

## INTERPRETAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ILHA DE MARAJÓ.

Antonio Carlos F. N. S. Tancredi (\*)

José Ribamar Bogéa Lobato (\*\*)

Vitor Hugo Serra (\*\*)

### RESUMO

As pesquisas desenvolvidas pelo IDESP na Ilha de Marajó possibilitaram estudos de hidrogeoquímica das águas subterrâneas. As amostras foram coletadas em poças escavadas e em poços tubulares. Os resultados das análises físico-químicas evidenciaram significativas variações nas concentrações dos parâmetros de qualidade de água, refletindo a complexidade hidrogeológica da área. As maiores concentrações de sólidos totais dissolvidos ocorrem na parte central e norte da área, sendo pequena na parte sul, sudeste e no roeste. As águas são predominantemente do tipo sódio-cloretada, seguidas pelos tipos mista-cloretada e mista-bicarbonatada. A utilização de diagramas semi-logarítmicos de Schoeller possibilitou o agrupamento das águas subterrâneas com características químicas similares. A evolução da composição das águas subterrâneas evidencia o aumento da concentração dos íons dissolvidos das zonas de fluxo ativo em áreas de recarga para as zonas de fluxo muito lento. Misturas de águas doces com águas salobras conatas ocorrem em proporções variadas. A redução de sulfatos pela matéria orgânica e a troca de bases e adsorção são fenômenos que atuam na concentração dos íons dissolvidos.

### INTRODUÇÃO

A Ilha de Marajó situa-se no estuário do Rio Amazonas, entre os meridianos de  $48^{\circ}\text{W}$  a  $51^{\circ}\text{W}$  e entre os paralelos de  $0^{\circ}$  e  $2^{\circ}\text{S}$ , com uma superfície aproximada de  $49.606\text{km}^2$  (Fig.1).

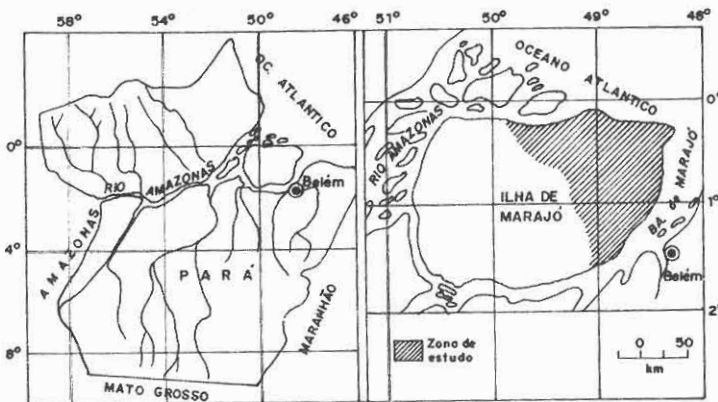


Fig. 1. Localização da área.

(\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

(\*\*) IDESP - Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará.

Fisiograficamente, apresenta duas regiões; a de mata, localizada na parte ocidental com cerca de 2/3 da área, e a de campos naturais, na parte oriental, onde foram efetuados estes estudos.

O clima é tropical úmido compreendido segundo a classificação de Köppen entre os tipos Ami e Afi, com temperatura média anual de 27°C e índice pluviométrico médio anual de 2700mm para a região dos campos naturais e 3000mm para a região de matas.

O índice evaporimétrico é de 650mm para a região de matas e 1600mm para a região de campos naturais. (Silva et al., 1977).

A geologia faz parte da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas (Schaller et al., 1971) com mais de 5000m de espessura, cuja sedimentação iniciou-se no Cretáceo com as Formações Jacarezinho e Limoeiro constituídas essencialmente por conglomerados e arenitos respectivamente; prosseguindo no Terciário com a Formação Marajó constituídas de arenitos, argilitos e folhelhos e a Formação Amapá, de carbonatos; do Mioceno ao Holoceno, aparecem os sedimentos clásticos do Grupo Pará, constituídos essencialmente por areias, siltes e argilas. Morfologicamente a Ilha de Marajó pertence a uma extensa planície cuja topografia suave dessa região, apresenta altitudes que não atingem duas dezenas de metros.

A implantação do Projeto Marajó, pelo Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará (IDESP) tem possibilitado diversas pesquisas dos recursos naturais na área, sendo este trabalho decorrente dessas atividades e uma contribuição aos estudos da região.

## MATERIAL E MÉTODO

As amostragens de água subterrânea na Ilha de Marajó constante deste trabalho foram efetuadas durante as estações secas de 1980 e 1981 e algumas ainda em 1982. As coletas foram feitas em poços escavados (PE) de profundidade de 2,50m a 8,00m e em poços tubulares (PT) de 10,50m a 80,00m de profundidade.

Essas amostras foram coletadas segundo as normas de amostragem (Rainwater and Thatcher, 1960), sendo consideradas representativas da região e dos aquíferos dos quais provêm.

As análises físico-químicas foram feitas nos laboratórios do IDESP em Belém, segundo as técnicas analíticas para água (APHA, 1971) e constaram essencialmente na determinação dos parâmetros de qualidade de água. Foram determinados: temperatura(\*), pH (\*\*), condutividade elétrica (\*\*), sólidos totais dissolvidos, alcalinidade total usando ama

---

(\*) in situ.

(\*\*) in situ e em laboratório.

rela de metila e fenolftaleína, dureza total; os maiores constituintes: Na, K, Ca, Mg, Cl,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  e ainda Fe total,  $\text{NO}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , em 108 amostras de águas subterrâneas.

#### APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das análises foram apresentados em mg/l (miligrama por litro). Para melhor interpretação foram transformados na unidade de meq/l (miliequivalente por litro) unidade que expressa a equivalência química relacionada ao peso atômico do elemento. Para a classificação das águas, as quantidades de cada íon, expressas em meq/l dos maiores constituintes em solução (Na, K, Ca, Mg, Cl,  $\text{HCO}_3$  e  $\text{SO}_4$ ) foram transformados em porcentagens do total de cátions e do total de ânions.

O Quadro I, apresenta os resultados dos parâmetros analisados para os valores extremos. O Quadro II apresenta o resultado de diversas amostras selecionadas, de concentrações pequenas a elevadas. A localização dos pontos de amostragem consta na Figura 2. A Figura 3 apresenta, em diagramas de barras verticais, amostras de águas subterrâneas de pequenas a elevadas concentrações.

**Quadro I.** Parâmetros mínimos e máximos determinados nas análises físico-químicas das águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

Parâmetro	Mínimo	Máximo
-Temperatura	26,0°C	29,5°C
-pH	4,4	7,7
-Condutividade Elétrica	15 $\mu$ S/cm	15.000 $\mu$ S/cm
-Sólidos Totais Dissolvidos	13 mg/l	11.169mg/
-Alcalinidade Total	0,0mg/l de $\text{CaCO}_3$	1.377mg/l de $\text{CaCO}_3$
-Dureza Total	3,71mg/l de $\text{CaCO}_3$	1.775mg/l de $\text{CaCO}_3$
-Na	0,90 mg/l	3,150 mg/l
-K	0,01 mg/l	98 mg/l
-Ca	0,72 mg/l	168 mg/l
-Mg	0,14 mg/l	376 mg/l
-Fe	0,00 mg/l	3,60 mg/l
-Cl	1,35 mg/l	9,380 mg/l
- $\text{HCO}_3$	0,00 mg/l	845 mg/l
- $\text{SO}_4$	0,00 mg/l	740 mg/l
- $\text{NO}_3$	0,00 mg/l	8,80 mg/l
- $\text{SiO}_2$	0,64 mg/l	983 mg/l

**Quadro II.** Parâmetros de qualidade de água obtidos nas análises físico-químicas de amostras de água subterrânea da Ilha de Marajó.

	PT-37	PT-16	PT-3	PT-12	PT-21	PE-4	PE-30	PE-31	PE-6	PT-7
Temperatura (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	26.5	27.0	28.0	28.0	27.5	26.5
pH	5.0	5.3	5.3	7.0	6.3	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Condutividade Elétrica (µS/cm)	50	56	120	200	1300	1400	1750	840	6000	1420
Sólido Totais Dissolvidos (mg/l)	22	34	77	153	701	924	1005	2236	4554	6930
Alcalinidade Total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	8.5	2.0	2.0	70	153	582	225	345	390	520
Dureza Total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	12.5	4.9	22	77	124	587	274	346	637	1031
Na (mg/l)	2.6	2.6	18	29	150	85	282	600	1240	3150
K (mg/l)	0,7	0.0	0.2	3.0	11.3	50	11.3	35	48	27
Ca (mg/l)	1.4	1.0	7.8	11.2	27	73	16.5	22	56	117
Mg (mg/l)	2.2	0.6	0.6	11.8	13.5	98	56	70	121	179
Fe (mg/l)	0.0	1.3	1.2	1.5	1.1	0.0	1.8	1.8	0.8	2.9
Cl (mg/l)	1.4	5.2	30	50	1050	144	448	900	2043	5225
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	10.4	2.4	2.4	85	187	709	274	490	475	634
SO <sub>4</sub> (mg/l)	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27	2.9	30	40	0.0
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.0	0.5	2.6	0.1	0.0	1.2	0.1	0.0	0.2	0.5
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	6.4	48	104	594	45	923	803	983	481	570

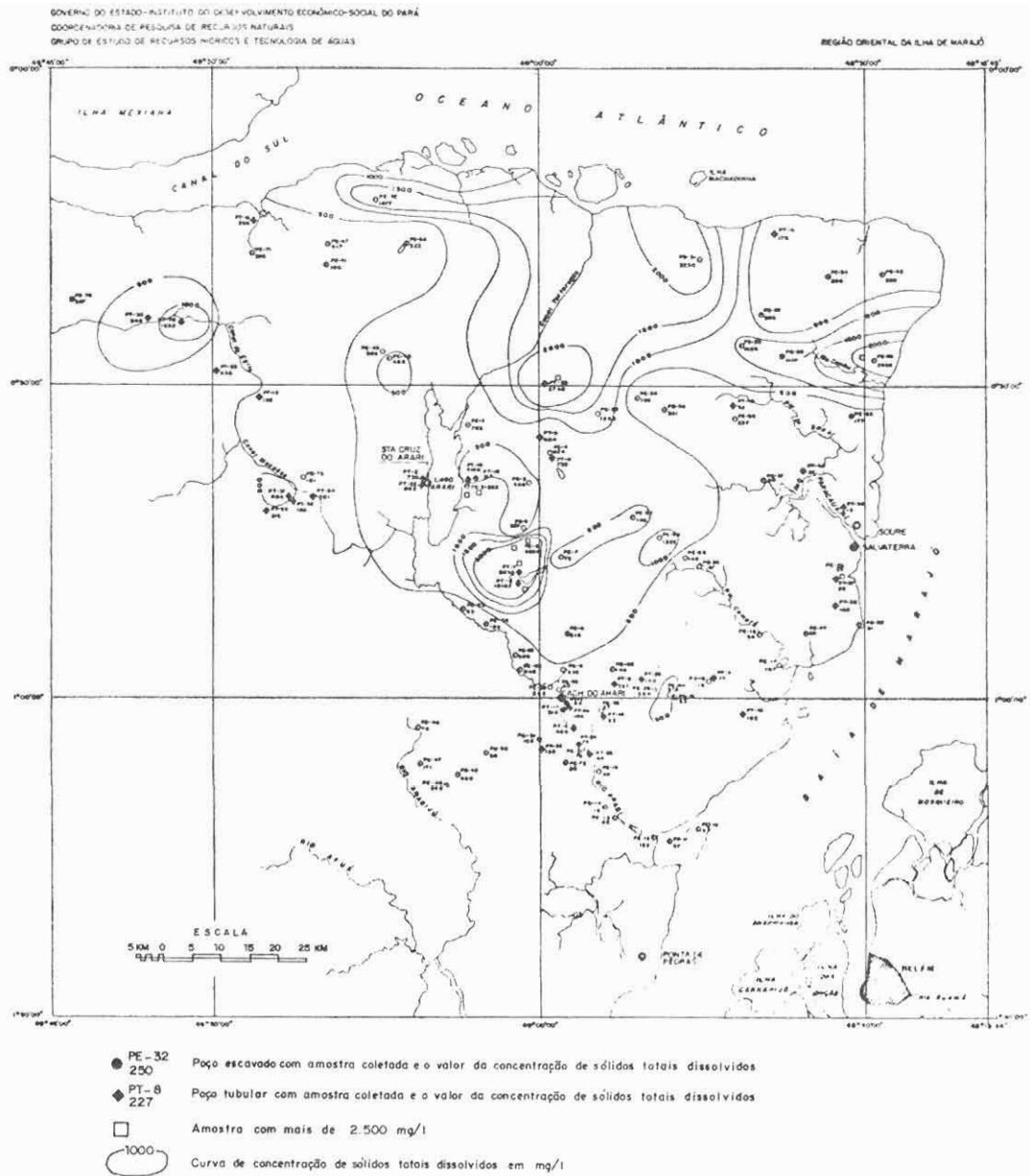


Fig. 2. Mapa de concentração de sólidos totais dissolvidos em águas subterrâneas.

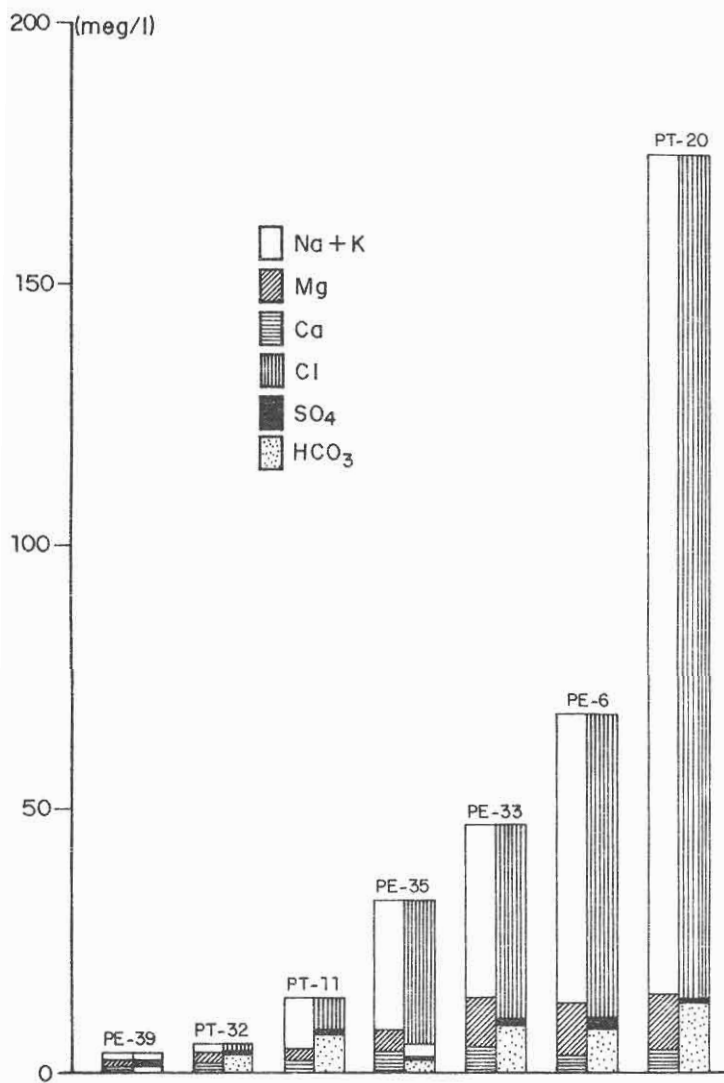


Fig. 3. Diagrama de barras verticais das águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

## Parâmetros Determinados

### Temperatura

A temperatura de água subterrânea e sua variação são inerentes às condições climáticas da região. A temperatura tem grande influência na solubilização de compostos naturais na água. Nos trabalhos do IDESP na região de Marajó a temperatura da água subterrânea está compreendida entre 25,0°C e 29,5°C sendo de 27,5°C a média.

Nas amostras constantes deste trabalho a temperatura apresentou variação de 26,0°C a 29,5°C.

### pH

O pH das águas subterrâneas refere-se a atividade do íon hidrogênio devido à sua concentração e indica balanço entre os ácidos e as bases (álcalis) na água. Na região de Marajó há uma predominância de pH ácidos para a maioria das águas superficiais e subterrâneas. Nas amostragens o valor do pH situou-se entre 4,4 e 7,7.

### Alcalinidade

A alcalinidade relaciona-se com a capacidade da água para neutralizar um ácido e indica a presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos na água, sendo afetada pelo pH, temperatura e outros fatores. Os valores da alcalinidade nas análises estão compreendidos entre 0,00 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  e 1.377 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

### Dureza

A dureza é principalmente determinada pelos sais de cálcio e magnésio. A presença de outros constituintes como ferro, alumínio e manganês podem contribuir na dureza total, porém pouco.

Os valores obtidos estão na faixa de 3,71 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  à 1.775 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

### Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água relaciona-se à capacidade de conduzir a corrente elétrica. A condutividade elétrica normalmente varia com a temperatura e com a concentração de íons dissolvidos.

Os valores obtidos, são corrigidos para 25,0°C e oscilam entre 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 15.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos dissolvidos representam a quantidade de substâncias em solução na água. Na região de Marajó essa variação é bastante acentuada, sendo uma parte das águas subterrâneas, considerada salobra (de 1.000 mg/l à 10.000 mg/l).

Na Figura 2 é apresentada a distribuição espacial dos sólidos totais dissolvidos na região de Marajó, podendo-se notar águas subterrâneas com grandes concentrações na parte central da área. Os valores situaram-se entre 13 mg/l e 11.169 mg/l.

### Sódio e Potássio

O sódio e potássio são os principais metais alcalinos presentes nas águas naturais, sob a forma de cátions. Os compostos de sódio e potássio são em geral solúveis, sendo facilmente lixiviados e permanecendo em solução. O sódio é o principal constituinte catiônico das águas subterrâneas de Marajó, com valores compreendidos entre 0,90 mg/l a 3.150 mg/l. O potássio apresenta valores de 0.01 mg/l a 98 mg/l.

### **Cálcio e Magnésio**

O cálcio e o magnésio são metais alcalinos-terrosos comuns nas águas naturais, na forma de cátions. São a principal causa da dureza da água. Os teores apresentam 0.72 mg/l a 168 mg/l para o cálcio e para o magnésio 0.14 mg/l a 376 mg/l.

### **Ferro**

O ferro é um metal encontrado tanto como íon ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) como íon férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) na água subterrânea. Nas análises foi determinado o ferro total, na forma de  $\text{Fe}^{3+}$ , sendo o  $\text{Fe}^{3+}$  previamente reduzida a forma de  $\text{Fe}^{2+}$ . Os teores apresentam valores de 0.00 mg/l a 3.60 mg/l.

### **Cloreto**

O cloreto é um dos principais ânion das águas naturais, sendo um constituinte bastante estável. Em geral a concentração de cloreto aumenta nas águas naturais às proximidades do oceano. Nas águas subterrâneas de Marajó a concentração de cloreto tem uma amplitude de variação muito grande, sendo o principal ânion em solução. Os teores estão compreendidos entre 1,35 mg/l a 9.380 mg/l. Os elevados teores de cloreto estão geralmente associados aos elevados teores de sódio.

### **Bicarbonato**

O bicarbonato nas águas naturais é parte do ciclo do carbono, estando relacionado com o pH. Os resultados das análises apresentaram valores de 0.00 mg/l a 845 mg/l.

### **Sulfato**

O sulfato é um ânion estável, sendo a forma oxidada do enxofre. Nas águas subterrâneas em contato com material carbonoso pode haver uma oxidação da matéria orgânica acompanhada pela redução dos sulfatos, resultando na produção de  $\text{H}_2\text{S}$  (gás sulfídrico) e diminuição do teor dos íons de sulfato. A presença de  $\text{H}_2\text{S}$  nas águas subterrâneas de Marajó foi constatada em grande parte da região, o que explica também os baixos teores de sulfato em grande parte das amostras. Os valores vão de 0.00 mg/l a 740 mg/l.

### **Nitrato**

O ânion nitrato é a principal forma de nitrogênio nas águas naturais e resulta da oxidação completa dos compostos de nitrogênio. Nas análises de Marajó os valores estão compreendidos entre 0.00 mg/l a 8,80 mg/l.

### **Sílica**

A sílica ocorre no estado coloidal, nas águas naturais. As concentrações de sílicas podem ser grandes em águas salobras. Na região de Marajó os valores situaram-se entre 0,64 mg/l a 983 mg/l.

### **Tipos de Água**

As Figuras 4a, b, e c, apresentam a composição dos maiores íons em solução no diagrama trilinear de Piper (Piper, 1944), em uma base de percentagem. O tipo químico da água resulta da proporção de cada um desses maiores constituintes em solução. A predominância nas águas subterrâneas de Marajó são das águas sódio-cloretadas com 40% seguindo-se das águas mista-cloretadas com 17% e mista-bicarbonatadas com 13%. Os grupos menores constituem-se de águas sódio-bicarbonatadas 7,5%, magnésio-bicarbonatadas 5,6%, cálcio-bicarbonatadas 4,6%, cálcio-cloretadas 3,7% e os grupos restantes com cerca de 7,5%.



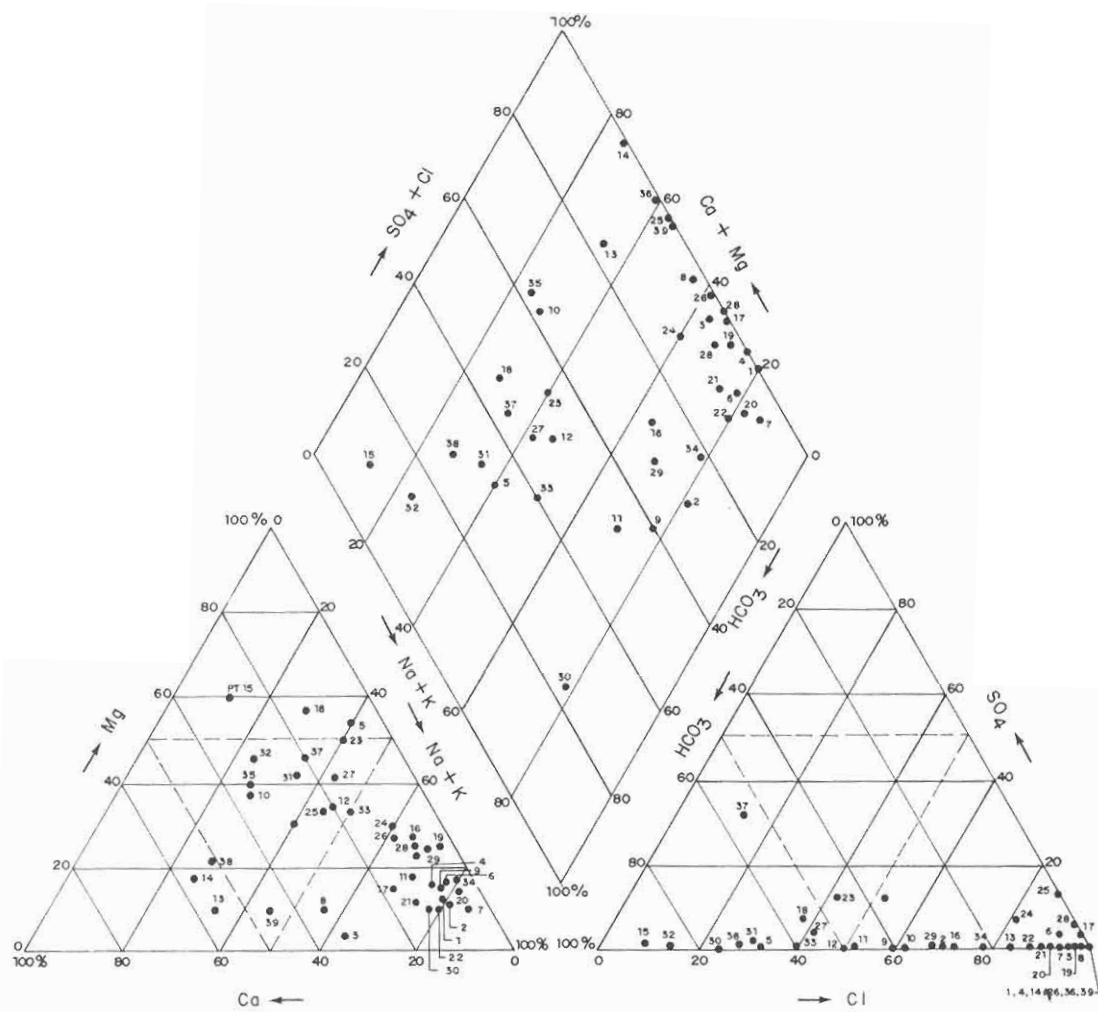


Fig. 4a. Diagrama trilinear de Piper das águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

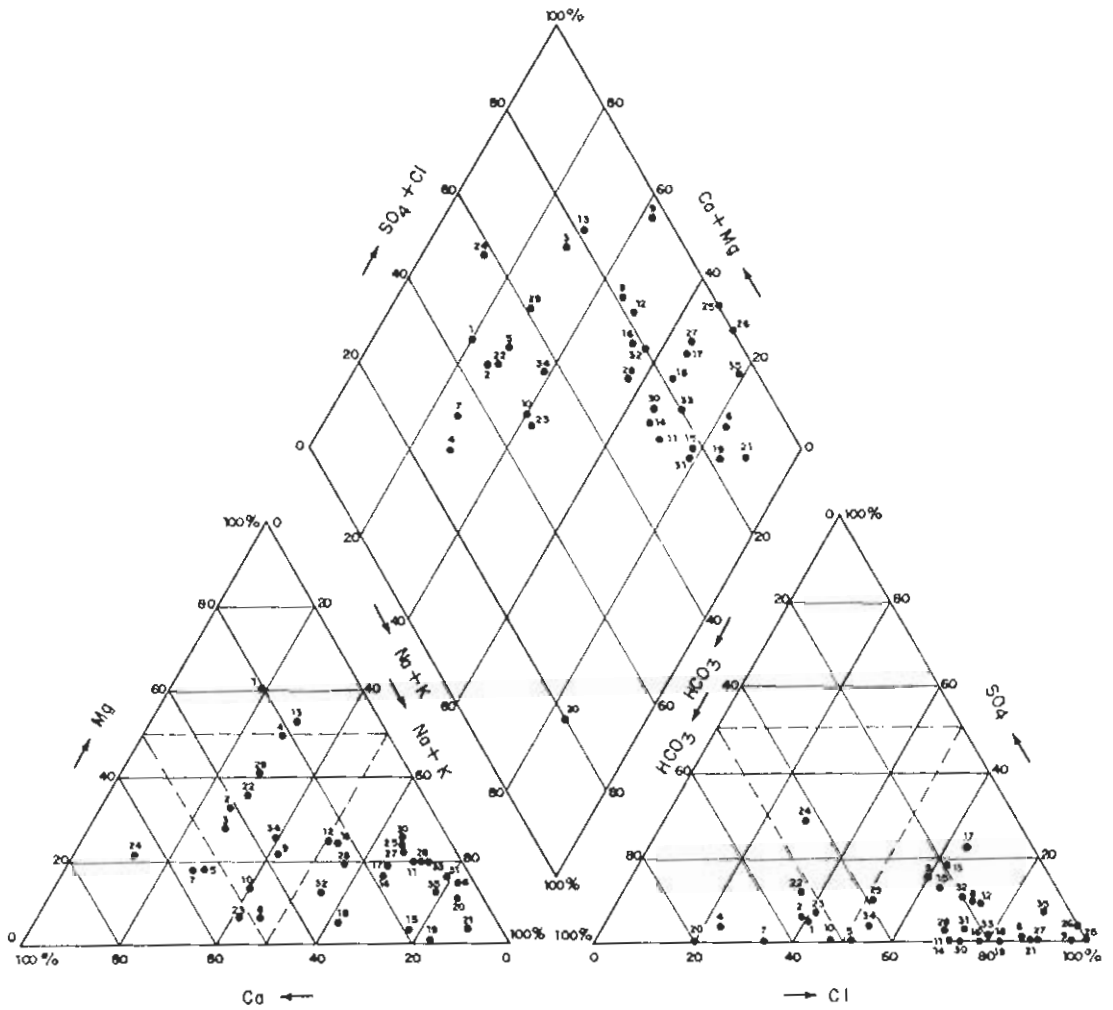


Fig. 4b. Diagrama trilinear de Piper das águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

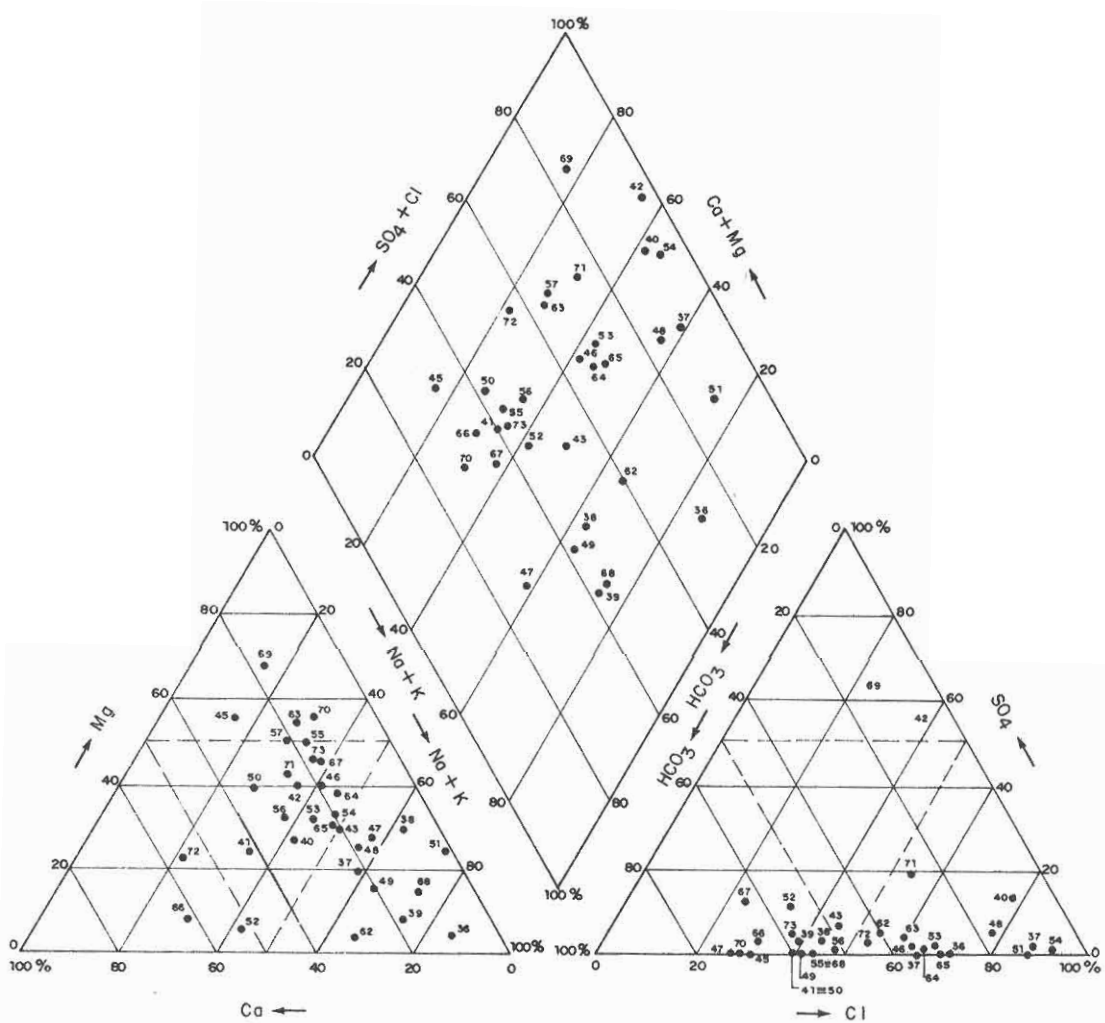


Fig. 4c. Diagrama trilinear de Piper das águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

A Figura 5 apresenta a frequência dos íons dos maiores constituintes separadamente. O grupo predominante relativo aos ânions são os das águas cloretadas com 62%, subordinadamente aparecem as águas bicarbonatadas com 32%, sendo apenas de 4% e de 2% as águas mistas e sulfatadas respectivamente. Com relação aos cátions o grupo mais freqüente é o das águas sódicas com 47%, seguindo-se pelo grupo de águas mistas com 34%; às águas cálcicas e magnesianas aparecem com 10% e 9% respectivamente.

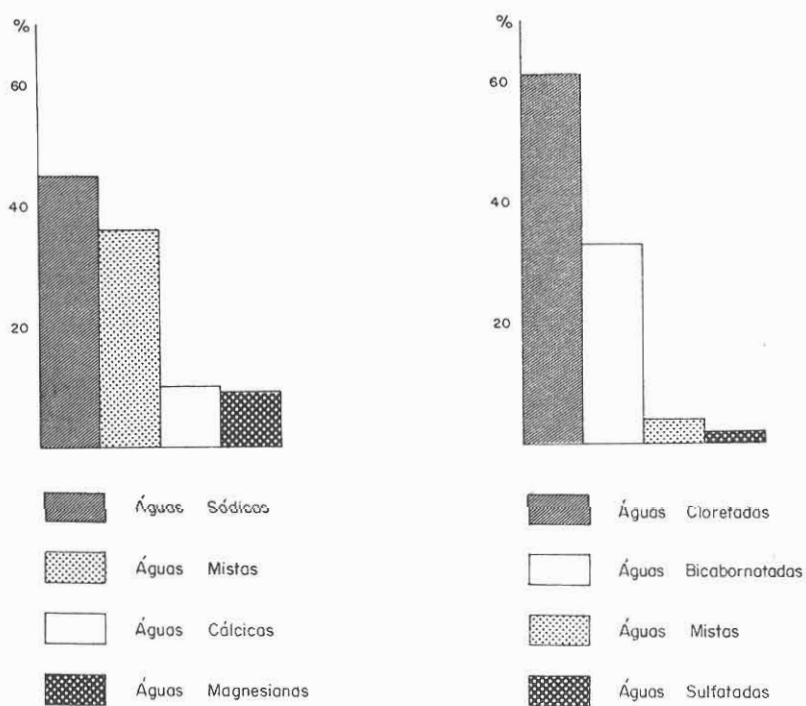


Fig. 5. Diagrama de frequência dos tipos catiônicos e aniônicos das águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

## INTERPRETAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

A geologia da parte superior da Ilha de Marajó apresenta uma seqüência de sedimentos clásticos pertencentes ao Grupo Pará, constituídas por argilas, siltes, areias e concreções lateríticas. Até uma profundidade de cerca de 100m há uma alternância de argilas, siltes e areias bastante variáveis. As águas subterrâneas têm origem meteórica, ou seja, a partir da infiltração direta e/ou diferencial de águas pluviais. Uma parte porém, evidenciada pelas análises resulta provavelmente da mistura em proporções variadas com águas conatas.

Variações significativas aparecem em quase todos os parâmetros analisados e refletem a complexidade hidrogeológica da região. A água subterrânea durante seu movimento carrega-se em materiais dissolvidos e sua composição evolui em função principalmente da solubilidade e disponibilidade dos minerais encontrados.

### Diagramas Semi-Logarítmicos de Schoeller

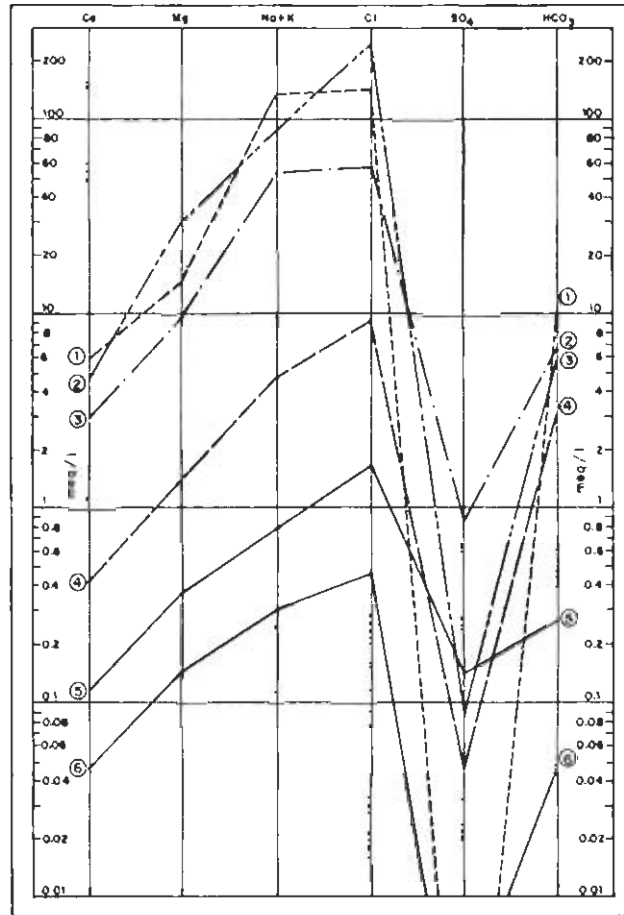
As Figuras 6 a 12 são de análises de águas subterrâneas de Marajó em diagramas semi-logarítmicos de Schoeller (Schoeller, 1962) apresentando as mudanças que ocorrem nas concentrações dos íons dos maiores constituintes, fornecendo uma importante base de interpretação hidrogeoquímica. Os gráficos mostram não somente os valores absolutos como também a relação entre esses componentes. Essas análises foram plotadas em grupos mostrando características químicas similares.

Na Figura 6 estão representadas as águas caracterizadas pela relação  $r\text{Ca} < r\text{Mg} < r\text{Na}$  e  $r\text{SO}_4 < r\text{HCO}_3 < r\text{Cl}$  (\*). Este grupo é o que apresenta a maior amplitude de variação de concentração dos constituintes e tem ampla distribuição espacial na área. Caracteriza-se por elevadas concentrações relativas de Na e Cl e baixa concentração de  $\text{SO}_4$ . A relação  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$  é sempre maior que 1, e algumas águas apresentam índices positivos de troca de base, evidenciado pela obliquidade do segmento  $r\text{Na}-r\text{Cl}$ . O aumento das concentrações relativas observado nas diversas amostras de água desse grupo está relacionada ao tempo e percurso da água subterrânea das zonas de fluxo ativo (zonas de recarga) para as zonas de fluxo muito lento.

A baixa concentração de  $\text{SO}_4$  é devido à oxidação anaeróbica da matéria orgânica.

---

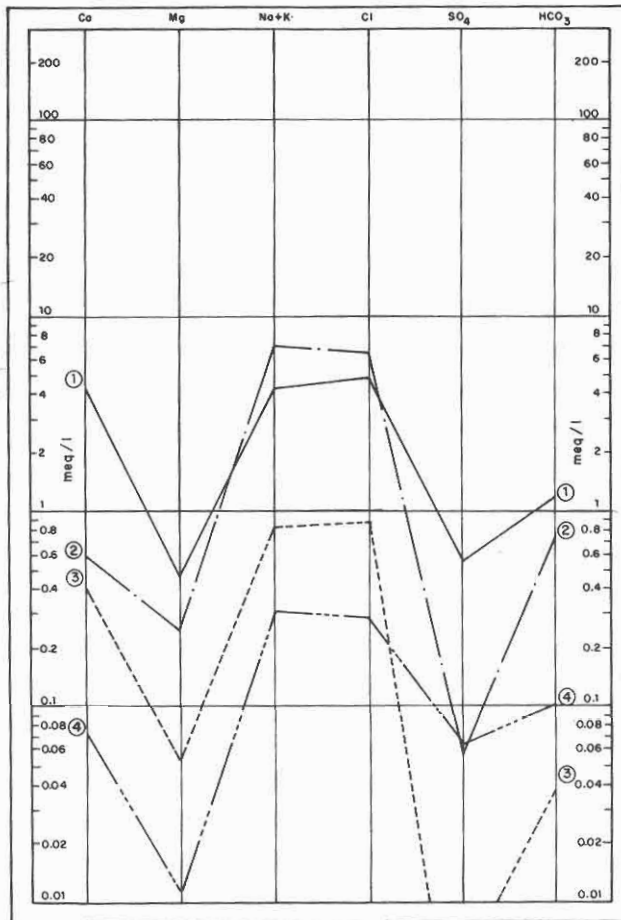
(\*) A letra (r) à frente dos radicais iônicos indicam que os valores são expressos em meq/l.



- |             |             |
|-------------|-------------|
| (1) PT - 7  | (4) PT - 29 |
| (2) PT - 19 | (5) PT - 26 |
| (3) PE - 6  | (6) PE - 27 |

Fig. 6. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas Subterâneas da Ilha de Marajó.

A Figura 7 apresenta as águas caracterizadas pela relação  $rMg < rCa \gtrsim rNa$  e  $rSO_4 < rHCO_3 < rCl$ . Este grupo é semelhante ao anterior, diferindo somente na relação  $rMg/rCa$  que é sempre menor que 1. A amplitude de variação é também menor; as águas deste grupo são relacionadas às zonas de recarga principalmente.

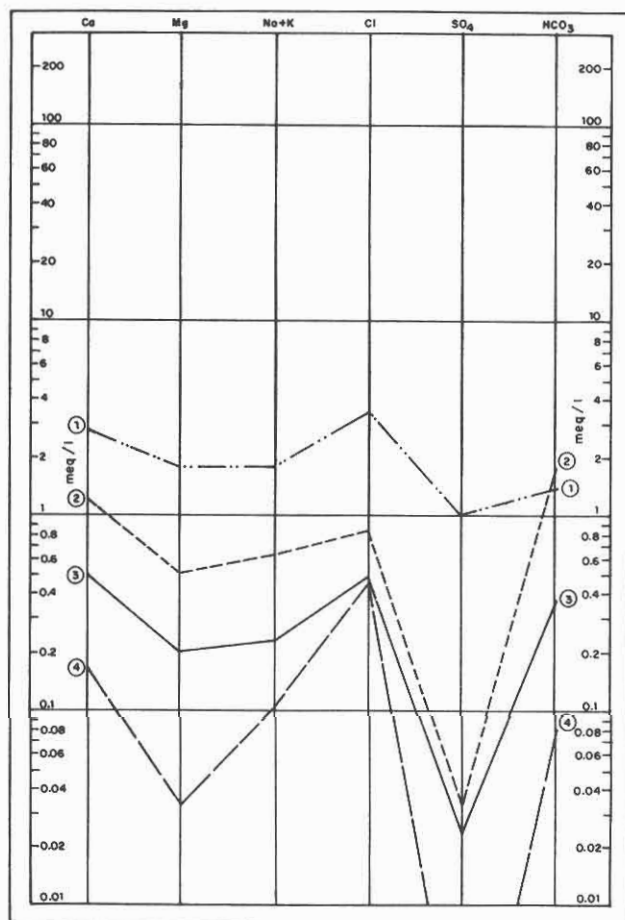


(1) PE - 8      (3) PT - 3  
 (2) PE - 21    (4) PE - 15

Fig. 7. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

A Figura 8 apresenta as águas caracterizadas pela relação  $rMg < rNa < rCa$  e  $rSO_4 < rHCO_3 \gtrsim rCl$ . Este grupo apresenta elevadas concentrações relativas de Cl e Ca, relação  $rMg/rCa$  menor que 1, índice positivo de troca de base, baixas concentrações de  $SO_4$ , porém maior que os grupos anteriores. A concentração relativa de  $HCO_3$  também é elevada.

Interpretação hidrogeoquímica das ...

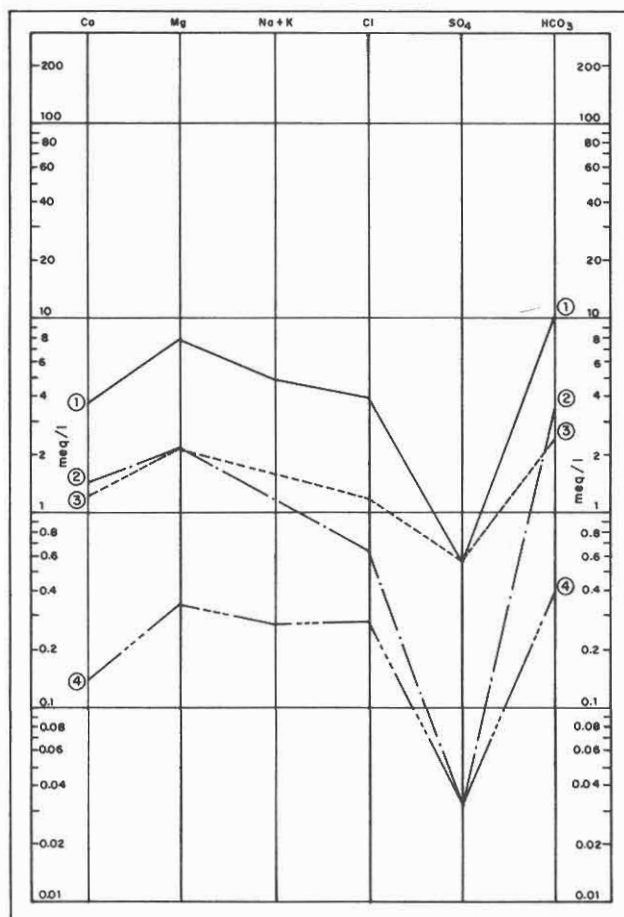


(1) PE - 3      (3) PE - 72  
 (2) PT - 38    (4) PT - 13

Fig. 8. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

A Figura 10 apresenta águas caracterizadas por  $rCa \geq rNa < rMg$  e  $rSO_4 < rHCO_3 \geq rCl$ . Este grupo possui altas concentrações relativas de Mg, Cl e  $HCO_3$ , relação  $rMg/rCa$  maior que 1, índice de troca de base positivo. Possui amplitude de variação grande e suas águas têm grande distribuição na área, indo de zonas de recarga a zonas de fluxo lento.

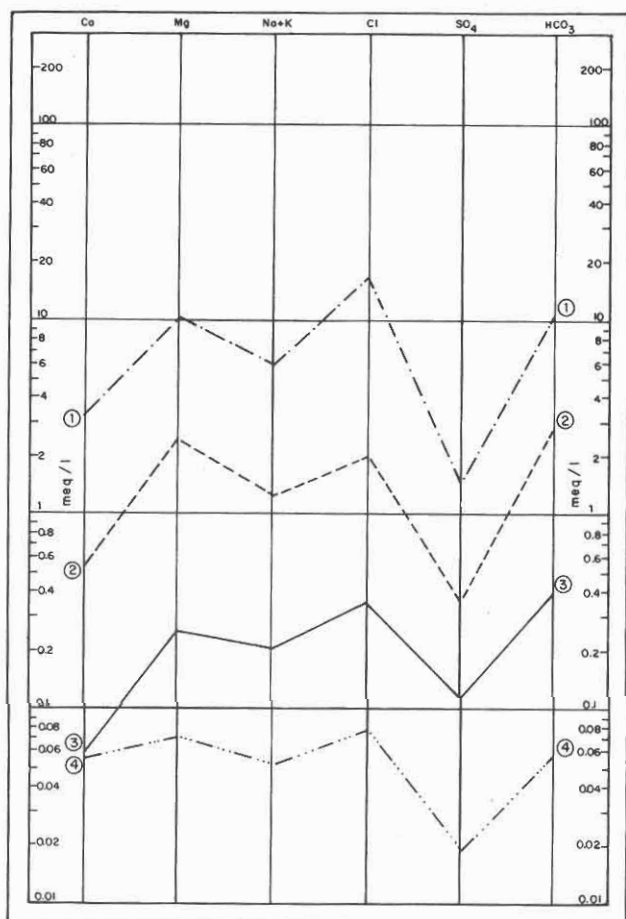




(1) PE - 4      (3) PT - 31  
 (2) PT - 32      (4) PE - 73

Fig. 9. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

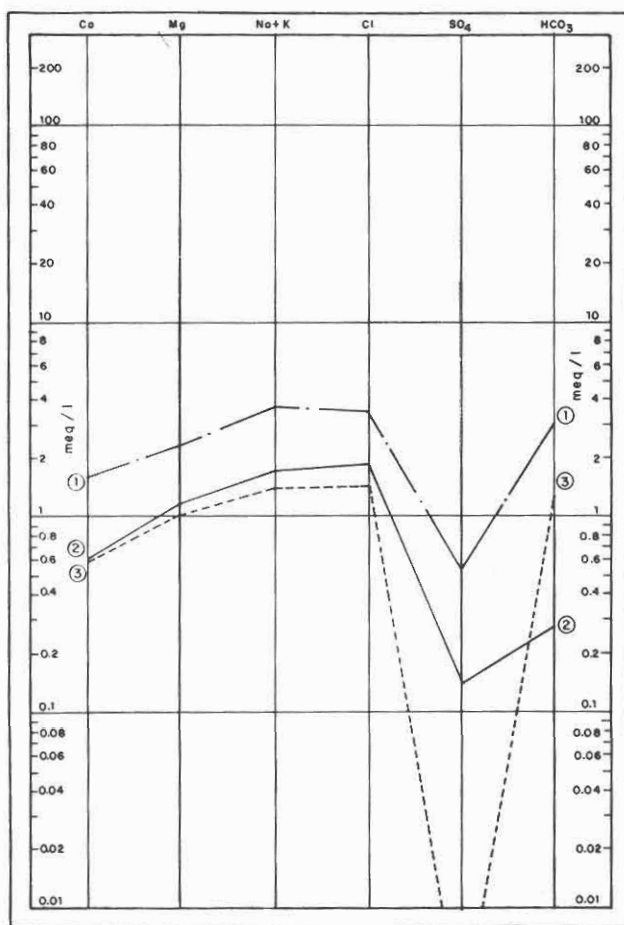
A Figura 9 apresenta as águas caracterizadas pela relação  $rCa < rNa < rMg$  e  $rSO_4 < rCl < rHCO_3$ . Apresenta elevadas concentrações de Mg e de  $HCO_3$ ; o índice de troca de base é negativo, a relação  $rMg/rCa$  é maior que 1.



(1) PE - 63      (3) PT - 23  
 (2) PT - 18      (4) PT - 35

Fig. 10. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

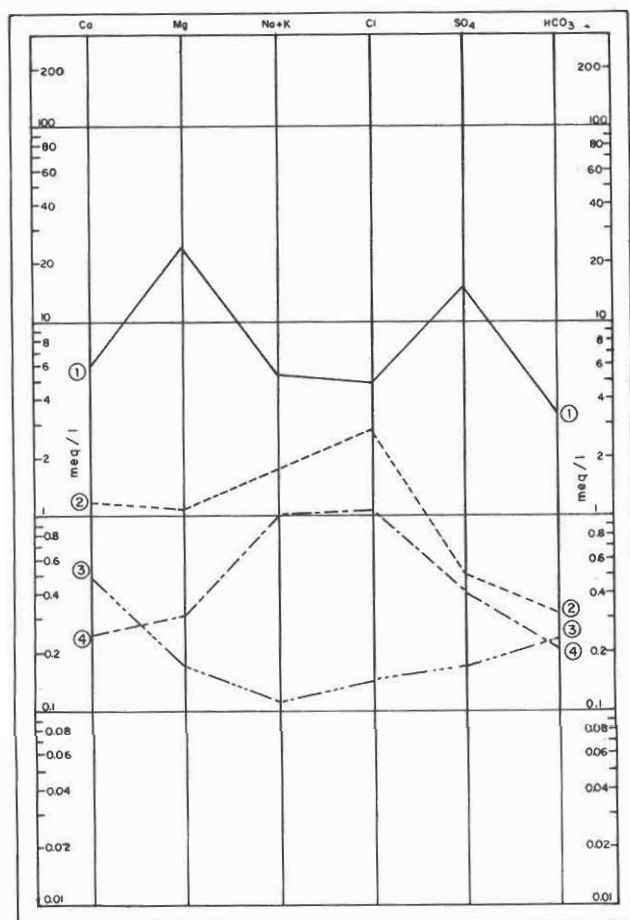
A Figura 11 apresenta águas caracterizadas por  $rCa < rMg < rNa$  e  $rSO_4 < rCl < rHCO_3$ ; este grupo, semelhante ao da Figura 6, porém com  $HCO_3$  predominante e com pequenas amplitudes de variações. As concentrações de  $SO_4$  são relativamente mais baixas.



(1) PE - 43      (3) PT - 12  
 (2) PT - 33

Fig. 11. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas subterrâneas da Ilha de Marajó.

A Figura 12 apresenta análise de algumas águas que não se enquadram nos grupos anteriores. Essas águas possuem concentrações relativas de  $SO_4$  como principal ânion (PE-69), ou como intermediárias, nas demais. Esse grupo tem distribuição pequena nas amostras analisadas de Marajó.



(1) PE - 69      (3) PE - 24  
 (2) PE - 40      (4) PE - 17

Fig. 12. Diagrama Semi-Logarítmico de Águas Subterrâneas da Ilha de Marajó.

### Evolução Hidrogeoquímica

A composição química da água subterrânea varia durante o seu percurso através do meio no qual circula sob a ação de uma variedade de processos geoquímicos.

Nos terrenos sedimentares, quando a água flui através de camadas de composições mineralógicas diferentes, a composição da água é submetida a diferentes condições termodinâmicas controladas pela composição mineralógica da camada.

Nos fluxos naturais de água subterrânea a concentração de sólidos totais dissolvi

dos aumenta com a profundidade, com o percurso e tempo de contato com o meio no qual circula.

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial da concentração de sólidos dissolvidos nas águas subterrâneas dos aquíferos da parte superior da Ilha de Marajó. As partes sul, sudeste e noroeste apresentam valores menores que 500mg/l e a parte central e norte valores maiores.

Esses resultados concordam com os de prospecção por resistividade elétrica realizado pelo IDESP (IDESP, 1974) nessa região.

Os diagramas semi-logarítmicos de Schöeller das águas subterrâneas mostram grupos com relações paramétricas idênticas e concentrações absolutas de pequenas a muito elevadas. A evolução hidrogeoquímica da água subterrânea nessa área mostra uma seqüência de águas doces a salinizadas numa distribuição espacial relativamente pequena. Essas águas salinizadas são águas conatas ou misturas das mesmas com águas doces.

A distância do mar, o elevado índice pluviométrico da região, e a presença generalizada de formações de baixa permeabilidade, além de outros fatores, excluem completamente a hipótese de infiltração de água marinha.

As águas conatas resultam da deposição conjunta com os sedimentos, de águas marinhas ou salobras, durante a evolução dos processos deposicionais de várias formações geológicas em Marajó. O termo água de formação é mais apropriado para essas águas.

As águas salobras nessa região possuem elevados teores de cloreto e sódio e subordinadamente bicarbonatos e magnésio. Essas águas, de acordo com suas relações paramétricas e teores de concentração resultam da mistura em proporções variadas de águas doces de origem pluvial com águas conatas, de origem marinha. A água marinha provavelmente já foi substituída porém a salinidade ainda não foi completamente lixiviada.

A fotointerpretação hidrogeológica realizada em fotografias aéreas e imagens de radar evidencia estruturas lineares alongadas, de paleocanais assoreados e na parte leste do Lago Ararí, onde ocorre as águas de maior salinidade, há evidência de uma paleolaguna assoreada. Porsani (1981) sugere que a região tenha sido ocupada por um lago maior evoluindo para o atual Lago Arari. Na Ilha de Marajó a velocidade de escoamento e o gradiente hidráulico das águas subterrâneas são muito pequenos e estão subordinados ao relevo topográfico plano de pequenas altitudes e à permeabilidade baixa devido a grande distribuição de formações argilosas em superfície.

Entre os diversos processos hidrogeoquímicos atuantes na composição das águas subterrâneas de Marajó pode-se destacar dissolução, a redução de sulfatos e a troca de base e adsorção.

#### **Dissolução**

A dissolução de minerais durante o fluxo subsuperficial da água subterrânea pode aumentar ou diminuir dependendo de muitos fatores como temperatura, pressão, tipo de aquífero, velocidade de fluxo e tempo de contato com o meio. A grande variação na concentração dos materiais dissolvidos nas águas de Marajó, reflete a dissolução pequena nas zonas de fluxo ativo, zonas de recarga das águas subterrâneas, aumentando para as zonas de fluxo lento.

Além da dissolução pode-se citar a concentração por evaporação, fenômeno que ocorre na superfície sendo função de fatores climáticos. As chuvas podem posteriormente conduzir as águas concentradas pela evaporação até os aquíferos.

A dissolução de materiais durante o percurso da água subterrânea em terrenos de composição mineralógica diferentes pode também resultar na mistura de tipos de águas. Em Marajó a mistura de águas doces com águas conatas provavelmente é bastante lenta.

A grande variação nas concentrações de sólidos em soluções, nas águas subterrâneas de Marajó pode ainda ter como um dos componentes o efeito da força iônica, em que a solubilidade aumenta com a salinidade.

#### **Redução dos Sulfatos**

Nos meios anaeróbicos de água subterrânea a oxidação da matéria orgânica pode ser acompanhada pela redução de sulfatos, sob a ação catalítica de bactérias anaeróbicas, acompanhada pela produção de  $H_2S$  e  $CO_2$  que por seu turno produz grande quantidade de  $HCO_3$ . A redução de sulfatos é muito bem ilustrado na região de Marajó. Os teores de sulfatos são muito baixos, quase sempre menor que 1 meq/l, muitas vezes não detectáveis nas análises. Os teores de  $HCO_3$  são em geral elevados. Durante as amostragens foi frequentemente constatado a presença de  $H_2S$  pelo cheiro característico. E finalmente as perfurações nessa área atravessam níveis de matéria orgânica, camadas argilosas e siltsosas ricas em material carbonoso, inclusive com  $CH_4$ .

Essas águas apresentam também relativo teor elevado de Fe, provavelmente proveniente de material piritoso da matéria orgânica.

#### **Troca de Base e Adsorção**

O fenômeno da troca de base pode mudar a relação entre os cátions de Ca, Mg e Na, e a concentração total.

As argilas, especialmente as do grupo da montmorillonita têm grande capacidade de troca e distribuição nos sedimentos, (Tancredi *et al.*, 1975). Em zonas de contato de água doce com água salgada pode ocorrer de os íons de Ca e Mg da solução substituíremos de Na adsorvidos na troca.

A presença de argilas e de águas salobras é bastante generalizada em Marajó. A direção de troca é para um equilíbrio dos cátions presentes nas águas subterrâneas e nos materiais finos dos aquíferos.

### **CONCLUSÕES**

As águas subterrâneas da Ilha de Marajó apresentam variações bastante significativas nas concentrações dos materiais em solução. As águas do tipo sódio-cloretada são as predominantes, seguindo-se ps tipos mista-cloretada e mista-bicarbonatada. O cloreto e o sódio são os principais constituintes iônicos em solução.

A interpretação hidrogeoquímica baseada nos diagramas semi-logarítmicos de Schöeller evidenciou grupos de águas com relações paramétricas semelhantes e concentrações variando de pequenas a bastante elevadas.

Os principais processos hidrogeoquímicos que atuam durante o fluxo e contato da água com o meio são: a dissolução de materiais e ordem de seqüência dos mesmos resultando na concentração dos íons em solução; mistura de água doce de origem meteórica com água salobra conata em proporções variadas; redução de sulfato pela matéria orgânica; e troca de base e adsorção.

A parte central e norte da região dos campos naturais apresenta os maiores valores de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas sendo pequenos na parte sul, su deste e noroeste.

#### **SUMMARY**

*Information obtained in a research survey carried out by IDESP was used to investigate groundwater hydrogeochemistry on Marajó Island. The samples were collected in both dug and drilled wells. The results of physico-chemistry analyses indicated a wide range of concentrations in the water quality parameters which reflects the hydrogeologic complexity on the area. The largest total dissolved solids concentrations occurred in the central and northern part of the area while the lowest levels were found in the south, southeast and northwest. The waters were predominantly of the sodium-chloride type followed by the mixed-chloride and mixed-bicarbonate types. The Schöeller semi-logarithmic diagram was used to identify waters with similar chemical characteristics. The variation in groundwater composition along the subsurface flow path indicated a dissolution phenomenon with the dissolved ions increasing from the active groundwater flushing zone to the zone of very sluggish flow. This resulted in a variable mixture of fresh and brackish groundwater. The reduction of sulfate by oxidation of organic matter, the base exchange and adsorption are phenomena that exert an important control on the water chemistry.*

### Referências bibliográficas

- American Public Health Association - 1971. **Standard methods for examination of water and wast-water**. 13.ed. New York. 874 p.
- Pará-IDESP - 1974. **Estudos Integrados da Ilha de Marajó**. Belém, IDESP. 333 p.
- Piper, A. M. - 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. **Am. Geophys. Union Trans.**, 25: 914-923.
- Porsani, M. S. - 1981. **Paleocanais - Uma opção para a Prospecção de Água Subterrânea Rasa na Ilha de Marajó**. Belém, UFFa. NCGG. 95 p.
- Rainwater, F. H. & Thatcher, L. L. - 1960. **Methods for collection and analyses of water samples**. Washington, U. S. Geol. Surv. Water-Supply Paper 1454. 301 p.
- Schaller, H. & D. Vasconcelos, J. Castro - 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. **In: Anais do XXV Cong. Bras. de Geol. Soc. Bras. de Geol.**, São Paulo, p. 189-202.
- Schöeller, H. - 1962. **Les eaux souterraines**. Paris, Masson et Cie. 642 p.
- Silva, H.; C. M. dos Reis, Tancredi, A. C. F. N. S. - 1977. **Hidrologia da Ilha de Marajó**. **Saneamento**, 51 (3/4): 98-109.
- Tancredi, A. C. F. N. S.; G. Sieffermann; Y. Besnus; G. Fusil; G. Delibrias. - 1975. Présence et formation de Niveaux de Siderite dans les sédiments Récents du Delta Amazonien. **Bull. Groupe franç. Argiles**, 27: 13-29.

(aceito para publicação em 26.03.1986)