudos semi-quantitativos é possível estabelecer três zonas de ocorrência destes minerais no substrato do Lago Arari, cada uma com uma paragênese característica (fig. 17):

- (I) Na porção sul e extremo nordeste do lago, argilas contendo predominantemente caulinita e esmectita (razão caulinita/esmectita = 1.4/1) e quantidades inferiores de illita (razão caulinita/illita = 2/1);

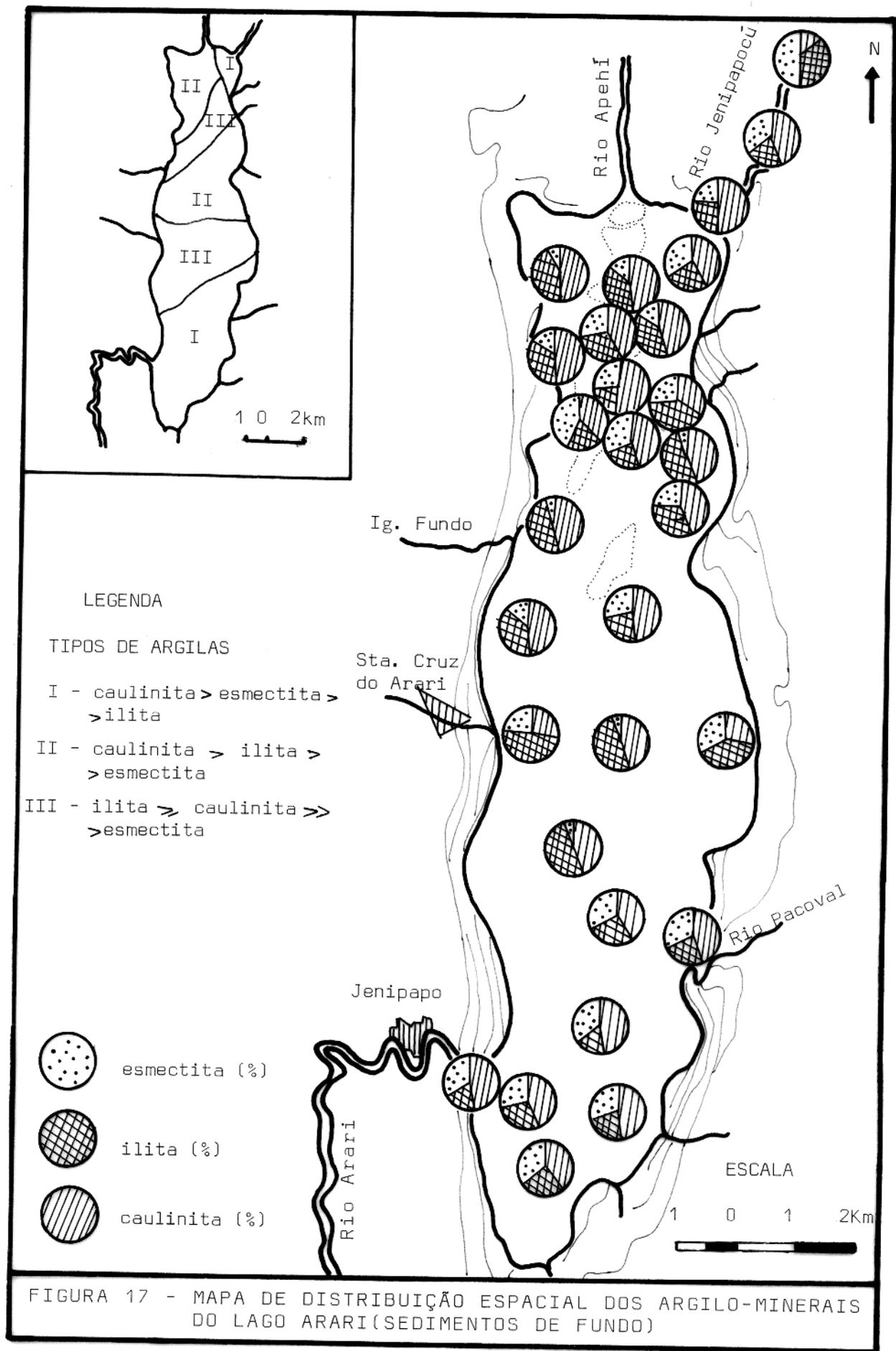
- (II) Na faixa centro-norte do lago, entre as fazendas São José e São Miguel, e no extremo N-NW, ainda predomina a caulinita, aumentando entretanto a quantidade de illita (razão caulinita/illita = 1.3/1) e diminuindo a esmectita (razão caulinita/esmectita = 2.4/1);

- (III) Na parte central as argilas contém illita tão abundante quanto caulinita (razão caulinita/illita = 1/1), enquanto que a esmectita encontra-se em quantidades bem inferiores (razão caulinita/esmectita = 4/1).

A clorita foi reconhecida somente como traço em quase todas as amostras. Este fato corrobora a interpretação de que esta é mais comum em regiões de alta latitude, onde o intemperismo químico é menos intenso.

A presença abundante de caulinita, por outro lado, atesta a sua relação genética com terrenos continentais tropicais, sujeitos a climas úmidos e de intemperismo forte.

As paragêneses tipo II e III (fig. 17) revelam a abundância da illita sobre as esmectitas. Levando-se em consideração a visão geralmente aceita de que argilas marinhas são predominantemente illíticas, enquanto esmectita é mais característica de ambientes parálicos e lagunares (Hirst,



1962), este fato conduz a uma dupla interpretação sobre a proveniência destas ilitas: Primeiro que as ilitas poderiam ter sido trazidas pelas marés dinâmicas que chegam até o lago. Outra hipótese para explicar sua origem, seria admitir a erosão de parte dos sedimentos argilosos de fora do Lago Arari, os quais seriam de origem marinha, depositados quando esta parte da ilha do Marajó esteve submersa durante períodos transgressivos do Pleistoceno.

Picos de quartzo também estão presentes nos difratogramas de todas as amostras, admitindo-se que o mesmo seja terrígeno.

Nas pequenas ilhas do interior do lago, submersas no período das cheias, foram observadas gretas de contração e reconhecidos, ainda, componentes aloquímicos, sob a forma de grãos subarredondados, na granulometria de 2-4mm, constituídos de hidróxidos de ferro. Estes componentes são originados a partir do ressecamento do leito do lago, durante o período sêco e que, após o retrabalhamento pelas águas, formam níveis de intraconglomerados (pseudoconglomerados?) no material argiloso sedimentado.

A estação chuvosa garante a hidrólise e a liberação do ferro, enquanto a estação seca mineraliza o sedimento e fixa o ferro. Da alternância e duração destas duas estações dependerá a intensidade da hidrólise e da liberação do ferro e a conseqüente formação da película ferruginosa por efeito da oxidação do ferro contido nos minerais argilosos. Assim, o vigor e o prolongamento acentuado das estações mais sêcas são os principais responsáveis pela formação dos níveis de intraconglomerados aloquímicos.

6.3. Geoquímica dos Sedimentos de Fundo

Os últimos anos registraram o desenvolvimento de diversas metodologias, que objetivam obter informações cada vez mais precisas sobre a presença de metais poluentes nos sedimentos de fundo e suspensão de ambientes aquáticos. A disponibilidade e reciclagem dos elementos traços nestes ambientes dependem, essencialmente, da fração geoquímica com a qual um metal está associado no substrato do fundo (Jenne & Luoma, 1977). A utilização da fração granulométrica menor que 62μ é tida como bem aceita nos trabalhos com sedimentos terrígenos, uma vez que se observa um incremento sensível na concentração de metais pesados à medida que o tamanho da partícula diminui (Forstner and Scher, 1984).

Apesar da área estudada ser ainda considerada como não poluída, é importante determinar e conhecer os níveis normais de metais para controle de possíveis impactos ambientais, uma vez que o Lago Arari apresenta uma grande potencialidade turística para o futuro.

Neste trabalho, os sedimentos de fundo foram analisados para Cu, Zn, Mn, Pb, Co, Ni, Cr, Cd e Fe, dentre os quais foram detectadas concentrações dignas de registro de Cu, Zn, Mn e Fe (Tab. 06). Os resultados das análises foram ainda comparados com os advindos de outros trabalhos (Tab. 07 e 08).

Verifica-se que a concentração média de Cu, quando comparada com as médias de sedimentos pelíticos (Potter et al., 1963; Hirst, 1962; Rosler & Lange, 1972) (Tab. 07), está sempre um pouco acima dos mesmos, enquanto Zn e Mn estão em concentrações bem inferiores. A comparação com dados obtidos de rios reconhecidamente poluídos (Lacerda, 1983; Calmano, 1983;

TABELA 06 - CONCENTRAÇÃO DE Cu, Zn, Mn e Fe NAS ARGILAS DO LAGO ARARI - ILHA DE MARAJÓ/PA (ppm)

AMOSTRA ELEMENTO	AR-01	AR-02	AR-03	AR-04	AR-05	AR-11	AR-17	AR-21	AR-23	MÉDIA
Cu	50.00	31.48	64.81	50.88	42.31	142.35	81.48	96.30	190.00	83
Zn	79.17	36.46	48.15	48.44	56.25	91.67	63.54	64.58	88.54	64
Mn	119.05	23.81	23.81	190.48	380.95	119.05	214.29	500.00	380.95	217
Fe	795.74	706.38	680.85	2640.00	808.51	2080.00	2293.30	3239.20	1821.27	1674

TABELA 07 - COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DE Cu, Zn, Mn DO LAGO ARARI E DIVERSOS AUTORES (ppm)

AUTOR	ELEMENTO	arg. delta	arg. azuis/verd	sed. mar.	sed. água doce	argila e silte	argilas
HIRST(1962)/Gulf de Pária	Cu	23	17	33	42	57	83
POTTER & WITTERS(1963)	Zn	--	--	--	--	80	64
ROSNER & LANGE(1972)	Mn	--	--	--	--	670	217

Chester, 1985 in Fernandes et al., 1987) (Tab. 08), demonstra que o Lago Arari contém concentrações de metais ainda bem reduzidos em relação aos mesmos.

O grau de afinidade entre os metais detectados foi examinado através da elaboração de uma matriz de correlação, considerando-se uma relação linear para as concentrações dos metais na fração móvel do sedimento de fundo.

O coeficiente de correlação é usado para estimar o grau de interação entre variáveis, definido matematicamente pela razão da covariância de suas variáveis pelo produto de seus desvios padrões:

$$r_{ij} = \frac{COV_{ij}}{S_i \cdot S_j}$$

Por ser uma grandeza adimensional, a covariância pode igualar mas não exceder o produto do desvio padrão de suas variáveis, logo, o coeficiente de correlação varia de +1 a -1. Assim, uma correlação de +1 indica uma perfeita relação direta entre duas variáveis, enquanto uma correlação de -1 indica que uma variável varia inversamente com relação a outra, e no intervalo (+1 -1), existem relações menos perfeitas, incluindo zero, que indica ausência de qualquer tipo de relação (Davis, 1973).

Pretendeu-se com este tratamento estatístico, revelar tendências sobre a similaridade dos metais em relação às suas fontes de lançamento, assim como acerca do comportamento ambiental dos mesmos, tal como proposto por Lacerda (1983).

Os resultados obtidos (Tab. 09) indicam que a relação Cu x Zn (fig. 18) apresenta uma boa correlação positiva, que é

TABELA 08 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE Cu, Zn, Mn e Fe DO LAGO ARARI - ILHA MARAJÓ/PA E RIOS RECONHECIDAMENTE POLUÍDOS (ppm).

ELEMENTO	LAGO ARARI	ARROIO PAVUNA (Fernandes et al., 1987)	RIOS GUANDU E SÃO FRANCISCO (Lacerda, 1983)	RIO RENO (Calmano, 1983)*	RIO DITTON BROOK (Chester, 1985)*
Cu	31 - 190	68 - 2190	26 - 166	42 - 208	14 - 2299
Zn	36 - 91	849 - 1775	219 - 798	153 - 921	22 - 1870
Mn	20 - 500	100 - 533	---	---	---
Fe	680 - 3239	9370 - 24451	---	---	---

* (Calmano, 1983 e Chester, 1985 in Fernandes et al., 1987)

TABELA 09 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS METAIS NA FRAÇÃO MÓVEL DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO LAGO ARARI-ILHA DE MARAJÓ/PA (RELAÇÃO LINEAR, N = 9).

	Cu	Zn	Mn	Fe
Cu	1.00000	0.78866	0.37288	0.39948
Zn	0.78866	1.00000	0.29157	0.24684
Mn	0.37288	0.29157	1.00000	0.55625
Fe	0.39948	0.24684	0.55625	1.00000

acentuada quando emprega-se a razão Cu/Zn (Cu x Cu/Zn) (fig. 19) . Por outro lado, as relações Cu x Mn (fig. 20) e Cu x Fe (fig. 21) apresentam correlações negativas. Estes dados resultam provavelmente da associação de Cu aos argilo-minerais e não aos óxidos de Fe e Mn. Assim, é possível concluir que as concentrações de elementos traços no Lago Arari são controladas pela fotossíntese, renovação de biomassa e o aporte dos sedimentos nas águas naturais, que juntos constituem o principal veículo, através do qual, todos os metais são incorporados à biomassa ou adsorvido à partículas sedimentares. Finalmente, não resta dúvida que o efeito do enriquecimento antrópico na concentração absoluta ainda é inexpressivo no Lago Arari.

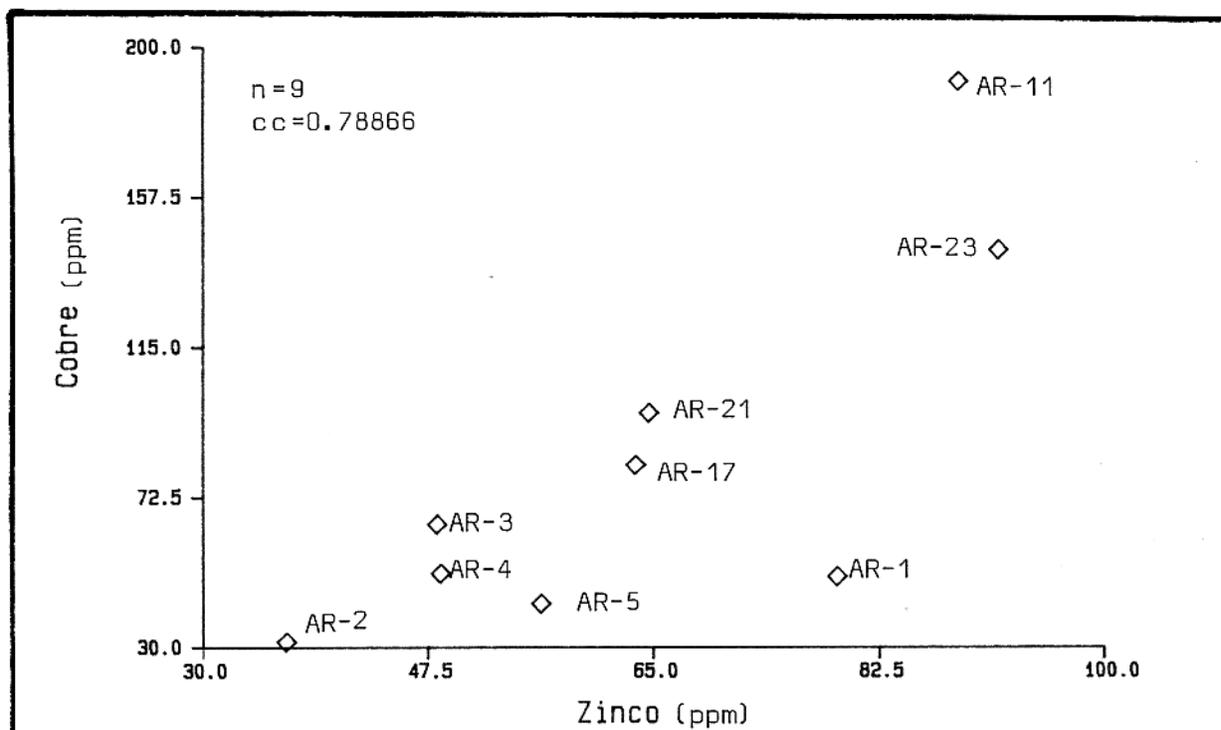


FIGURA 18 - RELAÇÃO LINEAR PARA CONCENTRAÇÕES DE Cu x Zn NA FRAÇÃO MÓVEL DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO LAGO ARARI. $n = N^{\circ}$ DE AMOSTRAS; $cc =$ COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

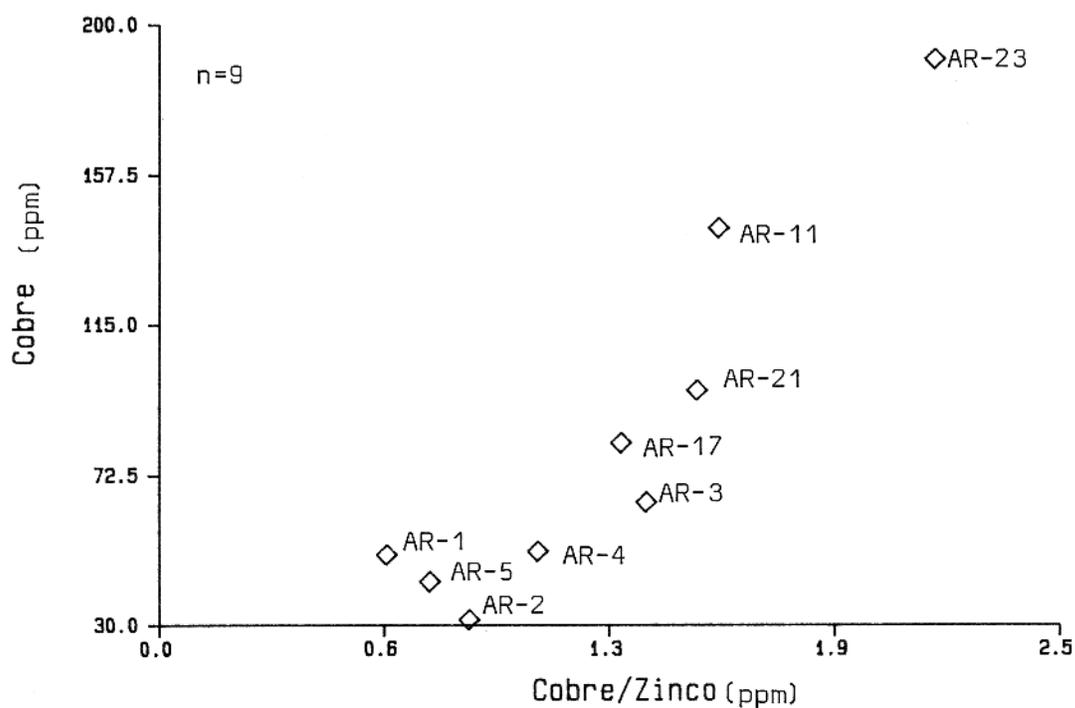


FIGURA 19 - RELAÇÃO LINEAR PARA CONCENTRAÇÕES DE Cu x (Cu/Zn) NA FRAÇÃO MÓVEL DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO LAGO ARARI. $n = N^{\circ}$ DE AMOSTRAS

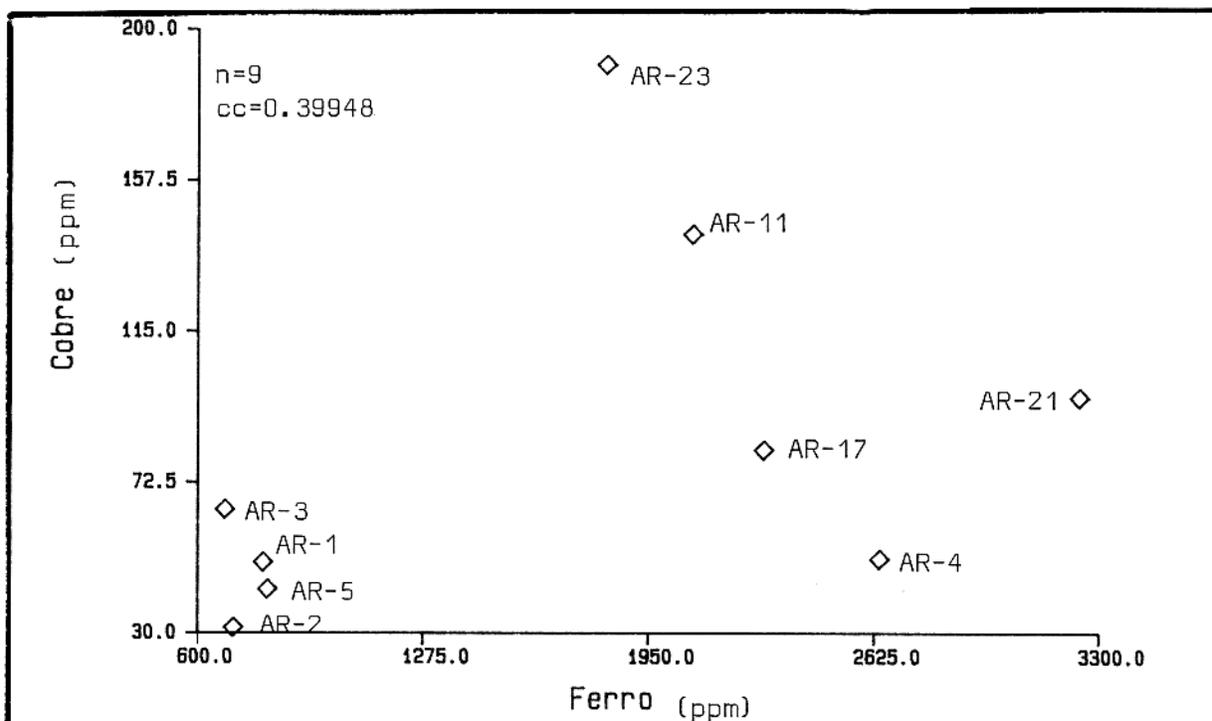


FIGURA 20 - RELAÇÃO LINEAR PARA CONCENTRAÇÕES DE Cu x Fe NA FRAÇÃO MÓVEL DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO LAGO ARARI. $n = N^{\circ}$ DE AMOSTRAS; $cc =$ COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

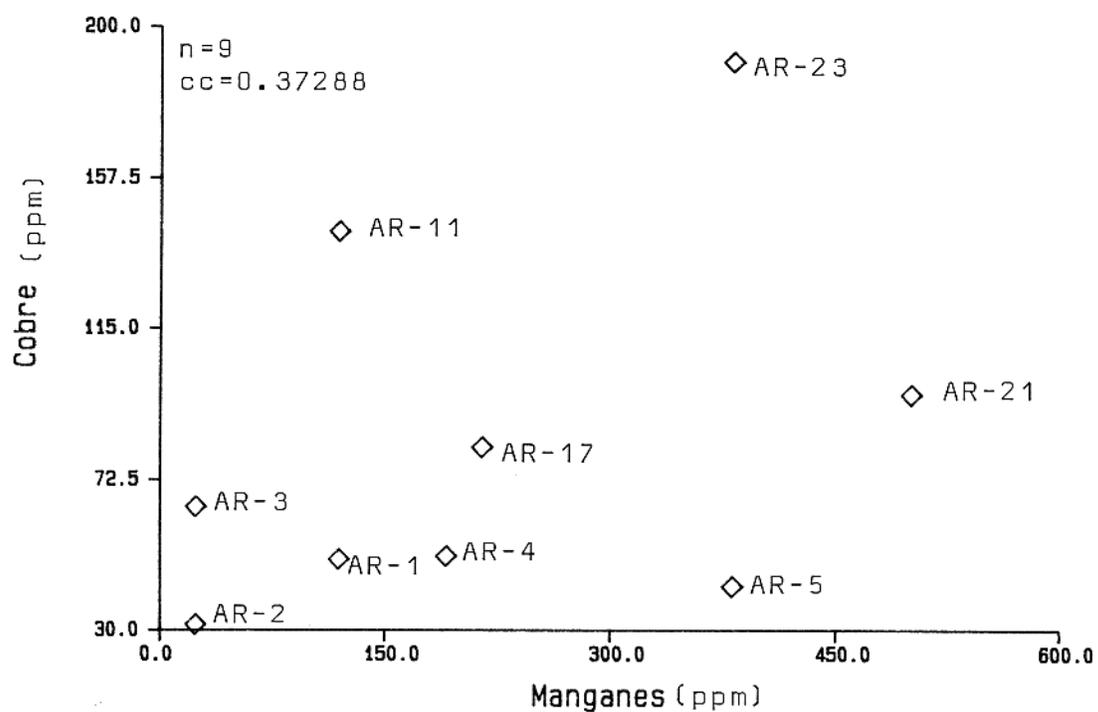


FIGURA 21 - RELAÇÃO LINEAR PARA CONCENTRAÇÕES DE Cu x Mn NA FRAÇÃO MÓVEL DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO LAGO ARARI. $n = N^{\circ}$ DE AMOSTRAS; $cc =$ COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

7. VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO NO LAGO ARARI

7.1. Considerações Gerais

O Pb-210, com uma vida-média de 22.3 anos, é atualmente utilizado como um dos métodos de datação mais adequado para escalas de tempo entre 100 e 200 anos. O desenvolvimento do método foi iniciado por Goldberg(1963, in Oldfield and Appleby, 1984) e aplicado pela primeira vez por Krishnaswami et al.(1971), que avaliaram a utilização do Pb-210, bem como de outros radioisótopos(Si-32, Fe-55 e Cs-137) para datação de sedimentos de lagos atuais. Estes autores concluíram que o Pb-210 é ideal para determinar a idade de sedimentos depositados durante o último século. Koide et al.(1973) reconheceram a validade do método e utilizaram-no na determinação da velocidade de sedimentação em uma série de pequenos lagos nos EUA, nos Estados de Winsconsin e Nevada (Trout Lake, Lake Mendota e Lake Tahoe) e na América do Sul (Lago Titicaca-Peru/Bolívia). Robbins and Edginton(1975), do mesmo modo, utilizaram-se do Pb-210 para definir a idade dos sedimentos recentes do Lago Michigan, consolidando a validade do mesmo, também para grandes lagos. Nittrouer et al.(1984) empregando diferentes radioisótopos averiguaram zonas de mistura da Plataforma Continental de Washington e avaliaram a precisão da velocidade de acumulação.

As medidas de velocidade de sedimentação fornecidas pelo método Pb-210 estão, em geral, em concordância com aquelas oriundas de métodos consagrados cientificamente como a palinologia e o C-14, mais trabalhosos e menos exatos. Além disso, a velocidade de sedimentação baseada em métodos

palinológicos (Kemp et al., 1972; Bortelson and Lee, 1972 in Robbin and Edginton, 1975), radiocarbono (Libbey, 1967; Gross et al., 1970 in Robbins and Edginton, 1975) e estratigráficos (Lineback et al., 1970 in Robbins and Edginton, 1975) fornecem apenas médias históricas, envolvendo sequências muito espessas de sedimentos. Assim, tais medidas não só carecem de precisão e detalhe, como não podem refletir adequadamente as velocidades de sedimentação nos 20 cms superiores de uma sequência sedimentar atual, onde ocorrem trocas significativas na interface sedimento-água.

Apesar da grande importância deste método, a origem dos processos que propiciam o acúmulo do Pb-210 nos sedimentos de lagos ainda não é bem compreendida. Nos lagos com velocidade de sedimentação constante, as datações derivadas do Pb-210 geralmente tem sido confirmada por outros métodos. Entretanto, quando a velocidade de deposição varia consideravelmente, não é simples compreender o desenvolvimento desses processos. Neste caso, as controvérsias ainda envolvem suposições sobre velocidade de sedimentação e velocidade de derivação a partir de medições de Pb-210 (Oldfield and Appleby, 1984).

7.2. A Presença de Pb-210 em Sedimentos de Lagos

O Pb-210 é um membro da série de desintegração do U-238. A desintegração do isótopo intermediário, Ra-226 (vida média de 1622 anos), libera o gás inerte Rn-222 (vida média de 3.82 dias). Este, por sua vez, decai para Pb-210 através de uma série de isótopos de vida curta (fig. 22). O Ra-226 é incorporado aos sedimentos de um lago como parte do material proveniente da erosão das correntes superficiais que o alimentam

(A na fig.23). O Pb-210, proveniente da desintegração "in situ" do Ra-226, é chamado de Pb-210 "supported" e admite-se, normalmente, que o mesmo esteja em equilíbrio radioativo com o Ra. Todavia, este equilíbrio será perturbado por um suprimento de Pb-210 a partir de outras fontes. Na fig. 23 podem ser observados os principais caminhos através dos quais o Pb-210 chega aos sedimentos:

__ Partículas radioativas atmosféricas diretas (B - fig.23) - uma fração dos átomos de Rn, formada pela desintegração do Ra-226 nos solos, escapa pelos interstícios e se propaga para a atmosfera. Neste novo ambiente, o decaimento do Rn libera Pb-210, o qual pode ser incorporado às águas do lago tanto por deposição a seco como por precipitação pluviométrica; finalmente, o Pb-210 é absorvido diretamente pelos sedimentos depositados no leito do lago.

__ Partículas radioativas atmosféricas indiretas (C - fig. 23) - O Pb-210 atmosférico também chega ao lago indiretamente, via componente das águas. Apesar da distinção, na prática, ser menos clara, é conveniente separar um componente C1, que é conduzido a rede de drenagem e flui rapidamente para o lago, sem ser detido em partículas terrestres sólidas, e um componente C2, que pode ter permanecido por longo tempo no lençol de água, antes de ser carregado para o lago em associação com o material erodido da superfície ao qual foi incorporado.

__ Desintegração do Rn na massa de água (D - fig. 23) - O Rn é distribuído para as águas do lago por difusão, a partir dos sedimentos subjacentes, e pela desintegração do Ra-226 na massa de água e influxo de correntes. Uma parte do Rn é perdido por difusão através da superfície do lago e o

Urânio-238	$\frac{4.5 \times 10^9 \text{ a}}{\alpha}$	Thório-234	$\frac{24.1 \text{ d}}{\beta^-}$
(99.27% de U)			
Protactínio-234	$\frac{1.18 \text{ m}}{\beta}$	Urânio-234	$\frac{2.48 \times 10^5 \text{ a}}{\alpha}$
Thório-230	$\frac{8.0 \times 10^4 \text{ a}}{\alpha}$	Rádio-226	$\frac{1622 \text{ a}}{\alpha}$
Radon-222	$\frac{3.82 \text{ d}}{\alpha}$	Polônio-218	$\frac{3.05 \text{ m}}{\alpha, \beta^-}$
Chumbo-210	$\frac{22.3 \text{ a}}{\beta}$	Pb-206(estável)	

FIGURA 22 - SÉRIE RADIOATIVA NATURAL U-Pb, SUA VIDA MÉDIA E FORMA DE DECAIMENTO. SÃO DADOS APENAS OS ISÓTOPOS UTILIZADOS DO PONTO DE VISTA CRONOLÓGICO. d=dias, a=anos, m=minutos

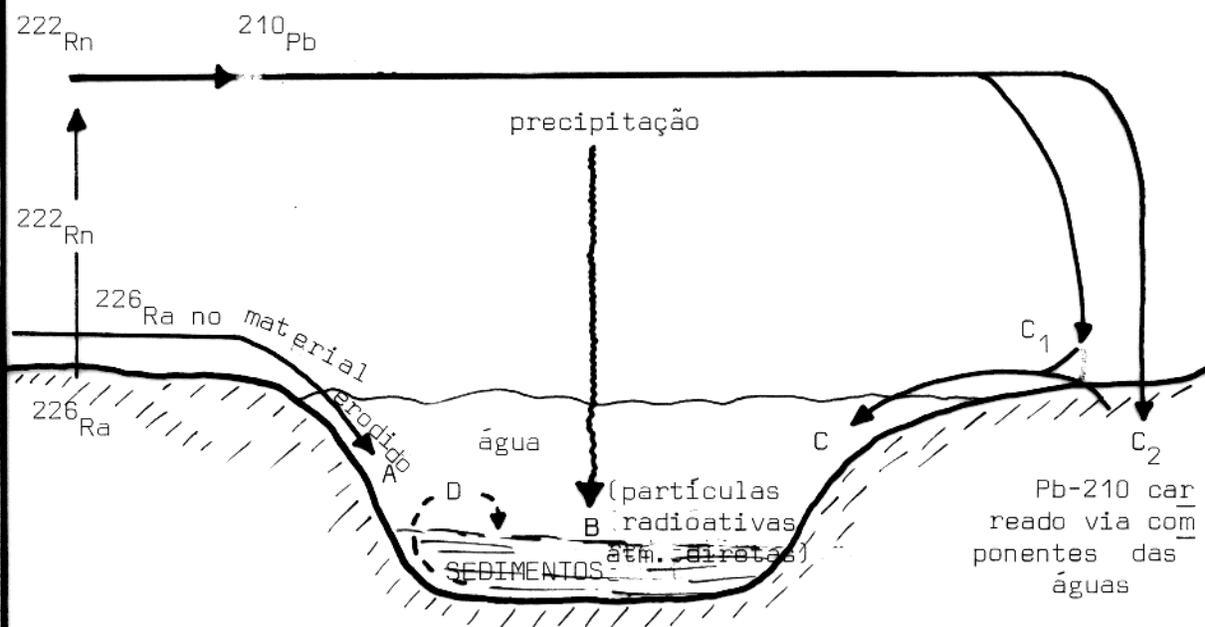


FIGURA 23 - CAMINHOS ATRAVÉS DOS QUAIS, O Pb-210 CHEGA AOS SEDIMENTOS DE LAGOS (MODIFICADO DE OLDFIELD AND APPLEBY, 1984)

restante decai para o Pb-210 na massa de água.

O Pb-210 que excede a atividade "supported" (componente B, C, e D - fig. 23) é denominado de excesso de Pb-210. A principal fonte de Pb-210 em excesso, geralmente é proveniente das partículas radioativas atmosféricas diretas (componente B - fig. 23), entretanto, a importância de outras fontes não tem sido amplamente estimada.

Na datação pelo método Pb-210, o componente em excesso é o único que é utilizado, considerando que uma vez incorporado ao sedimento, desintegra exponencialmente com o tempo de acordo com sua vida média. A atividade do Pb-210 "supported" é estimada pela análise do Ra-226. Todavia, a difusão do Rn através dos sedimentos pode resultar em um pequeno desequilíbrio entre o Ra-226 e o Pb-210, próximo a interface sedimento-água, desde que a atividade do Pb-210 total exceda a atividade do Ra-226 (uma correção para isto será desprezível). Uma vez calculada a atividade do Pb-210 "supported", o Pb-210 em excesso pode ser determinado pela subtração da atividade do Pb-210 total (Pb-210 total - Pb-210 "supported" = Pb-210 em excesso).

7.3. Estimativa Radioisotópica da Acumulação e Mistura de Sedimentos

Muitos dos elementos traços, incluindo alguns com isótopos radioativos, são removidos das águas por adsorção por partículas sedimentares (Turekian, 1977 e Li, 1982 in Nittrouer, et al., 1984). A medida que essas partículas se acumulam no fundo de lagos, rios e oceanos, os sedimentos mais antigos são progressivamente soterrados. Se o fluxo de sedimentos e

um radioisótopo adsorvido tiver permanecido constante no substrato formado, o perfil vertical do radioisótopo pode ser utilizado para calcular a velocidade de acumulação (A) utilizando as seguintes relações:

$$A = \frac{\lambda z}{\ln \frac{C_0}{C_z}} \quad (3)$$

onde, C_0 = atividade do radioisótopo a um nível superior do perfil;

C_z = atividade do radioisótopo a uma distância z abaixo do nível de C_0 ;

λ = constante de decaimento do radioisótopo = 0.693(mela vida) .

Devido a compusão analítica e ambiental, um radioisótopo pode ser usado, em geral, para averiguar a sedimentação por um período de 4 a 5 vezes sua vida média. Para ambientes de margem continental, a sedimentação pode passar por mudanças significativas num período de 100 anos e um radioisótopo (como o Pb-210), que pode determinar escalas de tempo mais curtas, tem grande relevância para estudos de processos lagunares modernos. Taxas normais de acumulação ficam em torno de milímetros a centímetros por ano e, portanto, os últimos 100 anos de acumulação são mais ou menos representados pelos metros superiores do substrato sedimentar do lago. Esta é, também, a região retrabalhada pelos processos físicos e biológicos, os quais podem modificar o mecanismo de acumulação dos sedimentos e a interpretação dos perfis radioisotópicos.

A sedimentação raramente é um simples soterramento de partículas. Após a deposição, organismos bentônicos movem as partículas depositadas, tanto vertical quanto lateralmente,

ocasionando a mistura do meio. Além disso, processos físicos como a erosão e redeposição, associados ao transporte dos sedimentos, também promovem a mistura das partículas do substrato das massas de água. Esses processos podem ser vistos, ainda, como um fenômeno local, caso as distâncias de transporte das partículas forem curtas ou se suas características texturais mudaram pouco ao longo do transporte.

A mistura de partículas é comumente modelada como um processo de difusão unidimensional (vertical) (Goldberg & Koide, 1962; Guinasso & Schink, 1965; Nozaki et al., 1977; DeMaster & Cochran, 1982 in Nittrouer et al., 1984). Embora a difusão não tenha uma boa correspondência com períodos de tempo dos eventos individuais de mistura, quando esta é integrada por muitos eventos pode assemelhar-se a difusão. Isto tem sido demonstrado para misturas biológicas (Aller & Dodge, 1974; Robbins et al., 1979 in Nittrouer et al., 1984) mas não para misturas físicas (Nittrouer et al., 1984). Se a mistura difusiva é considerada na sedimentação e no decaimento radioativo, o perfil sedimentar primário (não considerando consolidação), para cálculo da atividade em excesso de um radioisótopo não trocável (quimicamente imóvel), é dado pela equação advecção - difusão:

$$D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - A \cdot \frac{\partial c}{\partial z} - \lambda c = 0 \quad (4)$$

onde D é o coeficiente de mistura : os outros termos já foram definidos anteriormente. A solução desta equação pode ser reajustada para cálculo da taxa de acumulação (A):

$$A = \frac{z}{\ln \frac{C_0}{C_z}} - \frac{D}{z} \left(\ln \frac{C_0}{C_z} \right) \quad (5)$$

Se a mistura é desprezível (D = 0), a equação (5) é

simplificada para a equação (3). Entretanto, se a mistura está presente, a equação(5) demonstra que se considerarmos apenas o decaimento radioativo e a acumulação do sedimento, teremos uma taxa de acumulação aparente que superestima a verdadeira velocidade de sedimentação.

Ainda não é possível prever os coeficientes de mistura a partir de processos conhecidos, devido as observações de campo e simulações de laboratório raramente conseguirem acoplar processos físicos e biológicos sob escalas de tempo adequadas. Uma aproximação empírica é medir perfis radioisotópicos "in situ", o qual integra processos de mistura e tempo decorrido(Nittrouer et al., 1984). Estes perfis podem ser utilizados para calcular D, se a mistura é intensa e a acumulação é baixa($A^2 \ll \lambda D$). Sob tais condições a equação(5) se reduz a:

$$D = \frac{\lambda (z)^2}{\ln \frac{C_0}{C_z}} \quad (6)$$

A abundância de organismos bentônicos (Rhoads, 1974 in Nittrouer et al., 1984) e a frequência do retrabalhamento físico (Smith, 1977 in Nittrouer, op. cit.) diminuem da superfície do substrato com a profundidade. Portanto, deve ser esperado uma diminuição do coeficiente de mistura(D) para baixo. Uma aproximação para entender a variação vertical do coeficiente de mistura é utilizar uma série de radioisótopos (Benninger et al., 1979; Santschi et al., 1980 in Nittrouer, op. cit.).

7.4. A Taxa de Sedimentação no Lago Arari

A partir do método acima descrito foi calculada a taxa de acumulação dos sedimentos no Lago Arari. O perfil

característico da atividade do Pb-210 no substrato do lago, inclui três zonas distintas (fig. 24):

-- Uma camada superficial, aproximadamente homogênea, cuja profundidade média gira em torno de 5 cm e a atividade do Pb-210 está entre 2 - 6 desintegrações por minuto(dpm/mg), denominada de camada superficial de mistura. Ressalte-se que esta zona de mistura varia sazonalmente;

-- Imediatamente abaixo da camada superficial ocorre a zona de desintegração radioativa, com uma profundidade média entre 5 e 14 cm no substrato do lago, na qual a atividade do Pb-210 total diminui logaritmicamente para uma constante de nível mais baixo. É nesta zona que é calculada a velocidade de acumulação;

-- Quando a camada de decaimento radioativo atinge uma constante de nível inferior, esta passa a ser denominada de nível de "background" do Pb-210. Esta zona de "background" representa o Pb-210 proveniente do Ra-226 no sedimento(Pb-210 "supported"). Para o Lago Arari, devido aos testemunhos terem sido pouco profundos(máximo de 20 cm, vide item 3.2), torna-se difícil avaliar com precisão este "background", sendo considerado para o Pb-210 "supported" o valor de 0.6 dpm/mg.

A atividade do Pb-210 em excesso foi determinada em cada ponto do testemunho(tab. 10), subtraindo-se da atividade do Pb-210 total, o denominado Pb-210 "supported" (Pb-210 total - Pb-210 "supported" = Pb-210 em excesso). A velocidade de acumulação foi então calculada na região de desintegração radioativa utilizando-se a equação(3). O cálculo considera que a mistura física e biológica restringiu-se a camada de mistura. No Lago Arari, a profundidade desta camada é mais espessa próximo a

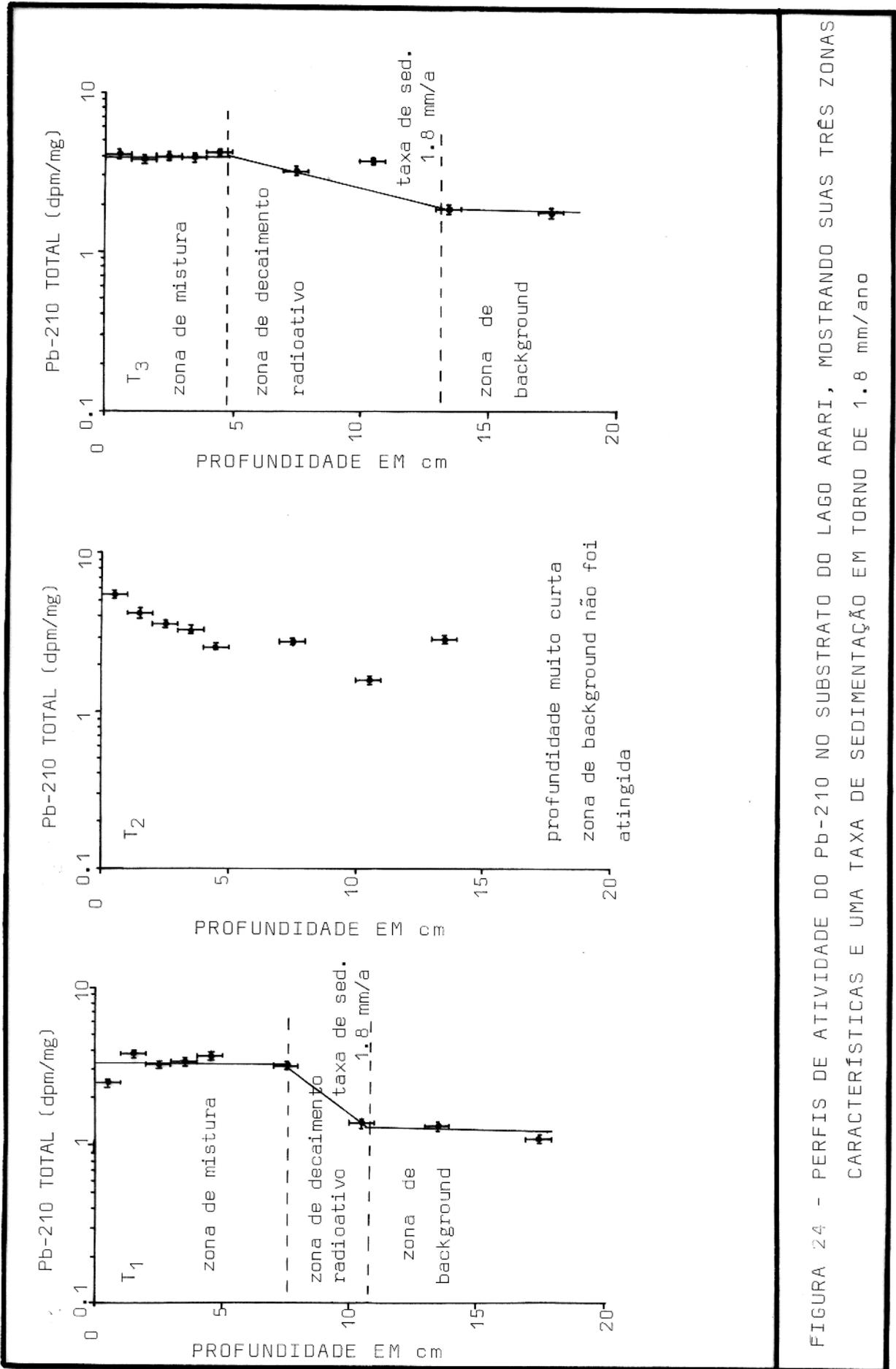


FIGURA 24 - PERFIS DE ATIVIDADE DO Pb-210 NO SUBSTRATO DO LAGO ARARI, MOSTRANDO SUAS TRÊS ZONAS CARACTERÍSTICAS E UMA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO EM TORNO DE 1.8 mm/ano

foz do rio Jenipapocú (T1 - fig.24), provavelmente devido a frequência da passagem de animais de grande porte (bufálos e gado), que retrabalham o fundo do lago nesta região, contribuindo para misturas pouco mais profundas.

Com base nos fatos acima, pode-se concluir que a geocronologia do Pb-210 revela uma taxa contínua de sedimentação da ordem de 1.8 mm por ano. Sendo verdadeiro este valor, e considerando as curvas de controle da elevação do nível do mar durante o Holoceno, disponível na região das Guianas, que assumem a idade de 6000 anos BP como limite inicial dos níveis atuais do mar no norte da América do Sul (Brinkman & Pons, 1968, in Prost, 1986), é possível admitir que os 11 metros superiores do substrato sedimentar do Lago Arari foram depositados a partir desta data limite ($0.0018 \text{ m/ano} \times 6000 \text{ ano} = 10.8 \text{ m}$), em condições flúvio-lacustres, com influência marinha, daí a predominância do fácies pelítico na área. Antes deste período, teria dominado a sedimentação fluvial num sistema meandrante, conforme o padrão ainda remanescente, observado nas imagens de radar (fig. 26). A partir do afogamento gradativo da drenagem continental, provavelmente iniciado em torno dos 6000 anos até o presente, teria ocorrido o processo de formação do grande lago e posterior colmatagem (vide capítulo seguinte).

A hipótese acima não pode ser testada no presente trabalho a partir de um estudo dos sedimentos inferiores à profundidade de 11 m, nem tampouco através de métodos indiretos (sismo-estratigrafia), esperando-se ser objeto de investigações futuras.

TABELA 10 - DADOS FORNECIDOS A PARTIR DE TESTEMUNHOS DO SUBSTRATO DO LAGO ARARI, PARA DATAÇÃO UTILIZANDO Pb-210.

INTERVALO (cm)	PESO (gr)	Pb-210 CORRIGIDO	Pb-208 CORRIGIDO	ATIVIDADE DO Ra	Cte. ALFA (min)	Pb-210 (dpm)	TOTAL
TESTEMUNHO T1							
0 - 1	4.52	1561	1429	28.8	496	2.463 ±	.135
1 - 2	4.66	2068	1202	24.2	496	3.762 ±	.205
2 - 3	4.69	1882	1261	25.4	496	3.243 ±	.177
3 - 4	4.60	1812	1171	23.6	496	3.428 ±	.190
4 - 5	4.38	910	574	21.0	273	3.676 ±	.246
7 - 8	4.62	3070	2145	29.5	726	3.151 ±	.156
10 - 11	4.84	635	979	13.4	726	1.363 ±	.089
13 - 14	4.88	741	1160	16.0	726	1.331 ±	.083
17 - 18	4.99	1176	2196	30.2	726	1.091 ±	.059
TESTEMUNHO T2							
0 - 1	4.53	2509	999	27.7	361	5.673 ±	.313
1 - 2	4.65	1804	911	25.3	361	4.357 ±	.250
2 - 3	4.69	1538	902	25.0	361	3.720 ±	.217
3 - 4	4.58	1565	1024	28.4	361	3.414 ±	.195
4 - 5	4.65	1307	1096	28.6	384	2.636 ±	.152
7 - 8	4.80	3152	2351	22.2	1058	2.864 ±	.140
10 - 11	4.73	1702	2314		892	1.588 ±	.082
13 - 14	4.72	681	508		1058	2.912 ±	.208
TESTEMUNHO T3							
0 - 1	4.36	1331	760	27.8	273	4.079 ±	.249
1 - 2	4.54	1191	697	25.5	273	3.822 ±	.239
2 - 3	4.60	1361	760	27.8	273	3.953 ±	.241
3 - 4	4.60	1267	731	19.1	384	3.872 ±	.239
4 - 5	4.67	1801	939	24.5	384	4.221 ±	.241
7 - 8	4.80	3572	2382	22.5	1058	3.203 ±	.155
10 - 11	4.81	3743	2133	20.2	1058	3.741 ±	.183
13 - 14	4.82	1948	2168	24.3	892	1.904 ±	.098
17 - 18	4.92	1532	1821	20.4	892	1.746 ±	.093

B. DISCUSSÃO - A ORIGEM DO LAGO ARARI

A formação e o comportamento dos sedimentos lagunares são controlados pela interação de vários processos físicos, cuja importância relativa é particularmente influenciada pelas condições climáticas, forma, orientação e tamanho da bacia (Lerman, 1978).

O Lago Arari apresenta uma forma alongada no sentido N - S, possuindo, no período da seca, aproximadamente 15 Km de comprimento por 5 Km de largura, cobrindo uma área de 75 Km² e tendo somente 1.5 a 2.0 m de profundidade (fig. 25a). Perfis ecobatimétricos, realizados em período de cheia (Junho/88), revelaram um fundo essencialmente plano com profundidade máxima de 4.0 m, com declive abrupto na margem oeste e bastante suave na margem leste (fig. 25b).

Os lagos são sistemas essencialmente fechados quanto ao transporte de sedimentos e, devido a razão frequentemente alta entre a drenagem do continente e a área do lago, os sedimentos de carga e a taxa de sedimentação parecem substancialmente mais altos que em ambientes marinhos, mesmo quando a sedimentação é quase que inteiramente restrita a sedimentos finos. Deste modo, do ponto de vista geológico, a maioria dos lagos são feições transitórias.

Segundo Lerman (op. cit.), as formas dos lagos não dependem apenas da forma da bacia original, mas, também, dos movimentos isostáticos e tectônicos subsequentes, bem como da acumulação do material que entra.

As principais mudanças no Lago Arari, no que se refere aos processos sedimentares ali desenvolvidos, podem ser consequências diretas e indiretas dos seguintes efeitos: (1)

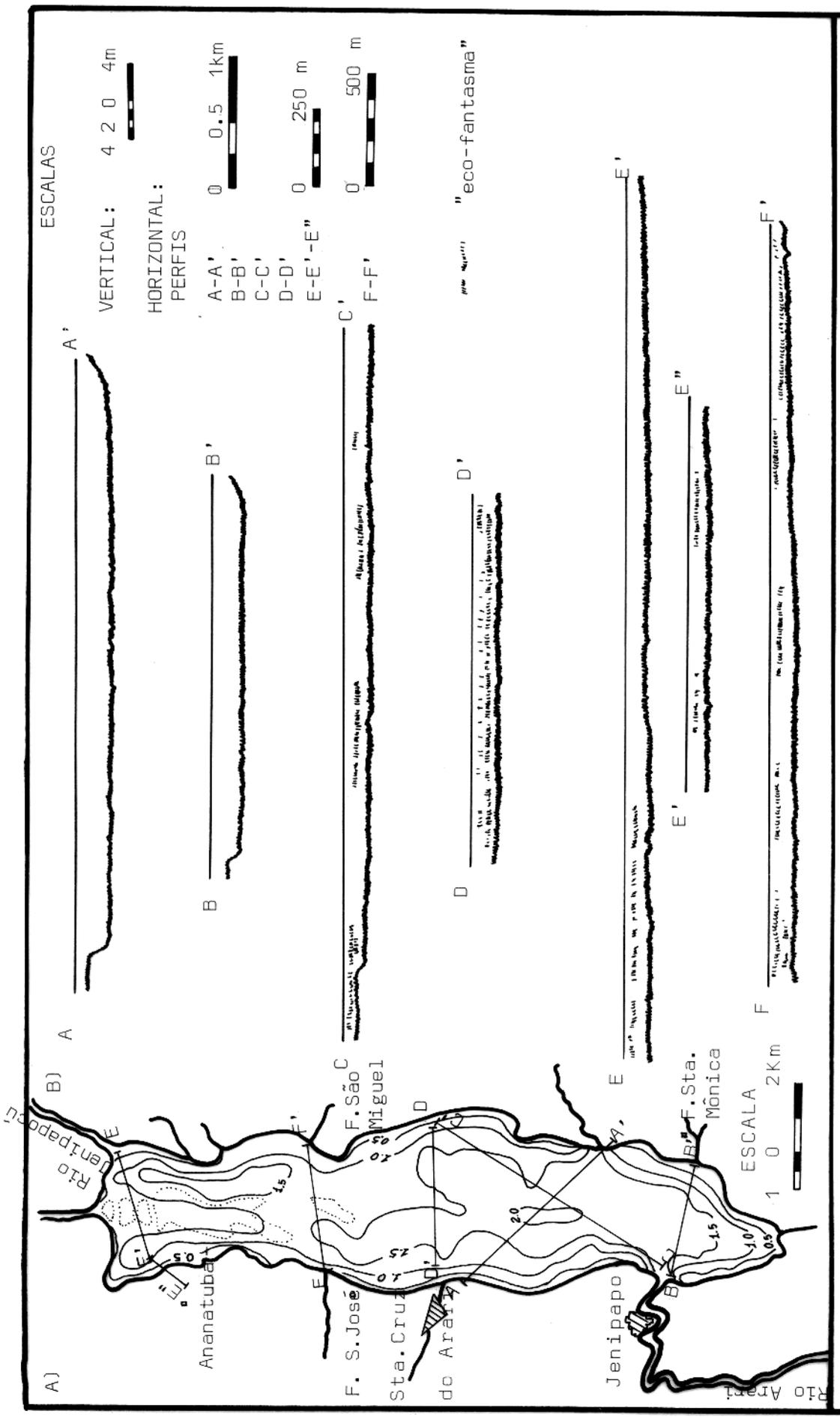


FIGURA 25 - A) BATIMETRIA DO LAGO ARARI, REALIZADA NO PERÍODO DE ESTIAGEM DO ANO DE 1960 (IDESP, 1974)
 B) PERFIS ECOBATIMÉTRICOS DO LAGO ARARI; REALIZADOS EM JUNHO DE 1988. A CAMADA DE ARGILA FLOCULADA É REGISTRADA PELOS "ECO-FANTASMAS"

variações climáticas; (2) mudanças no nível da água; (3) assoreamento devido a "trends" naturais de acumulação (região em processo de colmatagem) e (4) mudanças locais que afetam apenas parte da bacia, tais como modificação do influxo devido a variações de drenagens.

Estas mudanças são bem visíveis nas imagens de radar e nas fotografias aéreas pelos contrastes que uma enorme área circunvizinha ao lago apresenta em relação ao resto da ilha de Marajó. Referida área tem seus limites definidos, ao sul, por uma estrutura linear, pouco sinuosa, de direção aproximadamente E - W, na verdade um prolongamento da margem oeste do atual Lago Arari (fig. 26). A norte e a leste seus limites são irregulares e interdigitados com a região de campos. Issler et al. (1974, in Brasil. DNPM, 1974), chama de flúvio-lacustres os materiais sedimentares presentes nesta área.

A área circunvizinha ao Lago Arari é marcada particularmente, também, pela presença de paleocanais, pequenos lagos e uma sequência de cordões flúvio-lacustres, subparalelos a sua margem leste. Estes cordões infletem, a sul acompanhando o lineamento de direção E - W que margeia esta área. A cerca de 6 Km da margem leste (parte central) encontra-se um expressivo paleocanal com provável direção das correntes no sentido de NE para SW, indicada pela bifurcação dos paleo-contribuintes do mesmo (Porsani, 1981). Além deste, observa-se outros possantes paleocanais que provavelmente comunicavam a região central da ilha com a Baía do Marajó. Porsani (1981) sugeriu, ainda, que esta região teria sido ocupada por um lago maior, o qual teria evoluído para o atual Arari, considerando que somente a evolução e sedimentação de um grande lago pré-existente explicaria as

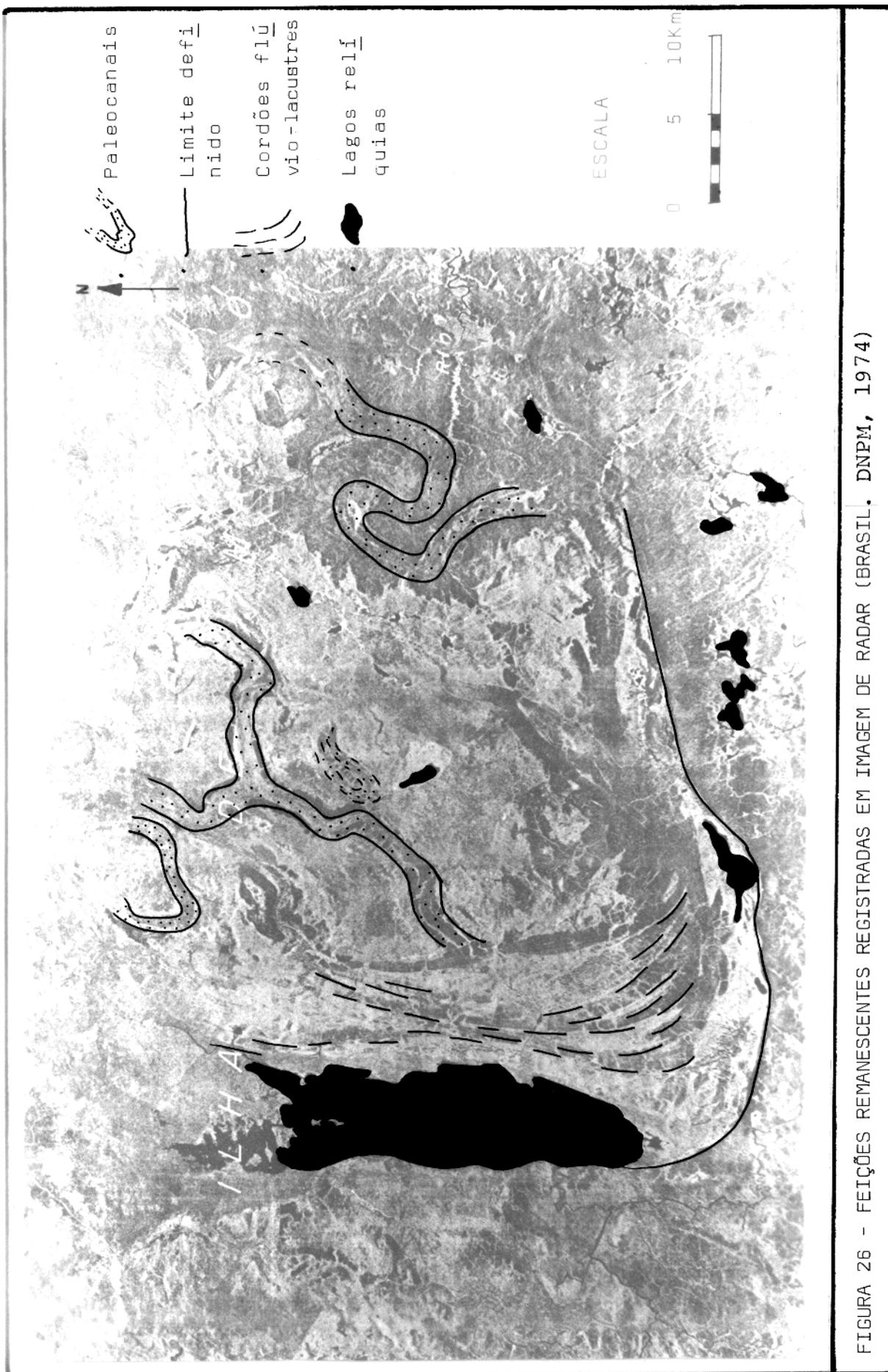


FIGURA 26 - FEIÇÕES REMANESCENTES REGISTRADAS EM IMAGEM DE RADAR (BRASIL. DNPM, 1974)



estruturas descritas acima. As variações observadas durante o ciclo hidrológico que abrangeu o presente trabalho, onde nas épocas de máxima pluviosidade a profundidade do lago atinge 4.0 m e no verão chega a secar quase totalmente, reforçam a hipótese de que o Lago Arari atual corresponde ao estágio final de evolução e sedimentação de um sistema flúvio-lacustre bem maior. Desta forma, os cordões lineares subparalelos à margem oriental corresponderiam a sucessivas margens abandonadas no processo de colmatagem. O lineamento com direção E - W pode ser interpretado como o limite mais setentrional antigo. Os paleocanais representariam fases mais fluviais, meandranes, contribuintes importantes no processo de sedimentação geral da área. Os lagos menores, que ocorrem no emaranhado de paleocanais corresponderiam a lagos relíquias, ainda em vias de colmatagem, a exemplo do Arari. Além disto, o "teso" do Pacoval, localizado na margem leste do lago, próximo ao rio homônimo é uma prova de que esta área era anteriormente inundável (vide Item 2.5).

A tentativa de atribuir uma idade para o início do processo de formação do Lago Arari encontra, neste trabalho, apoio no dado sobre a taxa de sedimentação do mesmo. Assim é que, somente após o nível do mar atingir os níveis atuais (6000 anos BP) seria possível ocorrer o isolamento ou inversão da drenagem do sistema flúvio-lacustre interior da Ilha do Marajó, dando início aos processos de colmatagem e assoreamento do mesmo. Não devem ser descartadas, entretanto, processos tectônicos-eustáticos que poderiam também ter contribuído para o isolamento da drenagem interior da Ilha do sistema Atlântico x Baía do Marajó (vide Item 4). Considerando as características tectônicas da área, é possível admitir que esta parte do Marajó

encontra-se em vias de elevação tectônica desde o Pleistoceno tendo sido substrato marinho durante parte deste período. Dados geofísicos da PETROBRÁS ainda não publicados devem reforçar esta hipótese.

9. CONCLUSÕES FINAIS

O Lago Arari, situado na região de campos naturais do Marajó, representa um ambiente onde as variações climáticas desempenham um papel decisivo, com o nível hidrostático subindo após cada pico de precipitação, voltando a baixar após o período de estiagem. A precipitação pluviométrica anual da região é alta, sendo registrado para o ano de 1987 o valor de 2546.2 mm, com maior pico em março(613 mm) e menor em novembro(0.0 mm), sendo a temperatura média em torno de 28°C e umidade relativa do ar de 80 %, com evaporação intensa(1083.5 mm) durante o verão.

Apresenta uma forma alongada, com seu eixo maior no sentido N-S, possuindo no período da seca, aproximadamente 15 km de comprimento por 5 km de largura, cobrindo uma área de 75 km² e tendo somente 1.5 a 2.0 m de profundidade, enquanto no período chuvoso pode alcançar até 200 km² de área, e uma profundidade máxima de 4.0 m. Do ponto de vista hidrográfico do Marajó(O.E.A., 1984), está inserido na sub-bacia do Lago Arari, sendo cercado por elevações em torno de 4.0 m. Ligado à região costeira pelo canal das Tartarugas (aberto artificialmente na calha do rio Jenipapocú) e à Baía de Marajó através do rio Arari, recebe forte influência das marés dinâmicas durante boa parte do ano. Apenas uns poucos e pequenos rios deságuam nesse lago, destacando-se o Arari, Jenipapocú e Apehí.

As águas do Lago Arari são doces(extrema redução ou ausência completa de salinidade), com pH aproximadamente neutro e constante durante o ano(entre 6.8 - 7.0), e teor de oxigênio dissolvido em média entre 7.7 - 7.8 mg/l, com tendência a uma ligeira elevação durante a estação chuvosa,

provavelmente em função da acentuada redução do volume das águas na época da seca, quando há uma maior concentração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos. Os valores de condutividade (média de 65 mho/cm nas estações chuvosas e 90 mho/cm nas estações secas) mostram-se mais relacionados com as características geoquímicas da região e com as condições climáticas, do que com o estado trófico. A temperatura da água (média de 27.7°- 27.9°C) não apresenta variações sazonais significativas, não possibilitando a estratificação térmica.

O material em suspensão provém das áreas adjacentes ao lago, sendo que durante o verão, em virtude da forte evaporação, ocorre uma elevada concentração dos mesmos. Como decorrência disso verifica-se também a presença de uma camada muito densa de argila floculada, próximo do fundo, que permanece praticamente imóvel podendo desenvolver nos registros batimétricos um "falso fundo". A análise dos componentes biológicos mostrou uma maior concentração de indivíduos do fito e zooplâncton durante o período de estiagem, ocorrendo uma redução dos mesmos no período de cheia. Estas variações estão mais relacionadas com a concentração de nutrientes, íons dissolvidos e diluição da suspensão, já que os parâmetros físico-químicos (pH, O_2 , T, condutividade) não sofrem variações sazonais que possam efetuar mudanças qualificativas e quantitativas do plâncton.

O Lago Arari, considerando os parâmetros acima, pode ser classificado como um lago de águas brancas, possuindo uma elevada turbidez, produzida por substâncias que permanecem em suspensão na água (argilas, siltes, microorganismos), o que confere a mesma o aspecto "barrento" e coloração marrom-

amarelada, típicos dos rios, furos e igarapés do Golfão Marajoara.

A influência dos ventos sobre a hidrodinâmica do lago é marcante, soprando predominantemente de NE e gerando correntes com velocidades máximas da ordem de 52 - 42 cm/s, respectivamente em superfície e a 2.0 m de profundidade, com direção preferencial SE - NE, reforçada pelo vetor médio de direção E - SE. Os valores altos do vetor magnitude das correntes obtidos para o Lago Arari, 56% e 72% (superfície e a 2.0 m de prof.), indicam um agrupamento de resultantes em torno do vetor médio (baixa dispersão) produzido pelas medições individuais e geralmente tendendo para a mesma direção. As medidas mais baixas de velocidade foram registradas nos pontos situados na parte central do lago, sendo que as correntes mais fortes são encontradas nas proximidades da entrada no rio Arari (provavelmente em consequência da influência deste).

As correntes geradas pelo vento produzem mais resuspensão do fundo em condições de menor lâmina d'água e a ação contínua dos mesmos sobre a superfície do lago, associada ao "trend" geral das correntes, arrasta suas águas em direção a margem oeste. O impacto das correntes nesta margem resulta num processo de erosão, enquanto na margem leste ocorre o assoreamento constante (área em processo de colmatagem), devido, ainda, ao maior aporte de sedimentos e consequente deposição dos mesmos.

No Lago Arari os sedimentos originam-se essencialmente dos cursos de água que o alimentam, trazidos pelas marés dinâmicas, da erosão pluvial da área externa circunvizinha e da erosão marginal provocada pelas correntes

superficiais. Os sedimentos acumulados consistem, principalmente, de lamas ricas em matéria orgânica, compostas de quatro grupos de argilo-minerais: caulinita, illita, esmectita e clorita.

A análise semi-quantitativa da composição das argilas mostrou que nos sedimentos em suspensão a caulinita é sempre o mineral predominante, seguido de esmectita e de illita. A clorita foi registrada apenas como traço em algumas amostras. Nos sedimentos de fundo foi possível estabelecer três zonas de ocorrência destes minerais:

- (I) na porção sul e extremo NE do lago -
caulinita > esmectita >> illita
- (II) na faixa centro-norte e no extremo N-NW -
caulinita > illita >> esmectita
- (III) na parte central - illita ≥ caulinita >>
> esmectita

A abundância da caulinita reflete a sua relação genética com terrenos tropicais, sujeitos a climas úmidos e de intemperismo forte. Da mesma forma, a ocorrência da clorita como traço está condicionada ao intemperismo químico intenso. A presença marcante da esmectita (principalmente na paragênese tipo I) pode ser considerada normal já que a mesma é característica de ambientes parálicos a lagunares. A predominância da illita (tida como preferencialmente marinha (Hirst, 1962)) sobre a esmectita nas paragêneses tipo II e III poderia sugerir que as illitas foram trazidas pelas marés dinâmicas ou seriam provenientes da erosão de sedimentos argilosos das áreas emersas em torno do Lago Arari. Admitindo-se que referidos sedimentos foram depositados em condições

marinhas quando esta parte da ilha de Marajó esteve submersa, durante períodos transgressivos do Pleistoceno.

A observação de níveis intraconglomeráticos (pisólitos) no material argiloso sedimentado, reflete as condições climáticas da região, com a estação chuvosa garantindo a hidrólise e a liberação do Fe, enquanto durante a seca ocorre a mineralização do sedimento com a fixação do Fe, sob a forma de concreções irregulares que são retrabalhadas, transformando-se em pequenas partículas esféricas, líticas, ferruginosas.

O tratamento estatístico dos metais traços detectados nos sedimentos de fundo (Cu, Zn, Mn e Fe) revelou que a concentração dos mesmos é controlada pela fotossíntese, renovação de biomassa e aporte dos sedimentos nas águas. Estes fatores constituem-se, no conjunto, no principal veículo através do qual todos os metais são incorporados à biomassa ou adsorvido à partículas sedimentares, não restando dúvida que o efeito do enriquecimento antrópico (poluição) na concentração absoluta ainda é inexpressivo.

A taxa de sedimentação para o Lago Arari, determinada através do método de datação Pb-210, é da ordem de 1.8 mm por ano. Considerando-se a idade de 6000 anos BP como limite inicial dos níveis atuais do mar no norte da América do Sul (Brinkman & Pons, 1968, in Prost, 1986), pode-se admitir que os 11 m superiores do substrato sedimentar deste lago ($0.0018 \text{ m/ano} \times 6000 \text{ anos} = 10.8 \text{ m}$) foram depositados, a partir deste período e como consequência do afogamento gradativo da drenagem continental, em condições flúvio-lacustres a lacustres, com influência marinha, o que também determinou a

predominância do fácies pelítico na área.

Assim sendo, a evolução do Geossistema Arari poderia ser resumidamente descrita como a seguir:

PLEISTOGENO

- . Áreas sujeitas a movimentação tectônica (sistema de "grabens" e "horst" de Limoeiro e Mexiana)
- . Submersão durante períodos transgressivos interglaciais
- . Máximo da Regressão

HOLOGENO

- . Ambiente dominado por sedimentação fluvial num sistema meandrante (conforme padrão remanescente observado nas imagens de radar)
- . 6000 anos BP - Nível do mar próximo dos limites atuais
- . Afogamento gradativo da drenagem continental, propiciando o processo de formação do grande lago primitivo nos campos naturais
- . Influências marinhas na deposição flúvio - lacustre
- . Posterior colmatagem, individualização de lagos menores e assoreamento dos mesmos
- . Formação do Lago Arari atual

10. Referências Bibliográficas

- ALVES, J.J.A. - 1979 - Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. Tese de Mestrado em Geofísica. Belém, UFPA/NCGG. 55p.
- AMARAL, S.E. - 1955 - Sedimentologia e Geologia das Camadas Perfuradas na Região da Foz do Rio Amazonas: Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letras, São Paulo, USP, 192 (12):1-93.
- BEMERGUY, R.L. - 1981 - Estudo Sedimentológico dos Paleocanais do rio Paracauari, Ilha de Marajó - Estado do Pará. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NCGG. 95p.
- BISCAYE, P.E. - 1965 - Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans. Geolog. Soc. of Amer. Bull, 76:803-832.
- BRASIL. DNPM - 1974 - Projeto Radam, Folha SA-22 Belém. Rio de Janeiro, v.5
- BROWN, G. - 1961 - The X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. London, Mineralogical Society of London. 544p.
- CASTRO, J.C.; VASCONCELOS, D.N. - 1970 - Estudo Sedimentológico Integrado da Bacia do Marajó e do 1-PAB-1. Relatório Interno. Belém, PETROBRÁS. 11p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) - 1978 - Normalização Técnica NT-07. Análise Físico-química das águas. São paulo. n.p.
- CURRAY, J.R. - 1956 - The Analyses of Two-Dimensional Orientation Data. J. Geol. 64:117-31
- DAEMON, R.F.; LIMA, E.C. - 1970 - Estudo Bioestratigráfico Preliminar Efetuado em Sedimentos Cretáceos, Paleocênicos e Neogênicos da Bacia do Marajó em Base Palinológica. Relatório

- Interno. Belém, PETROBRÁS. 9p.
- DAMUTH, J.E.; FAIRBRIDGE, R.W. - 1970 - Equatorial Atlantic Deep-Sea Arcosic Sands and Ice-Age Aridity in Tropical South America. Geol. Soc. America, Bull. 81:189-206
- DAMUTH, J.E.; KUMAR, N. - 1975 - Amazon Cone: morphology, sediment, age, and grow pattern. Geol. Soc. America, Bull., 86:863-78
- DAVIS, J.C. - 1973 - Statistics and data Analysis in Geology. New York, Jonh Willey & Sons. 550p.
- EGLER, W.A.; SCHWASSMANN, H.O. - 1962 - Limnological Studies in the Amazon Estuary. Boletim do Mus. Paraense Emílio Goeldi Belém, Nova Série, Avulsa(separada) n.1, agosto, 25p.
- ESTEVES, F.A. - 1988 - Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, Interciência/FINEP. 575p.
- FARIA Jr., L.E.C. - 1986 - O Programa de Pesquisa e Ciãncia do Mar(PROMAR) da UFPA. In: Anais do 5 Encontro de Pesquisadores da Amazônia, Manaus, Resumos, p.137
- FERNANDES, H.M., AZEVEDO, H.L.P.; BARCELLOS NETO, C.C. - 1987 - Investigaçãõ da poluiçãõ do arroio Pavuna-Rio de Janeiro, por metais pesados, através do uso do sedimento como parâmetro geoquímico. In: Anais do I Simp. Bras. de Geoq., Porto Alegre, SBGq, v.2, p.171-183
- FERREIRA, C.S. - 1982 - Notas Estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. In: Anais do I Simp. de Geol. da Amaz., Belém, SBG - Norte, v.1, p.84-88
- FOLK, R.L. - 1974 - Petrology of Sedimentary Rocks. Texas, Hemphice publishing. 182p.
- FORSTNER, V.; SCHER, J. - 1984 - Some Typical Examples of the Importance of the Role of Sediments in the propagation and accumulation of pullutants. Sediments and Pollution Waterways.

- Viena, 2:137-158
- HIRST, D.M. - 1962 - The geochemistry of modern sediment from the Gulf of Párla II. The location and Distributions of trace elements. *Geochim. Cosmoc. Acta.* 26:1147-1187
- INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONOMICO-SOCIAL DO PARÁ (IDESP) - 1974 - Estudos Integrados da Ilha do Marajó. Belém. 333p.
- JENNE, E.A.; LUOMA, S.- 1977- Forms of trace elements in soils, sediments and associated waters: An overflow of their determination and biological availability. In: Wilding, R.E.; Druken, H. eds. *Biological Implications of Metals in the Environment.* New York, Verlag - Springfield. v.15 p.110-143
- KLEMME, H.D. - 1971 - What Giants and their Basins have in common. *The oil and gas Journal.* 3:1-15
- KOIDE, M.; BRULAND, K.W.; GOLDBERG, E.D. - 1973 - Th-238/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 37:1171-1187
- KRISHNASWAMI, L.D.; MARTIM, J.M.; MEYBECK, M. - 1971 - Geochronology of the lakes sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 11:407-414
- KUMAR, N.J.; DAMUTH, J.E.; GORINI, M.A. - 1977 - Discussion - relict magnesian calcite oolite and subsidence of the Amazon Shelf. *Sedimentology.* 24:143-148
- LACERDA, L.D. - 1983 - Aplicação da Metodologia de Abordagem pelos Parâmetros Críticos no Estudo da Poluição por Metais pesados na Baía de Sepetiba, RJ. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica da UFRJ. 136p.
- LERMAN, A.- 1978 - LAKES: Chemistry. Geology. Physics. New York, Springer - Verlag. 363p.
- LINDHOLM, R.T. - 1987 - A Practical Approach to Sedimentology. London, Allen & UnWIN. 278p.

- LUDWIG, G. - 1964 - Geology of Marajó Basin. Relatório Interno. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. 67p.
- MILLIMAN, J.D. - 1979 - Morphology and Structure of the Amazon Continental Margin. American Association of Petrology, Bull., 63:934-950.
- MILLIMAN, J.D.; SUMMERHAYES, C.P.; BARRETO, H.T. - 1975 - Quaternary Sedimentation of the Amazon Continental: A model. Geol. Soc. Am. Bull., 86:610-614
- NITTROUER, C.A.; DeMASTER, D.J.; McKEE, B.A.; CUTSHALL, N.H.; LARSEN, I.L. - 1984 - The Effect of Sediment Mixing on Pb-210 Accumulation Rates for the Washington Continental Shelf. Marine Geology, 54:201-221
- O.E.A. - 1974 - Marajó - Um Estudo para o seu Desenvolvimento. Washington. 124p.
- OLDFIELD, F.; APPLEBY, P.G. - 1984 - Empirical Testing of Pb-210. Dating models for lake sediments. In: Haworth, E.Y.; Lund, J.W.D. Lake Sediments and Environmental History. Mineapolis, University of Minnesota Press. 411p.
- PETRI, S. - 1954 - Foraminíferos Fósseis da Baía do Marajó: Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letras, São Paulo, USP. 176(11):1-45
- PINHEIRO, R.V., - 1987 - Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário Guajará - Belém (PA). Tese de Mestrado. Belém, UFPA/CPGG. 164p.
- PIUCI, J. - 1978 - Hidrogeologia da Área Piloto - Ponta de Pedras-Iilha de Marajó-PA. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NGGG. 143p.
- PORSANI, M.J. - 1981 - Paleocanais, uma Opção Para a Prospecção da Água Subterrânea Rasa na Ilha de Marajó-PA. Tese de Mestrado. Belém, UFPA/NGGG. 109p.

- PORSANI, M.J.; RIJO, L.; BISCHOFF, J. ; FONSEGA, N.R.M. - 1980 - Métodos Geofísicos Aplicados a Prospecção de água Subterrânea Região do Lago Arari. In: Anais do Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, Recife, v.1, p.269-284
- POTTER, P.E., SHIMP, N.F.; WITTERS, J. - 1963 - Trace elements in marine and fresh-water argillaceous sediments. Geochim. Cosmochim. Acta. 27:669-694
- PROST, M.T. - 1986 - Observations Sur L evolution Morpho-Sedimentaire du Littoral Guyanais. In: Int. Symp. on Sea Level Changes and Quaternary Shorelines. São Paulo. 23p.
- REZENDE, W.M. ; FERRADAES, J.O. - 1971 - Interpretação Geológica Regional da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. In Anais do XXV Cong. Bras. de Geol. Belém, v.3, p.203-214
- RIBEIRO, J.S.B. - 1978 - Fatores ecológicos, produção primária e fitoplâncton em cinco lagos da Amazônia central. Tese de mestrado. São Carlos, UFSCar. 143p.
- ROBBINS, J.A. ; EDGINTON, D.N. - 1975 - Determination of Recent Sedimentation Rates in Lake Michigan Using Pb-210 and Cs-137. Geochim. Cosmochim. Acta. 39:285-304
- ROSLER, H.J. ; LANGE, H. - 1972 - Geochemical Tables. New York, Elsevier Publishing. 468p
- SANTOS, A. - 1986 - As Águas da Região de Carajás. In: Almeida Jr, J.M.G. Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento. Brasília, Brasiliense/CNPq. 156-183
- SCHAFER, A. - 1985 - Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais. Porto Alegre, UFRGS. 532p.
- SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N. ; CASTRO, J.C. - 1971 - Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: Anais do XXV Cong. Bras. de Geol., São Paulo. SBG. v.3, p.189-202

- SERRA, V.H. ; TANCREDI, A.C.F.N.S. - 1982 - Estudos Hidrogeológicos da Ilha de Marajó. In: Anais do I Simpósio de Geologia da Amazonia, Belém, p.339-350
- SILVA, L.M. - (no prelo) - Efeitos da Sazonalidade nas Características Hidrogeoquímicas e Limnológicas das Águas do Lago Arari. Tese de mestrado. Belém, UFPA/CPGG
- SIMÕES, M.F.- 1950 - Índice das Fases Arqueológicas Brasileiras. Belém. Museu Paraense E. Goeldi. 55p.
- SIOLI, H. - 1951 - Alguns Resultados e Problemas da Limnologia Amazônica. Bol. Técn. Inst. Agron. Norte, Belém, 24:2-44
- SIOLI, H. ; KLINGE, H. - 1962 - Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia brasileira. Bol. Mus. Par. Em. Goeldi, Belém, 1:27-41
- TANCREDI, A.C.F.N.S.; LOBATO, J.R.B.; SERRA, V.H. - 1987 - Interpretação Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da Ilha de Marajó. Acta Amazônica, 16/17:293-318
- TANCREDI, A.C.F.N.S.; REIS, C.M. dos ; SILVA, H.F. da - 1975 - Etude Hydrogeologique de L'île de Marajó. Paris, Bol. Assoc. Internationale des Hydrogeologues. n 21, p.21-24
- TANCREDI, A.C.F.N.S. ; SERRA, V.H. - 1986 - Hidrogeologia da Região Oriental da Ilha de Marajó. Belém, IDESP. 97p.
- THOREZ, J. - 1976 - Practical Identification of Clay Minerals. Belgique, G. Leiotte. 90p.
- TROELSEN, J.C. - 1964 - Biostratigraphy of the Marajó Basin: Relatório Interno, Belém, PETROBRÁS. 11p.
- VOGEL, A.I. - 1961 - A Text-book of Quantitative Inorganic Analyses, Including Elementary Instrumental Analysis. London, Lowe and Brydone. 1216p.