

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

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS NATURAIS SUJEITAS À INFLUÊNCIA DA  
FORMAÇÃO PIRABAS - (PA).**

TESE APRESENTADA POR

**ALEX OGARANYA OTOBO**

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

Data de Aprovação 23 / 04 / 95

**Comitê de Tese:**

  
.....  
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA ( Orientador )

  
.....  
NORBERT FENZL

  
.....  
WILLIAM ZAMBONI DE MELLO

.....  
BELÉM

**AOS MEUS FILHOS**

**THEOMA E CHIDI**

**A MINHA ESPOSA**

**SCHEHERAZADE E**

**EM MEMÓRIA DOS MEUS PAIS**

**Mr. S.A. OTOBO**

**Mrs. A. OTOBO**

## AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Waterloo N. de Lima**, pela inestimável orientação prestada durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como pelo apoio constante no exercício da minha profissão.

Aos **Prof. Dr. Norbert Fenzl** (UFPA-Belém) e **Prof. Dr. William Z. de Melo** (UFFRJ), pela participação da banca julgadora deste trabalho e também pela competente análise crítica executada.

A minha amiga colega **Sra. Hebe**, pela colaboração e incentivo em todas as etapas desse trabalho e também pela convivência durante o curso de pós-graduação.

Aos amigos **Prof. Vaquera, Natalino, Sergio Aragão, Renata, Elias, Luci, Claudia e Alacid**, pela participação no período da coleta de amostragem e execução das análises no laboratório.

As secretárias **Cilda, Gladys, Dona Maria, Nilza e Nemisa**, pelo apoio concedido em relação ao material de consumo.

Ao **Centro de Geociências** da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Aos **funcionários da biblioteca** do CG, pela paciência e atenção na revisão e normalização.

Ao **CAPES**, pelo apoio financeiro dado na forma de bolsa de estudo durante o transcorrer deste trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	página
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
LISTA DE SIGLAS	vii
RESUMO	1
ABSTRACT	4
1. INTRODUÇÃO	6
2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	10
2.1. GENERALIDADES	10
2.2. A FORMAÇÃO PIRABAS: SUBSÍDIOS PARA UM ESTUDO GEOQUÍMICO	10
2.3. GRUPO BARREIRAS E PÓS-BARREIRAS	18
3. MEIO NATURAL E AMOSTRAGEM	22
3.1. O MEIO NATURAL	22
3.2. TRABALHO DE AMOSTRAGEM	24
4. METODOLOGIA: TRABALHO DE LABORATÓRIO	31
4.1. ANÁLISES DE AMOSTRAS DE ÁGUA	31
4.2. ANÁLISES DAS AMOSTRAS SÓLIDAS	33
4.2.1. Tratamento preliminar	35
4.2.2. Difractometria de raio-X	35
4.2.3. Análises químicas	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. ÁGUAS CONTINENTAIS	39

	<b>página</b>
<b>5.1.1. Águas superficiais</b>	<b>39</b>
<b>5.1.2. Águas de sub-superfície</b>	<b>52</b>
5.1.2.1. Águas de nascentes, fontes e "cacimbas"	52
5.1.2.2. Águas de poços escavados	60
<b>5.2. ÁGUAS COSTEIRAS</b>	<b>65</b>
<b>5.3. AMOSTRAS SÓLIDAS</b>	<b>75</b>
<b>5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>85</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>94</b>
6.1. ÁGUAS NATURAIS	94
6.2. AMOSTRAS SÓLIDAS	95
6.3. PERFIS GEOLÓGICOS	97
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>105</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

	página
FIGURA 1	Mapa de localização de ponto de amostragem----- 7
FIGURA 2	Exemplos de perfis geológicos----- 14
FIGURA 3	Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica (igarapés)---- - 45
FIGURA 4	Relação iônica $rCa/rNa$ das águas de igarapés----- - 46
FIGURA 5	Relação iônica $rHCO_3/rCl$ das águas de igarapés-----47
FIGURA 6	Relação iônica $rNa/rCa$ das águas de igarapés----- 49
FIGURA 7	Relação iônica $rCl/rHCO_3$ das águas de igarapés ----- 50
FIGURA 8	Relação iônica $rMg/rCa$ das águas de igarapés----- 51
FIGURA 9	Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica (nascentes)---- 57
FIGURA 10	Relação iônica $rCa/rNa$ das águas de nascentes----- 58
FIGURA 11	Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica (poços)----- 63
FIGURA 12	Relação iônica $rCa/rNa$ das águas de poços escavados ----- 64
FIGURA 13	Relação iônica $rHCO_3/rCl$ das águas de poços escavados----- 66
FIGURA 14	Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica (águas costeiras)-70
FIGURA 15	Relação iônica $rMg/rCa$ das águas costeiras----- 72
FIGURA 16	Relação iônica $rNa/rCa$ das águas costeiras----- 74
FIGURA 17	Relação iônica $rCl/rCa$ das águas costeiras----- 76
FIGURA 18	Relação iônica $rCl/rNa$ das águas costeiras----- 77
FIGURA 19	Diagrama de Eh e pH (período chuvoso)----- 86
FIGURA 20	Diagrama de Eh e pH (período de estiagem)- ----- 87
FIGURA 21	Diagrama de classificação de fácies----- 90

## TABELAS

TABELA 1	As principais amostras de águas de igarapés-----	25
TABELA 2	As principais amostras de águas de nascentes, cacimbas <sup>1</sup> e fontes---	26
TABELA 3	As principais amostras de águas de poços escavados-----	27
TABELA 4	As principais amostras de águas costeiras-----	28
TABELA 5	Descrição sumária das amostras sólidas-----	29
TABELA 6	Parâmetros utilizados na determinação de metais -----	34
TABELA 7	Parâmetros físicos e físico-químicos das águas de igarapés -----	40
TABELA 8	Constituintes químicos das águas de igarapés-----	41
TABELA 9	Parâmetros físicos e físico-químicos das águas de nascentes etc.---	53
TABELA 10	Constituintes químicos das águas de nascentes etc.-----	54
TABELA 11	Parâmetros físicos e físico-químicos das águas de poços escavados--	61
TABELA 12	Constituintes químicos das águas de poços escavados -----	62
TABELA 13	Parâmetros físicos e físico-químicos das águas costeiras-----	67
TABELA 14	Constituintes químicos das águas costeiras-----	68
TABELA 15	Relações iônicas dos 6 pontos das águas costeiras amostradas-----	71
TABELA 16	Análise química e mineralógico de calcário de águas costeiras-----	79
TABELA 17	Análise química e mineralógico de calcário de jazida-----	80
TABELA 18	Análise química e mineralógico de calcário de poços-----	81

## LISTA DE SIGLAS

**CIBRASA** (Cimentos do Brasil SA). Trata-se de empresa que explora o calcário Pirabas, cuja fábrica se encontra localizada em Capanema (PA).

**COSANPA** (Companhia de Saneamento do Pará). Empresa que presta serviços de utilidade pública em captação, tratamento e abastecimento público de águas naturais.

**FSESP** (Fundação Serviço Especial de Saúde Pública). Instituição destinada aos serviços de saúde pública, que se encontra distribuída pelo território nacional. Uma de suas atividades é a captação de águas subterrâneas destinadas às populações rurais.

**IPEAN** (Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte). Hoje extinto, o IPEAN substituiu o antigo IAN (Instituto Agrônômico do Norte), criado na década de 50. Todo o acervo do IPEAN passou para a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias).

## RESUMO

A Formação Pirabas faz parte do quadro geológico da região nordeste do estado do Pará (zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina). Representa importante unidade litoestratigráfica pertencente ao Cenozóico marinho brasileiro pela abundância e variedade de seu conteúdo fóssilífero. Litologicamente, predominam, na Formação Pirabas, calcários de composição variada, intercalados, às vezes, por arenitos e folhelhos, cuja deposição tem sido atribuída a um paleoambiente marinho de águas rasas e quentes.

O presente estudo descreve e interpreta resultados analíticos obtidos para um total de 48 amostras de águas naturais, envolvendo dois períodos sazonais contrastantes (nos finais de períodos chuvoso e de estiagem). Foram coletadas amostras de águas superficiais e de sub-superfícies englobando águas costeiras, águas de igarapés, de nascentes e de poços escavados pouco profundos. Foram avaliados parâmetros físicos, físico-químicos, químicos e geoquímicos. Selecionou-se ainda, um total de 25 amostras sólidas que consiste de carbonatos, fósseis, sedimentos de fundo e solos) na tentativa de melhor correlacionar os dados químicos e mineralógicos.

A interpretação dos resultados constatou que, embora presente e dominante na maioria das amostras sólidas coletadas para este estudo, não foi detectado calcita em duas amostras ocorrentes na praia do Atalaia. Estas, por sua vez, apresentaram teores mais elevados de dolomita (85 - 95 %). A dolomita, por sua vez, aparece menos abundante nas amostras de Capanema (9 - 12 %), estando ausente nas amostras de Japerica, Salinópolis e Quatipuru. Sobre a calcita, os resultados analíticos demonstram claramente que se trata de calcita com baixo teor de Mg (em geral, em torno de 2 % em MgO na amostra). Intimamente associados ao calcário, aparecem a caulinita, minerais interestratificados de illita e esmectita, formando um cimento único.

A aragonita não foi detectada em nenhuma das amostras analisadas. Os teores de  $\text{Sr}^{2+}$  (167 - 507 ppm) parecem muito mais associados à calcita do que a um provável indicador da presença de aragonita nessas amostras. Tais resultados estão compatíveis com os teores de Sr em calcários, como é o caso da Formação Pirabas.

Os perfis geológicos envolvendo sedimentos da Formação Pirabas, nas zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA), exibem, quase sempre, um horizonte superficial constituído de laterito, argila (em geral, margas), folhelho e arenito (calcarenito). A captação de águas subterrâneas está diretamente relacionada à aquíferos de areia fina. Depreende-se, de imediato, que a ocorrência de águas de subsuperfície está diretamente associada ao calcário jazente nesses perfis, o que foi confirmado pelos resultados de análises químicas.

Parâmetros físico-químicos como pH e condutividade elétrica mostraram ser adequados na discriminação dessas águas de subsuperfície, revelando uma nítida influência dos sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas. Como o bicarbonato é o ânion predominante nas águas analisadas, ratifica-se que tenha havido a dissolução dos minerais de carbonato devido a ação do gás carbônico, no meio aquoso.

No estudo das relações iônicas, o pH e a condutividade elétrica também demonstraram ser adequados para a caracterização das águas superficiais. Nas águas de Igarapé, observou-se valores para a relação iônica  $r\text{Ca}/r\text{Na}$  na faixa de 4, enquanto que a relação  $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$ , atingiu valores próximos de 13. Quanto às águas costeiras, observou-se que a relação  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$  varia de 2,0 a 2,88 (no período de maior estiagem), revelando nítido enriquecimento de Ca em relação ao Mg, visto que a relação  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$  na água do mar é de 5,3.

A relação iônica  $r\text{Na}/r\text{Ca}$  também ratifica as considerações emanadas do estudo da relação  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ , ou seja, um apreciável enriquecimento de Ca nas águas costeiras consideradas. Esse

enriquecimento indica que há uma provável influência dos carbonatos da Formação Pirabas nessas águas devido as drenagens continentais.

## ABSTRACT

The Pirabas Formation forms part of the geologic setting in the N.E region of Pará state (physiographic zones of Salgado and Bragantina). It represents one of the most important structural and litologic features of the Brazilian marine cenozoic because of its enrichment in varied fossiliferous materials.

Litologically, the Pirabas Formation is composed of limestones of different compositions, intercalated, at times, by sandstones and shales deposited in marine paleo-environment of hot and shallow waters.

This present work, describes and interprets analytical results obtained from a total of 48 natural water samples collected in two distinct and contrasting seasons (june 1992, end of rainy season and january 1993, end of dry season). These samples were collected from superficial and underground waters, which includes, coastal waters, streams, springs and dug wells of varying depts. About 25 solid materials which include carbonate rocks, fossils, bottom sediments and soil samples were also analysed as an effort to establish a correlation between chemical and mineralogic datas. Fisical, chemical and geochemical parameters were determined.

Although present and dominant in almost all the solid samples analyzed, analytical results indicate absence of calcite in samples collected in Atalaia beach. In compensation, the concentration of dolomite in these materials is very high (85 - 95 %), very low in the samples collected in Capanema (9 - 12 %) and absent in the samples from Japerica, Salinópolis and Quatipuru.

Analytical results also demonstrate that the concentration of Mg in calcite is low ( about 2 % of MgO) and that the calcareous from Pirabas Formation is intimately associated to kaolinite, interstratificate minerals of illite and smectite, forming a unique cement.

Aragonite was not detected in any of the samples analyzed. The concentration of Sr detected (167 - 507 ppm) is more likely to be associated to calcite than as an indicator of the presence of aragonite.

Geologic profiles in Pirabas Formation sediments exhibit almost always, a superficial horizon constituted of laterite, clay (generally, marls), shale and sandstone (calcarenite). Since the underground water is directly associated to aquiferous of fine sand, it is most probable that its concentration is associated to calcareous in these profiles.

Physico-chemical parameters like pH and electrical conductivity demonstrate to be adequate for superficial water discrimination and clearly indicate the influence of the carbonate sediments of Pirabas Formation. Since bicarbonate is the dominating anion in the water samples analyzed, it could be ratified that the carbonate minerals are being dissolved due to the action of carbonic gas in the presence of water.

Ionic relations also demonstrate to be adequate for superficial water characterization. In the stream water samples, the ionic relation  $rCa/rNa$  is about 4 and  $rHCO_3/rCl$ , about 13. For coastal waters, the ionic relation  $rMg/rCa$  varies between 2,0 - 2,88 (during dry season), revealing the enrichment of Ca in relation to Mg, because this relation for sea water is about 5,3.

The ionic relation  $rNa/rCa$  also ratifies the enrichment of Ca in the coastal water samples. This enrichment demonstrates the probable influence of Pirabas Formation carbonate in these waters due to continental drainage.

## 1. INTRODUÇÃO

Na região nordeste do Estado do Pará estende-se as assim denominadas "Zonas Fisiográficas do Salgado e Bragantina" (atualmente, a legislação estadual atribui a denominação de "microrregião" para cada uma dessas unidades fisiográficas). Limitam-se ao Norte e a Oeste pelo oceano Atlântico e pela área estuarina da baía do Marajó; a Leste, a região nordeste estende até além da cidade de Bragança (PA); ao Sul, é limitada pelo rio Guamá (Figura 1).

A Formação Pirabas faz parte do quadro geológico da região nordeste do Estado do Pará. Devido a abundância e a grande variedade de seu conteúdo fossilífero, essa Formação representa uma importante unidade litoestratigráfica do Cenozóico marinho brasileiro (MAURY, 1925; FERREIRA & CUNHA, 1957, 1959; FERREIRA, 1966, 1977, 1982; FERNANDES, 1984, 1988).

No litoral do Estado ocorrem principalmente unidades cenozóicas pertencentes à Formação Pirabas, ao Grupo Barreiras e a Pós-Barreiras (COSTA et al., 1992). A Formação Pirabas é sotoposto pelo Grupo Barreiras, e este por Pós-Barreiras.

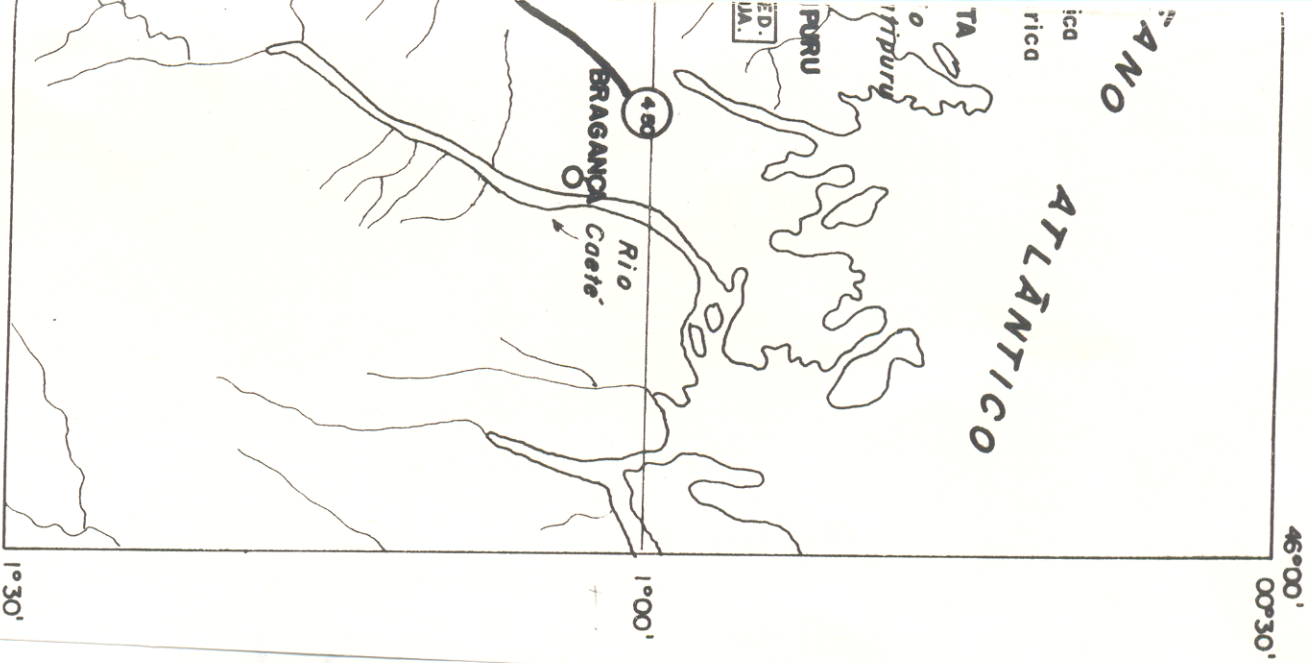
Apesar de sua apreciável extensão em subsuperfície no nordeste do Estado, aflora descontinuamente no litoral (zona de Salgado) e no interior do continente (zona Bragantina). Seu afloramento mais expressivo localiza-se na ilha Fortaleza, no município de São João de Pirabas (PA).

Litologicamente, predominam, na Formação Pirabas, calcários de composição variável, intercalados, às vezes, por arenitos e folhelhos, cuja deposição tem sido atribuída a um paleoambiente marinho de águas rasas e quentes (OLIVEIRA & PETRI, 1952; PETRI, 1957; FERREIRA & CUNHA, 1957, 1959; ACKERMANN, 1964, 1969, 1975; FERREIRA, 1966; ALMARAZ, 1979, entre outros).

Desde sua definição como unidade estratigráfica pertecente ao Mioceno Inferior, com base em seu conteúdo fossilífero (MAURY, 1925), a Formação Pirabas tem merecido atenção dos



vidrio, D. E. R. / PA, 1982.



pesquisadores, envolvendo quase uma centena de trabalhos publicados, a maioria deles com enfoque paleontológico (OLIVEIRA & PETRI, 1952; PETRI, 1957; FERREIRA & CUNHA, 1957,1959; FERREIRA, 1966,1977,1982; FERNANDES, 1984,1988). Mais recentemente, FERREIRA et al. (1984). Com base em estudo sobre foraminíferos, amplia-se o intervalo de deposição da Formação Pirabas para o Oligoceno Superior-Mioceno Inferior.

Os trabalhos de SIOLI (1951, 1960) sobre a Formação Pirabas enfatizam aspectos limnológicos. Esse pesquisador realizou estudos hidroquímicos preliminares em águas superficiais, principalmente, de rios e igarapés. Tais estudos permitiram que ele apresentasse conclusões sobre as diferenças entre as águas da região da Formação Pirabas e as do Grupo Barreiras, onde o pH é o principal parâmetro diferenciador dessas águas.

Os trabalhos de ACKERMANN (1964, 1969 e 1975), que tratam da descrição geológica e fisiográfica da região Bragantina, apresentam resultados químicos que conduziram a uma caracterização faciológica do calcário da Formação Pirabas. Um minucioso estudo geoquímico e paleoambiental dos calcários da Formação Pirabas foi realizado por ALMARAZ (1979), envolvendo, entre outros aspectos, um exaustivo trabalho de revisão bibliográfica, localização das ocorrências calcíferas já conhecidas, conteúdo mineralógico e químico (elementos maiores, menores e traços) e determinações isotópicas ( $C^{13}$  e  $O^{18}$ ), permitindo a elaboração de um modelo de deposição dos sedimentos calcíferos num paleoambiente de águas rasas e quentes.

Trabalhando com 14 furos de sondagem de São Bernardo, a 15 km ao norte de Capanema (PA), visando contribuir à evolução faciológica da Formação Pirabas, TRUCKENBRODT (1981) realizou estudo mineralógico e geoquímico no material amostrado.

O presente estudo é uma retomada dos trabalhos hidroquímicos preliminares de SIOLI (1951, 1960), no que se diz respeito à influência dos sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas sobre águas naturais costeiras e continentais (superficiais e de subsuperfície). Para tanto,

selecionou-se um total de 48 amostras de água coletadas em dois períodos sazonais contrastantes (final de período chuvoso e de estiagem). As amostras de águas coletada incluem águas costeiras, águas de igarapés, de nascentes e de poços escavados pouco profundos. Foram avaliados parâmetros físicos (temperatura, cor e turbidez); químico (acidez, alcalinidade, oxigênio consumido e os metais); físico-químicos (pH, Eh e condutividade elétrica) e geoquímicos. Selecionou-se, também, um total de 25 amostras sólidas que consiste de carbonatos, fósseis, sedimentos de fundo e solos, para melhor correlacionar os dados químicos e mineralógicos.

## 2 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

### 2.1 GENERALIDADES

Foram selecionadas aqui apenas os trabalhos referentes aos aspectos geoquímicos dos calcários da Formação Pirabas. Considerou-se ainda, algumas outras publicações que pela sua importância permitem uma melhor compreensão dos estudos dos sedimentos da Formação Pirabas e Barreiras em consequência das suas prováveis influências geoquímicas com as águas associadas a tais ambientes geológicos.

### 2.2 A FORMAÇÃO PIRABAS: SUBSÍDIOS PARA UM ESTUDO GEOQUÍMICO

Estudos preliminares das relações entre a geologia e a limnologia da zona Bragantina (PA) foi realizada por SIOLI (1951, 1960). No primeiro estudo introdutório, este autor coletou material para análises químicas (águas e calcários) e biológicas (plantas e caracóis). Numa segunda publicação posterior (SIOLI, 1960), ele resume toda sua pesquisa limnológica na região Bragantina.

Com base nos resultados analíticos efetuados nos laboratórios do antigo Instituto Agrônomo do Norte, Belém, SIOLI (1960) evidenciou que o calcário é rico em carbonato de cálcio (50,4 - 52,7 % de CaO) e pobre em magnésio (0,02 - 0,04 % de MgO).

Análises químicas das águas dos igarapés Salgado e Garrafão, nos arredores de Capanema, mostraram características de águas de "período seco". SIOLI (1951) registrou valores de pH em 7,2 (Salgado) e 6,9 (Garrafão); determinou teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em torno de 41 mg/l (Salgado) e 25 mg/l (Garrafão); relatou baixos teores de  $\text{Cl}^-$  (2,0 mg/l para o Salgado e 3,5 mg/l para o igarapé do Garrafão). Entre outros dados SIOLI (1951) destaca comparações feitas com "águas do Grupo Barreiras", onde o pH variou, em geral, de 4,5 a 5,2 e o teor de Ca atingiu um máximo de 4,6 mg/l.

Um dos resultados mais interessantes dos estudos de SIOLI (1951) foi o estabelecimento de duas "zonas geológicas" de variação de pH : uma zona "ocidental", vizinha à Belém, com igarapés ácidos pertencentes à sedimentos siliciclásticos do Quaternário e a outra zona "oriental", pertencente a sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas, correspondente a águas com valores de pH mais elevados.

SIOLI (1960) retomou as pesquisas limnológicas da zona Bragantina, descrevendo novas observações dos corpos de água examinados, e voltou a apresentar uma nova "tentativa de delimitação da região da Formação Pirabas baseada no grau de acidez das águas".

Para tanto, o autor coletou 101 amostras, englobando "rios, igarapés, poços escavados e da fonte do Caraná, localizada em Salinópolis (PA). Os dados disponíveis nesse estudo referem-se a "avaliações hidrofísicas" (temperatura, coloração das águas, transparência, largura e profundidade do corpo d'água) e determinações de pH. Os rios mais conhecidos foram apresentados: Caraparu, Tauá, Guamá (às proximidades de São Domingos do Capim), Capim, Bujaru, Marapanim, Axindeua, Urindeua, Quatipuru, Caeté, Guamá (Ourém), Peixe-Boi (Bonito); entre os igarapés, são citados, entre muitos outros, Apeteua, Pau-Cheiroso, Corema, Jaburu, Salgado e Capanema. Sobre a fonte do Caraná há informações relacionadas com o valor de pH (4,5), temperatura e vazão (1/4 L/s).

De um exame minucioso dos dados apresentados por SIOLI (1951, 1960) para esses corpos d'água, destacou-se os seguintes pontos:

- 1) os valores de pH se estendem num intervalo de 4,2 (águas de um igarapé sem denominação, a 61 km ao norte de Castanhal) até 6,9 (igarapé do Garrafão), 7,0 (igarapé Capanema) ou mesmo 7,2 (igarapé Salgado);
- 2) águas com características mais neutras (pH de 6 a 7) são menos frequentes que águas com pH inferiores a 6; merecendo destaque, por suas características algo mais neutras, os igarapés

localizados às proximidades de Capanema, Quatipuru, Jaburú e os rios Axindeua (afluente do rio Pirabas) e Urindeua (este, fortemente influenciado por águas oceânicas).

Por outro lado, aparentemente, nem sempre o valor de pH esclarece em definitivo, a influência do calcário nos lençóis freáticos. Assim, por exemplo, para o igarapé do Garrafão, SIOLI observou dois valores numéricos algo diferenciados para o pH, em períodos sazonais contrastantes: pH 6,9 no período de estiagem (SIOLI, 1951) e pH 5,7 no período chuvoso (SIOLI, 1960). Além disso, alguns igarapés às proximidades de Capanema apresentaram valores de pH abaixo de 6, embora exibissem algumas evidências de teores apreciáveis de cálcio (presença de gastrópodes em seus leitos).

Segundo SIOLI (1960) os valores mais baixos de pH correspondem a águas pobre em sais inorgânicos dissolvidos. Coincidentemente, tais corpos d'água se distribuem na parte ocidental da Zona Bragantina ou na sua orla oriental, e correspondem aos sedimentos plio-pleistocênicos de água doce do Grupo Barreiras. O autor ainda estabelece como diferença mais importante entre essas águas (Barreiras e Pirabas) os teores de CO<sub>2</sub> devido ao bicarbonato, pois estes elevam o pH das águas pelo sistema de tampão ácido carbônico - bicarbonato.

Estudando a Formação Pirabas e sua relação com as águas, SIOLI (1960) explica que "a Formação Pirabas é sotoposta pela cobertura dos sedimentos do Grupo Barreiras, em variadas espessuras. Estes formam os lugares mais altos do terreno, enquanto as camadas da Formação Pirabas aparecem nos lugares mais baixos, quase somente nas baixadas e em cortes de terreno, como, por exemplo, em margens de rios ou no litoral. Somente perto da cidade de Capanema que as ocorrências de calcário da Formação Pirabas, conforme nosso conhecimento atual, quase alcançam a superfície da terra".

Assim, prossegue SIOLI (1960): "na zona da Formação Pirabas não podemos esperar um quimismo uniforme das águas, pois este, ao contrário, deve depender da profundidade das camadas

de calcário de Pirabas, da espessura da cobertura dos sedimentos sobrepostos (Barreiras) e também das eventuais camadas impermeáveis que se formam. As características mais comuns dos perfis geológicos em áreas de ocorrência da Formação Pirabas são bem representadas nas Figuras 2a e 2b.

A Formação Pirabas apresenta uma das mais abundantes e diversificadas associações faunísticas conhecidas do Brasil (PETRI & FÚLFARO, 1983). Essa enorme variedade de fósseis, de origem marinha ajudaram a produzir esse ambiente geológico rico em calcário e que por extensão, é também constituído por margas e folhelhos.

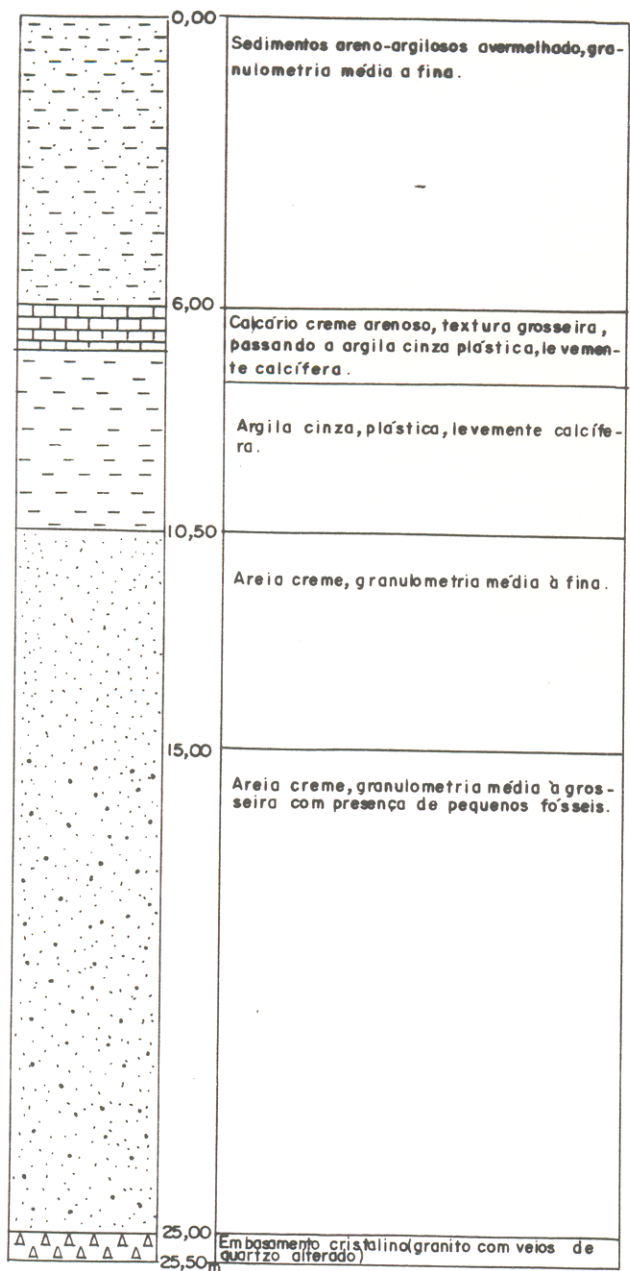
É notável o desenvolvimento histórico dos trabalhos relacionados com a Formação Pirabas, predominantemente de natureza paleontológica, que se estendem desde início do século até os dias atuais.

A preposição do termo "Formação Pirabas", para os sedimentos fossilíferos do litoral paraense, é atribuído à pesquisadora francesa MAURY (1925), que descreveu vasto material fossilífero, e o comparou com faunas terciárias da América Central, da América do Norte e das Antilhas, verificando afinidades com as espécies do Mioceno Inferior, atribuindo essa idade à Formação Pirabas (ALMARAZ, 1979; FERNANDES, 1984).

Deve-se a PETRI (1957) as primeiras tentativas de estabelecimento da diferenciação faciológica. Baseado nas características paleontológicas e litológicas, este autor distinguiu três litofácies - fácies Canecos, fácies Castelo e fácies Baunilha Grande. Enquanto o fácies Castelo corresponde às ocorrências da ponta do Castelo (ilha Fortaleza), o Canecos é representada pela sedimentação observada em jazida existente, à época, nos arredores da cidade do Capanema (PA).

Os estudos do ACKERMANN (1964, 1969, 1975) sobre o calcário da Formação Pirabas evidenciam resultados de análises químicas, que permitem estabelecer algumas correlações:

(a) Poço da CIBRASA (Capanema)



(b) Captação Amapá (Salinópolis)

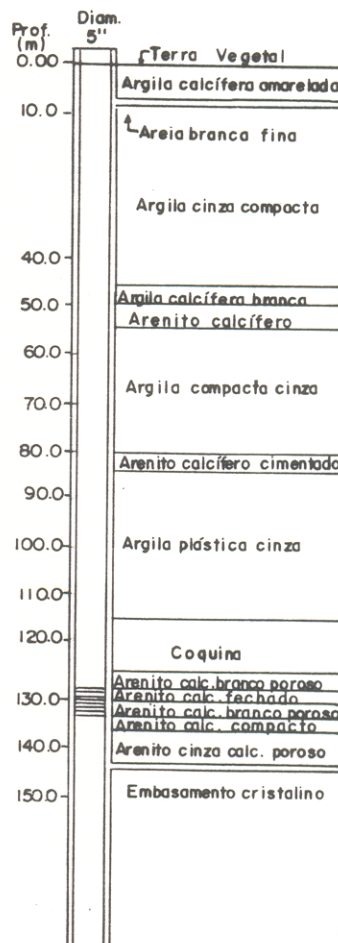


Figura 2 - Exemplos de perfis geológicos observados durante as sondagens para captação de águas para consumo público em áreas de ocorrência da Formação Pirabas (zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina, PA).  
Fontes: Arquivos da CIBRASA e FSESP.

1) na parte superior da extinta jazida Olaria (arredores de Capanema), sequência sedimentar que corresponde a fácies Capanema, alguns resultados analíticos (selecionados), tais como [CaO (29 - 43 %); MgO (0,6 - 0,96 %); SiO<sub>2</sub> (17 - 42 %); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,9 - 3,2 %); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,1 - 1,6 %)] comprovam as observações de campo sobre ocorrência de "camadas de marga, que pode atingir até 6 m de espessura" (ACKERMANN, 1975, páginas 45 e 46);

2) distingue-se, também, na jazida Olaria, sequência sedimentar que corresponde a fácies Olaria, destaca-se alguns resultados analíticos selecionados : CaO (20,0 %); MgO (0,2 %); SiO<sub>2</sub> (63 %); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,8 %); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,0 %) (ACKERMANN, 1975);

3) finalmente, duas amostras de calcário aflorante na ponta do Castelo (ilha Fortaleza), são bem características da sequência sedimentar correspondente ao facies Fortaleza (ACKERMANN, 1975, página 52):

	(1)	(2)
MgO	47,2 %	20,6 %
CaO	2,2 %	28,3 %
SiO <sub>2</sub>	-	4,5 %
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,2 %	2,8 %
R.I.	6,7 %	-
P.F.	41,6 %	42,7 %
P <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	traços	

(R.I., resíduo insolúvel : SiO<sub>2</sub> + minerais pesados, insolúveis; P.F., perda ao fogo : CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O)

Em minucioso trabalho de tese de doutorado, ALMARAZ (1979) estudou os aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas no Estado do Pará. A compilação de dados analíticos (químicos e mineralógicos) procedida pelo autor, reunindo resultados próprios e

de diversas origens (ACKERMANN, 1964, IPEAN, CIBRASA, etc), permitiu a elaboração do seguinte resumo:

a) entre os minerais de carbonato, apenas a calcita foi detectada no afloramento em Salinópolis (falésia); no afloramento da ponta da fazenda (ilha Fortaleza), no afloramento em Japerica, nos furos de Quatipuru e nas 8 amostras oriundas dos sítios Guilhermino e Bom Fim (na antiga "colônia Agrícola Pedro Teixeira"), a julgar pelos dados difratométricos apresentados em tabela (ALMARAZ, 1979, página 113);

b) entre os minerais de carbonato, tanto a calcita como a dolomita aparecem no afloramento na ponta de Castelo (ilha Fortaleza) e na antiga (hoje exaurida) jazida Olaria (nos arredores de Capanema), quando se considera apenas os dados difratométricos já referidos (ALMARAZ, 1979, página 113);

c) sobre a aragonita, apenas foram registrados índices de traços (ou algo mais) em ocorrência em Tauari, extinta jazida Km 135 (município de Peixe Boi), na antiga "Colônia Agrícola Pedro Teixeira" (arredores de Capanema) e na antiga jazida Km 6 (rodovia Pará - Maranhão), considerando os dados apresentados por ALMARAZ (1979, páginas 107 - 110);

d) a julgar pelos resultados de análise química, infere-se a presença de dolomita nas ocorrências de ponta da Fazenda (ilha Fortaleza), em certas amostras de furo em Quatipuru, além de outros locais não apresentados nos estudos; tais julgamentos estão baseados em resultados analíticos (teores de MgO da ordem de 4,8 - 15,9 %) apresentados em tabelas (ALMARAZ, 1979, páginas 126 - 128);

e) na ponta do Castelo (ilha Fortaleza), os resultados de análise química apresentam as seguintes variações (ALMARAZ, 1979, página 126): CaO (37,5 - 51,0 %); MgO (0,2 - 11,6 %); R.I.(3,0 - 14,1%); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,4 - 1,9 %); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,0 - 4,0 %); P.F.(34,7 - 41,6 %); CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O [39,9 %

(47,9 % de CaO e 3 % de R.I.) - 43,1 % (51,0 % de CaO e 4,0 % de  $Al_2O_3$ )]. (R.I - resíduo insolúvel:  $SiO_2$  + minerais pesados; P.F. - perda ao fogo :  $CO_2 + H_2O$ );

f) no afloramento (falésia) em Salinópolis, os resultados foram: CaO (48,5 %); MgO (0,2 %); R.I. (6,8 %);  $Fe_2O_3$  (2,5 %);  $Al_2O_3$  (1,3 %); P.F. (40,7 %) (ALMARAZ, 1979, página 126);

g) na praia de Atalaia: CaO (41 %); MgO (1,3 %); R.I. (19,3 %);  $Fe_2O_3$  (1,6 %);  $Al_2O_3$  (1,0 %); P.F. (35,8 %) (ALMARAZ, 1979, página 126);

h) em Capanema e proximidades (principalmente, amostras da "Colônia Agrícola Pedro Teixeira"): CaO (33,1 - 53 %); MgO (traços - 2,0 %); R.I. +  $SiO_2$  (3,8 - 3,0 %); R.I. (24,1 - 36,7 %);  $R_2O_3$  (0,9 - 2,5 %); P.F. (27,2 - 44,7 %);  $P_2O_5$  (0,1 - 1,1 %);  $Fe_2O_3$  (0,5 - 1,9 %) e  $Al_2O_3$  (1,2 - 2,8 %) (ALMARAZ, 1979, página 126);

i) nos furos, em Quatipuru, em profundidades até 5 m : CaO (17,5 - 45 %); MgO (1,0 - 6,9 %); R.I. (6,2 - 46,6 %);  $Fe_2O_3$  (0,7 - 5,4 %);  $Al_2O_3$  (0,4 - 2,7 %); P.F. (27,2 - 41,5 %) (ALMARAZ, 1979, página 126);

j) destaca-se, aqui, entre os elementos menores e traços, o estrôncio, que apresenta as seguintes variações selecionadas (ALMARAZ, 1979, páginas 148 - 150):

210 - 460 ppm (carapaças carbonáticas fósseis); 35 ppm (folhelho, afloramento (falésia) em Salinópolis); 190 - 220 ppm (calcário, (2 amostras) em Salinópolis); 84 - 390 ppm no calcário (5 amostras), afloramento na ponta da Fazenda da ilha Fortaleza).

Esse resumo do quadro analítico (análises químicas e mineralógicas), para algumas amostras consideradas (ALMARAZ, 1979), permite o estabelecimento de algumas considerações preliminares:

(1) a calcita é o mineral de carbonato predominante nas amostras consideradas;

(2) a julgar pelos resultados difratométricos apresentados, não se detectou dolomita nas amostras oriundas da praia do Atalaia em Salinópolis, nem das amostras de Capanema e proximidades;

(3) considerando os resultados analíticos envolvendo certos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (4 - 9 %) ou de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (isto é,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), constata-se a presença de argilominerais, ratificando dados difratométricos já comentados (presença de esmectita e caulinita, notadamente, associadas aos minerais de carbonato);

(4) aparentemente, no estudo do ALMARAZ (1979) não se detectou ocorrência de minerais específicos de fosfato (apatita, por exemplo), ou de concentrações algo mais expressivas de aragonita; no entanto, esse trabalho ressaltou resultados analíticos associados ao fosfato e ao estrôncio, que mostram teores máximos de 1,1 % (em termos de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), em amostras ricas em calcário, e 460 ppm de Sr, em carapaças carbonáticas, fósseis e recentes.

FERREIRA (1977), estudando as características lito-paleontológicas da Formação Pirabas apresentou os seguintes posicionamentos faciológicos (da base para o tópo): Castelo, Baunilha Grande e Capanema (antiga Canecos, de PETRI, 1957). Mais tarde, os trabalhos do mesmo autor levaram a utilização de outros empilhamentos estratigráficos (FERREIRA, 1982; FERREIRA & FRANCISCO, 1988, entre outros).

Os estudos de SILVA & LOEWENSTEIN (1968) trouxeram contribuição ao conhecimento geológico da região nordeste do Pará, onde apresentaram novas ocorrências de calcário Pirabas, e também pela primeira vez, o estudo da relação magnésio/cálcio do calcário Pirabas.

O estudo de TRUCKENBRODT (1981) diz respeito à mineralogia e a geoquímica da Formação Pirabas, a partir de análises dos aspectos físico-químicos de 14 testemunhos de furo de sondagem em São Bernardo, a 15 km ao norte de Capanema, visando contribuir à interpretação paleogeográfica e a evolução faciológica da Formação Pirabas nesta sequência.

### 2.3 GRUPO BARREIRAS E PÓS-BARREIRAS

Os sedimentos Barreiras têm sido descritos informalmente no litoral brasileiro, desde o Rio de Janeiro até o Amapá, bem como em regiões do interior do Pará e Amazonas. Os trabalhos

de BIGARELLA & ANDRADE (1964) sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos na costa Pernambucana levaram os autores à utilização do termo "Grupo" (Grupo Barreiras) para esse conjunto geológico. Assim, percorrendo-se a costa brasileira, pode-se observar uma sequência contínua de sedimentos continentais, cuja composição varia desde argilitos a conglomerados pouco ou mal consolidados e apresentando uma estruturação aparentemente indistinta. Sotopostas a esta sequência ocorrem sedimentos cretácicos e terciários marinhos e rochas de embasamentos cristalino (ROSSETTI et al., 1989).

Originalmente, o termo "Barreiras" possuía um significado fisiográfico. Com o desenvolvimento de trabalhos, o termo passou a ter conotação estratigráfica (ROSSETTI et al., 1989). Assim, surgiram as denominações de "série (das) Barreiras" (OLIVEIRA & LEONARDOS, 1943) e "Formação Barreiras" (OLIVEIRA & RAMOS, 1956).

No reconhecimento geológico realizado na área de exposição da Formação Pirabas, SILVA & PETRI (1952) não só ampliaram a área de ocorrência da sedimentação Pirabas, descobrindo outros depósitos calcíferos, como também interpretaram as características ambientais dessa sedimentação, e denominaram, genericamente, de "Grupo Barreiras" aos sedimentos a ela sobrepostos (ALMARAZ, 1979).

ACKERMANN (1964, 1969) considera os lateritos, os solos laterizados e o "grés do pará" como critérios para o reconhecimento dos sedimentos Barreiras que ocorrem nas regiões Bragantina e do Salgado (PA). O autor ainda sugere que a deposição dessa unidade corresponde ao fim do Terciário e o início do Quaternário, quando os processos erosivos pré e pós Barreiras atuaram intensamente. Inicialmente, ACKERMANN (1964) aceita os termos "Série" ou "Formação" para designar os sedimentos Barreiras, mas, num trabalho posterior, ACKERMANN (1975) admite o uso do termo "Grupo" como sendo mais adequado para denominar tais sedimentos.

FRANCISCO et. al. (1971) consideram Barreiras como sendo constituído por "sedimentos terrígenos, afossilíferos pouco consolidados, cores variegadas, variando litologicamente entre argilas e conglomerados, com idade presumível do Terciário Superior, baseada em suas relações com a Formação Pirabas no Pará (GOES, 1981).

ALMARAZ (1979) adota a terminologia "Grupo Barreiras" ao discutir características paleoambientais do calcário da Formação Pirabas. No seu estudo, mostrou-se que os sedimentos Barreiras situam-se, entre suas discordâncias: uma foi constatada em diversas ocorrências, entre as quais, a jazida Olaria (hoje, extinta), os depósitos de Tauari (hoje, exauridos), a falésia em Salinópolis e nos afloramentos na ilha Fortaleza, e outra discordância "é responsável pela reduzida espessura (poucos metros) dos sedimentos Barreiras, e esta relacionada aos processos erosivos, que se sucederam, e entre eles, aqueles associados possivelmente a glaciações Quaternárias" (ALMARAZ, 1979).

FERREIRA & FRANCISCO (1988), na sua consideração sobre "as relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias do NE do Pará" descreve que "na bacia de Pirabas, no estado do Pará, os sedimentos continentais do chamado Grupo Barreiras, são os que se encontram sobrepostos aos sedimentos marinhos da Formação Pirabas". Observam, ainda, que a idade provável (para os sedimentos do Grupo Barreiras) é o Mioceno Superior ao Pleistoceno, "com magníficas exposições na forma de falésias em vários pontos do litoral paraense", e ainda, considera que "o repouso dos sedimentos desse grupo sobre a Formação Pirabas é discordante".

A idade real de deposição dos sedimentos Barreiras é, porém, assunto de grande debate, dificultando o nível de compreensão deste termo (ROSSETTI et. al., 1989).

Deve-se a SILVA & LOEWENSTEIN (1968) a utilização do termo "Pós-Barreiras" para os sedimentos amarelados sobrepostos às camadas do Grupo Barreiras. Representa, normalmente,

o topo das falésias da região (região do Salgado, Bragantina e nas adjacências da área metropolitana de Belém). Litologicamente, são constituídos por sedimentos areno-argilosos, quartzo-grauvácicos, inconsolidados, de coloração amarelada, geralmente mal selecionados e sem estruturas sedimentares relacionadas. Em direção ao topo, esta unidade geralmente grada para um solo rico em húmus e de coloração escura a marrom (COSTA et. al., 1992).

Na tentativa de proceder subdivisão dos sedimentos encontrados sobrepostos à Formação Pirabas, ROSSETTI et. al. (1989) realizaram um estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, onde enfatizaram a ocorrência de treze (13) fácies descritivas, envolvendo fácies argilosas, areno-argilosas, arenosas, conglomeráticas e composta por blocos de arenito ferruginoso e/ ou seixos de quartzo. Descreveram também agrupamentos e posicionamento espacial dos fácies e apresentaram modelo deposicional para os sedimentos Barreiras na região Bragantina.

Por sua vez, a análise faciológica dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras do nordeste do Estado do Pará sugere que sua deposição tenha ocorrido mediante um sistema de leques aluviais-planície de areia (com frequentes canalizações), planície de lama com possível influência marinha em sua porção mais distal. Deste modo, os estudos faciológicos empreendidos pelos autores, sugerem que a influência marinha nos sedimentos Barreiras possa ter sido mais ampla do que comumente se acredita" (ROSSETTI et al. 1989, 1990).

### 3. MEIO NATURAL E AMOSTRAGEM

#### 3.1. O MEIO NATURAL

A área de estudo, situada na região nordeste do Estado do Pará, encontra-se localizada em zona tropical, próximo da linha do equador, com floresta densa, sob o domínio climático quente e superúmido (NIMER, 1979).

A precipitação anual é em torno de 2760 mm. A temperatura da região é sempre superior a 20°C, com período quente quase contínuo (ARAÚJO et al., 1973).

Na zona fisiográfica do Salgado o relevo é representado por uma zona litorânea, que se estende na direção NW-SE, caracterizada por uma costa baixa do tipo estuarino, entalhadas por baías, que se alternam com extensas planícies argilosas colonizadas por mangues, e cortadas por vários canais de maré. Circunscrita a essa zona, tabuleiros modelados em rochas sedimentares (terciário-quadernárias) penetram, gradativamente, nos terrenos pantanosos, ou são esculpidos em falésias (COSTA et al., 1992).

Aí desenvolvem-se planícies flúvio-marinhas, que incluem planícies litorâneas e fluviais, que, justapostas, integram uma superfície de agradação, que se desenvolve ao longo da direção NW-SE. As planícies litorâneas agrupam uma grande diversidade de formas, nele incluídas, entre outras, praias e dunas, planícies de maré, terraços e falésias. Já a planície fluvial corresponde às planícies aluvionares restritas e terrenos periodicamente sujeitos à inundações (COSTA et al., 1992).

As praias são extensas e planas, constituídas, em geral, de areias finas e brancas, exibindo faixas semilunares de minerais pesados. Nessas praias, é comum a presença de campos de dunas, destacando-se, por exemplo, as que se desenvolvem à costa da praia do Atalaia (situada na ilha da mesma denominação, no município de Salinópolis).

Enquanto a planície flúvio-marinha é caracterizada por vegetação pioneira de restingas, manguezais e campos, os domínios dos planaltos amazônicos rebaixados e dissecados são revestidos por floresta densa (BARBOSA & PINTO, 1973).

Em contraste com as formas de agradação, extensas e altas falésias estão intercaladas na linha de costa com as planícies de maré. São bem representativas, entre outras, as falésias que se encontram expostas nas cidades de Maracanã, Salinópolis e São João de Pirabas, nas ilhas de Mocoóca (município de Maracanã), Atalaia (município de Salinópolis), Fortaleza (município de São João de Pirabas) e nas vilas de Japerica, Boa Vista e Quatipuru. Tais falésias apresentam plataformas de abrasão constituídas de blocos de lateritos, que são comuns na base dessas escarpas (COSTA et al., 1992).

Nessa área fisiográfica ocorrem essencialmente sedimentos cenozóicos atribuídos à Formação Pirabas e ao Grupo Barreiras, além de extensos depósitos do Pleistoceno e Holoceno (COSTA et al., 1992).

Às proximidades de Salinópolis, as exposições mais expressivas dos sedimentos da Formação Pirabas ocorrem no município de São João de Pirabas, nos seguintes locais: ilha Fortaleza (nas pontas do Castelo e da Fazenda) e na ilha das Minas. Bons afloramentos também estão presentes no município de Maracanã, nas localidades de Aricuru e Quarenta do Mocoóca, bem como no município de Primavera, nas arredores da vila de Japerica e de Primavera e na ilha de Baunilha. Destacam-se, ainda, as ocorrências na praia no pé da falésia, na cidade de Salinópolis, e na praia do Atalaia (município de Salinópolis, PA).

A hidrografia da área de estudo é bem representativa, envolvendo dezenas de rios de grande e médio portes e centenas de igarapés. São abundantes as nascentes e fontes em geral, poços rasos e assemelhados. Há disponibilidade de bons aquíferos, ora pertencentes aos

sedimentos do Grupo Barreiras, ora vinculados aos sedimentos da Formação Pirabas. Tais aquíferos são utilizados na captação de água subterrânea para o consumo público.

### 3.2 TRABALHO DE AMOSTRAGEM

Os trabalhos de amostragem cobriram períodos sazonais contrastantes, envolvendo o final do período chuvoso (junho de 1992) e o final do período de estiagem (janeiro de 1993).

Os principais corpos d'água examinados e a descrição sumária das amostras sólidas (carbonatos, fósseis, sedimentos de fundo e solos) coletadas constam a seguir, nas Tabelas 1, 2, 3, 4, e 5.

Tabela 1. As principais amostras de águas de igarapé examinadas. Zona fisiográfica de Bragantina e do Salgado (PA).

ponto de amostragem	local	coloração d'água	lâmina d'água	vegetação	geologia	utilidade
igarapé do Garrafão (IG/GAR)	Capanema	castanho-avermelhada	aprox. 1m	vegetação abundante com árvores de grande e médio portes, tipo hiléia	no fundo do igarapé aparece argilas branco-amareladas	consumo animal e as vezes para lazer (banho) idem
igarapé da Chacara (IG/CHA)	Primavera	idem	aprox. 0.40 m	idem	fundo de areia branca e fina. Nas margens, a presença de caracóis	idem
igarapé Patauí (IG/PAT)	Patauí	ligeiramente castanho-avermelhada	aprox. 0.30 m	árvores de grande portes, tipo palmeiras	terrenos arenosos e no fundo, presença de calcário branco-amarelo. Nas margens, presença de caracóis.	consumo doméstico e para lazer (banho) idem
igarapé Jaburu (IG/JAB)	Jaburu	castanho-avermelhada	aprox. 3 m	árvores de grande portes, tipo palmeiras e hiléia	terrenos ondulados, firmes e relativamente altos nas margens. Fundo de areia branca.	lazer (banho) consumo doméstico e para lazer (banho) idem
igarapé Grande (IG/GRA)	Derrubada	idem	aprox. 1,5 m	idem	nas margens, terrenos arenosos e no fundo, areia fina.	lazer (banho)
igarapé Marinho (IG/MAR)	Bom Jesus	águas claras	aprox. 0.50 m	idem	fundo de areia branca, muito fino, e nas margens, argila branca.	consumo doméstico e para lazer (banho) idem
igarapé Nazarezinho (IG/NAZ)	Japerica	castanho-avermelhada	aprox. 1 m	idem	fundo de areia branca, e nas margens, terrenos argilo-arenosos.	idem
igarapé Apeteua (IG/APE)	Maracanã	idem	aprox. 2,5 m	floresta abundante com plantações de mandioca	fundo de areia branca, muito fino e nas margens, terrenos arenosos.	idem

Tabela 2. Os principais corpos de águas de nascentes, poços rasos e "cacimbas" examinados. Zona fisiográfica do Salgado e Bragançana (PA).

pontos de amostragem	local	coloração	lâmina d'água	vegetação	geologia	utilidade
fonte do Caraná (FT/CAR)	Salinópolis	águas límpidas, sem coloração, odor ou sabor	vazão aprox. 60 l/min.	-	nos trechos mais altos, terrenos firmes, formando as falésias na orla litorânea com afloramento de calcário fossilífero nas bases	consumo doméstico como água potável
fonte do Batista (FT/BAT)	idem	idem	vazão aprox. 25 l/min.	-	fundo de areia branca, localizado em área de terrenos baixos	idem
poço do Pedro (PO/PED)	Quatipuru	nenhuma	aprox. 1m	árvores de grande e médio portes	terrenos baixos, alagadiços com ocorrência de calcário branco misturado com solo orgânico (escuro)	no período chuvoso, água de consumo doméstico, e na estiagem, impróprio para uso (as vezes seco)
poço do Bocal (PO/BOC)	Maracanã	águas límpidas sem odor ou sabor	aprox. 2 m	vegetação secundária	terrenos baixos, areno-argilosos com fundo de areia branca	consumo doméstico como água potável
"cacimba" <sup>1</sup> de Japerica (CA/JAP)	Japerica	nenhuma	muito rasa	árvores de grande e médio portes	idem	idem
"cacimba" <sup>1</sup> do Mambira (CA/MAM)	40 do Mocoóca	idem	idem	idem	terrenos arenosos, próximo de praia de águas salgadas onde afloram calcários fossilíferos bastante alterados e associados a lateritas	idem

Obs. "cacimba" é uma fonte natural represada

Tabela 3. Os principais corpos de águas de poços escavados. Zona fisiográfica de do Salgado e Bragantina (PA).

<i>pontos de amostragem</i>	<i>local</i>	<i>coloração</i>	<i>profundidade</i>	<i>vegetação</i>	<i>geologia</i>	<i>utilidade</i>
poço da Adelaide (PO/ADE)	Capanema (PA)	sem coloração	aprox. 19 m	nenhuma	solo arenoso e argiloso; no fundo, material branco amarelado e calcário	consumo doméstico embora muito salobra
poço do Campinho (PO/CAM)	idem	idem	aprox. 24 m	vegetação secundária (capim)	área de baixada e alagadiço	abastecimento público embora apresenta forte odor de sulfeto de hidrogênio
poço do Matriz	idem	idem	idem	nenhuma	perfil do solo mostra uma camada de calcário (8 - 9 m) seguida por uma camada de arenito calcífero e finalmente uma camada de areia	consumo doméstico
poço do Garrafão (PO/GAR)	idem	ligeiramente amarelada	12 - 13 m	vegetação secundária	área de baixada, alagadiço	abastecimento público embora apresenta forte odor de sulfeto de hidrogênio e bastante ferrugem
poço do Quatipuru (PO/QUA)	Quatipuru (PA)	sem coloração	18 - 24 m	nenhuma	área de baixada; terreno argiloso e úmido	abastecimento público; água agradável no período chuvoso e solbra na estiagem

Tabela 4. Os principais corpos de águas costeiras. Zona fisiográfica Bragantina e Salgado (PA).

pontos de amostragem	local	coloração da amostra	geologia	utilidade
Atalaia (ATA)	Salinópolis	esverdeada	praias de areias brancas, muito fina, com afloramento de calcário em alguns trechos	lazer (banho); amostra coletada em maré máxima
Japerica (JAP)	Primavera	verde-acinzentada, muito turva com bastante sedimento em suspensão	nas margens, aparece lateritos e afloramento de calcários	lazer (banho); amostra coletada na foz em maré baixa
Mocoóca (MOC)	40 do Mocoóca	verde-acinzentada	nas margens, barrancos típicos do Grupo Barreiras, com lateritos dispersos e calcário fossilífero	idem
São João de Pirabas (SJP)	São João de Pirabas	verde-oliva; águas turvas	praia de areia branca com afloramento de calcários fossilíferos	lazer (banho); águas coletadas em maré alta
Algodoal (ALG)	Algodoal	águas límpidas e esverdeadas	praia de areias brancas abundantes formando dunas; não foi observado a presença de calcários	idem
Bom Jesus (BJ)	Bom Jesus	águas acinzentadas, muito turvas	nas margens, bastante mangues e no fundo, sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica	pesca

**Tabela 5. Descrição sumária das amostras sólidas (carbonatos, fósseis, sedimentos e solos) coletadas na zona fisiográfica Bragantina e Salgado (PA).**

amostras	local	características
CAS/01	São João de Pirabas (ponta de Castelo)	calcário amarelo-acinzentado, poroso, fossilífero, muito duro; apresenta fauna bem desenvolvida (briozoários, gastrópodes, pelecípodes, celenterados etc.).
CAS/02	idem	calcário branco-acinzentado, não poroso, fossilífero, muito duro; apresenta grande variedades de fósseis (briozoários, celenterados, gastrópodes, pelecípodes etc.).
CAS/03	idem	carapaças fósseis, branco-acinzentados, muito duro com fauna pequena e variada (briozoários, pelecípodes, gastrópodes, celenterdos).
ATA/01	Salinópolis (praia da Atalaia)	calcário cinzento, não poroso, muito duro
ATA/02	idem	calcário cinzento escuro (capeada por material branco-amarelado), apresentando varias cavidades; material duro com pequena fauna (pelecípodes e breitosoários).
SAL/01	Salinópolis (base da falésia)	calcário fósseis, branco-amarelado, não poroso, muito duro; apresenta pequenas faunas de dimensões milimétricas.
JAP/01	Japerica (base da falésia)	calcário branco-amarelado, poroso, fossilífero, muito duro, apresentando pequena fauna (briozoários, pelecípodes etc.).
JAP/02	Japerica (poço barranco)	calcário branco-rosado, duro, fossilífero, rico em carapaças e contendo minúsculos moldes de fósseis preenchidos por cristais incolores, rosados e amarelados, provavelmente, calcita.
MOC/01	40 do Mocoóca (ponta de Fortaleza)	calcário branco-amarelado, duro, com fauna variada e bem desenvolvida (gastrópodes, briozoários, pelecípodes, ofiomórficos etc.).
MOC/02	40 do Mocoóca (praia do vilarejo)	calcário cinzento-esbranquiçado, fossilífero, muito duro e contendo material laterítico (ferruginoso); apresenta fauna variada (gastrópodes, briozoários, pelecípodes etc.).
CAP/01	Capanema (jazida B-5 e B-11)	calcário branco-amarelado, fossilífero, fauna abundante e variada (gastrópodes, pelecípodes, briozoários, ofiomórficos etc.).

continuação:

amostras	local	características
CAP/02	Capanea (jazida B-5 e B-11)	carapaça fóssil, grande; material branco-amarelado, muito duro
CAP/03	idem	carapaças fósseis, facilmente disseminadas com fauna abundante e variada (gastropódes, pelecípodes, briosoários etc.)
CAP/04	idem	calcário esbraquiçado, fossilífero com fauna abundante e variada (gastropódes, pelecípodes, briosoários etc.)
CAP/05	idem	carapaça fóssil, branco-acinzentado, muito duro.
CAP/06	idem	carapaça fósseis de dimensões variadas em forma de estiletos de tamanhos variados; apresenta fauna abundante (gastropódes, pelecípodes, briosoários etc.)
CAP/07	idem	calcário branco-amarelado, fossilífero, muito duro com fauna de pequenas dimensões (equidermes).
QUA/01	Quatipuru (poço Campo Grande)	calcário branco-amarelado, misturado com argila e raízes (filetes) de vegetais; muito mole, untuoso ao tato
QUA/02	Quatipuru (sítio Boa Vista)	calcário branco argiloso, muito mole, rico em material orgânico (filetes de raízes de vegetais).
PAT/01	Pataúia (fundo do igarapé)	calcário branco, arenoso (contendo microscópicos grãos negros) fragmentável.
QUA/03	Quatipuru (poço)	sedimento de fundo (aproximadamente 2,5 m), material areno argiloso, rica em matéria orgânica
JAB/01	Jaburu	sedimento de fundo (aproximadamente 2,5 m), predominantemente arenoso, branco.
BJE/01	Bom Jesus (rio)	sedimento de fundo (aproximadamente 2,5 m), material arenoso, acinzentado, untoso ao tato.
SJP/01	São João de Pirabas (rio)	sedimento de fundo (aproximadamente 3,0 m), material arenoso, branco, ligeiramente acinzentado

## 4. METODOLOGIA: TRABALHOS DE LABORATÓRIO

### 4.1 ANÁLISES DE AMOSTRAS DE ÁGUA.

As medidas de temperatura, pH, condutividade elétrica e Eh foram realizadas no campo, durante a coleta de amostras d'água. Ainda no mesmo dia foram determinadas a acidez e alcalinidade.

As amostras foram coletadas em garrafas plásticas em contra corrente, após sucessivas lavagens com o mesmo, e preservadas por dois dias (sob refrigeração) para execução de análises posteriores, envolvendo determinação de turbidez, cor, oxigênio consumido, sulfato, cloreto, fosfato e ferro ferroso, executados em laboratório após submetidas a filtração em membranas de 0,45 µm. Outras porções de amostras foram preservadas (em HNO<sub>3</sub>) visando a determinação de metais por absorção atômica, duas semanas depois; também para a determinação de Fe<sup>2+</sup> por espectrometria de absorção no visível, preservou-se a amostra com HCl.

Os equipamentos utilizados no campo foram o termômetro de mercúrio, para determinação da temperatura da água; um potenciômetro WTW, para medida de pH e Eh (para este último parâmetro acoplou-se um eletrodo de platina sob-218 mV); e um condutivímetro YSY, para medida de condutância específica.

Para a determinação de turbidez utilizou-se o clássico turbidímetro Hellige. Na avaliação da cor foi aplicado o Água-Tester Hellige.

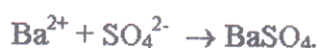
A acidez foi determinada através de titulação com NaOH 0,02 N, utilizando-se fenolftaleína como indicador. Titulou-se alíquotas de amostras com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02 N para obtenção da alcalinidade.

O oxigênio consumido foi determinado pelo método clássico de permanganato. O método consiste em digerir a matéria orgânica carbonada contida na amostra com KMnO<sub>4</sub> 0,0125 N. Este método é aplicado para concentrações a partir de 1 mg/l.

Atráves de cálculo estequiométrico, utilizando o valor numérico da alcalinidade (ao metil orange), obteve-se os teores de bicarbonato para as amostras de águas que não apresentam coloração frente a fenolftaleína.

Para a determinação de cloreto recorreu-se ao método titulométrico de mercúrio, utilizando-se solução de  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , em presença de difenilcarbozona e azul de bromofenol como indicadores. O nitrato mercúrico complexa o íon cloreto em meio ácido, produzindo o cloreto mercúrico e íons de nitrato livres, segundo a reação:  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Cl}^- \Rightarrow \text{HgCl}_2 + 2\text{NO}_3^-$ . O ponto final é indicado pelo aparecimento de uma cor púrpura, resultante da combinação do excesso dos íons mercúrico com o difenilcarbozona.

Empregou-se solução de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  na determinação turbidimétrica de sulfato, procedendo-se leituras de absorbância das soluções em espectrofotômetro de absorção, modelo PM6 ZEISS, em comprimento de onda de 420 nm. O método é preciso para concentrações acima de 1 mg/l e consiste em precipitar quantitativamente o íon sulfato contido na amostra com cloreto de bário em meio ácido :



A sílica foi determinada por colorimetria. Em meio ácido, o molibdato de amonia reage com a sílica para formar molibdosilfícico. Adiciona-se ácido oxálico para destruir qualquer traço de molibdofosfórico presente, e o complexo amarelo produzido torna-se azul após a adição de ácido ascórbico. A leitura de absorbância foi feito num espectrofotômetro PM6 ZEISS, em comprimento de onda de 660 nm.

O fosfato também forma complexo amarelo com íon molibdato. A adição de ácido ascórbico também produz um complexo azul, característico. Procedeu-se leituras em espectrofotômetro PM6 ZEISS, em 650 nm. O limite de detecção do método varia de 0,01 - 6,0 mg/l.

Na determinação de  $\text{Fe}^{2+}$  utilizou-se dados de absorbância obtidos pela formação do complexo castanho-alaranjado resultante da coordenação do íon metálico pela orto-fenantrolina. Procedeu-se leituras em espectrofotômetro de absorção PM6 ZEISS, num comprimento de onda de 510 nm. O  $\text{Fe}^{3+}$  foi avaliado pelo mesmo método, reduzindo previamente o mesmo, com solução de hidroxilamina. Para a confirmação de resultados e obtenção de valores médios, comprovou-se as análises com leituras de absorbância de  $\text{Fe}^{3+}$  por absorção atômica. O limite de detecção do método varia de 0,02 - 4,0 mg/l.

Os metais componentes de águas naturais foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica, modelo A.A.C.G. 905 BT. Os parâmetros operacionais e linhas analíticas utilizados nas determinações dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Sr constam na Tabela 6.

As análises de teores-traços de fluoreto em águas naturais foram procedidas em laboratório, utilizando-se o íon analisador digital IA-601, ANALION. Trabalhou-se com curva de calibração e solução padrão de fluoreto, em presença de cloreto.

Para os trabalhos de coleta e preservação de amostras de águas naturais recorreu-se às recomendações constantes do Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1975) e SOUZA & DERISIO (1977). Os métodos analíticos aqui sumarizados se encontram descritos no Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1975) e CETESB (1978). Os métodos espectrofotométricos por absorção atômica se encontram em conformidade com as recomendações de WELZ (1976) e do manual do aparelho FMD4 (ZEISS, 1974).

#### 4.2 ANÁLISES DAS AMOSTRAS SÓLIDAS

As amostras sólidas analisadas constituem-se em geral, de sedimentos de fundo, solos e calcários fósseis. Coletou-se os sedimentos com auxílio de uma draga de Petersen.

**TABELA 6. Parâmetros operacionais utilizados para determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica em amostras de águas naturais.**

<b>componente<sup>1</sup></b>	<b>linha analítica (nm)</b>	<b>chama / combustível</b>	<b>concentrações dos padrões de calibração (ppm)</b>
Ca*	422.7	ar / acetileno	0; 1; 2; 4; 6; 8; 0; 10; 20; 30; 40;
Mg*	285.2	ar / acetileno	0; 0.5; 1; 1.5; 2; 4; 6; 0; 10; 20; 30; 40;
Na**	589.0	ar / acetileno	0; 1; 2; 4; 6; 8; 0; 10; 20; 30; 40;
K**	766.5	ar / acetileno	0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1; 0; 1; 3; 5; 7;
Fe (total)	248.3	ar / acetileno	0; 1; 2; 3; 4; 5; 6;
Sr*	460.7	ar / acetileno	0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1;

OBS. 1 procedeu-se todas as leituras em absorbância;

\*\* acrescentou-se solução de tampão espectral de Cs

\* acrescentou-se solução de tampão espectral de La

#### 4.2.1 Tratamento preliminar.

Após secagem em bandejas a temperatura ambiente, as amostras foram inicialmente trituradas com auxílio de um grau de Agata e depois submetidas à peneira de 120 µm; posteriormente foram levadas a difratometria de raio-x, para identificação de minerais de carbonatos (calcita, dolomita, aragonita) e de argilominerais (caolinita, illita, esmectita). Após identificadas, as amostras foram então submetidas a análises químicas.

#### 4.2.2 Difratometria de Raio-x.

As amostras preparadas foram submetidas a difração de raio-x aplicando-se a técnica mais usual, isto é, o método do pó. Para isso, utilizou-se o difratômetro PHILIPS, modelo PW 1050/80 que é alimentado por um gerador (modelo PW1130/96) de alta tensão, e acoplado a um registrador de pena automático. Posteriormente as amostras foram colocadas sob pressão manual no porta-amostra de metal, e submetidas a radiação de  $\text{CuK}_\alpha 1$ .

Para identificar os difratogramas e interpretar os componentes minerais presentes (minerais de carbonato e argilominerais) nas amostras, recorreu-se às instruções do J.C.P.D.S (Joint Committee for Powder Diffraction Standards)( BROWN, 1961 e THOREZ, 1975).

#### 4.2.3 Análises químicas.

##### CARBONO ORGÂNICO

O carbono orgânico foi determinado pelo método titulométrico de GAUDETTE et al. (1974). O método consiste em reduzir o carbono orgânico contido na amostra com uma solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , utilizando difenilamina como indicador. Pesou-se 0,3 g da amostra (seca e peneirada) em um erlemayer de 250 ml e adicionou-se 10 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado com constante agitação. A

solução foi diluída a 200 ml com H<sub>2</sub>O destilada e, sob constante agitação, titulado com a solução ferrosa. O ponto final é indicado pela viragem da cor de verde amarronzado para azul escuro e finalmente verde brilhante. O carbono orgânico foi calculado a partir da fórmula:

$$\% \text{ Carbono orgânico} = 10(1-T/S)[1.0N(0.003)(100/W)] \text{ onde:}$$

T = volume de solução de ferro ferroso gasto na titulação da amostra

S = volume de solução de ferro ferroso gasto na titulação do branco

0,003 = 12/4,000 = meq grama do carbono

1,0 N = normalidade de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

10 = volume de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em mililitros

W = peso da amostra em gramas

#### PERDA AO FOGO

Determinou-se pelo método gravimétrico. Em um cadinho de Teflon seco (110°C por uma hora), pesou-se 0,5 g da amostra (seca e peneirada) e o mesmo aquecido à 1000°C por uma hora em um forno elétrico. Após resfriado por 30 minutos em um dessecador, o cadinho com o resíduo sólido é pesado. Perda ao fogo é calculada pela seguinte fórmula:

$$P_2 - P_3 / P_2 - P_1 \text{ onde:}$$

P<sub>1</sub> = peso do cadinho

P<sub>2</sub> = peso do cadinho + amostra inicial

P<sub>3</sub> = peso do cadinho + resíduo sólido

#### UMIDADE (H<sub>2</sub>O)

Utilizou-se também o método clássico de gravimetria. Cerca de 0,5 g da amostra (seca e peneirada) é aquecido (em um cadinho de Teflon) à 110°C por uma hora em uma estufa. Após

resfriado por 30 minutos em um dessecador, o cadinho é pesado e a umidade é calculada pela mesma fórmula aplicada no cálculo da perda ao fogo.

#### ANÁLISES DE METAIS: Ca, Mg, Na, K, Fe e Sr.

Determinou-se o teor dos metais por espectrofotometria de absorção atômica. Em um cadinho de Teflon seco (100°C por uma hora), pesou-se 0,2 g da amostra (seca e peneirada) e adicionou-se 7 ml da mistura HF + HClO<sub>4</sub> (10:1). Levou-se a secar em banho de areia e depois dissolvido com 5 ml e depois 3 ml da mistura HF + HClO<sub>4</sub>. O resíduo é dissolvido com 5 ml de HCl (1:1) e a solução final (sem resíduo) diluída a 100 ml em um balão volumétrico.

#### ANÁLISE DE SiO<sub>2</sub>

A sílica foi determinada pelo método clássico gravimétrico, utilizando o tetraborato de lítio como fundente. Em um cadinho de platina seco (100°C por uma hora), pesou-se cerca de 0,2 g da amostra (seca e peneirada) e adicionou-se 1,6 g (8 vezes o peso da amostra) do fundente; o mesmo foi levado ao forno à 1000°C por uma hora e através de choque térmico com H<sub>2</sub>O deionizado, retirou-se o material sólido no fundo do cadinho e o mesmo dissolvido com 5 ml de HCl (1:1). Levou-se a solução a secar em banho de areia (2 vezes: 5 ml de HCl concentrado) e depois redissolvida com 10 ml de HCl concentrado. A solução final é diluída com 50 ml de H<sub>2</sub>O deionizada e aquecida até a ebulição em um bico de bunsen.

A solução é então filtrada em um papel de filtro que após secar, é carbonizado e o resíduo levado ao forno à 1000°C (no cadinho de platina) por uma hora. Após 30 minutos no dessecador, o cadinho é pesado (P<sub>1</sub>); o resíduo no cadinho é dissolvido com 3 gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 10 ml de HF concentrado e levado a secar (duas vezes). O cadinho é levado ao forno à 1000°C por uma hora,

em seguida ao dessecador por 30 minutos e finalmente pesado ( $P_2$ ). O teor de  $\text{SiO}_2$  foi obtido a partir da diferença de peso entre  $P_1$  e  $P_2$ .

#### ANÁLISE DE FOSFATO

Determinou-se o fósforo por método colorimétrico de azul de molibdênio, utilizando uma solução redutora preparada pela mistura de 125 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 N, 38 ml de molibdato de amônio, 60 ml de ácido ascórbico e diluída a 250 ml com água destilada (solução preparada um pouco antes de uso).

Submeteu-se cerca de 0,5 g da amostra a uma abertura ácida de  $\text{HF} + \text{HClO}_4$  (10:1), e o volume final diluído a 20 ml com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Em seguida adicionou-se 20 ml da solução redutora e a mistura deixada em repouso por uma noite para leitura de absorvância. O branco foi preparado, utilizando somente  $\text{H}_2\text{O}$  deionizada e a solução redutora. A leitura foi feita num espectrofotômetro PM6-ZEIS, no comprimento de onda 650 nm utilizando cubetas de 2,0 cm. O teor de fósforo foi obtido através de uma curva de calibração de 0,0; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 e 0,1 ppm preparada a partir de uma solução estoque de fosfato.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. ÁGUAS CONTINENTAIS

#### 5.1.1. Águas superficiais

As Tabelas 7 e 8 apresentam dados de parâmetros físicos, físico-químicos e geoquímicos de águas de igarapé. Observe-se que a temperatura é quase sempre elevada (da ordem de 23°C a 30°C), caracterizando um ambiente sob influência equatorial.

A sazonalidade exerce nítida influência na coloração das águas desses igarapés; a estiagem, quase sempre prolongada nessa área fisiográfica, provoca evaporação de água, favorecendo a concentração de solutos orgânicos coloridos ou de seus complexos com metais, notadamente ferro, resultando uma coloração castanho-avermelhada típica, fato, aliás, já observado por outros pesquisadores em águas amazônicas (SIOLI, 1967; LIMA & KOBAYASHI, 1988; RIBEIRO & LIMA, 1990), bem como exaustivamente registrados na literatura mundial (LEVINSON, 1974; DREVER, 1988). Observa-se índices elevados em coloração (máximo nos igarapés da Chacara, do Garrafão e Jaburu, em torno de 60, 50 e 50 u.c, respectivamente).

Os valores obtidos para turbidez estão compatíveis com as observações de campo, notadamente quando se registra um índice de 270 (em termos de ppm de SiO<sub>2</sub>) nas águas do igarapé IG/GAR, que percorre áreas sob intenso movimento (carregamento de calcário e aterro para construção), nos arredores de Capanema; por outro lado, nos igarapés mais preservados, a turbidez atinge valores em torno de 10 (ppm de SiO<sub>2</sub>).

Os índices registrados para Eh (Tabela 7) evidenciam dois principais grupos de águas. As águas mais aeradas apresentam valores sempre superiores a +0,35 volt, enquanto que as águas mais sujeitas as influências oriundas de sólidos em suspensão e de outros materiais dissolvidos, apresentam índices sempre abaixo de +0,30 volt.

Tabela 7. Parâmetros físicos e físico-químicos de águas de igarapés da zona fisiográficas do Salgado e Bragantina

		T (°C)	pH	Eh (volts)	e (uS/cm)	cor (u.c)	Turbidez (ppm de SiO <sub>2</sub> )
FIML DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/1992)	IG.GAR	26	7.06	0.487	220	50.0	270
	IG.CHA	25	6.93	0.400	130	20.0	20
	IG.PAT	26	6.33	0.442	45	15.0	12
	IG.JAB	25	6.72	0.475	40	12.5	10
	IG.GRA	23	6.05	0.458	40	10.0	7
	IG.MAR	25	4.24	0.301	30	0.0	10
	IG.NAZ	25	5.68	0.465	30	17.5	8.5
	IG.APE	26	4.14	0.484	25	10.0	8.5
FIML DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./1993)	IG.GAR	28	7.85	0.493	298	50.0	29
	IG.CHA	27	5.66	0.476	165	60.0	9.5
	IG.PAT	27	7.80	0.464	209	30.0	9.5
	IG.JAB	26	7.13	0.498	97	50.0	9.1
	IG.GRA	28	7.03	0.458	275	20.0	9.4
	IG.MAR	28	4.45	0.539	55	0.0	9.2
	IG.NAZ	26	6.42	0.453	72	30.0	9.2
	IG.APE	28	4.91	0.514	55	40.0	9.1

OBS. e: condutividade elétrica medida em microsiemes/cm

**Tabela 8. Constituintes químicos de águas de igarapés da zona fisiográfica do Salgado e Bragantina (PA).**

		Acidez (ppmCO <sub>2</sub> )	Alcal. (ppmCaCO <sub>3</sub> )	O <sub>2</sub> cons. (ppmO <sub>2</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	Fe <sup>2+</sup> (ppm)	FeTOTAL (ppm)	F <sup>-</sup> (ppb)	Sr <sup>2+</sup> (ppb)
FINAL DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/1992)	IG.GAR	5.0	95.0	0.0	26.00	1.92	7.36	0.47	116.00	5.10	1.57	1.70	0.088	1.10	2.65	<LD	n.d
	IG.CHA	6.0	49.0	0.85	16.00	3.10	5.98	2.34	59.80	8.17	3.43	1.20	0.000	0.39	0.48	<LD	n.d
	IG.PAT	5.0	14.0	0.00	3.90	0.79	1.61	0.04	17.08	0.64	0.78	1.07	0.000	0.60	0.78	<LD	n.d
	IG.JAB	4.0	18.5	0.70	4.40	0.96	1.50	0.08	22.60	1.00	0.33	1.24	0.000	0.27	0.27	<LD	n.d
	IG.GRA	5.0	28.0	0.10	5.16	0.70	2.40	0.04	34.20	0.25	1.72	1.00	0.003	0.40	0.48	<LD	n.d
	IG.MAR	15.0	0.0	0.20	0.34	0.36	2.50	0.04	0.00	3.60	2.35	0.81	0.000	0.007	0.08	<LD	n.d
	IG.NAZ	6.0	0.0	0.30	2.08	0.62	1.52	0.02	0.00	6.03	1.55	1.14	0.000	n.d	0.54	<LD	n.d
	IG.APE	18.0	0.0	0.10	0.86	0.39	1.59	0.02	0.00	4.26	1.47	1.25	0.000	0.19	0.22	<LD	n.d
FINAL DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./1993)	IG.GAR	12.0	118.0	2.45	30.00	2.40	17.25	1.56	144.00	8.09	12.69	2.00	0.109	1.09	3.34	190	n.d
	IG.CHA	8.0	29.0	13.47	20.00	3.50	7.36	3.08	35.38	12.90	34.30	1.70	0.100	0.37	0.44	120	n.d
	IG.PAT	4.0	7.5	1.63	5.60	3.24	29.90	0.43	9.15	53.30	12.30	1.40	0.042	0.80	0.83	120	n.d
	IG.JAB	5.0	8.0	8.16	6.30	1.84	8.74	1.82	9.76	9.23	30.10	1.50	0.034	0.27	0.27	100	n.d
	IG.GRA	7.0	4.0	3.26	17.00	6.00	30.00	5.07	4.90	67.10	24.01	1.64	0.077	0.90	1.06	120	n.d
	IG.MAR	32.0	0.0	7.35	0.50	0.50	6.27	0.43	0.00	10.30	3.33	1.06	0.006	0.02	0.02	<LD	n.d
	IG.NAZ	10.0	3.0	42.45	3.30	1.40	3.68	1.48	3.66	10.65	7.15	1.75	0.038	0.33	0.36	<LD	n.d
	IG.APE	22.0	0.5	2.04	0.92	0.60	11.04	0.61	6.10	4.62	3.68	1.30	0.026	0.68	0.72	<LD	n.d

OBS. n.d: não determinado; <LD: ALCAL.: abaixo de limite de detecção; alcalinidade; O<sub>2</sub>Cons.: oxigênio consumido.

Com relação ao pH (Tabela 7), as águas que, aparentemente, sofrem influência de ocorrência de calcário apresentam valores próximos de 7, tais como os igarapés IG/GAR (fortemente influenciado pelo calcário, já que se encontra nos arredores de Capanema), o igarapé IG/CHA (com pH em 6,93), IG/JAB (pH 6,72), IG/PAT (pH 6,33, no leito do qual aparece afloramento de calcário). Tais condições dizem respeito ao final do período chuvoso. Já no fim do período mais seco, todos os valores de pH aumentam de modo apreciável. Tais fatores parecem estar relacionados com duas causas principais: uma, à influência das ocorrências de calcário mediante aumento de concentração dos constituintes químicos e outra, em virtude da baixa índice pluviométrico neste período.

Os igarapés Nazarezinho (pH 5,68 no período chuvoso e 6,42 no período mais seco), Marinho (pH 4,24 e 4,45 na mesma ordem de períodos) e Apeteua (pH 4,1 e 4,91) parecem representar tipologias diferenciadas.

Compatíveis influências do calcário e da sazonalidade se encontram nos valores obtidos para a condutividade elétrica (Tabela 7) expressos em microsiemes por centímetro (uS/cm). Novamente, as mesmas considerações feitas para o pH, reflete-se para o caso das condutividades elétricas dessas águas. Os igarapés Marinho, Nazarezinho e Apeteua parecem refletir a situação mais comum das de córregos amazônicos de natureza ácida e pobre em eletrólitos (SIOLI, 1967; LIMA & KOBAYASHI, 1988).

No que se refere à acidez, aqui expresso em termos de ppm de CO<sub>2</sub> livre, esta se encontra diretamente relacionada com o pH da solução. De um modo geral, as águas menos ácidas, com pH próximo de 7, apresentam índices de acidez mais baixos (em torno de 5 ppm de CO<sub>2</sub> nos casos aqui observados), enquanto os igarapés mais ácidos (variando de 15 a 32 ppm de CO<sub>2</sub>) apresentam pH mais baixos; todavia, o igarapé IG/GAR, no período mais seco, apresentou índice de acidez

apreciável, em 7,85; talvez tal fato esteja associado ao seu teor de  $\text{HCO}_3^-$ , bem mais pronunciado do que nos demais.

A sazonalidade parece exercer certa influência na acidez dessas águas, considerando o fato de que no período de estiagem, devido a maior influência de matéria orgânica, obtenha-se teores apreciáveis de sulfatos. Resultados analíticos para acidez se apresentam, em certos casos, bem mais expressivos, como, por exemplo, nos igarapés IG/APE (22 ppm de  $\text{CO}_2$ ) e igarapé IG/MAR (32 ppm de  $\text{CO}_2$ ).

As determinações de alcalinidade dessas amostras, foram feitas com base no intervalo de pH de viragem da fenolftaleína e do metil orange. Sistemáticamente, por se tratarem de águas com pH sempre abaixo de 8, não se observou coloração frente à fenolftaleína, revelando, assim, a não ocorrência de carbonato; portanto, a alcalinidade, aqui considerada para essas águas refere-se à presença de bicarbonato. As águas com valor de pH mais elevados mostram índices mais altos de alcalinidade; com efeito, em pH 7,06 (igarapé IG/GAR) a alcalinidade atinge um máximo observado em 95 ppm de  $\text{CaCO}_3$ ; em pH 6,93 (igarapé IG/CHA) a alcalinidade desce para 49 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

Observe-se por outro lado, que os igarapés de águas mais ácidas [IG/APE (pH 4,14), IG/MAR (pH 4,24) e IG/NAZ (pH 5,68)], apresentam alcalinidade abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada. Tais fatores se encontram compatíveis com a literatura citada (LIMA & KOBAYASHI, 1988, 10,5 - 17,5 ppm de  $\text{CaCO}_3$  nas águas de Bacarena, PA) para águas amazônicas em geral. Já no período de estiagem aparecem outras influências que serão discutidas mais adiante, no estudo das relações iônicas, como  $r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}$  e  $r\text{Na}/r\text{Ca}$ .

A determinação de oxigênio (gás) consumido baseia-se na reações de oxidação-redução, envolvendo um agente oxidante (em geral, o permanganato de potássio), com substâncias redutoras presentes nas águas naturais. Tais substâncias redutoras dizem respeito à matéria orgânica, cuja

concentração é fortemente influenciada pela sazonalidade. Tais conclusões se encontram compatíveis com as observações de campo, posto que na estiagem é notável a contribuição de matéria orgânica na coloração e no sabor dessas águas. Exemplo significativo foi registrado para o igarapé IG/NAZ que, no período chuvoso, apresentou 0,30 ppm de oxigênio consumido, enquanto que no final do período de estiagem o índice aumentou para 42,5 ppm de O<sub>2</sub> consumido.

Embora apresentando breves distorções, registrou-se coerente a proporcionalidade entre a soma dos números de mivalentes de cátions e ânions com os valores detectados para a condutividade elétrica dessas águas (Figura 3). Tais considerações se encontram em conformidade com a literatura científica (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

Por sua vez, as relações iônicas rCa/rNa e rHCO<sub>3</sub>/rCl sugerem influência de calcário nessas águas (Figuras 4 e 5). Exemplo marcante é o caso do igarapé IG/GAR, representante típico dessa influência, já observada em trabalhos de campo relatadas na literatura (SIOLI, 1960). Registrou-se, neste estudo, valores em torno de 4 para a relação rCa/rNa e de 13 para a relação rHCO<sub>3</sub>/rCl, no período chuvoso; na estiagem, observou-se um decréscimo para 2 (rCa/rNa) e cerca de 10 para rHCO<sub>3</sub>/rCl.

Para o igarapé IG/CHA, a relação rCa/rNa é bem representativa, sugerindo influência de calcário (em torno de 3, em ambos os períodos); a relação rHCO<sub>3</sub>/rCl foi descaracterizado durante a estiagem posto que o quociente obtido (em torno de 2) esta distante do valor esperado (às proximidades de 4, observado no período chuvoso). Essa descaracterização talvez se deve a elevada concentração de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nas águas nesse período (34,30 ppm).

Quanto ao igarapé IG/JAB, apenas o período chuvoso parece mais representativo da influência de calcário com as relações rCa/rNa em torno de 3 e rHCO<sub>3</sub>/rCl em torno de 13; já no período de estiagem, os quocientes obtidos descaracterizam os valores mais aceitos (em torno de 3 para rCa/rNa e as proximidades de 4 a 10 para rHCO<sub>3</sub>/rCl).

**PIRABAS**

	PONTOS DE AMOSTRAGEM								
		GAR	CHA	PAT	JAB	GRA	MAR	NAZ	APE
CHUVOSO	$\sum (+)E(-)$ meq/L	203	141	36	40	54	16	23	16
	$\rho$ $\mu$ S/cm	220	130	45	40	40	30	30	25
ESTIAGEM	$\sum (+)E(-)$ meq/L	277	169	194	99	268	36	49	50
	$\rho$ $\mu$ S/cm	298	165	209	99	275	55	72	55

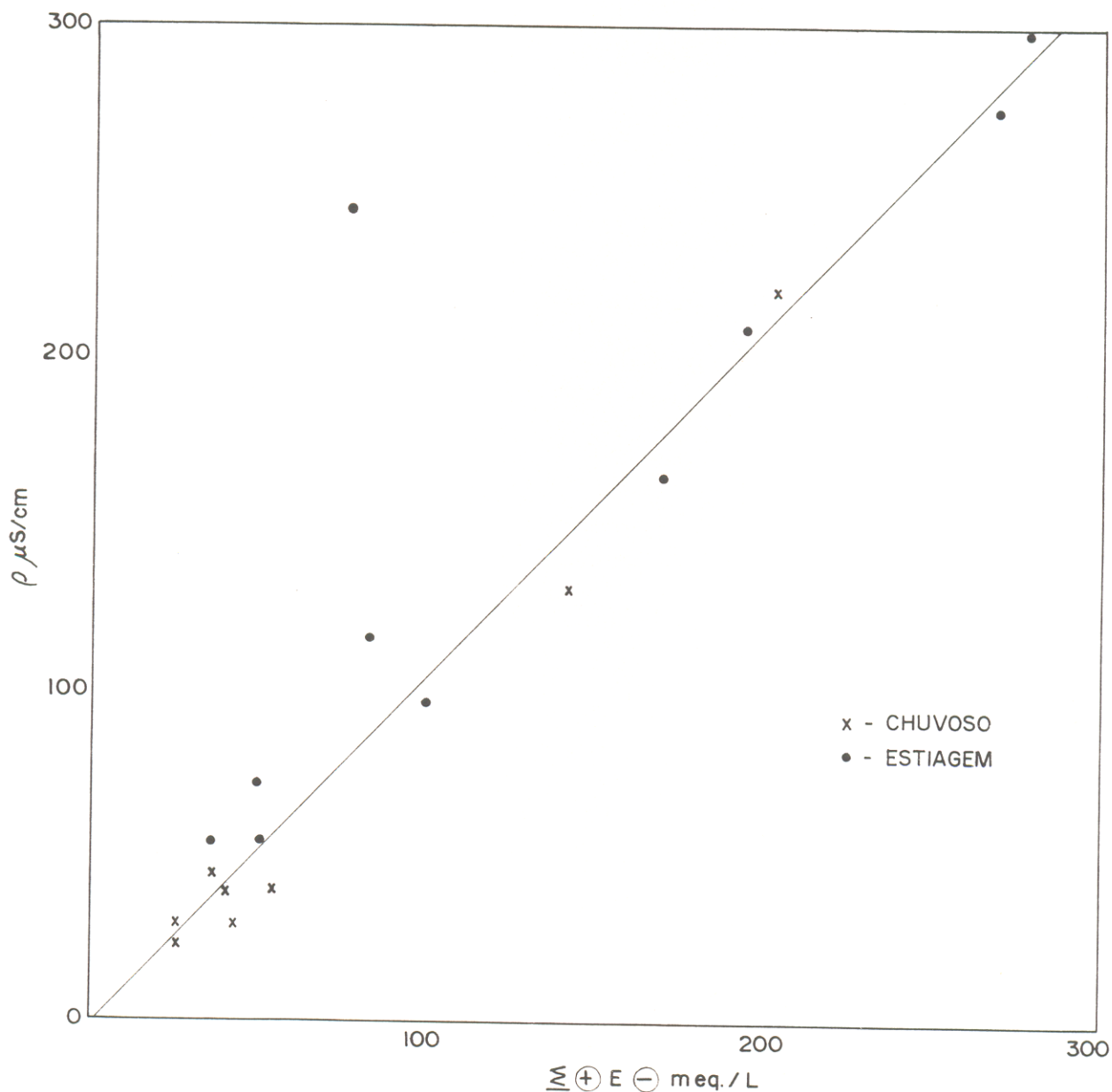


Figura 3 - Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica das águas de Igarapés. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA).

PIRABAS

RELAÇÃO		PONTOS DE AMOSTRAGEM							
$r_{Ca}/r_{Na}$		GAR	CHA	PAT	JAB	GRA	MAR	NAZ	APE
CHUVOSO		4,01	2,27	2,75	3,33	2,44	0,15	1,55	0,61
ESTIAGEM		1,97	3,08	0,21	0,82	0,64	0,09	1,02	0,10

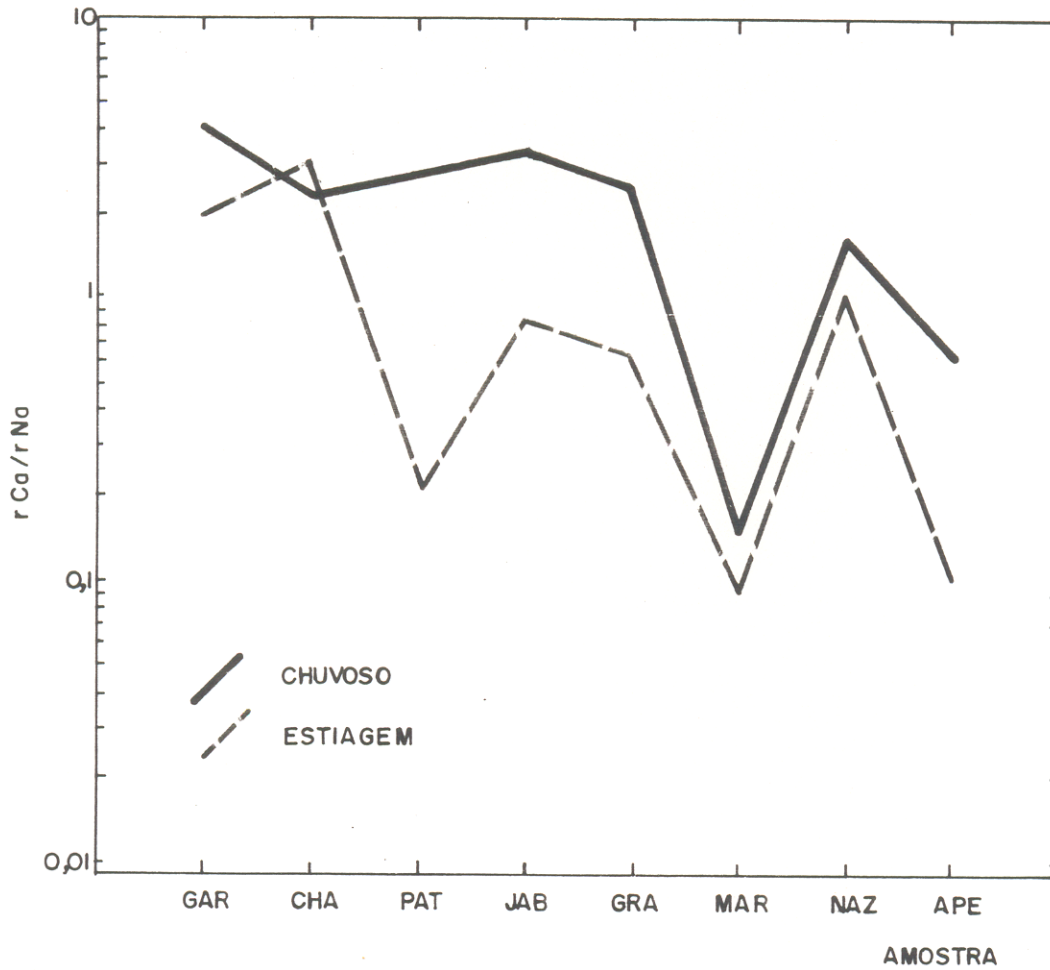


Figura 4 - Relações hidrogeoquímicas das águas de igarapé. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina.

PIRABAS

RELAÇÃO $r_{\text{HCO}_3}/r_{\text{Cl}}$	PONTOS DE AMOSTRAGEM					
	CHUVOSO	GAR	CHA	PAT	JAB	GRA
	13,00	4,18	15,25	12,91	78,17	
	ESTIAGEM	10,17	1,57	0,10	0,60	0,04

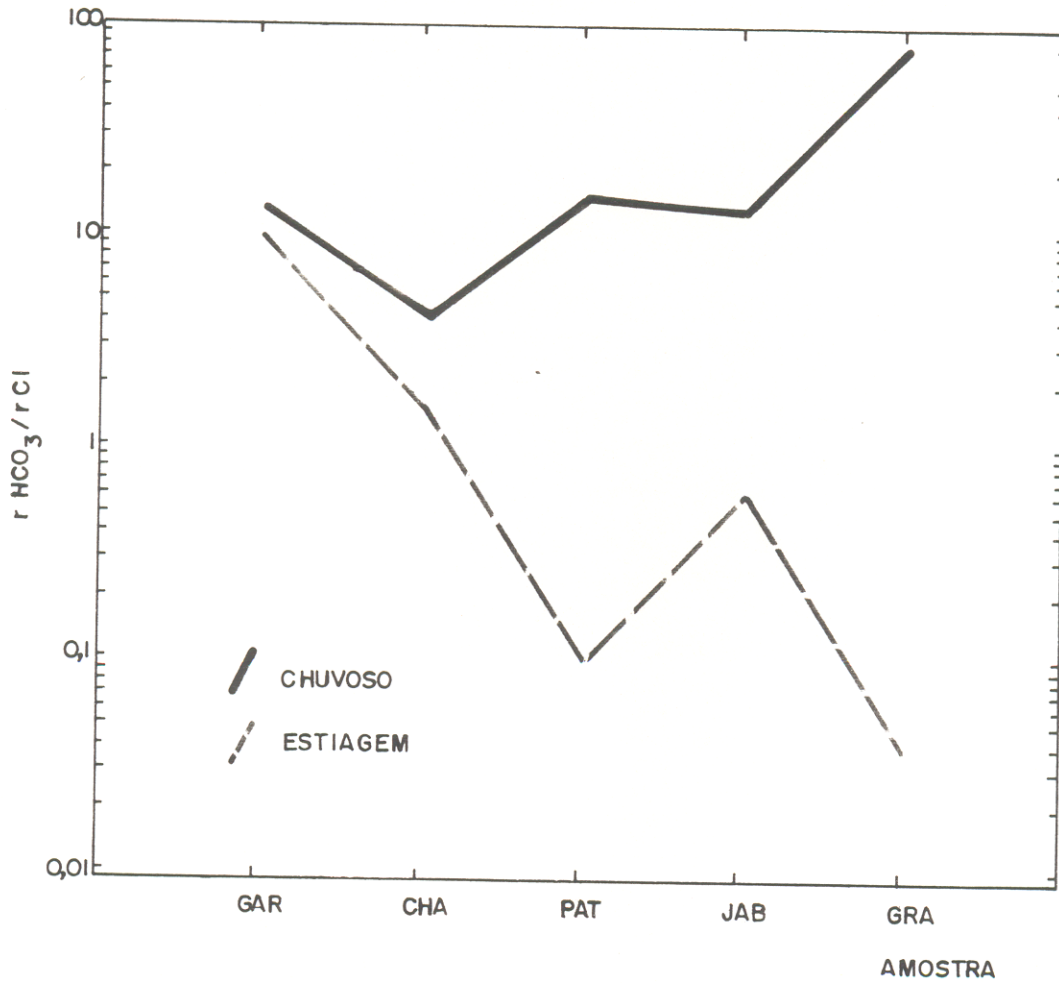


Figura 5 - Relações hidrogeoquímicas das águas de igarapé. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina.

Por outro lado, a influência marinha nos igarapés IG/GRA e IG/PAT podem ser evidenciadas numericamente pelos quocientes obtidos para as relações iônicas  $rNa/rCa$  e  $rCl/rHCO_3$  (Figuras 6 e 7). Enquanto no período chuvoso tais quocientes se estendem abaixo de um, no período de estiagem atingem cerca de 2 a 5 (para a relação  $rNa/rCa$ ) e de 10 a 24 para a relação  $rCl/rHCO_3$ ). Já a relação iônica  $rMg/rCa$ , no período de estiagem, revela índices em torno de, praticamente, 1 (Figura 8).

Observa-se que os igarapés IG/GAR e IG/CHA são típicos representantes dessas influências. Enquanto o igarapé IG/GAR atravessa área caracterizada fortemente pela presença de calcário (Capanema), o igarapé IG/CHA provavelmente recebe influências de terrenos contendo calcário, ou porque lavam tais terrenos, ou porque suas nascentes se encontram em contato com lençóis freáticos associados ao calcário.

Por sua vez, as notáveis influências dos teores de  $Cl^-$ ,  $Na^+$  e  $Mg^{2+}$  na composição eletrolítica dos igarapés IG/GRA e IG/PAT se encontram compatíveis com observações de campo. O igarapé IG/GRA representa umas das nascentes do rio Urindeua, cujas águas, no período de estiagem, recebem fortes influências das águas do oceano Atlântico, que penetram rio acima. O igarapé IG/PAT se encontra nas cabeceiras do rio Pirabas, que também recebe forte influência das águas do Atlântico.

Os valores de  $SiO_2$  observados neste estudo, se encontram compatíveis com as observações de campo e os comentários referente à turbidez. Deste modo, a sazonalidade exercendo a sua notável influência, produz teores mais elevados de  $SiO_2$  durante o período de estiagem. Valores máximos registrados foram para o igarapé IG/GAR (2 ppm de  $SiO_2$ ) e para o igarapé IG/CHA (1,7 ppm de  $SiO_2$ ). Tais valores no entanto, revelam a baixa influência da sílica nessas águas.

PIRABAS

RELAÇÃO		PONTOS DE AMOSTRAGEM						
		GAR	CHA	PAT	JAB	GRA	MAR	NAZ
rNa/rCa	CHUVOSO	0,25	0,44	0,36	0,30	0,41	6,48	0,64
	ESTIAGEM	0,51	0,32	4,71	1,22	1,56	11,06	0,98

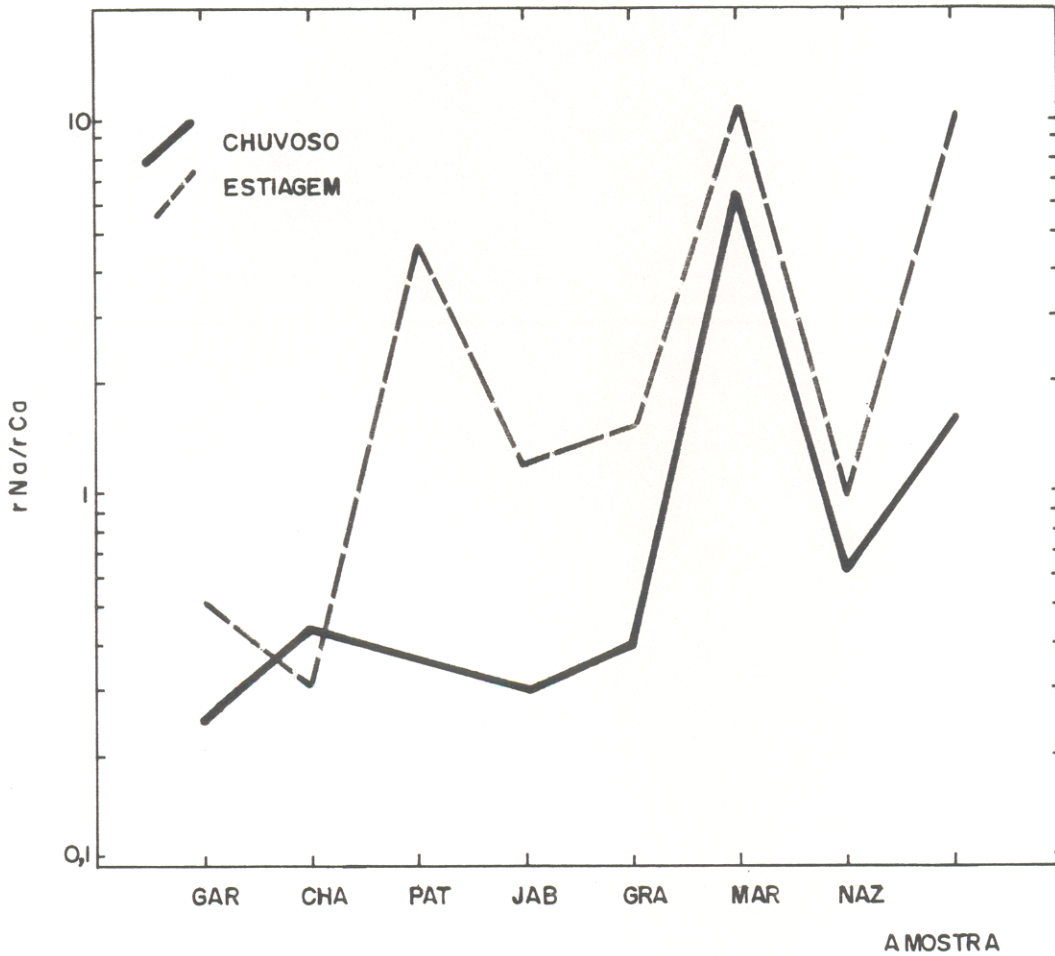


Figura 6 - Relações hidrogeoquímicas das águas de igarapé. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina.

PIRABAS

RELAÇÃO		PONTOS DE AMOSTRAGEM				
$r_{Cl}/r_{HCO_3}$		GAR	CHA	PAT	JAB	GRA
	CHUVOSO	0,08	0,24	0,07	0,08	0,01
	ESTIAGEM	0,10	0,64	10,19	1,66	23,96

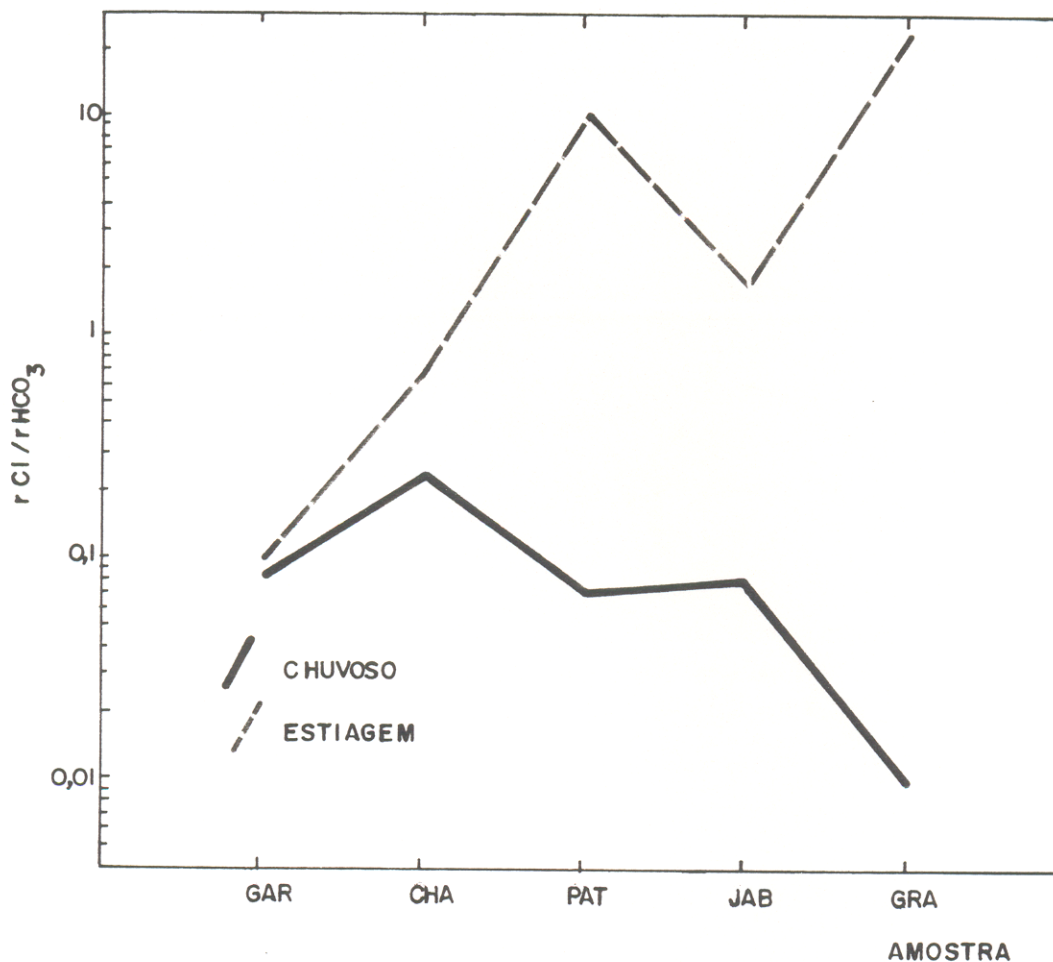


Figura 7 - Relações hidrogeoquímicas das águas de Igarapé. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina.

PIRABAS

RELAÇÃO		PONTOS DE AMOSTRAGEM							
$r_{Mg}/r_{Ca}$		GAR	CHA	PAT	JAB	GRA	MAR	NAZ	APE
CHUVOSO	0,12	0,32	0,33	0,36	0,22	1,74	0,49	0,75	
ESTIAGEM	0,13	0,29	0,95	0,48	0,58	1,64	0,70	1,02	

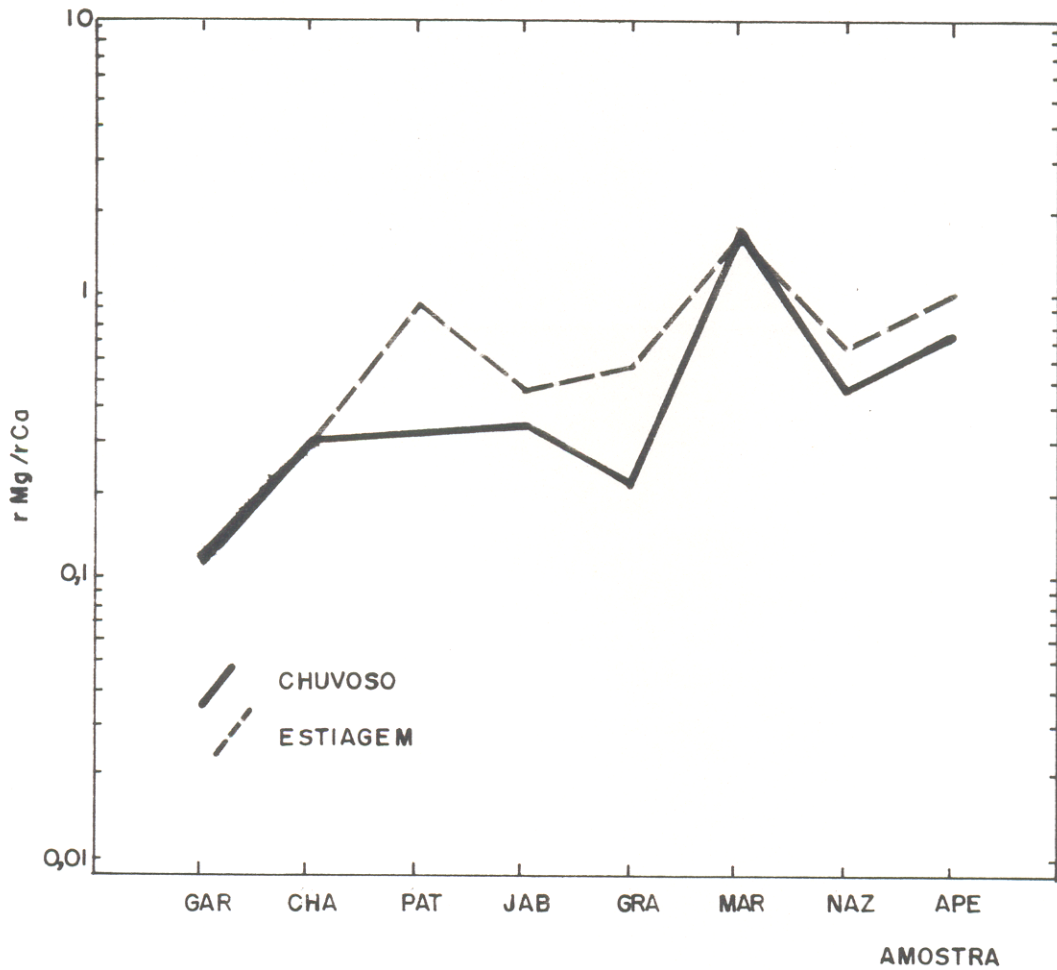


Figura 8 - Relações hidrogeoquímicas das águas de igarapé. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina.

O ambiente amazônico tem sido caracterizado por um "background" relativamente baixo em termos de fosfato para águas (SCHAFER, 1985). Em geral, a literatura científica tem registrado índices em torno de 0,05 a 0,11 ppm de  $\text{PO}_4^{3-}$  para águas superficiais (SIOLI, 1967) e abaixo de 0,05 ppm de  $\text{PO}_4^{3-}$  para águas de igarapés na área fisiográfica de Barcarena, as proximidades de Belém (Pa) (LIMA & KOBAYASHI, 1988). Aparentemente, a julgar pelos resultados aqui alcançados, não se registrou índices significativos de fosfato total solúvel, com valores máximos em torno de 0,09 ppm de  $\text{PO}_4^{3-}$  no período chuvoso, e 0,11 ppm de  $\text{PO}_4^{3-}$  durante a estiagem, no igarapé IG/GAR.

É de se esperar que as águas superficiais, bem aeradas, apresentam baixos teores de  $\text{Fe}^{2+}$  (LEVINSON, 1974). Nos casos aqui estudados, observou-se valores mais expressivos de Fe ferroso. Valores mínimos foram observados no igarapé IG/MAR, às proximidades de sua nascente, em torno de 7 ppb de  $\text{Fe}^{2+}$  e 80 ppb de Fe total, indicando, assim, enriquecimento de  $\text{Fe}^{3+}$  sobre  $\text{Fe}^{2+}$  da ordem de 10,4 vezes. Valores máximos detectados para  $\text{Fe}^{2+}$  e Fe total são de ordem de 1,1 ppm e 3,34 ppm, respectivamente, ambos, no igarapé IG/GAR.

### **5.1.2. Águas de sub-superfície**

#### **5.1.2.1. Águas de nascentes, fontes e "cacimbas"**

Considerou-se neste estudo águas relacionadas às infiltrações para os lençóis freáticos, aqui representadas pelas nascentes e fontes (incluindo-se portanto, poços rasos e "cacimbas").

As Tabelas 9 e 10 resumem dados de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos dessas águas naturais, considerando os períodos sazonais.

As temperaturas se estendem de 24°C a 27°C, ratificando esperadas situações características da influência do ambiente equatorial.

Tabela 9. Parâmetros físicos e físico-químicos de águas de poços rasos, nascentes e "cacimbas"<sup>(1)</sup> da zona fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA).

		T (°C)	pH	Eh (volts)	e (uS/cm)	Cor (u.c)	Turbidez (ppm de SiO <sub>2</sub> )
FINAL DO PERÍODO CHUOSO (JUNHO/1992)	FT.CAR	27	4.60	0.481	190	0.00	12.0
	FT.BAT	27	4.39	0.509	110	-	-
	PO.BOC	26	4.40	0.478	100	0.0	8.5
	PO.PED	24	4.6	0.511	70	0.0	12.0
	CA.JAP	27	3.74	0.409	70	0.0	14.0
	CA.MAM	25	5.00	0.531	35	-	-
FINAL DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./1993)	FT.CAR	30	5.70	0.548	242	0.0	5.0
	FT.BAT	28	5.30	0.546	165	0.0	9.1
	PO.BOC	30	6.00	0.453	231	0.0	7.0
	PO.PED	×	×	×	×	×	×
	CA.JAP	28	4.85	0.479	215	0.0	9.3
	CA.MAM	26	5.16	0.524	215	0.0	9.1

OBS. e : condutividade elétrica medida em microsiemes/cm.

× : poço estava seco durante o período de estiagem.

(1): cacimbas são fontes naturais represadas.

Tabela 10. Constituintes químicos de águas de poços rasos, nascentes e "çacimbas" da zona fisiográfica do Salgado e Bragantina (PA)

		Acidez (ppmCO <sub>2</sub> )	Alcal. (ppmCaCO <sub>3</sub> )	O <sub>2</sub> cons. (ppmO <sub>2</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	Fe <sup>2+</sup> (ppm)	Fe <sub>TOTAL</sub> (ppm)	F <sup>-</sup> (ppb)	Sr <sup>2+</sup> (ppb)
FIML DO PERÍODO CHUOSO (JUNHO/1992)	FT.CAR	71.0	5.0	0.00	4.20	1.51	30.00	3.51	6.10	31.06	31.85	0.95	0.045	0.00	0.00	<LD	n.d
	FT.BAT	65.0	0.0	0.00	3.50	0.76	17.50	3.08	0.00	20.20	26.00	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	PO.BOC	20.0	0.0	0.00	3.94	1.29	14.26	0.40	0.00	12.80	26.50	1.78	0.041	0.12	0.12	<LD	n.d
	PO.PED	96.0	8.0	0.00	3.70	0.90	6.40	0.04	9.76	3.50	13.20	0.72	0.000	0.08	0.42	138	n.d
	CA.JAP	9.0	0.0	0.20	0.90	0.31	9.80	0.10	0.00	13.50	6.86	n.d	n.d	0.00	0.00	<LD	n.d
	CA.MAM	33.0	0.0	0.00	0.70	0.80	2.55	0.09	0.00	7.30	1.08	0.45	0.072	0.32	0.32	126	n.d
FIML DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JUNHO/1993)	FT.CAR	63.0	7.5	0.10	6.50	1.80	40.00	5.07	9.15	44.38	41.65	0.73	0.000	0.00	0.27	138	<LD
	FT.BAT	57.0	0.0	0.20	4.40	0.94	26.20	3.50	0.00	22.70	44.10	1.17	0.022	0.00	0.22	n.d	n.d
	PO.BOC	35.0	5.0	0.41	7.10	1.55	25.00	2.90	6.10	22.40	45.00	2.03	0.006	0.11	0.13	109	n.d
	PO.PED	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	CA.JAP	21.0	0.0	0.82	8.90	1.60	28.30	3.40	0.00	40.00	36.80	0.75	0.045	0.06	0.06	n.d	n.d
	CA.MAM	28.0	0.0	0.20	3.00	1.30	33.35	1.17	0.00	53.30	17.20	0.92	0.042	0.00	0.00	160	n.d

OBS. Alcal.: alcalinidade; O<sub>2</sub> Cons.: oxigênio consumido.  
 x : poço estava seco durante o período de maior estiagem.  
 n.d.: não detectado.

Como seria de se esperar, quando comparadas às águas de Igarapé, tanto a cor como a turbidez se apresentam com valores relativamente inferiores. No período seco, registrou-se índices de turbidez máxima em torno de 9 (fonte FT/BAT nas "cacimbas" CA/JAP e CA/MAM). No período chuvoso, os índices variam de 8,5 até 14 (em termos de ppm de SiO<sub>2</sub>). No que diz respeito à cor, não se detectou indícios que justificassem algum valor numérico mínimo. Tais situações se encontram em conformidade com as observações de campo, posto que tais águas são utilizadas pelas populações locais, como água potável (ver item 3.2).

A influência do ambiente (terrenos ligeiramente ácidos) produz acidez nessas águas, fazendo o pH variar entre 3,7 e 5,0 no período chuvoso, e de 4,9 a 6,0 no período seco. Esse aumento de pH parece mais resultante de um efeito tampão ocasionado pelo aumento da concentração de eletrólitos cátions e ânions do que por um efetivo aumento de alcalinidade devida ao bicarbonato, que nesses casos, foi muito pouco expressivo (máximo observado foi de 8 ppm de CaCO<sub>3</sub>, no poço PO/PED, no período chuvoso).

O ambiente aerado influencia as águas percolantes lençóis freáticos (LEVINSON, 1974) produzindo índices de Eh mais expressivos, tais como foram aqui observados, mínimos de 0,409 volts (CA/JAP no período chuvoso) e máximo de 0,548 volts (FT/CAR na estiagem).

Consoantes com os valores numéricos registrados para o pH, os índices observados para a acidez dessas águas (expressos em termos de ppm de CO<sub>2</sub>) se estendem de 20 a 96 sendo, em geral, mais elevados do que os valores detectados para águas de Igarapé. Como a alcalinidade devida a bicarbonato é baixa, deve-se esperar que a acidez representativa dessas águas esteja relacionada com gás carbônico oriundo da atmosfera e da provavelmente da decomposição da matéria orgânica associada a tais águas.

Por sua vez, a matéria orgânica é baixa nessas águas, o que recomenda seu uso como água potável. Registrou-se um máximo de  $O_2$  consumido em torno de 0,82 ppm de  $O_2$  na "cacimba" CA/JAP, no período de estiagem.

A condutividade elétrica mais uma vez mostrou-se um parâmetro diferenciador das águas sob influência dos sedimentos da Formação Pirabas. Aparentemente, as águas com índices mais elevados em condutividade, considerando os dois períodos distintamente, são representativos da influência de Pirabas. Tais casos dizem respeito às fontes FT/CAR, FT/BAT (ambas em Salinópolis), do poço PO/BOC (em Maracanã), do poço PO/PED (arredores de Quatipuru) e da "cacimba" CA/JAP (em Japerica); as águas da "cacimba" CA/MAM aparentemente não estão relacionados com influências do Pirabas.

Em conformidade com os resultados de condutividade elétrica encontram-se as somas dos números de miliequivalentes de cátions e ânions dessas águas (Figura 9). A influência do calcário, no caso dessas águas, não parece evidente através das relação iônica  $rCa/rNa$  (Figura 10). Os valores obtidos para tais quocientes se encontram sempre abaixo da unidade, revelando a predominância do sódio sobre o cálcio e a predominância do cloreto sobre o bicarbonato. Apenas no poço PO/PED, cuja influência do bicarbonato deve ser considerada de imediato (há calcário aflorante no próprio solo) a relação  $rHCO_3/rCl$  é 1,6.

A literatura tem registrado que o calcário de Pirabas é pobre em Mg (SIOLI, 1951,1960; ACKERMANN, 1975; ALMARAZ, 1979; TRUCKENBRODT, 1981). No entanto, algumas considerações foram registradas sobre ocorrência mais expressivas em certas amostras coletadas por pesquisadores, White et al. apud MORSE & MACKENZIE (1990). Nas amostras sólidas, ratificou-se tais considerações, posto que o Mg apresentou teores em torno de 5,74 ppm (239uM).

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
		CAR	BAT	BOC	PED	JAP	MAM
CHUVOSO	$\sum \oplus E \ominus$ (meq/L)	163	106	85	44	50	22
	$\rho$ ( $\mu S/cm$ )	190	110	100	70	70	35
ESTIAGEM	$\sum \oplus E \ominus$ (meq/L)	222	150	154	*	172	175
	$\rho$ ( $\mu S/cm$ )	242	165	231	*	215	215

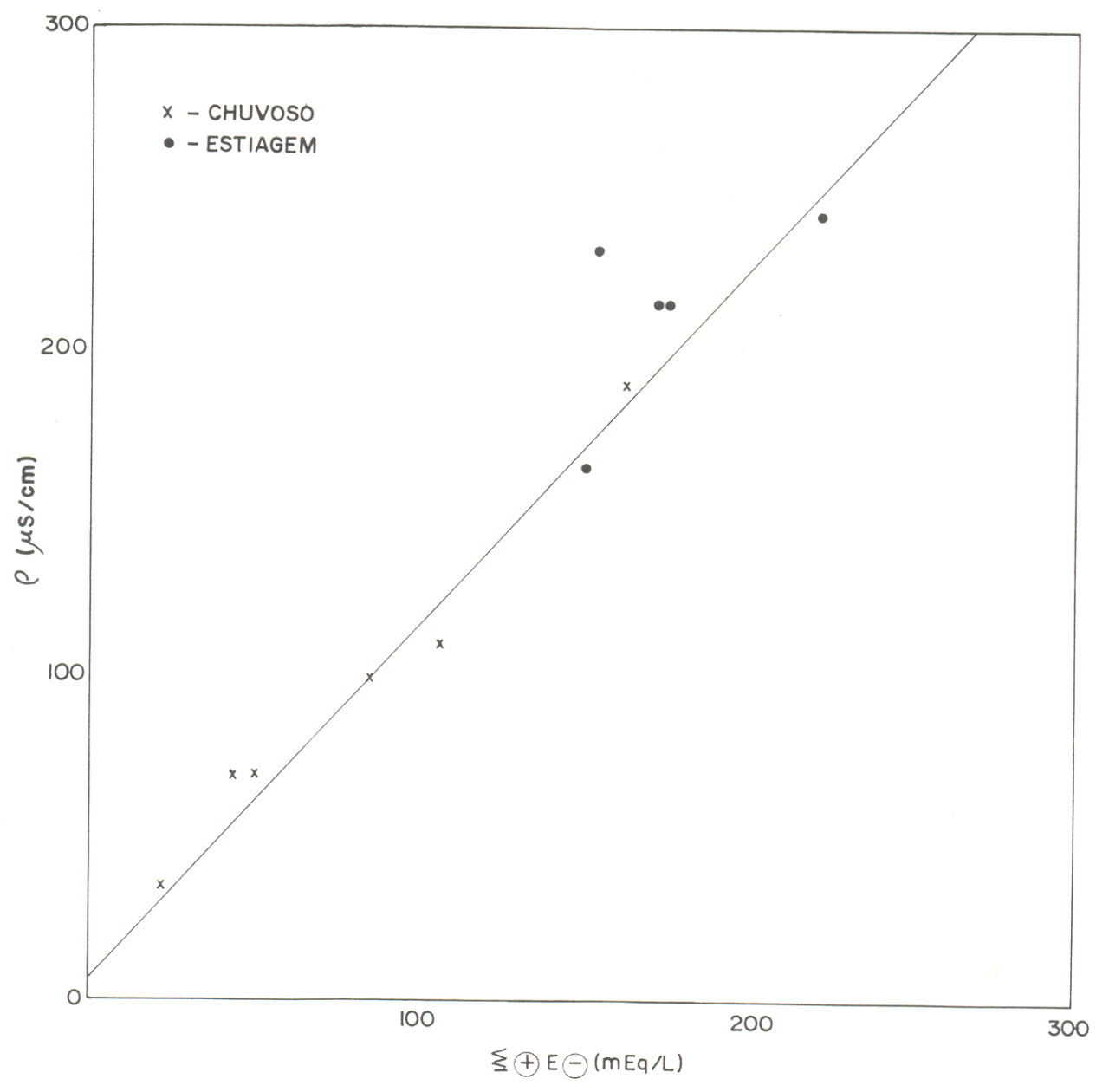


Figura 9 - Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica das águas de nascentes, pocos rasos e "cacimbas": Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA).

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
RELAÇÃO		CAR	BAT	BOC	JAP	LOU	PED
$r_{Ca}/r_{Na}$	CHUVOSO	0,16	0,23	0,31	0,11	0,31	0,65
	ESTIAGEM	0,18	0,19	0,32	0,36	0,10	n.d.

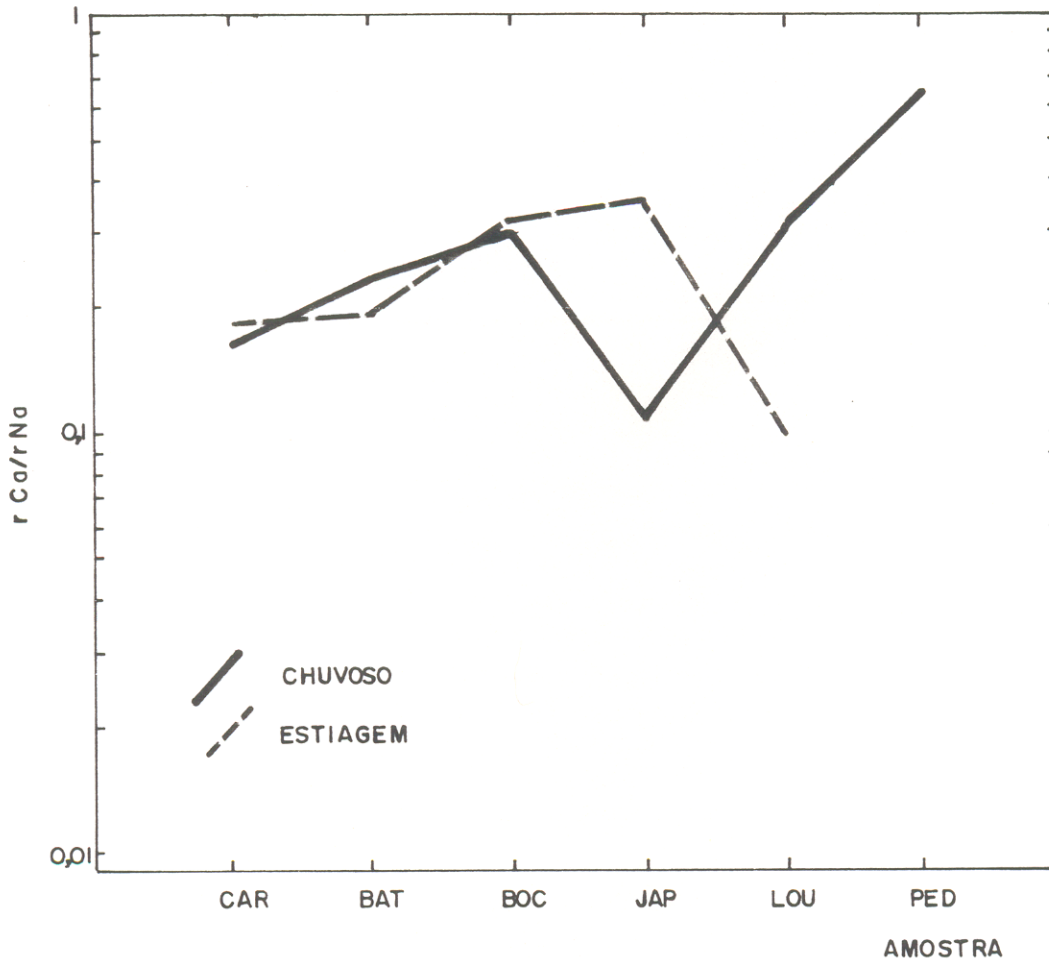


Figura 10- Relações hidrogeoquímicas das águas de poços rasos, nascentes e "cacimbas". Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina.

Para o estudo quantitativo do Mg nessas águas associadas aos lençóis freáticos mais superficiais, registrou-se que a fonte FT/CAR é mais rica em Mg do que as demais águas. Enquanto na fonte FT/BAT e no poço PO/PED, o teor de Mg é de praticamente, 2, no poço PO/BOC, o teor é um pouco maior que que 1; já considerando as águas da "cacimba" CA/JAP, bem mais pobre em Mg, o quociente atinge, praticamente, 5 (tais valores foram calculados com base nos números de miliequivalentes).

Quanto aos quocientes entre o número de miliequivalente do Ca na fonte FT/CAR e os números dos miliequivalentes das demais nascentes aqui comentadas, individualmente, deduz-se que tais quocientes se encontram em torno da unidade, revelando teores de Ca mais ou menos equivalentes. No entanto, no período chuvoso, para as águas das "cacimbas" CA/JAP e CA/MAM, as razões deduzidas, tomando o equivalente em Ca no FT/CAR como numerador, resulta em índices de 5 ou 6. Tais comentários estão relacionados com o fato de que essas "cacimbas" se encontram fortemente influenciadas pelas águas de precipitação, no período chuvoso.

Por sua vez, no período de estiagem, sofrem outras influências. Deste modo, considerando que no período de estiagem, as condutâncias específicas de ambas as "cacimbas" crescem em proporção da ordem de 215 (em relação ao período chuvoso), torna-se evidente o acréscimo apreciável de eletrólitos de cátions e ânions nessas águas. O estudo da razão  $rCl/rHCO_3$  bem demonstra que, enquanto a "cacimba" CA/JAP sofre influência de concentração de eletrólitos oriundos das concentrações dos sedimentos de calcário, na CA/MAM a razão atinge um valor elevadíssimo já que o teor de bicarbonato se encontra abaixo do limite de detecção da metodologia (alcalinidade ao metilorange). Como o teor de Na é também apreciável e correspondente ao Cl, conclui-se que há forte influência de águas salobras na "cacimba" CA/MAM, oriundas de penetração de águas oceânicas (praia do Quarenta do Mocoóca) nos lençóis freáticos associados à "cacimba".

#### 5.1.2.2. Águas de poços escavados

Neste caso, considerou-se águas de sub-superfície algo mais profundas em relação às nascentes e poços rasos; as profundidades desses poços se estendem de 12 a 13 m (poço PO/GAR, em Capanema) a 26 m (poço PO/QUA, em Quatipuru).

As Tabelas 11 e 12 apresentam dados de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos dessas águas.

Como seria de se esperar, águas de poços escavados apresentam os índices mais baixos de turbidez e cor, no período chuvoso; em geral, variam de 8,5 ppm de SiO<sub>2</sub> (turbidez no PO/MAT) para 12 ppm de SiO<sub>2</sub> (turbidez no PO/QUAT), não foi detectado valor numérica para cor. No poço PO/GAR, a turbidez estende-se (em termos de ppm de SiO<sub>2</sub>) de 9,2 (na estiagem) para 12 (no período chuvoso), e, a coloração de 12,5 UC, no período de estiagem e de 22,5 UC no período chuvoso.

Como já se observou anteriormente, a condutividade elétrica manteve uma estreita proporcionalidade com os números de miliequivalentes de cátions e ânions dessas águas (Figura 11). É interessante salientar que as variações de condutividade elétrica ratificam a influência da sazonalidade nessas águas sujeitas a variações dos lençóis freáticos, em consequência da evaporação de água nos períodos menos chuvosos. Destaca-se o aumento de condutância em todos os casos observados, notadamente para o poço PO/ADE (elevação em torno de 2,35 vezes). Tais considerações ratificam observações já registradas na literatura sobre a influência da sazonalidade em águas de subsuperfície.

Mais uma vez as relações iônicas se prestam à melhor compreensão sobre a influência dos sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas sobre tais águas. A relação iônica  $rCa/rNa$  diferencia, de modo satisfatório, as águas mais carregadas em compostos dissolvidos (Figura 12); assim, por exemplo as águas do poço PO/CAM (variando em torno de 7) e o poço

Tabela 11. Parâmetros físicos e físico-químicos de Águas de poços escadas da zona fisiográfica do Salgado e Bragantina (PA).

		T (°C)	pH	Eh (volts)	e (uS/cm)	Cor (u.c)	Turbidez (ppm de SiO <sub>2</sub> )
FIM DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/1992)	PO.ADE	28	6.83	0.465	215	0.0	10.0
	PO.CAM	28	6.85	0.467	200	0.0	10.0
	PO.GAR	28	6.32	0.443	175	22.5	12.0
	PO.MAT	28	5.65	0.498	165	0.0	8.5
	PO.QUA	30	4.15	0.477	100	0.0	12.0
FIM DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./1993)	PO.ADE	25	6.70	0.430	506	0.0	9.1
	PO.CAM	25	8.50	0.416	264	0.0	9.1
	PO.GAR	28	6.93	0.457	281	12.5	9.2
	PO.MAT	30	5.85	0.445	242	0.0	9.1
	PO.QUA	30	7.55	0.527	363	0.0	8.5
	PO.LOU	28	8.00	0.456	275	0.0	9.1

OBS. e: condutividade elétrica medida em microsiemens/cm.

Tabela 12. Constituintes químicos de Águas de poços escavados da zona fisiográfica do Salgado e Bragantina (PA).

	Acidez (ppmCO <sub>2</sub> )	Alcal. (ppmCaCO <sub>3</sub> )	O <sub>2</sub> cons. (ppmO <sub>2</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	Fe <sup>2+</sup> (ppm)	Fe <sub>TOTAL</sub> (ppm)	F <sup>-</sup> (ppb)	
FIML DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/21/99-2)	PO.ADE	7.0	85.0	0.00	30.00	1.56	11.50	0.33	104.00	4.00	16.56	7.50	0.000	0.67	0.82	149 <LD
	PO.CAM	2.0	90.0	0.00	29.00	2.40	4.37	0.27	110.00	4.43	3.23	5.80	0.000	0.87	0.87	160 <LD
	PO.GAR	4.0	75.0	0.40	22.00	1.70	14.30	0.17	92.00	7.45	1.96	1.29	0.088	1.09	1.24	190 <LD
	PO.MAT	27.0	15.0	0.00	9.00	1.15	21.00	2.73	18.30	35.51	11.30	1.30	0.000	0.03	0.04	98 n.d
	PO.QUA	75.0	32.5	0.00	8.60	1.14	10.40	0.20	39.65	8.80	<1	1.38	0.007	0.03	0.03	100 <LD
FIML DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./7/99-3)	PO.ADE	30.0	250.0	0.00	67.00	3.72	29.40	2.15	305.00	8.00	41.20	7.70	0.026	0.44	0.46	220 <LD
	PO.CAM	13.0	115.0	0.00	36.20	4.20	6.44	2.17	140.00	6.03	3.72	7.84	0.000	0.85	0.85	420 <LD
	PO.GAR	11.5	92.0	0.41	31.36	2.90	13.87	2.17	112.00	16.20	5.29	1.92	0.109	0.42	0.44	230 <LD
	PO.MAT	71.0	11.5	0.20	15.60	2.00	26.90	4.80	14.03	60.30	12.30	1.13	0.058	0.34	0.36	162 n.d
	PO.QUA	30.0	165.0	0.00	42.00	5.70	21.90	3.08	201.00	10.65	<1	16.80	0.135	0.04	0.04	162 24
	PO.LOU	17.0	15.0	0.00	11.10	6.24	34.50	2.34	18.30	64.60	8.82	1.51	0.022	0.04	0.04	n.d n.d

OBS. Alcal.: alcalinidade; O<sub>2</sub>Cons.: oxigênio consumido.

	PONTOS DE AMOSTRAGEM						
		ADE	CAM	GRA	MAT	QUA	LOU
CHUVOSO	$\sum \oplus E \ominus$ (mEq.g/L)	218	195	187	153	94	*
	$\rho$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	215	200	75	165	100	*
ESTIAGEM	$\sum \oplus E \ominus$ (mEq.g/L)	551	253	244	223	198	247
	$\rho$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	506	264	281	242	363	275

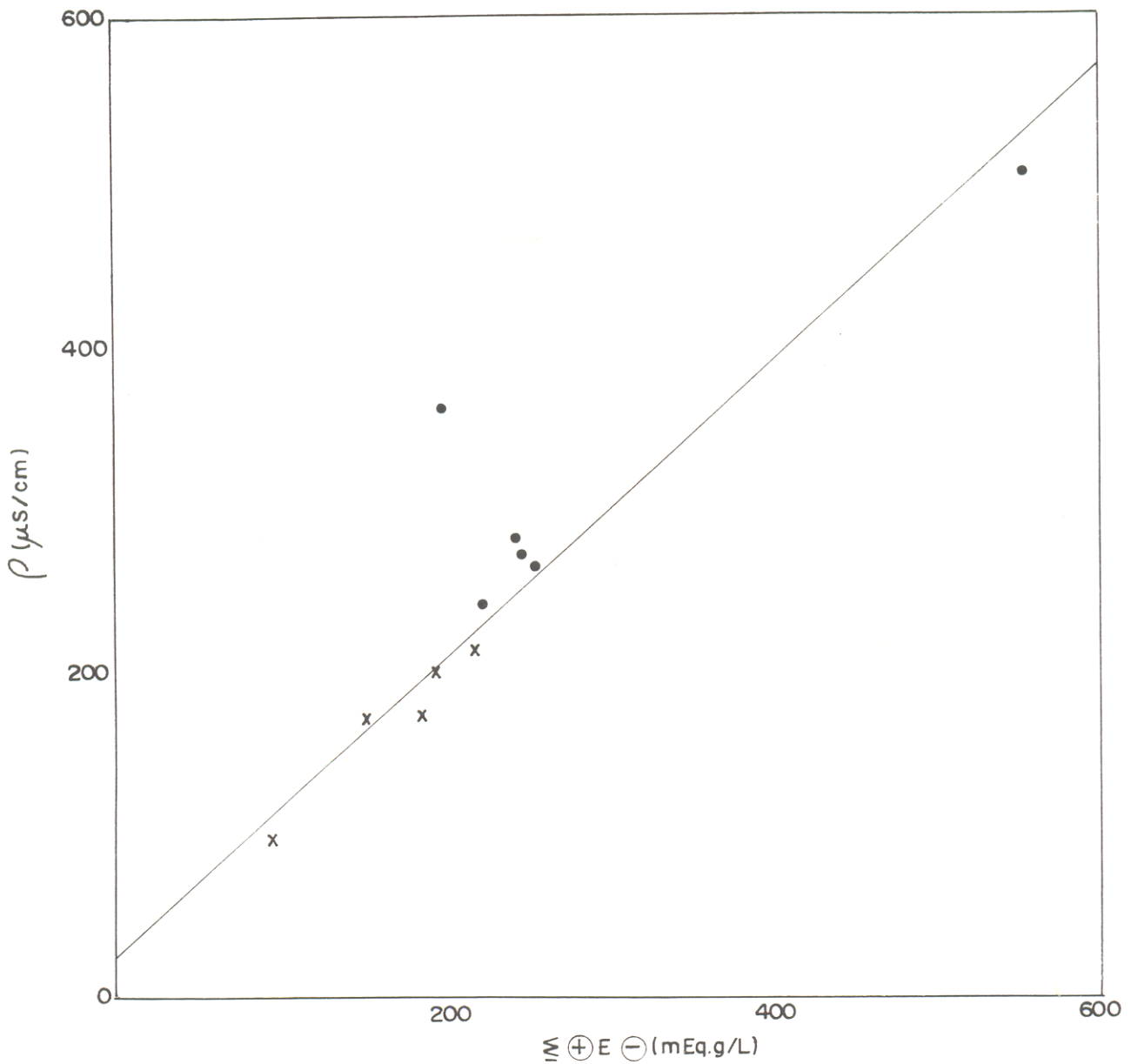


Figura II - Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica das águas de poços escavados. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA).

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
RELAÇÃO	ADE	CAM	GRA I	MAT	QUA	LOU	
$r_{Ca}/r_{Na}$	CHUVOSO	2,96	7,53	1,75	0,49	0,94	n.d.
	ESTIAGEM	2,58	6,38	2,56	0,66	2,18	0,37

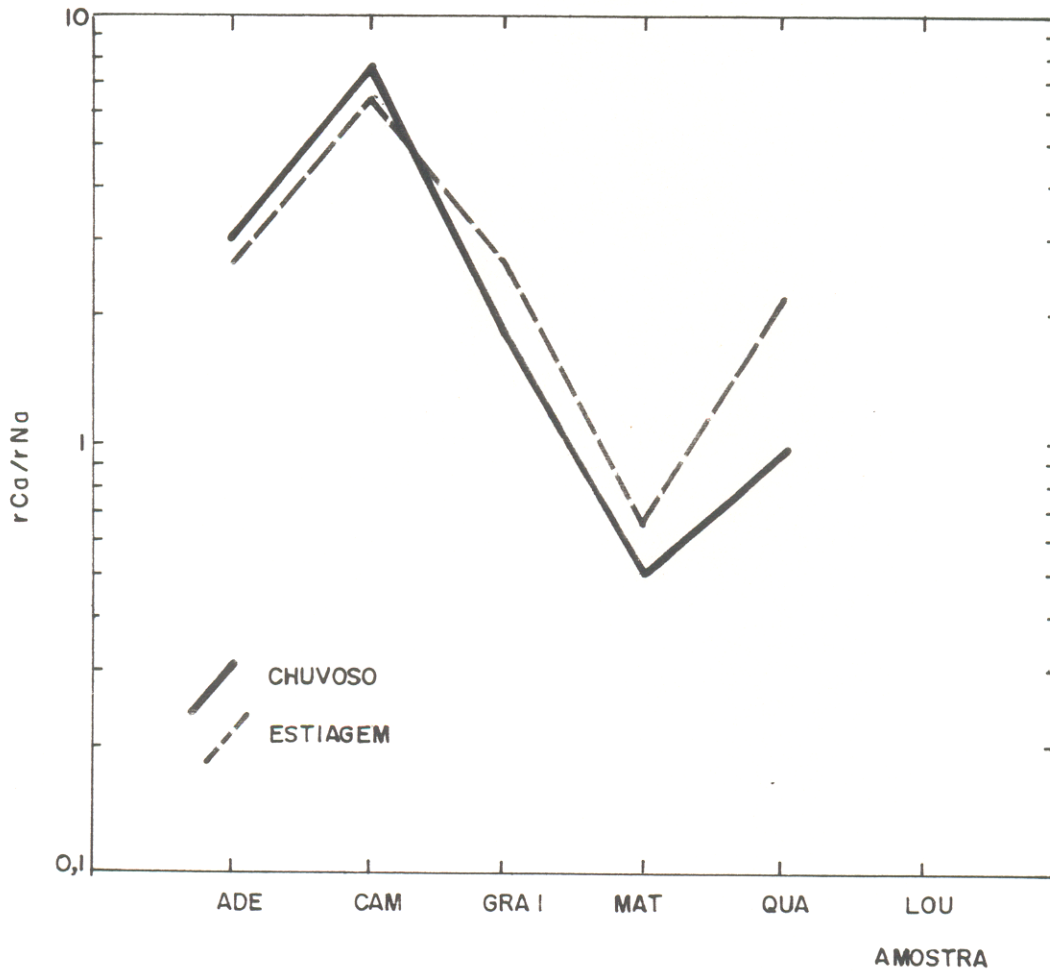


Figura 12 - Relações hidrogeoquímicas das águas de poços escavados.

PO/ADE (em torno de 3) ratificam a qualidade ligeiramente salobra dessas águas, a julgar pelas informações prestadas pelos moradores locais durante os trabalhos de amostragem ( item 3.2).

Por sua vez, a relação iônica  $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$  indica as influências dos sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas já comentadas para a relação iônica  $r\text{Ca}/r\text{Na}$ . Os valores mais significativos dessa relação aparecem no poço PO/ADE (variando de 15 para 22, intensificado na estiagem); no poço PO/CAM (em torno de 14, para ambos os períodos) e poço PO/QUA com 11 no período de estiagem (Figura 13).

Tais situações já descritas ratificam as observações de campo, quando os moradores locais consideram que no período de maior estiagem a água perde a sua qualidade, tornando-se mais carregado em compostos dissolvidos.

Aparentemente, a água mais satisfatória desse grupo, em termos de qualidade (sabor, dureza por exemplo) seja a do poço PO/MAT (em Capanema, na zona urbana). Tanto a relação  $r\text{Ca}/r\text{Na}$  (em torno de 0,6) como a relação  $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$  (variando de 0,15 para 0,3) demonstra menor influência do Ca sobre o Na e do  $\text{HCO}_3^-$  sobre o  $\text{Cl}^-$ . Essas considerações se encontram em conformidade com as informações coletadas em campo durante os trabalhos de amostragem.

## 5.2. ÁGUAS COSTEIRAS

As Tabelas 13 e 14 apresentam parâmetros físicos, físico-químicos e químicos das águas oceanicas aqui consideradas.

As temperaturas são características de áreas quentes, sob influência das proximidades da linha do equador.

A influência de águas fluviais nessas águas costeiras se faz sentir, notadamente, no período chuvoso. São exemplos mais característicos, os pontos de coleta SJP (sob influência das águas do rio Pirabas) e BJE (no rio Cumaru). Nesses pontos, enquanto a turbidez diminui de um máximo

PIRABAS

RELAÇÃO	ADE	PONTOS DE AMOSTRAGEM					LOU
		CAM	GRA	MAT	QUA		
$r_{HCO_3} / r_{Cl}$ CHUVOSO	14,86	14,19	7,06	0,29	2,58	n. d.	
ESTIAGEM	21,79	13,27	3,95	0,13	0,11	0,16	

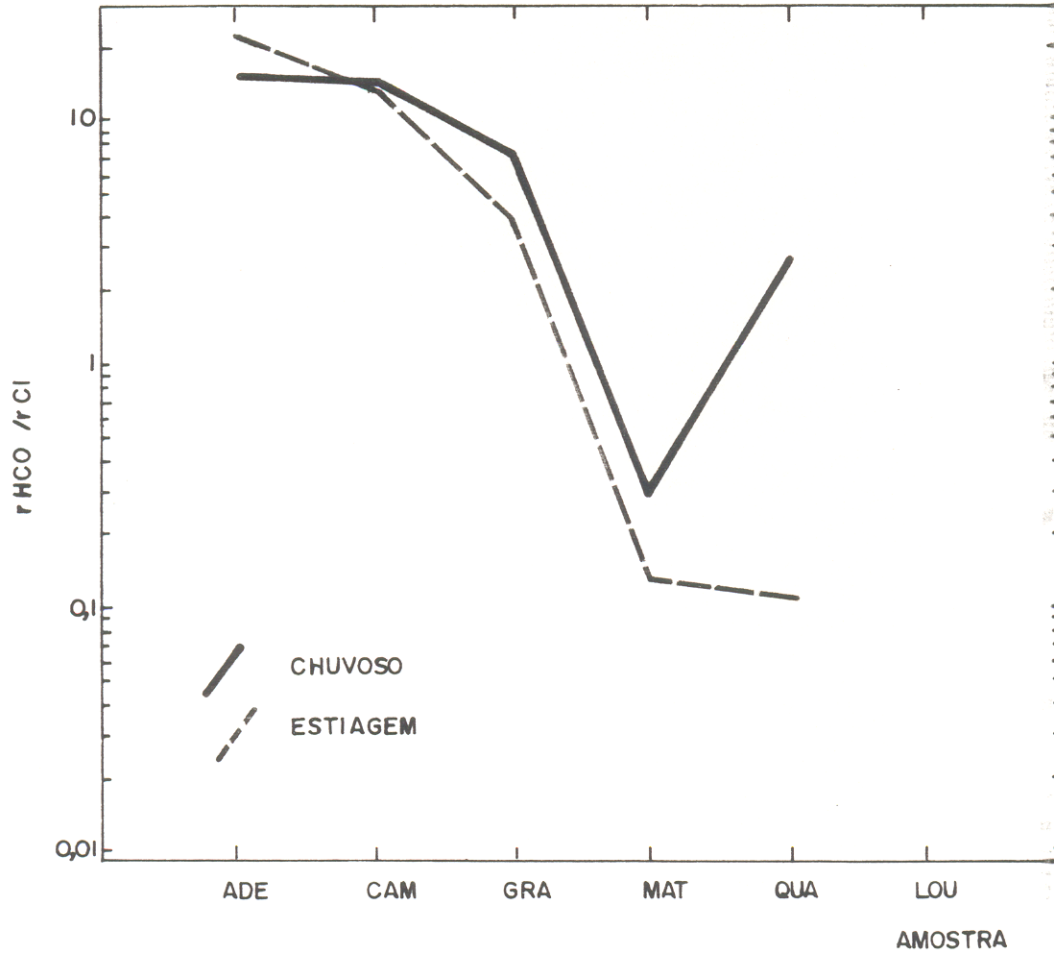


Figura 13 - Relações hidrogeoquímicas das águas de poços escavados.

Tabela 13. Parâmetros físicos e físico-químicos de águas costeiras da zona fisiográfica do Salgado e Bragantina (PA).

		T (°C)	pH	Eh (volts)	e (uS/cm)	Cor (u.c)	Turbidez (ppm de SiO <sub>2</sub> )
FINAL DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/1992)	MOC	28	8.20	0.377	54000	15.0	14.0
	ALG	29	8.03	0.378	48000	-	-
	SJP	30	8.13	0.317	48000	15.0	24.5
	ATA	30	8.10	0.377	44000	15.0	14.0
	JAP	30	7.56	0.379	41000	0.0	10.0
	BJE	30	7.17	0.336	34000	400.0	740.0
FINAL DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./1993)	MOC	30	7.70	0.294	59000	0.0	9.3
	ALG	30	7.60	0.289	58000	2.5	9.2
	SJP	30	7.84	0.284	59000	0.0	9.1
	ATA	28	8.11	0.294	57000	0.0	8.5
	JAP	30	8.05	0.291	54000	15.0	30.2
	BJE	29	7.30	0.284	53000	0.0	9.4

OBS. e: condutividade elétrica medida em microsiemes/cm.

Tabela 14. Constituintes químicos de águas costeiras da zona fisiográfica do Salgado e Bragantina (PA).  
Bragantina. Parâmetros e constituintes químicos.

amostras	Acidez (ppmCO <sub>2</sub> )	Alcal. (ppmCaCO <sub>3</sub> )	O <sub>2</sub> cons. (ppmO <sub>2</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	Fe <sup>2+</sup> (ppm)	Fe <sub>TOTAL</sub> (ppm)	F <sup>-</sup> (ppb)	Sr <sup>2</sup> (ppb)
FINAL DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/1992)																
MOC	0.0	96.0	4.60	373	1092	9821	347	117	17501	2401	0.64	0.019	1.48	1.48	n.d	68
ALG	0.0	90.0	2.00	378	900	8970	230	110	16046	2689	0.32	0.030	n.d	n.d	510	136
SJP	0.0	120.0	3.75	416	860	8763	257	146	15656	2989	1.72	0.000	0.62	1.04	680	165
ATA	0.0	109.0	2.90	340	826	8050	250	133	13668	2793	0.44	0.007	0.33	1.03	560	136
JAP	38.0	136.0	2.90	282	864	7567	281	166	13525	1127	1.75	0.083	1.44	2.84	178	77
BJE	20.0	110.0	3.40	270	804	6486	250	134	11005	1470	9.50	0.283	1.40	3.18	180	41
FINAL DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JUN/1993)																
MOC	0.0	16.0	13.47	800	1320	10189	484	20	18993	2156	0.31	0.038	0.35	0.54	980	126
ALG	0.0	18.0	7.35	780	1200	10005	464	22	18850	2705	0.40	0.042	2.76	3.66	980	216
SJP	0.0	79.0	4.50	798	1380	9890	503	96	18815	2695	0.60	0.006	0.19	0.33	1250	227
ATA	0.0	74.0	2.86	850	1356	9775	499	91	18105	2597	0.48	0.002	0.15	0.30	1060	208
JAP	17.5	108.0	7.35	900	1440	8809	538	132	16934	3332	2.08	0.143	0.96	1.73	n.d	187
BJE	0.0	19.0	6.53	760	912	9752	503	23	17431	2107	0.40	0.026	0.22	0.30	680	193

OBS. Alcal.: alcalinidade; O<sub>2</sub>Cons.: oxigênio consumido.  
n.d : não detectado

apreciável em 740 ppm de SiO<sub>2</sub>, no BJE, para 24,5 ppm de SiO<sub>2</sub>, no SJP; a cor acompanha a turbidez, variando de 400 UC (BJE) para 15 UC (SJP). Entretanto, no rio Japerica, talvez por razões incidentais, não identificadas, registrou-se, na estiagem, turbidez (30 ppm de SiO<sub>2</sub>) e cor (15 UC) mais elevadas do que no período chuvoso, ao contrário dos demais pontos, onde a influência marinha reduziu os índices de turbidez e cor. Não se detectou valores numéricos para a coloração das águas no período de estiagem para a maioria dos pontos, exceto para JAP (em torno de 15 UC, já citado) e ALG (cerca de 2,5 UC).

Observou-se, também nestes casos, que a sazonalidade exerce sua influência na concentração dos eletrólitos nessas águas. Deve-se esperar retração nos mananciais, no período de estiagem, resultando em penetração de águas oceânicas rios acima, bem como diminuição das influências de águas fluviais nas águas de praia oceânicas. Registrou-se, em todos os casos, aumento de condutância específica segundo a crescente estiagem na área fisiográfica. Embora detectando-se pequenas descontinuidades, os valores de condutância específica se encontram em conformidade com as somas dos números de miliequivalentes de cátions e ânions (Figura 14).

O emprego da relação iônica rMg/rCa mostrou-se eficiente na diferenciação dessas águas em relação aos valores médios registrados na literatura (LEVINSON, 1974; DREVER, 1988); de um modo geral, o quociente rMg/rCa se encontra em torno de 5,3. A Tabela 15, apresenta valores de relações iônicas para os 6 pontos amostrados. Diferenciando-se esses valores segundo a sazonalidade, obtém-se quocientes para rMg/rCa variando de, aproximadamente, 3,46 (período chuvoso) até 2,88 (período de estiagem) nas águas costeiras; ou de 4,96 (período chuvoso) até 2,0 (período de estiagem) nas águas do rio Cumaru, BJE, sob forte influência marinha. Tais valores evidenciam incremento no teor de Ca nessas águas, produzindo índices mais baixos para a relação rMg/rCa nessas águas, SJP ( em ambos os períodos) e BJE no período de maior estiagem (Figura 15).

PONTOS DE AMOSTRAGEM

		MOC	ALG	SJP	ATA	JAP	BTE
CHUVOSO	$\sum (+)E(-)$ (meq.g/L)	53650	50000	49500	44460	41500	35650
	$\rho$ ( $\mu$ S/cm)	54000	48000	49000	44000	44000	34000
ESTIAGEM	$\sum (+)E(-)$ (meq.g/L)	59350	58850	59300	57950	55550	54400
	$\rho$ ( $\mu$ S/cm)	59000	58000	59000	57000	54000	53000

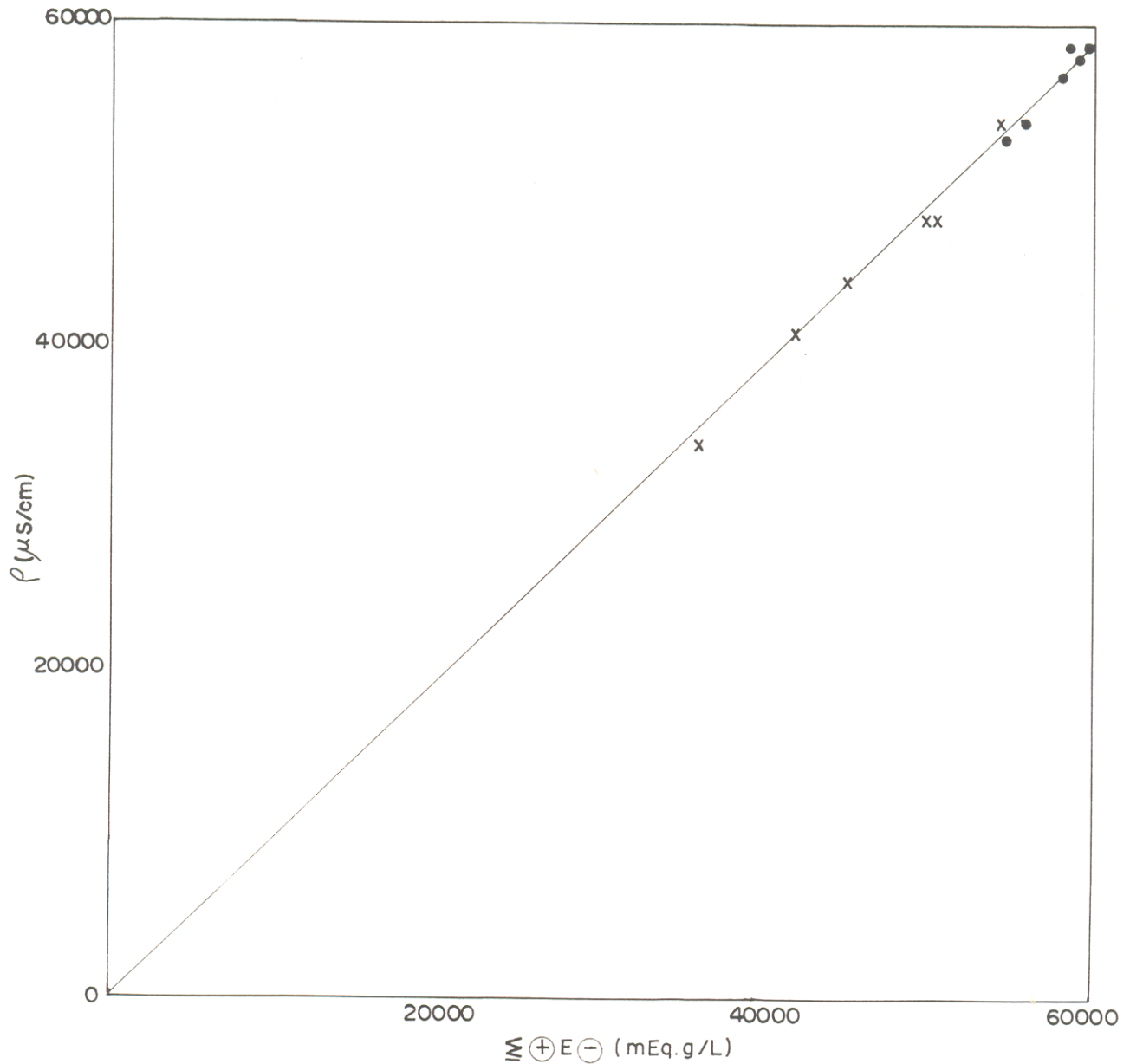


Figura 14 - Soma de cátions e ânions com condutividade elétrica das águas costeiras. Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA).

Tabela 15. Relações iônicas em águas costeiras nas zonas fisiográficas do salgado (PA).

		rMg/rCa	rNa/rCa	rCl/rNa	rCl/rCa
FINAL DO PERÍODO CHUUVOSO (JUNHO/1992)	MOC	4.88	23.00	1.150	26.430
	ALG	3.97	20.60	1.160	23.920
	SJP	3.46	18.30	1.160	21.200
	ATA	4.06	20.60	1.100	22.657
	JAP	5.10	23.30	1.150	27.020
	BJE	4.96	21.00	1.100	22.960
FINAL DO PERÍODO DE ESTIAGEM (JAN./1993)	MOC	2.75	11.00	1.208	13.375
	ALG	2.56	11.15	1.220	13.590
	SJP	2.88	10.75	1.230	13.250
	ATA	2.66	10.00	1.200	12.000
	JAP	2.67	8.500	1.245	10.600
	BJE	2.00	11.15	1.160	12.920

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
RELAÇÃO	MOC	ALG	SJP	ATA	JAP	BJE	
$r_{Mg}/r_{Ca}$ CHUVOSO	4,81	3,91	3,40	3,99	5,04	4,89	
ESTIAGEM	2,71	2,53	2,84	2,62	2,63	1,97	

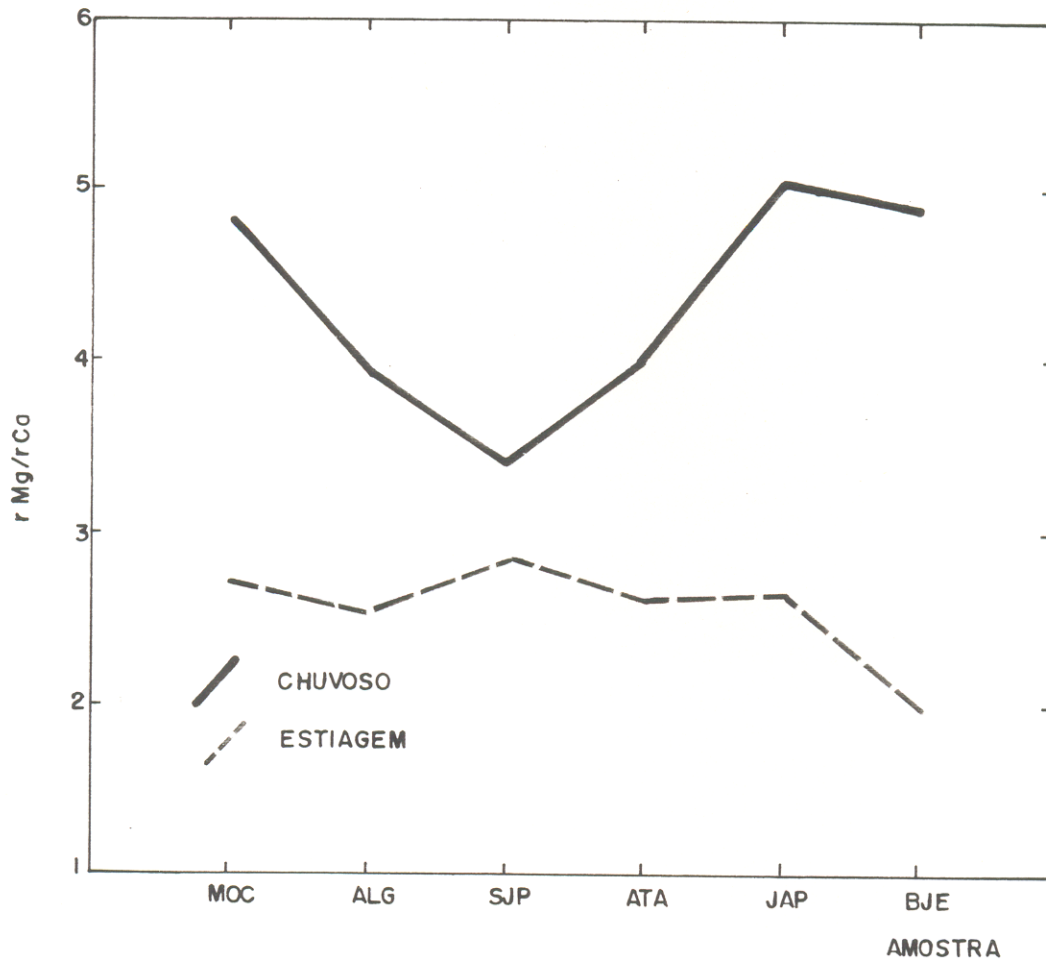


Figura 15- Relações hidrogeoquímicas das águas costeiras.

Em todos os casos aqui estudados, os quocientes diminuem de valor, do período chuvoso ao período de estiagem. Há, por assim, dizer, um enriquecimento no teor de Ca nessas águas no período de estiagem. A julgar pelos dados disponíveis, os pontos onde se observou maior enriquecimento no teor de Ca é SJP, no período chuvoso (relação  $rMg/rCa$  em torno de 3,46), e BJE, no período de estiagem (relação  $rMg/rCa$  de 2), considerando o conjunto de locais amostrados; tomando-se um único ponto isolado, e discriminando-se o enriquecimento segundo a sazonalidade, detectou-se maior enriquecimento no teor de Ca, em relação ao Mg, em BJE (o quociente variou de 4,96 para 2,0 do período chuvoso ao período de estiagem).

Admitindo-se os valores para a relação  $rMg/rCa$  registrado na literatura, em torno de 5,3 (LEVINSON, 1974; DREVER, 1988) e os disponíveis neste estudo para as águas costeiras consideradas (variando de 2,88 até 2,0, no período de estiagem, nos 6 pontos amostrados), deduz-se um enriquecimento no teor de Ca de 2,65 vezes (para o ponto BJE) e 1,84 vezes (para o ponto SJP), em relação ao Mg.

Também o emprego da relação  $rNa/rCa$  (Figura 16) ratificou considerações emanadas do estudo da relação  $rMg/rCa$ . Os quocientes obtidos no período chuvoso, nos 6 pontos considerados, variaram de 18,3 (SJP) a 23,3 (JAP), portanto, compatíveis com valores encontradas na literatura. Já no período de estiagem, os quocientes decrescem, estendendo-se desde 8,5 (JAP) até 11,2 (ALG, BJE). Tais considerações demonstram claramente incremento na concentração de Ca não só em relação valor registrado na literatura, como também em relação à sazonalidade, do período chuvoso ao período de estiagem.

O ponto isolado que revelou maior enriquecimento de Ca, em relação ao Na, a julgar pelos dados disponíveis neste estudo, é o do rio Japerica (JAP), fortemente influenciado pelas águas oceânicas; neste ponto, registrou-se um acréscimo de 2,7 vezes em relação ao valor do quociente no período chuvoso.

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
RELAÇÃO	MOC	ALG	SJP	ATA	JAP I	BJE	
$r_{Na}/r_{Ca}$	CHUVOSO 23,22	20,92	18,57	20,88	23,66	21,18	
	ESTIAGEM 11,23	11,31	10,93	10,14	8,63	11,31	

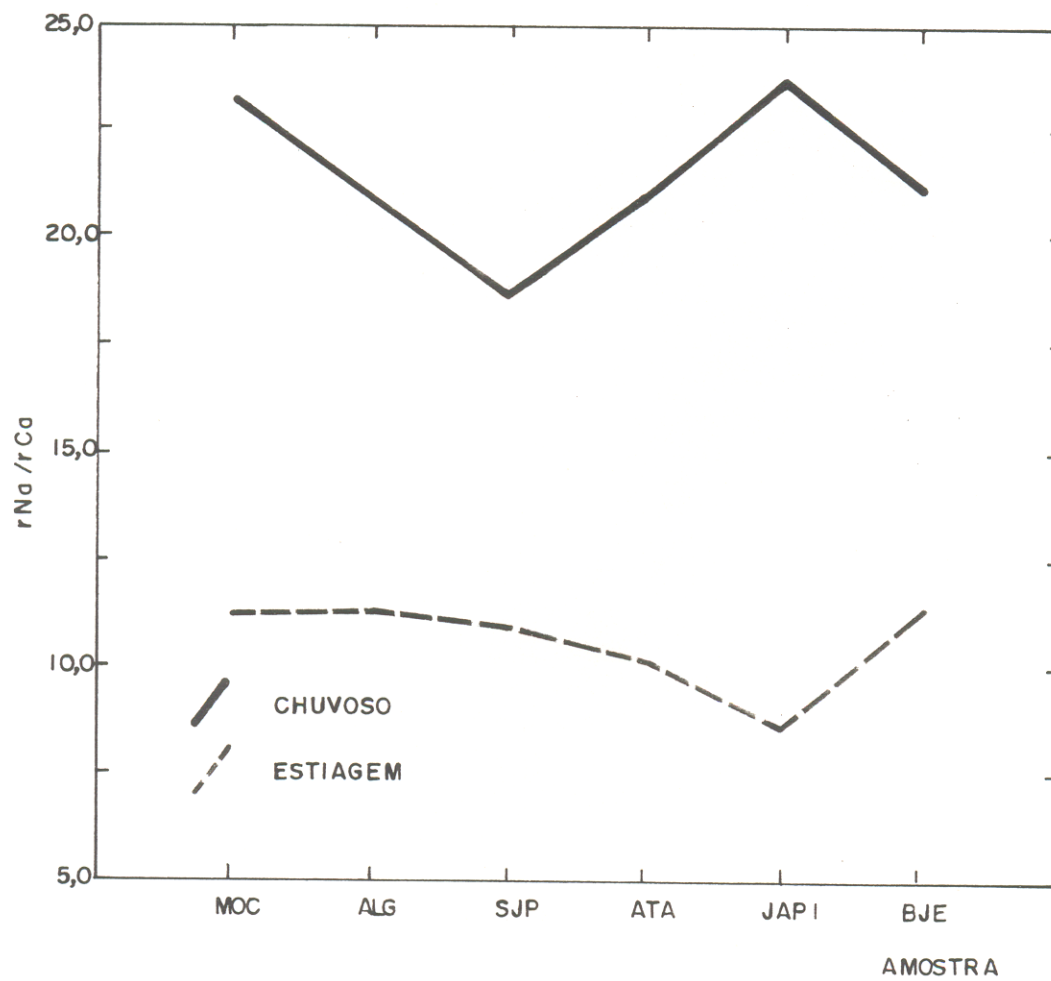


Figura 16 - Relações hidrogequímicas das águas costeiras.

Mas é provavelmente, o estudo da relação  $rCl/rCa$  (Figura 17) que oferece evidências mais contundentes sobre o enriquecimento de Ca nas águas costeiras nos 6 pontos aqui amostrados. Calculando-se  $rCl/rCa$  para os dados disponíveis na literatura científica (LEVINSON, 1974; DREVER, 1988), obtém-se valor em torno de 26,7. No entanto, neste trabalho deduziu-se quocientes em torno de 21,7 a 27,0 para o período chuvoso e 10,6 a 13,6 para o período de estiagem. Enquanto no período chuvoso o valor obtido se encontra próximo de 26,7 (embora já revelando enriquecimento do Ca em relação a razão  $rCl/rCa$  na água do mar), no período de estiagem que esse enriquecimento é enfatizado de modo surpreendente.

Considerando os 6 pontos estudados, e calculando-se a razão de enriquecimento do Ca -  $rCa$  (chuvoso)/ $rCa$  (estiagem) - deduz se que a ordem decrescente de enriquecimento (razão variando de 1,7 a 1,1) é : JAP > ATAL > SJP > ALG > MOC > BJE .

Por sua vez, a relação  $rCl/rNa$  (Figura 18) é útil para averiguar o equilíbrio entre  $Na^+$  e  $Cl^-$  em águas sob influência marinha. Para águas oceânicas típicas, seus quocientes se encontram em torno de 1,16. Para o estudo das águas costeiras aqui amostrados, os quocientes calculados para  $rCl/rNa$  se estendem de 1,10 a 1,16, no período chuvoso; portanto, muito próximo do valor da razão  $rCl/rNa$  em águas oceânicas (1,16). Por sua vez, no período de estiagem, os quocientes variam de 1,16 (em BJE) a 1,25 (em JAP). Tais resultados mostram, de modo inequívoco, a influência marinha nessas águas, como, aliás, seria de se esperar.

### 5.3 AMOSTRAS SÓLIDAS (carbonatos, fósseis, sedimentos e solos)

Na Tabela 5, descreveu-se um total de 27 amostras sólidas, sendo 10 amostras de calcário aflorante em praias de águas oceânicas, 7 amostras de calcário de jazida, 4 amostras de calcário de ocorrência continental, 1 amostra de solo capeando jazida de calcário e 4 amostras de

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
RELAÇÃO	MOC	ALG	SJP	ATA	JAP	BJE	
$r_{Cl}/r_{Ca}$ CHUVOSO	26,33	23,82	21,12	22,56	26,91	22,87	
ESTIAGEM	13,32	13,56	13,23	11,95	10,56	12,87	

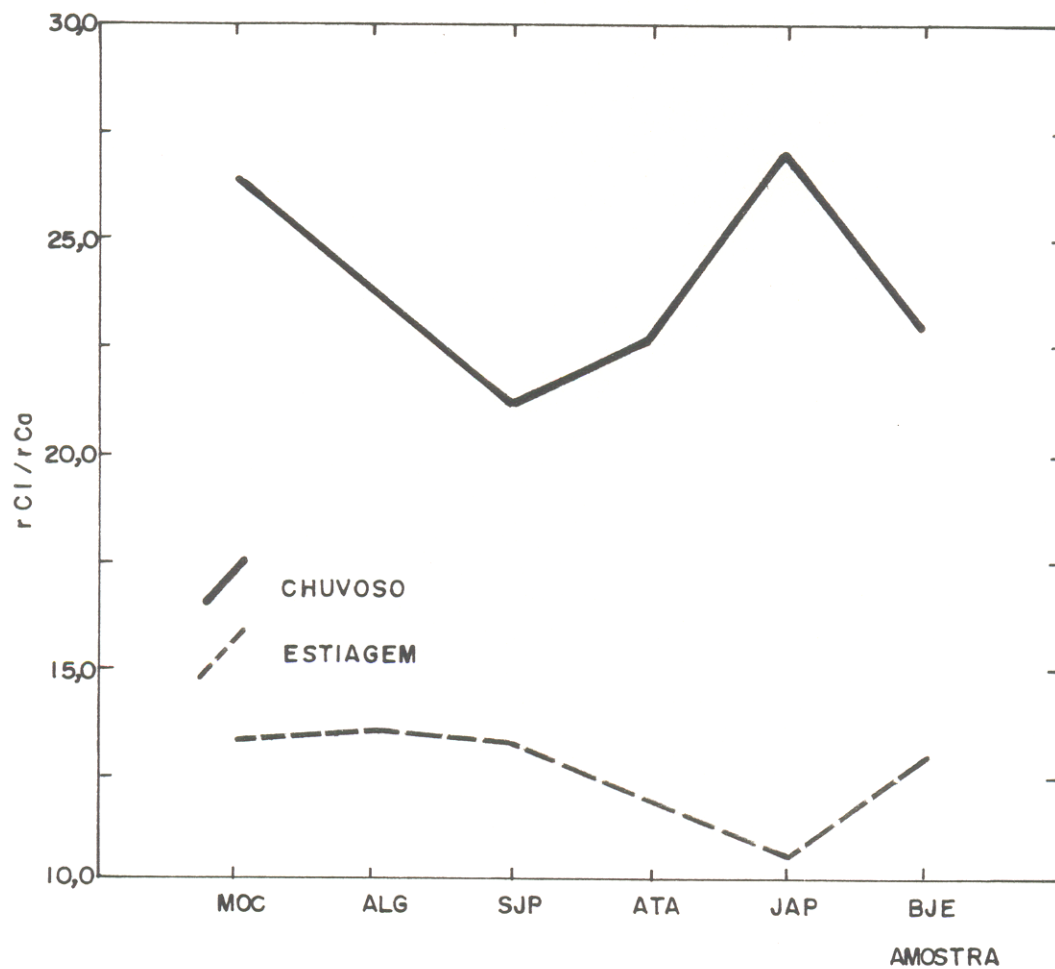


Figura 17 - Relações hidrogeoquímicas das águas costeiras.

PIRABAS		PONTOS DE AMOSTRAGEM					
RELAÇÃO		MOC	ALG	SJP	ATA	JAP	BJE
rCl / rNo	CHUVOSO	1,13	1,14	1,14	1,08	1,14	1,08
	ESTIAGEM	1,19	1,20	1,21	1,18	1,22	1,14

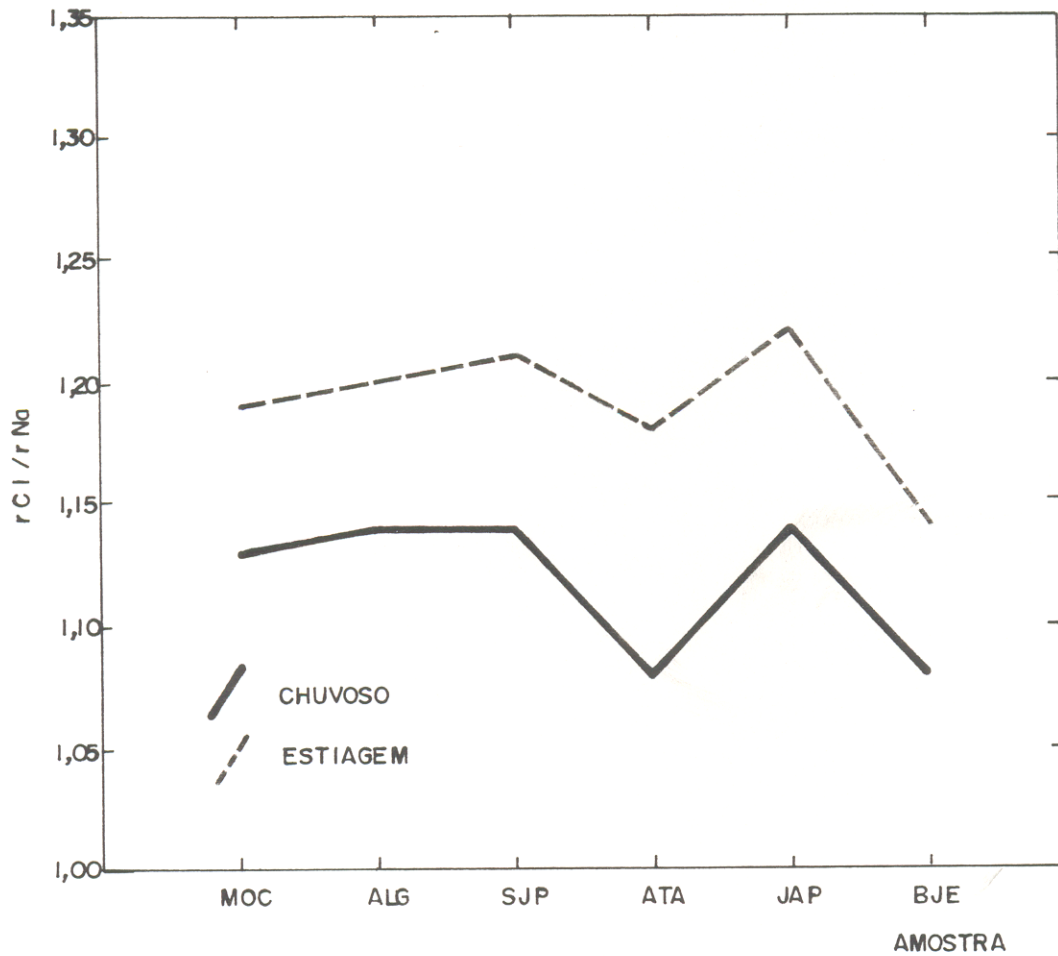


Figura 18 - Relações hidrogequímicas das águas costeiras.

sedimentos de fundo, sendo uma de igarapé, de rio, de fundo de poço e de praia oceânica respectivamente.

Apenas as amostras CAS/02 e CAS/03 se apresentam discriminadas na Tabela 16. A amostra CAS/01, apresentou as mesmas características das demais amostras do mesmo local, isto é, presença de calcita e dolomita e ausência de aragonita de acordo com as observações em difratograma de raio-X ( Anexos).

A amostra JAP/01, apresentou a calcita como mineral predominante.

A amostra QMO/01 apresentou-se rica em dolomita segundo as observações em difratograma de raio-X.

As amostras CAP/01, CAP/02, CAP/03 e CAP/04 referem-se às amostras coletada em solo desenvolvido sobre o calcário. As análises químicas demonstram que esses materiais não apresentam qualquer novidade, ou seja, a predominância de calcita com baixo teor de Mg.

A amostra de sedimento QUA/03, mostrou-se, no difratograma de raio-X, ser rica em quartzo e caulinita; aparecendo também, traços de argilominerais interestratificados. Produziu pouca (mínimo) efervescência quando tratada com HCl.

Os demais sedimentos de fundo JAB/01, BJE/01 e SJP/01 exibiram, nos seus difratogramas, predominância de quartzo. No JAB/01 e no SJP/01 aparecem traços de caulinita, mas no BJE/01 aparecem, além do quartzo e da caulinita, traços de argilominerais interestratificados. Em nenhuma dessas amostras de sedimentos de fundo detectou-se minerais de carbonato (vide Anexo).

As Tabelas 16, 17 e 18 reúnem informações úteis sobre a influência dos sedimentos Pirabas em águas naturais percolantes nesses sedimentos. Não foram feitas análise química de fluoretos em todas as amostras pelo fato de que não se registrou a presença de mineral de fluoreto como por exemplo a apatita. Nem sempre nos calcário aflorantes em praia oceânica aparece a dolomita;

Tabela 16. Resultados de análises químicas e mineralógica de calcário aflorante em praias de águas costeiras da zona do Salgado (PA).

	CAS/02	CAS/03	JAP/01	ATA/01	ATA/02	SAL/01	MOC/01	MOC/02	
ANÁLISE QUÍMICA (%)	SiO <sub>2</sub>	4.4	1.8	9.200	7.1	21.5	10.5	4.5	12.5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<L.D	- 0.12	0.488	0.08	-0.12	0.387	n.d	-0.02
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.04	0.050	0.12	0.12	0.16	0.03	0.09
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.004	0.004	0.005	0.006	0.004	0.005	0.003	0.003
	CaO	41.65	49.0	46.330	27.7	24.85	44.98	46.65	39.5
	MgO	8.9	4.45	1.900	20.57	16.08	1.96	3.52	2.81
	SrO	0.05	0.06	0.020	0.02	0.02	0.005	0.04	0.04
	Na <sub>2</sub> O	0.56	0.12	0.460	0.43	0.49	0.160	0.69	0.35
	K <sub>2</sub> O	0.10	0.09	0.24	0.24	0.23	0.19	0.28	0.17
	P.F	42.66	42.32	39.18	42.36	35.32	38.34	41.48	39.92
	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.40	0.48	0.56	0.26	0.36	0.34	0.44	0.30
	C.O	0.20	0.24	0.08	0.37	0.46	0.05	0.20	0.24
Soma (%):	99.02	98.60	98.51	99.26	99.43	97.08	97.83	95.92	
MINERALOGIA APROXIMADA (%)	Calc. (<Mg)	52.13	76.38	82.72	-	-	80.31	74.52	63.5
	Dol.	40.94	20.47	-	94.62	81.65	-	16.17	12.9
	Arg. + Qtz.	6.93	3.15	-	-	-	-	-	-
	Qtz.	-	-	17.28	5.38	18.38	19.69	9.31	23.6
Soma (%):	100	100	100	100	100.03	100	100	100	

OBS : CAS/02\* e MOC/01\*: carapaças fósseis; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: ferro total; P.F: perda ao fogo (CO<sub>2</sub> oriundo de carbonato); H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>: úmidade (oriundo de argilominerais); C.O: carbono orgânico; mineralogia aproximada (%): percentagem aproximada de minerais de carbonato e de sílica (incluindo quartzo). No calculo estequiométrico, considerou-se, sempre os teores de MgO associados apenas à dolomita ( nos casos onde foram registradas as linhas desse mineral nos difratogramas); considerou-se, portanto, apenas como aproximação, os teores de MgO desprezíveis na calcita - baixo Mg; Calc.<Mg): calcita - baixo Mg; Dol.: dolomita; Arg. + Qtz: argilomineral + quartzo; n.d: não determinado. <L.D: abaixo de limite de detecção

Tabela 17 Resultados de análises químicas e mineralógica de calcário de jazida da zona fisiográfica Bragantina, PA.

	CAP/02	CAP/03	CAP/04	CAP/05
SiO <sub>2</sub>	5.3	4.9	2.5	6.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30	n.d	n.d	0.177
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.05	0.02	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.003	0.004	0.006	0.004
CaO	50.11	48.68	51.21	47.6
MgO	2.02	2.44	2.53	2.26
SrO	0.03	0.03	0.01	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.12	0.11	0.34
K <sub>2</sub> O	0.11	0.09	0.07	0.17
P.F	40.06	41.26	41.82	41.64
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.12	0.20	0.20	0.74
C.O	0.08	0.16	0.11	0.05
<b>Soma (%) :</b>	<b>99.29</b>	<b>97.93</b>	<b>98.59</b>	<b>99.68</b>
Calc. (<Mg)	84.44	80.82	85.12	81.83
Dol.	9.27	11.22	11.64	10.4
Arg. + Qtz.	6.29	7.96	3.24	7.77
Qtz.	-	-	-	-
<b>Soma (%) :</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

OBS : CAP/01\*, CAP/02\* e CAP/02\*\* : carapaças fósseis; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: ferro total; P.F: perda ao fogo (CO<sub>2</sub> oriundo de carbonato); H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>: úmidade (oriundo de argilominerais); C.O: carbono orgânico; mineralogia aproximada (%): percentagem aproximada de minerais de carbonato e de sílica (incluindo quartzo). No calculo estequiométrico, considerou-se, sempre os teores de MgO associados apenas à dolomita (nos casos onde foram registradas as linhas desse mineral nos difratogramas); considerou-se, portanto, apenas como aproximação, os teores de MgO desprezíveis na calcita - baixo Mg; Calc.(<Mg): calcita com baixo Mg; Dol: dolomita; Arg. + Qtz: argilomineral mais quartzo; n.d: não determinado.

Tabela 18. Resultados de análises químicas mineraló-  
do calcário de ocorrências menos expressi-  
(zona fisiográfica do Salgado, PA).

	QUA/01	QUA/02	PAT/01
SiO <sub>2</sub>	15.6	8.7	6.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.057	0.592	-0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.05	0.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.003	0.004	0.004
CaO	37.38	39.0	42.91
MgO	2.29	2.29	7.23
SrO	0.02	0.02	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.28	0.31	0.24
K <sub>2</sub> O	0.27	0.33	0.17
P.F	34.28	36.54	40.84
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	2.16	2.38	0.44
C.O	0.35	0.31	0.33
<b>Soma (%) :</b>	<b>92.72</b>	<b>90.53</b>	<b>98.98</b>
<b>MINERALOGIA APROX. (%)</b>			
Calc. ((<Mg)	66.74	69.64	58.56
Dol.	-	-	33.26
Arg. +	-	-	-
Qtz.			
Qtz.	33.26	30.36	8.2
<b>Soma (%) :</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100.02</b>

OBS: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Fe total; P.F: perda ao fogo (CO<sub>2</sub> oriundo de carbonato); H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>: úmidade (oriundo de argilominerais); C.O: carbono orgânico; mineralogia aproximada (%): porcentagem aproximada de minerais de carbonato e de sílica (incluindo quartzo). No cálculo estequiométrico, considerou-se, sempre os teores de MgO associados apenas à dolomita (nos casos onde foram registradas as linhas desse mineral nos difratogramas); considerou-se, portanto, apenas como aproximação, os teores de MgO desprezíveis na calcita - baixo Mg; Calc.((<Mg): calcita com baixo Mg; Dol: dolomita; Arg. + Qtz: argilomineral mais quartzo; n.d: não determinado.

assim, por exemplo, enquanto as amostras da ponta de Castelo (CAS/), Atalaia (ATA/) e da ilha do Mocoóca (MOC/) mostram percentuais expressivos de dolomita (de 12,9 a 94,6 %); não se detectou esse mineral nas amostras JAP/01 e SAL/01 (Anexo). Tais situações se encontram em conformidade com a exposição de fatos já registrados na literatura.

A dolomita foi detectada nas amostras oriundas da mina da CIBRASA, as mesmas que correspondem aos terrenos da antiga "Colônia Agrícola Pedro Teixeira", com concentrações variando de 9,3 a 11,6 % nas amostras CAP/01, CAP/02 CAP/03 e CAP/04. A dolomita foi também detectada no calcário submersos nas águas do igarapé Patauí (33,2 %), mas no entanto, ausente nas amostras coletadas em Quatipuru (QUA/01 e QUA/02).

A literatura tem registrado que o calcário da Formação Pirabas apresenta calcita com baixo teor de Mg (ACKERMANN, 1975; ALMARAZ, 1979), e por essa razão, na confecção das Tabelas 16, 17 e 18 considerou-se todo porcentual de MgO apenas vinculado à dolomita, quando esta se apresenta de modo apreciável nos difratogramas.

Observou-se que os difratogramas oriundos de amostras de calcário do Atalaia (ATA/01 e ATA/02) não indicam a presença de calcita, mas no entanto ALMARAZ (1979) indica que amostras coletada na praia do Atalaia contém 1,3 % em MgO e de 41 % em CaO. Por sua vez, dados recolhidos na literatura por ACKERMANN (1975) mostram teores de 2,2 % em CaO e de 47,2 % em MgO. Esses dados parecem indicar, de modo conclusivo, que as amostras oriundas do Atalaia apresentam variedades em seu material carbonático.

Determinou-se percentual de  $Al_2O_3$  apenas para amostras que apresentam reflexões mais expressivas de caulinita e argilominerais interestratificados. A caulinita é o mineral dominante nesses casos.

Os percentuais de ferro total (expressos como  $Fe_2O_3$ ) são pouco significantes (variando de 0,02 a 0,16 %), quando comparados com amostras coletadas num perfil geológico. Nos

difratogramas não foram detectados minerais de ferro, isto talvez se deve ao fato das coletas serem pontuais, separadas manualmente, visando obter minerais de carbonato tanto quanto possível isolados.

Embora presente (em teores mínimos, de 0,003 a 0,006 %, em termos de  $P_2O_5$ ) não foi detectado mineral de fosfato nos difratogramas aqui registrados.

Os percentuais de Sr (variando de 50 a 600 ppm) ratificam a sua vinculação apenas à calcita, visto que a presença de aragonita requer teores mais expressivos de Sr, quase sempre acima de 2000 a 3000 ppm (MILLIMAN et al., 1974).

As determinações de Na e K por espectrofotômetro de absorção atômica demonstraram teores muito baixos desses elementos, variando de um máximo de 0,69 % (MOC/01) e 0,33 % (QUA/02) a um mínimo de 0,11 % (CAP/03) e 0,07 % (CAP/04), respectivamente.

Os percentuais de perda ao fogo (P.F.), para os casos de minerais de carbonato associados apenas ao quartzo, referem-se aos teores de  $CO_2$ , oriundo da decomposição química pela ação de calor segundo a reação:



Nos casos em que aparecem nas amostras, caulinita e argilominerais interestratificados, o valor da perda ao fogo está diretamente relacionado com a água de constituição ( $H_2O^+$ ). Já a umidade ( $H_2O^-$ ) é resultante da ação do calor em temperaturas bem mais baixas (105 - 110 °C).

Determinou-se ainda, o teor de carbono orgânico (C.O.) na tentativa de verificar a importância da matéria orgânica na deposição de minerais de carbonato (BERNER, 1968; ZAJIC, 1969; BATHRUST, 1971; BRICKER, 1971; MILLIMAN et al., 1974; MORSE & MACKENZIE, 1990).

A influência do substrato mineral em águas percolantes é notável, e está relacionada com o quimismo dessas águas, evidenciado principalmente pela avaliação de parâmetros físico-químicos tais como pH, alcalinidade, teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  no caso de águas associadas a calcários. O pH se apresenta, em geral, em torno de 7, ou pouco acima disso, revelando a natureza básica do meio. Essa natureza básica pode ser evidenciada pela equação química:



Isto significa que o íon bicarbonato atua como base de Bronsted-Lowry (KRAUSKOPF, 1972) perante a água, e produz esta basicidade (representada pelo incremento de íons  $\text{OH}^-$  em solução). O  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$  se encontram associados ao bicarbonato, por se tratarem de espécies mais solúveis do que os correspondentes sais de carbonato:



É de esperar, todavia, que, sendo, a calcita o mineral predominante no calcário da Formação Pirabas, as águas percolantes (lençóis freáticos), podem apresentar concentrações bem mais baixas em Mg. Alias, dados coletados por White et al. apud MORSE & MACKENZIE (1990), para um calcário miocênico, revelam teores de  $\text{Mg}^{2+}$  da ordem de 5,74 ppm (239  $\mu\text{M}$ ) contra 48 ppm (1200  $\mu\text{M}$ ) de  $\text{Ca}^{2+}$ , 4 ppm (174  $\mu\text{M}$ ) de  $\text{Na}^+$ , 157 ppm (2570  $\mu\text{M}$ ) de  $\text{HCO}_3^-$ , 6,43 ppm (67  $\mu\text{M}$ ) de  $\text{SO}_4^{2-}$  e 4,83 ppm (136  $\mu\text{M}$ ) de  $\text{Cl}^-$  etc.

Depreende-se, deste modo, da ocorrência de variações apresiáveis, envolvendo principalment teores de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$ .

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de amostras de águas naturais e amostras sólidas aqui mencionado possibilitou uma abordagem geoquímica que permite evidenciar nítida influência dos sedimentos de carbonato em águas continentais (superfície e subsuperfície) e costeiras da zona fisiográfica de Bragantina e do Salgado (PA).

Para tanto, o estudo químico-mineralógico das amostras sólidas ratificou estudos anteriores, caracterizado por calcário associado a material argiloso e folhelhos. No calcário, predomina a calcita com baixo magnésio (Mg) na maioria das amostras examinadas; aparecem ainda, em certas amostras, a dolomita em percentuais algo expressivos. Nos difratogramas não foi detectado linhas características de aragonita e os teores de estrôncio (Sr) detectados parecem ratificar considerações já citadas na literatura científica, sugerindo que tais teores estão mais associados à calcita. Entre os argilominerais, predomina a caulinita, seguida pela montmorillonita, illita e os interestratificados.

Por sua vez, para o estudo das águas naturais, procedeu-se amostragem em terrenos com visível influência dos depósitos de calcário; outros, com provável influência de terrenos pertencentes à Formação Pirabas. A condutividade elétrica demonstrou ser um parâmetro diferenciador para as águas continentais sob influência de Pirabas; o pH, no entanto, nem sempre revelou-se útil, visto que, em certos casos, seu índice apresentou-se bem abaixo de 7. As relações iônicas mostraram ser úteis na caracterização dessas águas.

A relação  $rMg/rCa$  mostrou-se eficiente na caracterização do enriquecimento em cálcio das águas costeiras, principalmente no período de estiagem.

Visando caracterizar essas águas segundo os valores registrados de Eh e pH, procedeu-se montagem dos diagramas mostrados nas Figuras 19 e 20. Observações mais detalhadas das Figuras ratificam esperadas situações para águas naturais em ambientes intemperizados

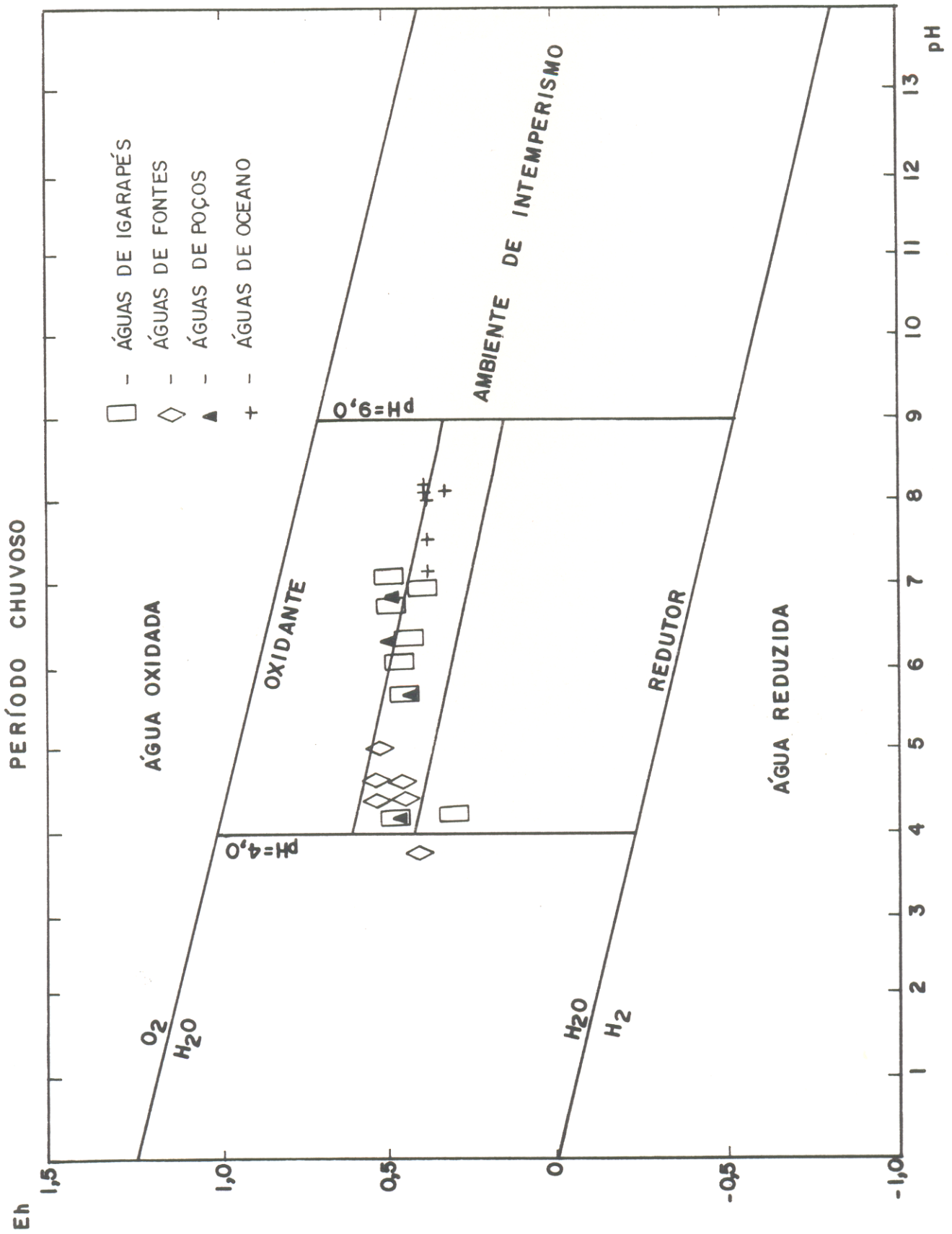


Figura 19 - Diagrama de Eh e pH. Águas da zona fisiográfica do Salgado e da Bragantina (PA).

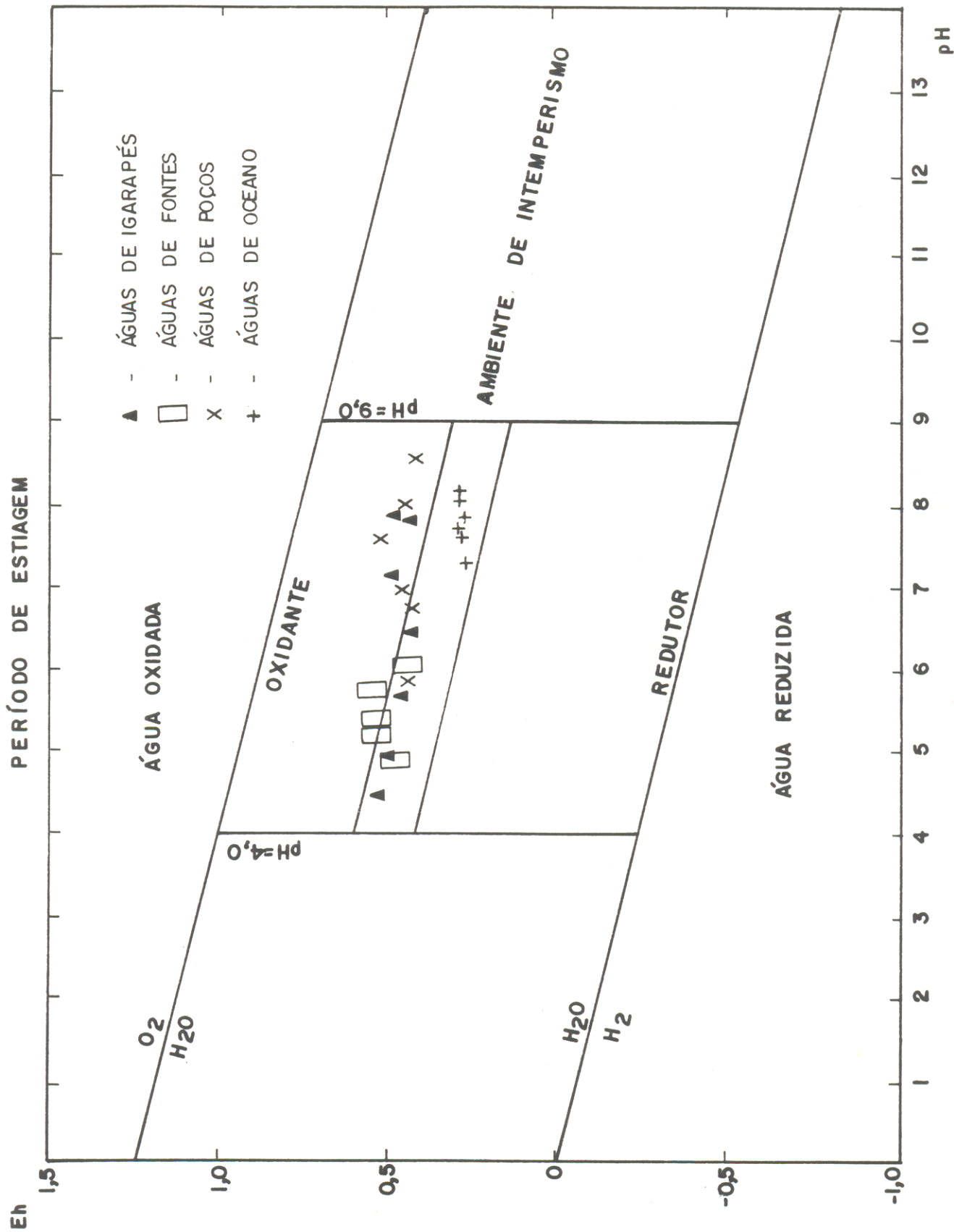


Figura 20 - Diagrama de Eh e pH. Águas da zona fisiográfica do Salgado e da Bragantina (PA).

(LEVINSON, 1974). Certo deslocamento para intervalos mais alcalinos de pH são representativos de águas costeiras e continentais mais sujeitas à influência dos sedimentos Pirabas. Por sua vez, o deslocamento de pontos (amostras) para intervalos mais ácidos podem ou não revelar influências de terrenos pertencentes ao Grupo Barreiras.

A geoquímica dos sedimentos carbonatados tem sido amplamente estudada na literatura científica mundial (BERNER, 1968; KINSMAN & PARK, 1969; BATHRUST, 1971; MILLIMAN et.al., 1974; MORSE & MACKENZIE, 1990). Questões fundamentais como a solubilidade da calcita, da dolomita, da aragonita, a precipitação de  $\text{CaCO}_3$  no ambiente marinho, a influência da matéria orgânica, a geoquímica do Sr, do F e do P associados a minerais de carbonato, entre outros temas, tem merecido atenção dos pesquisadores.

As reações bioquímicas, que envolvem a deposição e a solubilização mineral, constituem aspectos da biogeoquímica (ZAJIC, 1969). A biogeoquímica do Ca, Mg e Sr apresentam-se, muitas vezes, relacionada, notadamente quando se verifica suas associações em mineral de  $\text{CaCO}_3$  como a calcita e a aragonita; o Mg e o Ca podem, ainda, formar a dolomita, bem mais rica em Mg, de composição ideal  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (LIPPMANN, 1970).

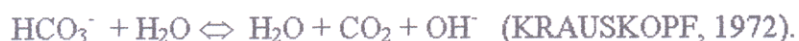
KINSMAN & PARK (1969) sugere que a fixação de Sr em certos organismos (algas, por exemplo) é conseguido através do contato de suas camadas musilaginosas com as águas marinhas. A própria fixação do Ca nas carapaças de organismos marinhos é um processo de biomineralização, onde a matéria orgânica desempenha um papel fundamental na precipitação e cimentação do  $\text{CaCO}_3$  (MORSE & MACKENZIE, 1990).

Por tais razões é que se justifica a presença de carbono orgânico nas amostras de calcário da Formação Pirabas com variações de 0,05 a 0,46 % (Tabelas 16, 17 e 18). Pode-se assim, atribuir as concentrações de matéria orgânica presente nessas amostras, à fixação das mesmas durante os processos de sedimentação dos minerais de carbonato.

Os minerais de carbonato (calcita, aragonita, dolomita) presentes em rochas calcárias, sofrem dissolução no ambiente geológico, principalmente pela ação de gás carbônico e água, produzindo espécies solúveis tais como bicarbonato de cálcio e bicarbonato de magnésio:



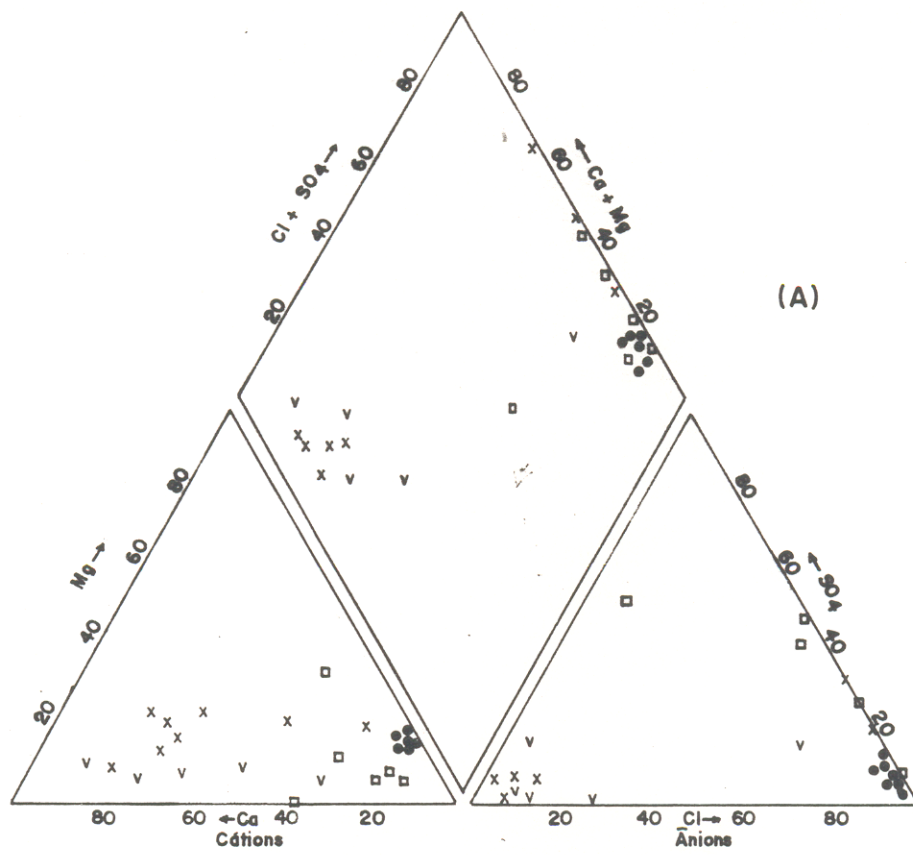
O íon bicarbonato, de natureza básica, transfere o caráter básico para suas soluções aquosas:



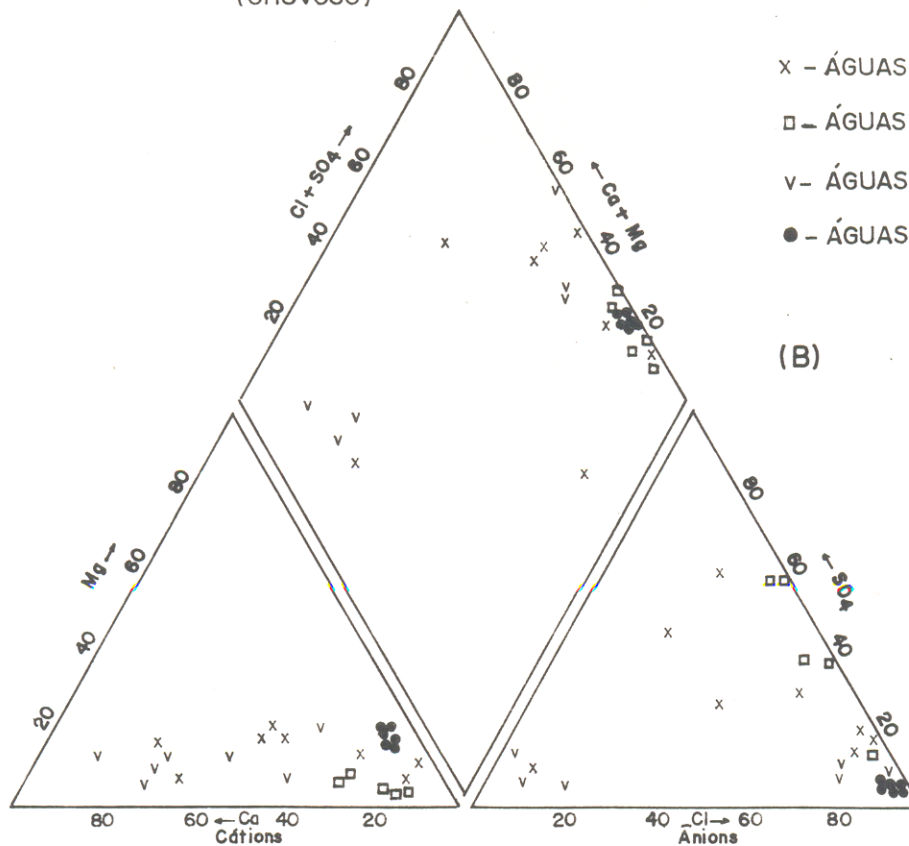
Por essa razão que águas percolantes em rochas calcárias apresentam basicidade apreciável, já que os íons bicarbonato predominam sobre os demais ânions presentes em solução, principalmente,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Considerando que nessas transformações não ocorre variação no estado de oxidação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  (bem como do  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ), as manifestações de alteração de Eh nessas águas naturais podem ser explicadas, principalmente, pela ocorrência de matéria orgânica, pela existência do sistema  $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ , pela ação de bactérias e da matéria orgânica na redução de  $\text{SO}_4^{2-}$  produzindo  $\text{H}_2\text{S}$  (ZAJIC, 1969; BERNER, 1968; LEVINSON, 1974; DREVER, 1988). Por sua vez, as manifestações de variação de acidez-basicidade se fazem mais presentes, quando se considera as diferentes origens das águas aqui estudadas, desde influências de substratos ácidos (pH abaixo e em torno de 5) até águas salinas/marinhas (pH acima de 7).

É de se esperar que as águas de lençóis freáticos percolantes nos sedimentos Pirabas possam sofrer influências do arenito calcífero (com predominância de  $\text{Ca}^{2+}$  e baixo teor de  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ou de folhelho (onde o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Ca}^{2+}$  são provavelmente os íons dominantes seguido do  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Espera-se, também, que o Mg possa apresentar variações, de acordo com a ocorrência ou não de substrato contendo dolomita, já que é a calcita, com baixo teor de Mg é o mineral predominante nos sedimentos Pirabas (Figura 21).



(CHUVOSO)



- x - ÁGUAS DE IGARAPÉS
- - ÁGUAS DE NASCENTE/CACIMBAS
- v - ÁGUAS DE POÇOS ESCAVADOS
- - ÁGUAS COSTEIRAS

(B)

Figura 21 - Diagrama de classificação de fácies para cátions e ânions em termos de percentagens dos íons principais nas águas das zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina (PA).

O Sr é um excelente indicador de ambiente marinho. Nos sedimentos marinhos recentes, predomina a aragonita, apresentando teores de  $\text{Sr}^{2+}$  elevados variando de 9800 - 10000 ppm. A maioria dos moluscos apresentam teores de  $\text{Sr}^{2+}$  pouco abaixo de 1000 ppm, podendo, todavia, atingir 4000 ppm). Na maioria dos calcários antigos, porém, os teores se encontram entre 250 a 750 ppm, segundo as observações de KINSMAN & PARK (1969) e BATHRUST (1971).

Sob o ponto de vista químico, o  $\text{F}^-$  pode precipitar como  $\text{CaF}_2$ . Assim como o  $\text{Sr}^{2+}$ , o  $\text{F}^-$  é um constituinte maior do água do mar; enquanto o  $\text{Sr}^{2+}$  atinge 8 ppm, o  $\text{F}^-$  chega a 1,3 ppm (RILEY & CHESTER, 1971; DREVER, 1988, etc). Deste modo não é de todo improvável que o  $\text{CaF}_2$  coprecipite com  $\text{CaCO}_3$  na formação de cimentos carbonatados (MASON, 1966; MILLIMAN et al., 1974). O fato é que carbonatos marinhos apresentam teores relativamente apreciáveis de  $\text{F}^-$ , com a relação iônica  $r\text{F}/r\text{Ca}$  variando de 0,1 a 3,5 mmol/mol para a calcita e de 4,0 a 6,5 mmol/mol para a aragonita (CARPENTER, 1969). Estudos de CARPENTER (1969) mostraram conteúdos de  $\text{F}^-$  em aragonita e calcita com alto teor de Mg associados a foraminíferos. É pois, compreensível que se espere algum teor de  $\text{F}^-$  nas amostras de calcário Pirabas.

Dados compilados por Turekian apud DREVER (1988) mostram que, enquanto o  $\text{F}^-$  aparece com teor médio de 740 ppm nos folhelhos e 330 ppm nos calcários, o Sr varia de 600 ppm nos calcários e 300 ppm nos folhelhos. De qualquer modo, é esperado que tanto o Sr como o  $\text{F}^-$  apareçam em águas percolantes nos calcários de Pirabas.

Quanto ao P, seu teor na composição química da água do mar varia de 0,001 a 0,05 ppm na forma de  $\text{PO}_4^{3-}$  (RILEY & CHESTER, 1971; DREVER, 1988). Resultados obtidos por Simmons apud MORSE & MACKENZIE (1990) mostram teores de  $\text{PO}_4^{3-}$  atingindo 0,124 ppm (1,3  $\mu\text{M}$ ) em águas subterrâneas associadas a calcário do Pleistoceno (Bermuda), com concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  em torno de 57 ppm (1423  $\mu\text{M}$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  em 6,3 ppm (260  $\mu\text{M}$ ),  $\text{Na}^+$  em 34 ppm (1465  $\mu\text{M}$ ),

$K^+$  em 11,5 ppm (295  $\mu M$ ),  $HCO_3^-$  em cerca de 403 ppm (6600  $\mu M$ ),  $SO_4^{2-}$  em 12,5 ppm (130  $\mu M$ ),  $Cl^-$  em 46,33 ppm (1305  $\mu M$ ),  $Sr^{2+}$  em 657 ppb (7,5  $\mu M$ ) etc.

Comparando os dados acima expostos com os resultados obtidos para as determinações quantitativas de  $Sr^{2+}$ ,  $F^-$  e  $PO_4^{3-}$  para as águas percolantes associadas aos sedimentos da Formação Pirabas, é possível estabelecer as seguintes relações:

1. os teores detectados para o  $Sr^{2+}$  nas amostras sólidas nas ocorrências de calcário Pirabas (exceto para amostra SAL/01 com teor em 42 ppm de Sr), ratificam os resultados registrados na literatura para calcários antigos.
2. as condições experimentais utilizadas na análise química do  $Sr^{2+}$  para as águas naturais estudados somente permitiram a dosagem desse elemento para concentrações acima de 20 ppb. Os valores mais expressivos foram detectados nas amostras de águas costeiras, com maior máximo de 227 ppb ( SJP) e valor mínimo de 41 ppb (BJE). Detectou-se um teor de 24 ppb no poço PO/QUA, bem como indícios de  $Sr^{2+}$  nos poços escavados PO/ADE, PO/CAM e PO/GAR na fonte FT/CAR e no igarapé IG/GAR, todos abaixo de 20 ppb; tais valores se encontram bem abaixo de teor de Sr de 7,5  $\mu M$  (cerca de 657 ppb) registrado por Simmons apud MORSE & MACKENZIE, 1990) para águas doces, subterrâneas, associadas a um calcário do Pleistoceno em Bermuda;
3. os teores de  $F^-$ , variaram de 90 ppb (a maioria em águas de igarapé) até 420 ppb (PO/CAM) para águas continentais. Tais valores se mostram abaixo daqueles observados em águas de poços profundos no interior dos estados do Piauí e do Ceará, cujas concentrações variam de 590 a 1400 ppb .

4. no que se refere ao fosfato, apenas as águas do igarapé IG/GAR (0,11 ppm de  $\text{PO}_4^{3-}$ , durante a estiagem) e às do poço PO/QUA (0,14 ppm, na estiagem) apresentaram teores mais expressivos. Tais valores são comparáveis as concentrações observadas em águas subterrâneas associadas a um calcário do Pleistoceno, cujo teor de  $\text{PO}_4^{3-}$  é da ordem de 0,124 ppm (Simmons apud MORSE & MACKENZIE, 1990. Nas águas costeiras estudados, o teore de  $\text{PO}_4^{3-}$  no ponto BJE atinge índices de 0,283 ppm de  $\text{PO}_4^{3-}$  no período chuvoso.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1 ÁGUAS NATURAIS

Parâmetros ambientais (físicos, físico-químico, químicos), tais como temperatura, cor, turbidez, pH, Eh, condutividade elétrica (condutância específica), alcalinidade, acidez e oxigênio consumido mostraram-se adequados na caracterização dessas águas naturais continentais, revelando situações condizentes com a área geográfica (clima quente, úmido), com a presença algo marcante de cor (máximo em 60 u.c.) e acidez (pH variando de 4.14 a 7.85). Além do pH, a condutividade elétrica e a alcalinidade mostraram-se parâmetros discriminadores nessas águas (observou-se índices mais elevados) sob influência de sedimentos da Formação Pirabas.

Para as águas costeiras, como seria de se esperar, caracterizou-se valores de pH em torno de 7, ou pouco acima disso, e condutividades elétricas muito mais pronunciadas (sempre acima de 34 uS/cm, e as vezes atingindo 59 uS/cm). Salienta-se o fato de que a sazonalidade exerce notável influência, principalmente quando se compara dados de condutividade elétrica (em todos os casos observados), turbidez e matéria orgânica dissolvida (para certas situações, sob influência de drenagens continentais, nas águas fluviais). Quanto aos valores de Eh (sempre em torno de +0,30 volt a +0,40 volt), todos os índices registrados se mostram compatíveis com ambientes aerados.

Também, as relações iônicas se mostram adequadas na caracterização de águas continentais sob influência dos sedimentos Pirabas. Assim, para as águas de Igarapé, observou-se máximos de  $rCa/rNa$  em torno de 4, enquanto que para  $rHCO_3/rCl$ , cerca de 13. Quanto as águas marinhas, observou-se que a relação  $rMg/rCa$  varia de 2,00 a 2,88 (no período de maior estiagem), evidenciando nítido enriquecimento de Ca em relação ao Mg, quando se compara tais dados com valores considerados "normais" para águas oceânicas

( $r_{Mg/rCa}$  cerca de 5,3). Também as relações  $r_{Na/rCa}$  e  $r_{Cl/rCa}$  ratificam as considerações emanadas do estudo da relação  $r_{Mg/rCa}$  sobre o apreciável enriquecimento de Ca nessas águas costeiras.

Esse enriquecimento de Ca nessas águas costeiras provavelmente, tem origem, nas drenagens continentais associadas à Formação Pirabas.

Nas águas continentais sob nítida influência dos sedimentos carbonatados Pirabas, a relação  $r_{Ca/rNa}$  quase sempre se apresenta em torno de unidade, revelando efeitos competitivos entre os íons  $Ca^{2+}$  e  $Na^+$ . Como aliás seria de se esperar, considerando o quimismo resultante da ação do  $CO_2$  sobre os minerais de carbonato, o  $HCO_3^-$  é o ânion dominante nessas águas.

A presença de  $Fe^{2+}$  (máximo em 1,10 ppm) e  $Fe^{3+}$  (máximo em 2,25 ppm) ratificam o esperado para sistemas hidroquímicos associados ao intemperismo laterítico. O  $PO_4^{3-}$  é quase sempre muito baixo (variando de 0,003 a 0,135 ppm), situação essa aparentemente compatível com as águas amazônicas, que em geral são pobres em fosfato.

Os teores observados para o  $Sr^{2+}$  (24 ppb em poço em Quatipuru) e o  $F^-$  (máximo em 420 ppb, na captação de águas para abastecimento público em Campinho, Capanema), em águas de subsuperfície, bem demonstram a influência de sedimentos Pirabas (marinhos) nessas águas. Nas águas costeiras, os teores de  $Sr^{2+}$  (máximo em 227 ppb) e  $F^-$  (máximo em 1250 ppb) estão diretamente relacionados com a maior influência das águas do oceano Atlântico nos locais de coleta.

## 6.2 AMOSTRAS SÓLIDAS (carbonátos, fósseis, sedimentos e solos)

A correlação entre os resultados de análise química e difratometria de raio-X das amostras sólidas aqui estudadas ratificam dados de literatura científica sobre os sedimentos

da Formação Pirabas. Dentre os minerais de carbonato, predomina a calcita seguida pela dolomita, não foi detectada a aragonita. Dos argilominerais, foram detectados a caulinita, illita, esmectita e os interstratificados.

Embora presente e dominante na maioria das amostras sólidas, não se detectou calcita nas duas amostras coletadas na praia do Atalaia; estas, por sua vez, apresentaram os teores mais expressivos de dolomita (em torno de, praticamente, 82 - 95 %). A dolomita, por seu vez, aparece menos abundante nas amostras de Capanema (variando de 9 a quase 12 %), estando ausente nas amostras de Japerica, Salinópolis e Quatipuru. Sobre a calcita, os resultados analíticos demonstram claramente que se trata de calcita com baixo teor de Mg. Alguns exemplos sugestivos são as amostras de Japerica (1,9 % em termos de MgO), Salinópolis (2,0 % de MgO) e Quatipuru (2,3 % de MgO).

As tentativas de separação manual de amostras de calcário, tanto quanto possível isolado de outros sedimentos, conduziram à constatação sobre a ocorrência de caulinita e argilominerais interstratificados associados à illita e à esmectita. Tais resultados parecem ratificar a estreita relação entre os argilominerais e os minerais de carbonato durante o processo de sedimentação do calcário da Formação Pirabas. também, os teores de carbono orgânico (variando de 0,1 a 0,5 %) parecem evidenciar a sua influência durante esse processo de sedimentação.

Os teores detectados para o  $Sr^{2+}$ , variando de 167 a 507 ppm (exceto para a amostra SAL/01, coletada na base da falésia em Salinópolis, com teor de 42 ppm de Sr) esta muito mais associados à calcita do que a um provável indicador da presença de aragonita nessas amostras. Aliás, tais resultados estão compatíveis com a ocorrência de Sr associado a calcários, como é o caso da Formação Pirabas.

### 6.3 PERFIS GEOLÓGICOS

Os perfis geológicos envolvendo sedimentos da Formação Pirabas, nas zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina, exibem, quase sempre, um horizonte superficial constituído de laterítos, argilas (em geral, margas), folhelho, arenito (calcarenito). A captação de águas subterrâneas (visando consumo das populações rurais) é feito em aquíferos de areia fina. Depreende-se, de imediato, que a ocorrência de águas de subsuperfície está diretamente associada ao calcário jazente nos perfis percolados, como alias, foi plenamente confirmada pelas análises químicas aqui interpretadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMANN, F.L. 1964. **Esboço para a geologia entre a cidade de Belém - Rio Guamá e Atlântico - Rio Guamá.** Belém, UFPA. Imprensa Universitária. 79 p.
- ACKERMANN, F.L. 1969. **Geologia e fisiografia da região Bragantina, Estado do Pará.** Manaus. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 90p. (Cadernos da Amazônia, 2).
- ACKERMANN, F.L. 1975. **A Formação Pirabas, sua evolução e interpretação.** Belém, UFPA. Imprensa Universitária. 83 p.
- ALMARAZ, J.S. 1979. **Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, Estado do Pará.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (doutorado), Porto Alegre. 186 p.
- APHA. AWWA. WPCF. 1975. **Standard methods for the examination of water and waste water.** Washington, D.C, American Health Association. 1193 p.
- ARAÚJO, J.V.; VIEIRA, L.S.; ARAÚJO, M.P. de; MARTINS, J.S. 1973. Levantamento exploratório de solos da Folha SA. 23 São Luis e parte da Folha SA. 24 Fortaleza. In: BRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA. 23 São Luis e part da Folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro. Cap. 3, p. 3 - 113. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BARBOSA, G.V. & PINTO, M.N. 1973. Geomorfologia da Folha SA.23 São Luis e parte da Folha SA.24 Fortaleza. In: BRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA. 23 São Luis e part da Folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Cap. 2, p. 3 - 26. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).

- BATHURST, R.G.C. 1971. **Carbonate sediments and their diagenesis**. Amsterdam, Elsevier. 595 p.
- BERNER, R.A. 1968. Calcium carbonate concretions formed by decomposition of organic matter. **Science**, 159: 195 - 197.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. 1964. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Ciências da terra**, 2: 2 - 14.
- BRICKER, O.P. 1971. **Carbonate cements**. Baltimore, John Hopkins University Press. 376 p.
- BROWN, G. 1961. **The x-ray identification and cristal structures of clay minerals**. London, Mineralogical Society. 544p.
- CARPENTER, R. 1969. Factors controlling the marine geochemistry of flourine. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 33: 1153 - 1167.
- CETESB, 1978. **Análise físico-química de águas**. Normalização Técnica, NT 07. São Paulo, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 276 p.
- COSTA, J.B.S.; BORGES, M.S.; BEMERGUY, R.L.; FERNANDES, J.M.G.; COSTA JR., P.S.; COSTA, M.L. da 1992. Carta geologica da Folha Salinópolis SA.22-v-a-v; Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro, IBAMA /IDESP. Belém. **Texto explicativo**, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Relatório inédito).
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. 1976. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona, ed. Omega. Tomo I, 1157 p.
- DREVER, J.I. 1988. **The geochemistry of natural waters**. New Jersey. Prentice Hall, 437 p.

- FERNANDES, J.M.G. 1984. Paleocologia da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG. v. 1, p. 330 - 340.
- FERNANDES, J.M.G. 1988. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Belém, 1980. *Anais*. Belém, SBG. v. 6, p. 2376 - 2382.
- FERREIRA, C.S. 1966. Características lito-paleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: CONFERÊNCIA DE GEOLOGIA DAS GUIANAS, 6., Belém, 1963. *Anais*, (avulso) Belém. Divisão de geologia e mineralogia, 41 p. 101 - 111.
- FERREIRA, C.S. 1977. Fácies da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), novos conceitos e ampliações. ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. Rio de Janeiro. *Anais*, Rio de Janeiro, 49 (2): 253. (resumo de comunicações)
- FERREIRA, C.S. 1982. Notas estratigráficas sobre o cenozóico marinho do Estado do Pará. In: SÍMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém. 1982. *Anais*, Sociedade Brasileira de Geologia, Nucleo - Norte. Belém, p. 84 - 88.
- FERREIRA, C.S. & CUNHA, O.R. da 1957. Notas sobre a Formação Pirabas com a descrição de novos invertebrados fósseis. I - Mollusca - Gastropoda. *Bol. Mus. Par. E. Goeldi*, Belém, (2): 1 - 61.
- FERREIRA, C.S. & CUNHA, O.R. da 1959. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Novas considerações sobre a Formação Pirabas e descrição de novos invertebrados fósseis. V-Mollusca Gastrópoda. *Bol. Mus. Par. E. Goeldi*. 8: 1 - 75. Nova Série (Geologia).

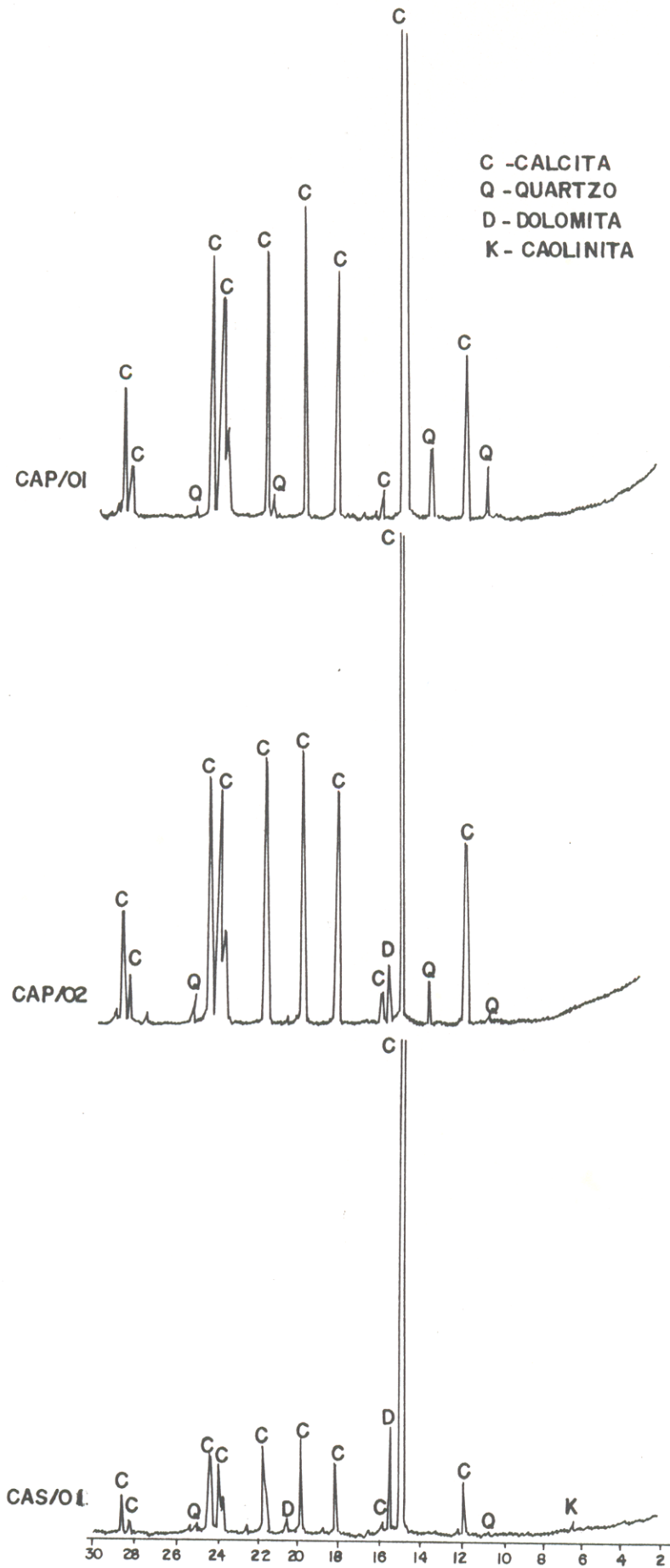
- FERREIRA, C.S. & FRANCISCO, B.H.R. 1988. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias do NE do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. *Anais*, Belém, SBG. v. 2, p. 761 - 764.
- FERREIRA, C.S.; VICALVI, M.A.; MACEDO, A.C.M. 1984. Os limites meridionais da bacia de Pirabas, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*, Rio de Janeiro, SBG. v. 1, p. 326 - 329.
- FRANCISCO, B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, O.F. da; SILVA, G.G. 1971. Contribuição à geologia da Folha SA.23 São Luis, no Estado do Pará. *Bol. Mus. Par. E. Goeldi*, Belém. 17: 1 - 40.
- GAUDETTE, H. E; FLIGHT, W. R; TONER, L; FOLGER, D. W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recente sediments. *Journal of sedimentary petrology*, 44: 249 - 253.
- GOES, A.M. 1981. Estudos sedimentológicos dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 55 p. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós- Graduação em Geoquímica e Geologia, Centro de Geociências, UFPA, 1981.
- KINSMAN, D.J.J. & PARK, R.K. 1969. Studies in recent sedimentology and early diagenesis, Trucial Coast, Arabian Gulf. In: SYMPOSIUM ON REGIONAL TECHNOLOGY, 2., Saudi Arabia. 1974. *Proceedings*. Dhahran, AIME. 10 p.
- KRAUSKOPF, K.B. 1967. *Introduction to geochemistry*. New York, McGraw Hill. 721 p.

- KRAUSKOPE, K.B. 1972. **Introduction to geochemistry**. São Paulo, Polígono. Ed. da USP. 2v.
- LEVINSON, A.A. 1974. **Introduction to exploration geochemistry**. Calgary, Applied Publishing. 612 p.
- LIMA, W.N. & KOBAYASHI, C. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Bacarena, PA. **Geoquímica Brasiliensis**, 2 (1): 53 - 71.
- LIPPMANN, F. 1970. **Sedimentary carbonate minerals**. Berlin, Springer Verlag. 195 p.
- MASON, B. 1966. **Principles of chemistry**. New York, John Wiley. 329 p.
- MAURY, C.J. 1925. Fósseis Terciários do Brasil com a descrição de novas Formações Cretáceas. **Monografia do serviço geológico e mineralógico do Brasil**, Rio de Janeiro, 4: 1 - 705.
- MILLIMAN, J.D.; MULLER, G.; FORSTER, U. 1974. Recent sedimentary carbonate. **Marine Carbonates**. Berlin, Springer-Verlag. Part 1, 313p.
- MORSE, J.W. & MACKENZIE, F.T. 1990. **Geochemistry of sedimentary carbonates**. Amsterdam, Elsevier. 707 p.
- NIMER, 1979. **Pluviometria e Recursos hídricos dos Estados de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro, IBGE. 128 p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 3).
- OLIVEIRA, A.I. & LEONARDOS, O.H. 1943. **Geologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Serviço de informação agrícola, Ministério da Agricultura. 554 p. (série didática).
- OLIVEIRA, P.E. & RAMOS, J.R.A. 1956. Geologia das quadriculas de Recife e Pontas de Pedra. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro, 151: 1 - 6.

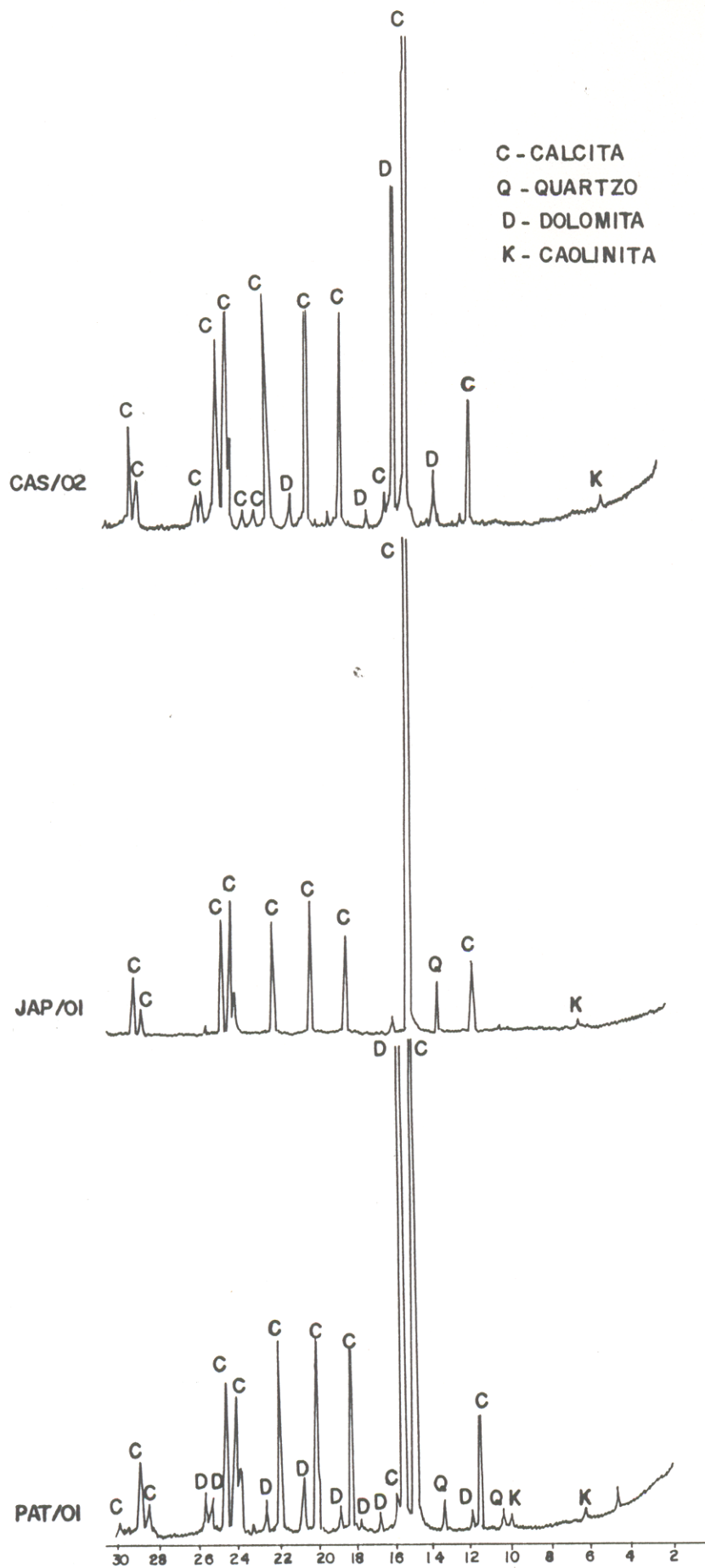
- OLIVEIRA, S. S. & PETRI, S. 1952. Reconhecimento geológico da área de exposição da Formação Pirabas no Estado do Pará. **Revista da Escola de Minas**. Ouro Preto, 17 (1): 9 - 15.
- PETRI, S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. **Boletim da Faculdade de Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, (216): 79 p. (Geologia),
- PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. 1983. **Geologia do Brasil (Fanerozoico)**, São Paulo, T.A. Queiroz. 631 p.
- RIBEIRO, H.M.C. & LIMA, W.N. de 1990. Considerações biogeoquímicas sobre um ecossistema aquático Amazônico sob impacto (área fisiográfica do Utinga, Belém (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, Soc. Bras. de Geoquímica. v. 1, p. 322 - 327.
- RILEY, J. P. & CHESTER, R. 1971. **Introduction to marine chemistry**. New York, Academic Press. 459 p.
- ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. **Bol. Mus. Par. E. Goeldi**, Belém. 1(1): 25 - 74. (Série Ciência da Terra).
- ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. 1990. A influência marinha nos sedimentos Barreiras. **Bol. Mus. Par. E. Goeldi**, 2: 17 - 29. (Série Ciência da Terra).
- SCHAFFER, A. 1985. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Alemanha. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 532 p.

- SILVA, O.F. & LOEWENSTEIN, P. 1968. Contribuição à geologia da Folha de São Luis (SA.23) no Estado do Pará II. Novas localidades e razões magnésio/cálcio do calcário Pirabas. **Bol. Mus. Par. E. Goeldi**, Belém, 13: 1 - 17. (Série geologia).
- SILVA, S.O. & PETRI, S. 1952. Reconhecimento geológico da área de exposição da Formação Pirabas no Estado do Pará. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, 17 (1): 9 - 15.
- SIOLI, H. 1951. Estudo preliminar das relações entre a geologia e a limnologia da zona Bragantina (PA). **Boletim Técnico do I.A.N.**, Belém. 24: 67 - 76.
- SIOLI, H. 1957. Valores de pH de águas amazônicas. **Bol. Mus. Par. E Goelde**, (1): 1 - 37. (série Geologia).
- SIOLI, H. 1960. Pesquisas limnológicas na região da Estrada de Ferro de Bragança, Estado do Pará. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, (37): 1 - 91.
- SIOLI, H. 1967. Studies in Amazon waters. **Simpósio sobre a biota Amazônica**, (3): 9 - 50.
- SOUZA, H.B. & DERÍSIO, J.C. 1977. **Quia Técnico de coleta de amostras de águas**. São Paulo. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 257 p.
- THOREZ, J. 1975. **Phyllosilicates and Clay Minerals: a Handbook for their X-ray Diffraction Analysis**. Editions G. Lelotte, Dison, Belgium. Chapter II: 23 - 115.
- TRUCKENBRODT, W. 1981. Contribuição à mineralogia e geoquímica da Formação Pirabas (mioceno inferior), Estado do Pará. **Bol. Mus. Par. E. Goeldi**, Belém, (25): 1 - 26. (série geologia).
- WELZ, B. 1976. **Atomic Absorption Spectroscopy**, Weinheim, Verlag - Chemie. 267 p.
- ZAJIC, J.E. 1969. **Microbial biogeochemistry**. New York, Academic Press. 318p.
- ZEISS, C. 1974. **Analytical Methods for Atomic Absorption and Flame emission**. West Germany, ed. Carl Zeiss. 139p. (manual do aparelho).

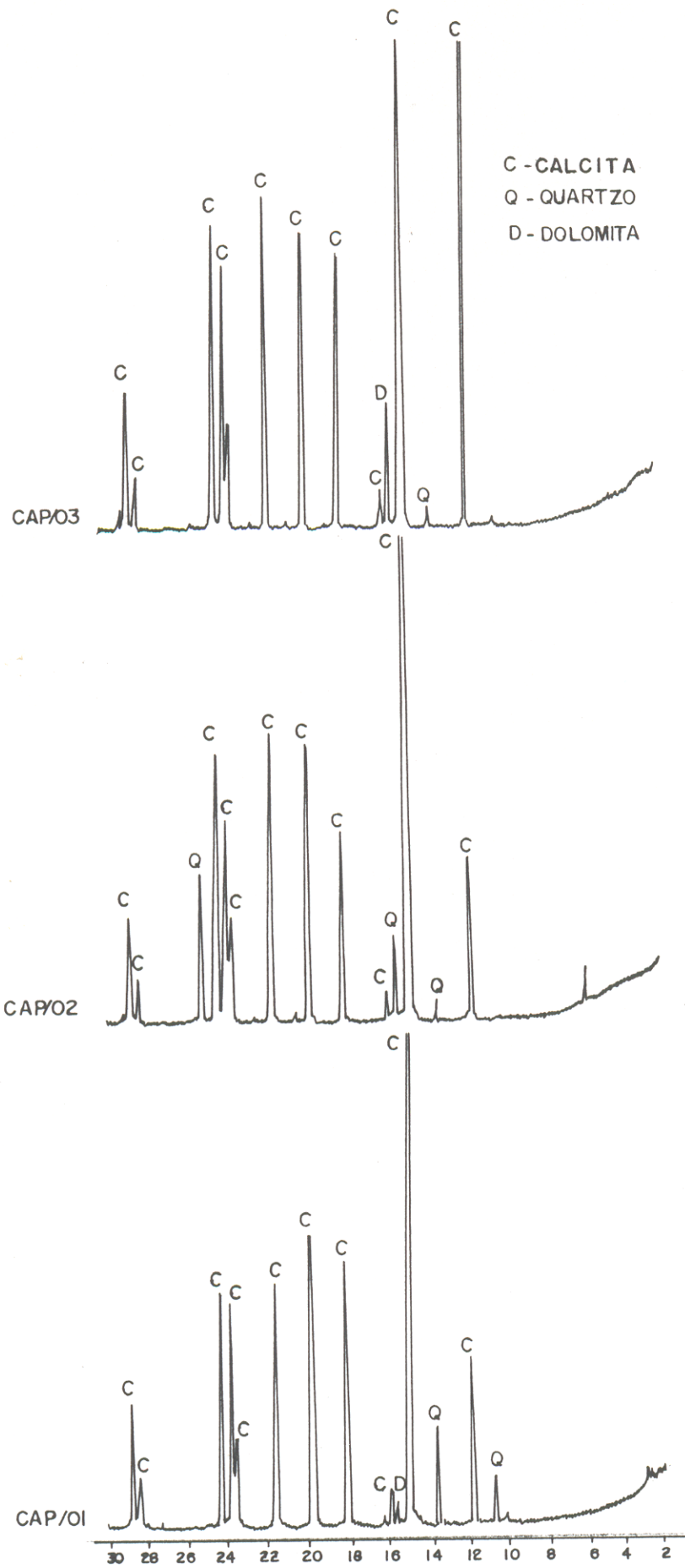
## **ANEXOS**



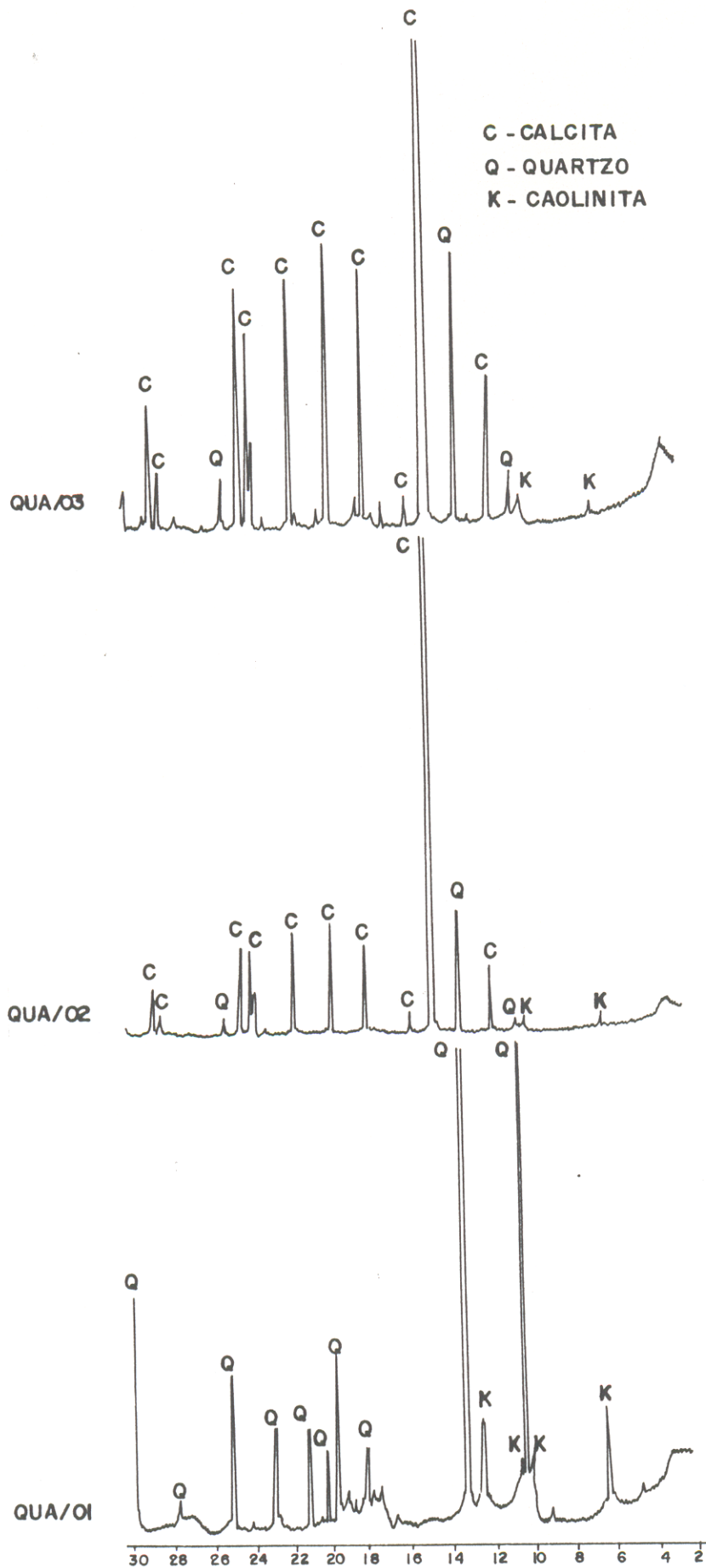
- 1: Cap/ 01 - calcário branco-amarelado da jazida B-5 e B-11 em Capanema.  
 Cap/02 - carapaça fóssil da jazida B-5 e B-11 em Capanema.  
 Cas/01 - calcário amarelo-acinzentado da Ponta de Castelo em São João de Pirabas.



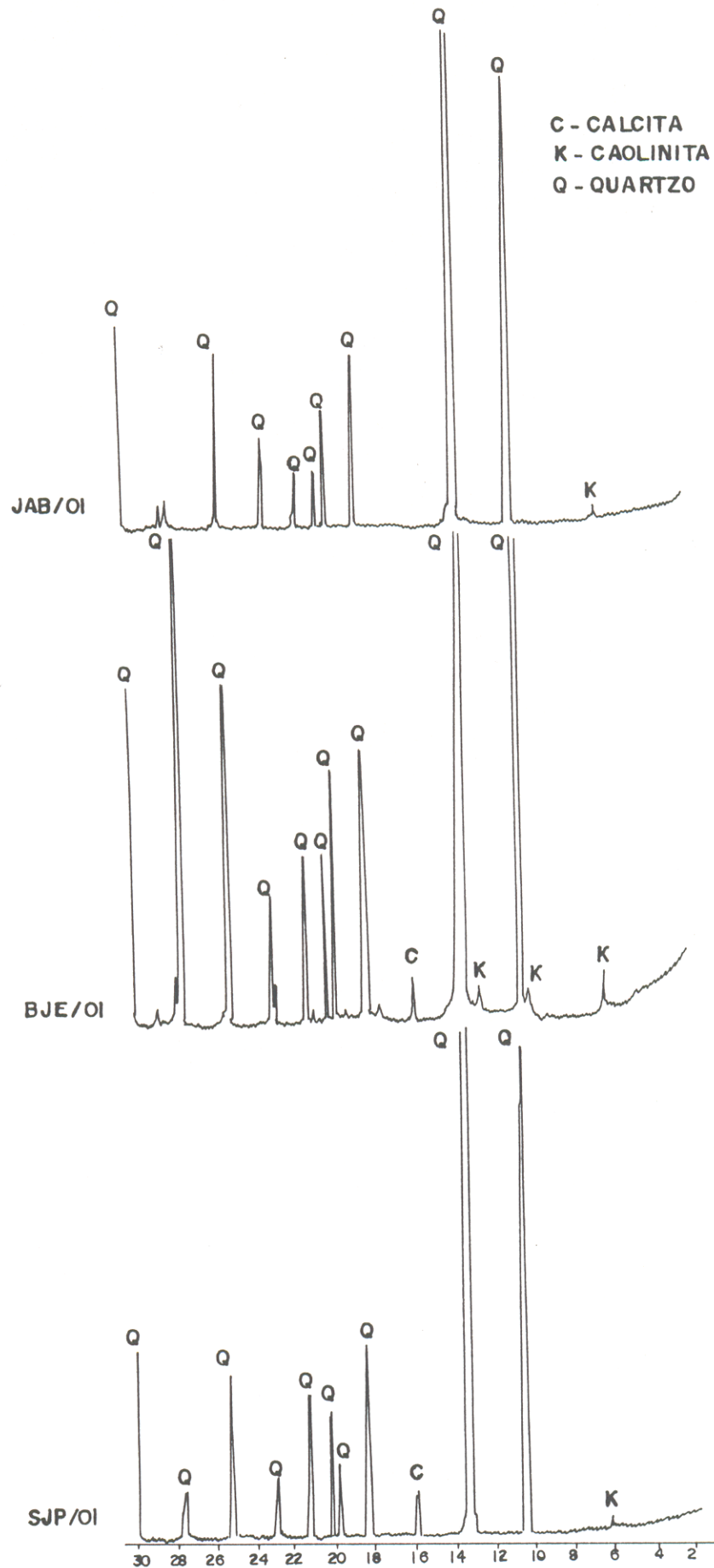
2: CAS/02 - calcário branco-amarelado da Ponta do Castelo em São João de Pirabas  
 JAP/01 - calcário branco-amarelado da base da falésia em Japeirva  
 PAT/01 - calcário branco do fundo do Igarapé em Patalla



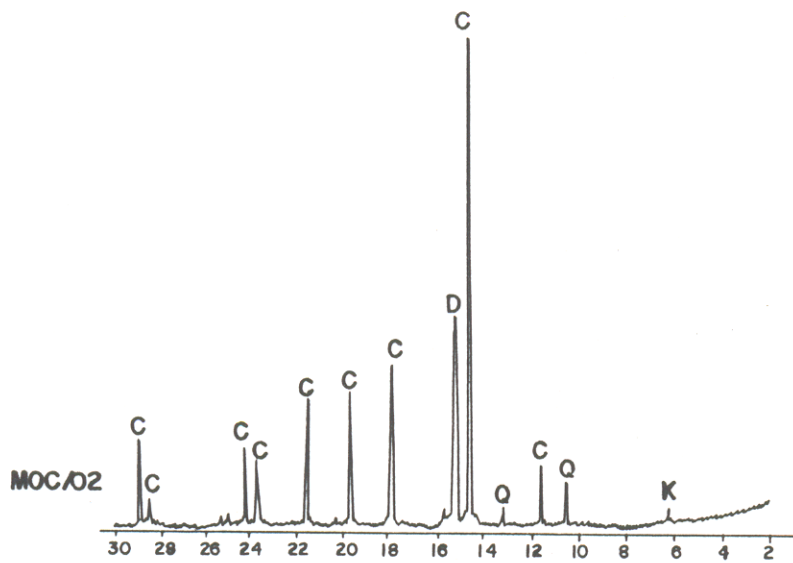
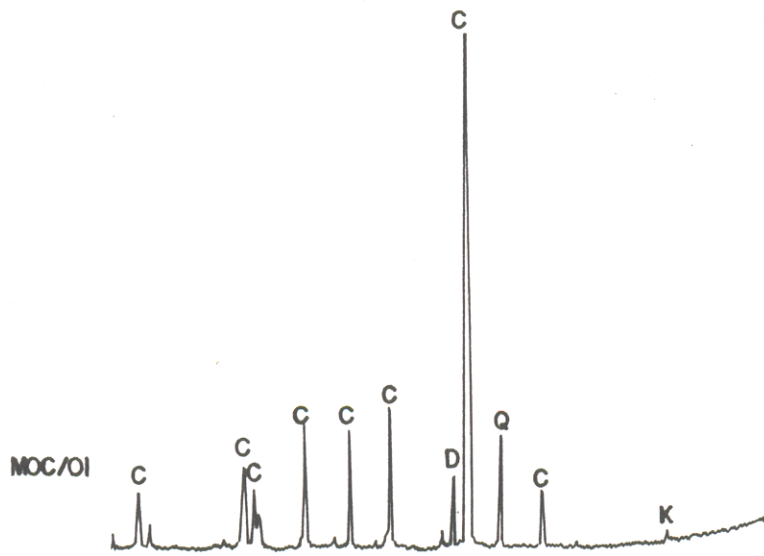
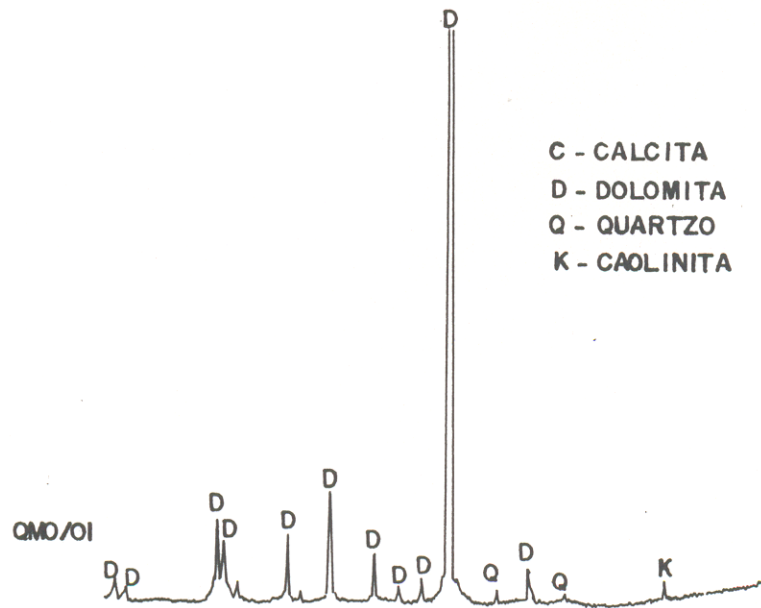
3: Cap/03 e Cap/02 - carapaça fóssil da jazida B-5 e B-11 em Capanema.  
 Cap/01 - calcário branco-amarelado da jazida B-5 e B-11 em Capanema.



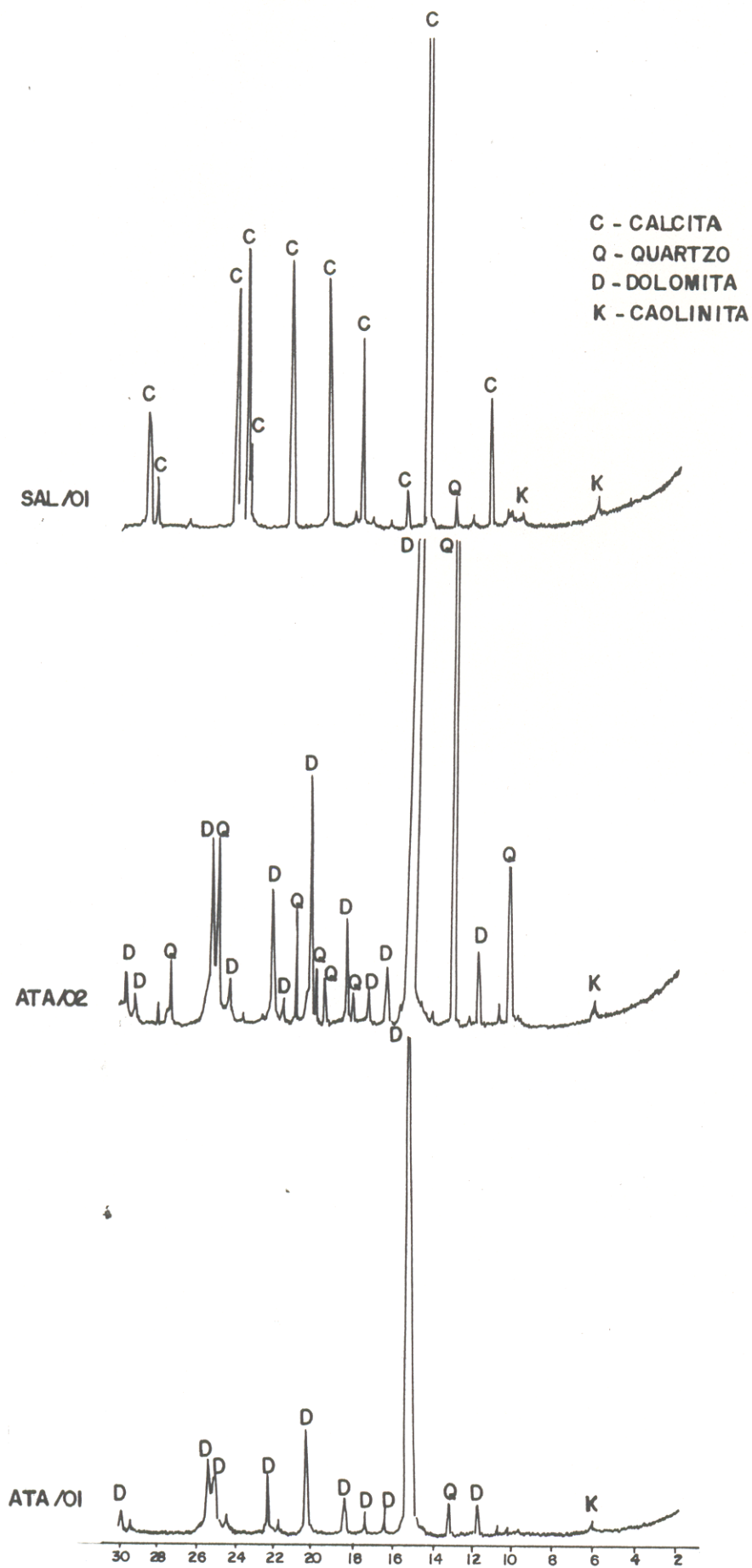
- 4: QUA/03 - Sedimento de fundo de um poço em Quatipuro.  
 QUA/02 - calcário branco argiloso do sítio Boa Vista em Quatipuro  
 QUA/01 - calcário branco-amarelado do poço Campo Grande em Quatipuro.



5: JAB/O1 - sedimento de fundo em Jaburu  
 BJE/O1 - sedimento de fundo em Bom Jesus  
 SPP/O1 - sedimento de fundo do rio São João de Pirabas.



6: QMO/01 - carapaça fóssil da Ponta de Fortaleza em 40 do Mocoóca  
 MOC/01 - calcário branco-amarelado da Ponta de Fortaleza em 40 do Mocoóca  
 MOC/02 - calcário cizento-esbranquiçado da prata do viarejo em 40 do Mocoóca.



7: SAL/01 - calcário fossil da base da falésia em Salinópolis  
 ATA/01 e ATA/02 - calcário cinzento da praia do Atalaia em Salinópolis



**FOTO 01. PO/CAM - CAPTAÇÃO CAMPINHO (CAPANEMA).  
CAIXA RECEPTORA DE 24 POÇOS. PROFUNDIDADE MÉDIA DOS POÇOS 9 - 12 m.**



**FOTO 02. IG/CHA - IGARAPÉ CHACARA (PRIMAVERA).  
ÁGUAS LIGEIRAMENTE CASTANHO-CLARAS, TÍPICAS DE IGARAPÉ COM  
INFLUÊNCIA DE FLORESTA. FUNDO DE AREIA BRANCA.**



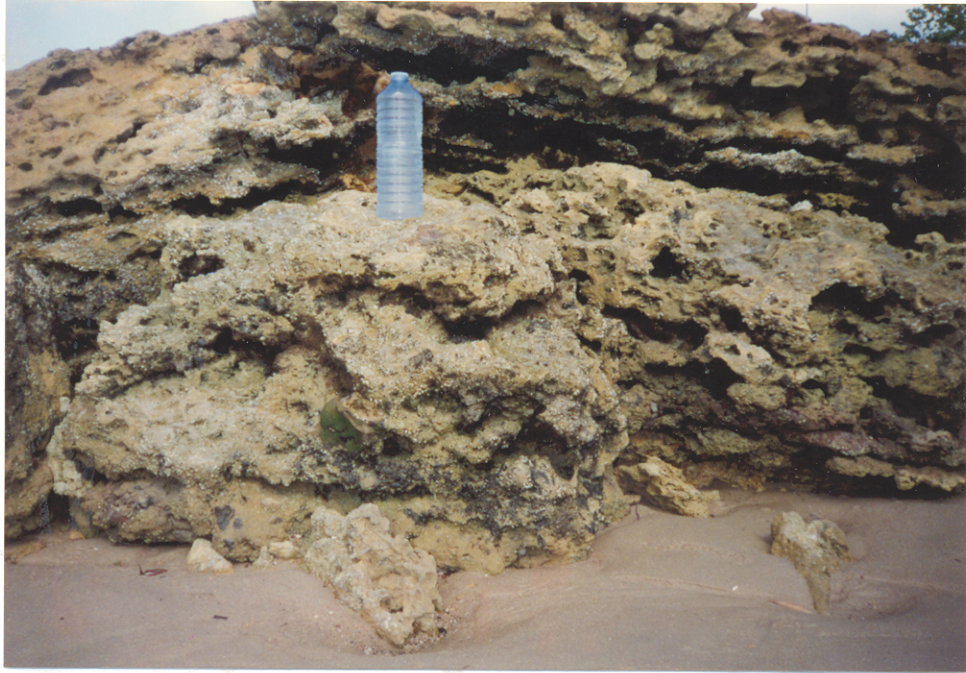
**FOTO 03. IG/APE - IGARAPÉ APETEUA (MARACANÃ).  
ÁGUAS CASTANHO-AVERMELHADAS COM BASTANTE VEGETAÇÃO EM  
DECOMPOSIÇÃO.**



**FOTO 04. IG/PAT - IGARAPÉ PATAUÁ .  
ÁGUAS CLARAS, LIGEIRAMENTE CASTANHO-AVERMELHADAS. VEGETAÇÃO  
ABUNDANTE COM AFLORAMENTO DE CALCÁRIO NO LEITO E NAS MARGENS.  
FUNDO DE AREIA BRANCA.**



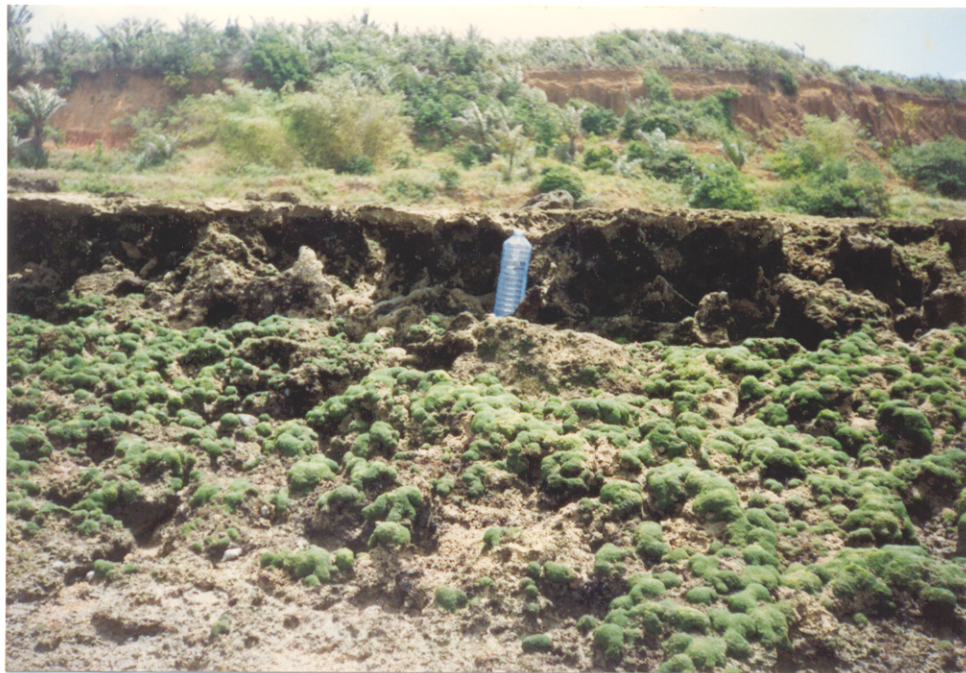
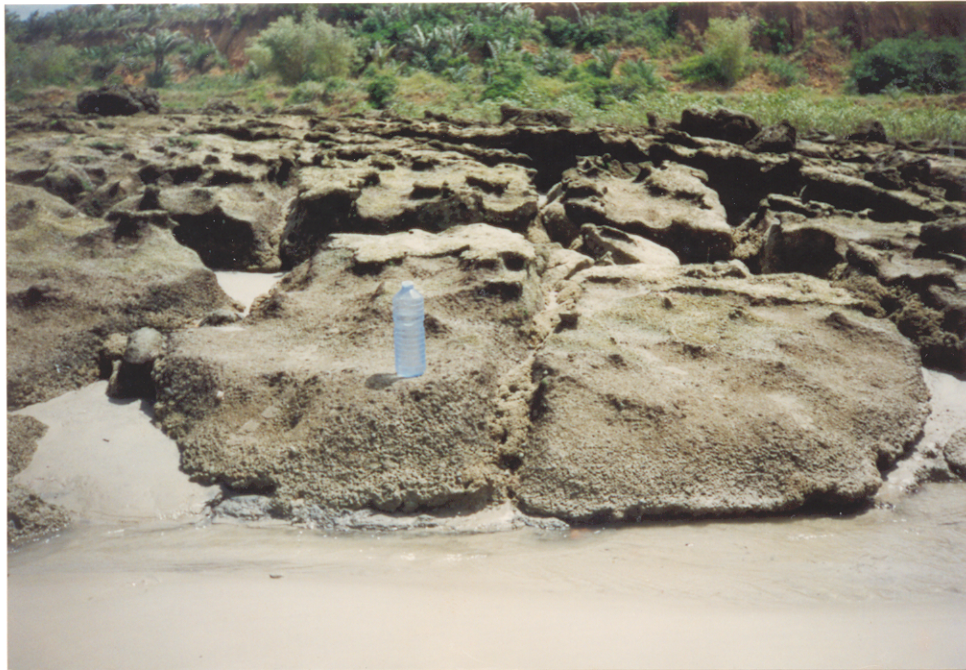
**FOTO 05. ATA - ATALAIA (SALINÓPOLIS)  
LAGE DE CALCÁRIO NO PRIMEIRO PLANO. AREIA DA PRAIA  
NO SEGUNDO PLANO E CASAS NO ULTIMO PLANO.**



**FOTO 06. PÉ DA FALÉSIA (SALINÓPOLIS).  
CALCÁRIO AFLORANTE NA PRAIA.**



**FOTO 07. PONTA DA CASTELO (ILHA FORTALEZA, SÃO JOÃO DE PIRABAS).  
CALCÁRIO AMARELO-ACINZENTADO, POROSO, FOSSILÍFERO,  
MUITO DURO.**



**FOTO 08. MOC - MOCOÓCA (ILHA).  
CALCÁRIO CINZENTO-ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO,  
MUITO DURO E CONTENDO MATERIAL LATERÍTICO.**