

Carajás

## HIDROGEOQUÍMICA DA ÁREA SALOBO, CARAJÁS-PARÁ

José Francisco Berrêdo<sup>1</sup>  
José Francisco da F. Ramos<sup>2</sup>

**RESUMO** - Análises de águas superficiais e subterrâneas da "Área Salobo" foram utilizadas para expressar interações geoquímicas com a geologia e as mineralizações de sulfetos que ocorrem nesta região. Para esta finalidade foram determinados os teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$  livre, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica. Os alcalino-terrosos predominam em relação aos íons alcalinos e o bicarbonato e a sílica destacam-se como ânions principais. As concentrações de sulfato são baixas, com o pH mantendo-se entre fracamente ácido a alcalino. Flutuações nos teores dos constituintes dissolvidos em função da variação de precipitação pluvial são observadas principalmente para o cálcio, potássio, sílica e cloreto, cujo aporte para as correntes superficiais é controlado pelas litologias e pelo solo, com grande influência do relevo. Águas de composição silicatada, do tipo  $\text{HCO}_3^- - \text{Mg}$ , estão associadas geoquimicamente com as rochas de características básicas da Formação Três Alfa do Grupo Igarapé Salobo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidrogeoquímica, Amazônia, Carajás, Salobo, Pará.

**ABSTRACT** - Analysis of surface and subsurface waters of the "Salobo Área" were utilised to express geochemical interations betwenn the geology and sulphide mineralizations that occur in this region. For this goal were determinated the concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ , free  $\text{CO}_2$ , dissolved oxigen, pH and eletric condutance. The earth alkaline elements are predominants over the alkalines ions and the bicarbonates and silica are the principal anions. The sulphate concentrations are low, pH values vary from weakly acid to alkaline. Flutuations on the concentrations of dissolved componentes in relation of pluvial precipitations changes are observed, mainly, to calcium, potassium, silica and chloride, whose entrance on the surface streams are controled by litologies and soil, and strongly influenced of the topography. Silicated waters,  $\text{HCO}_3^- - \text{Mg}$  like, are geochemically associated with the basic rocks of Três Alfa Formation of the Igarapé Salobo Group.

**KEY WORDS:** Hidrogeochemistry, Amazonia, Salobo, Carajás, Pará.

<sup>1</sup> Departamento de Ecologia - MPEG/CNPq

<sup>2</sup> Departamento de Geoquímica da UFPA.

## INTRODUÇÃO

O levantamento hidrogeoquímico da "Área Salobo" visa relacionar as concentrações dos íons, encontrados em solução nas águas superficiais e subterrâneas, com a geologia e mineralizações sulfetadas da região, cujos sulfetos de cobre (calcocita, bornita e calcopirita) são as principais ocorrências. Para este objetivo, foram analisados vários parâmetros químicos, capazes de expressar relações entre o meio aquoso, e as rochas e seus produtos de alteração intempérica, a composição e interações químicas das águas, além de seu comportamento químico nos períodos de coleta considerados.

Como os processos de extração do minério sulfetado de cobre ainda não haviam sido implantados à época das coletas, as informações aqui reunidas constituem-se em levantamentos básicos para o acompanhamento das modificações que o ambiente em questão venha a sofrer. Este trabalho faz parte de um estudo mais amplo (Silva 1992), onde outras informações tais como os teores e o comportamento de metais pesados nas águas e sedimentos de corrente, serão publicados em artigos complementares.

## DESCRIÇÃO DA ÁREA

### Localização

As ocorrências de minerais de cobre da "Área Salobo" situam-se à noroeste do Rio Itacaiúnas na serra dos Carajás, município de Marabá, sudeste do Estado do Pará (Figura 1).

### Clima, regime pluvial, relevo, vegetação e hidrografia

O clima é do tipo termoxeroquimênico, de caráter atenuado (tropical e seco atenuado), Docegeo (1981).

A precipitação pluvial na região é de 2200mm anuais, com períodos de precipitação menos intensa nos meses de junho, julho e agosto, elevando-se a intensidade a partir do mês de setembro, conforme indica a Figura 2. A temperatura média do ar varia entre 19°C e 31°C, Docegeo (1981).

O relevo é constituído por serras alongadas dispostas no sentido NW-SE, sobressaindo-se em cristas com altitudes máximas de 500-600m (Docegeo 1981).

Os trabalhos de extração do minério ainda não haviam sido implantados à época de realização das coletas. A área encontra-se praticamente intacta quanto à cobertura vegetal, que é constituída por uma vegetação do tipo "floresta tropical pluvial" (Museu Paraense Emilio Goeldi 1988), com variações locais nas escarpas e serras, onde predomina o tipo "mata de cipó" (Pires 1973).

A hidrografia (Figura 3), é caracterizada principalmente pela bacia do rio Itacaiúnas que é formada por pequenos córregos que nascem nas serras, pelo igarapé Salobo e o rio Cinzento, estes últimos, principais cursos secundários.

### Geologia e mineralizações associadas:

As principais unidades geológicas da região são de idade arqueana, cujo embasamento é constituído por gnaisses tonalíticos, trondjemíticos ou granodioríticos do Complexo Xingu (Silva et al. 1974). A seguir vem o Supergrupo Itacaiúnas (Docegeo 1987) que engloba o Grupo Igarapé Salobo com as seguintes formações e litologias: Formação Cinzento (quartzitos); Formação 3 Alfa, constituída por metassedimentos (xistos), rochas metavulcânicas básicas-intermediárias e Formação Ferrífera bandada; Formação Gnaiss Cascade (gnaisses de origem sedimentar). Todas as unidades são atravessadas por corpos graníticos intrusivos (Docegeo 1988).

As mineralizações sulfetadas de cobre (além de Au, Mo, e Ag) encontram-se na Formação 3 Alfa, do Grupo Igarapé Salobo, constituindo um corpo de minério alongado de direção WNW-ESE, composto por xistos subverticalizados de composição variada (Figura 4). Os sulfetos de cobre são principalmente a calcocita, bornita e calcopirita subordinadamente, além de molibdenita, cobaltita, ouro e prata, e se associam aos xistos, sobretudo àqueles enquadrados como Formação Ferrífera bandada, ricos em magnetita (Docegeo 1981). As litologias da Formação 3 Alfa, devido ao seu potencial metalífero e características geoquímicas distintas das demais, são as mais importantes para este estudo.

## MÉTODOS DE TRABALHO

Foram realizadas 3 campanhas de amostragem; em agosto/87, novembro/87 e outubro/88. A 1ª. campanha foi realizada na época de estiagem e a 2ª. em período de chuvas intensas. A 3ª. campanha, como mostra o gráfico de precipitações, coincidiu com o início das chuvas na região.

A escolha dos pontos de amostragem bem como dos elementos químicos a serem analisados baseou-se, principalmente, na geologia da região e ocorrências minerais descritas anteriormente. Os pontos foram escolhidos e fixados em córregos drenando preferencialmente a mineralização sulfetada (para detecção dos efeitos da dissolução dos sulfetos e mineralizações associadas sobre o quimismo das águas) e também em córregos que não percolam o minério.

As garrafas de polietileno, utilizadas para as coletas, foram lavadas previamente com HNO<sub>3</sub> a 25 %. As coletas das amostras em águas superficiais foram feitas em pequenos córregos que nascem nas serras (pontos 1, 3, 9, 11, 14, 16, 27 e 29) ou em rios e igarapés mais profundos (pontos 19, 21 e 25). Nos primeiros pontos, as coletas foram feitas à superfície da água e nos cursos mais volumosos as garrafas foram mergulhadas fechadas até 1m de profundidade, coletando-se aí a amostra.

As amostras de água subterrânea foram coletadas no interior de galerias (túneis abertos na rocha para retirada de minério sulfetado de cobre), ao escoarem ao longo de fraturas (coletadas diretamente na garrafa), em nascentes ou em poços abertos para controle do nível freático. Para estas últimas coletas, utilizou-se um amostrador de nível freático

Nos laboratórios do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará procedeu-se à determinação analítica dos cátions, cujas amostras foram filtradas ainda no campo através de filtros de membrana milipore (0.45 micrômetros) e acidificadas com HNO<sub>3</sub> Merck suprapur a pH < 2 (Souza & Derizio 1977); Van Loom 1985), sendo analisadas através de equipamento de Absorção Atômica de chama (FMD4-Zeiss).

A determinação dos ânions foi precedida de uma pré-filtração com com filtros de papel quantitativo, apenas para separar partículas em suspensão, sendo a seguir analisada a sílica, por colorimetria e o sulfato, por turbidimetria.

Por ocasião da amostragem, foram analisados o CO<sub>2</sub> livre (volumetria com NaOH); o oxigênio dissolvido, apenas na 2ª. campanha (potenciometria); conteúdo hidrogeniônico (condutivímetro) e condutividade elétrica microsiemens/cm (condutivímetro). A alcalinidade e o teor de cloretos, foram determinados em até 12 horas após a coleta (Souza & Derizio 1977) e analisados por volumetria.

Além dos equipamentos já citados, foram utilizados ainda um espectrofotômetro modelo PM6 e outro, um Beckman DU-6, o pHmetro modelo WTW-91, um condutivímetro modelo YSI-33 e o oxímetro modelo YSI-57.

A concentração de bicarbonatos foi calculada a partir da alcalinidade total por estequiometria e a dureza, obtida por cálculo a partir do cálcio e magnésio. Os sólidos totais dissolvidos (STD) foram obtidos através da somatória das concentrações das espécies químicas (Ca+Mg+Na+K+Cl+SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>).

As análises químicas obedeceram às técnicas descritas por CETESB (1978) e American Public Health Organization (1976).

Os resultados analíticos encontram-se na Tabela 1 (águas superficiais) e Tabelas 2, 3 e 4 (águas subterrâneas). Na 3ª. campanha, foram analisados apenas os cátions, sílica, sulfato, pH, dureza e temperatura da água.

Para interpretação dos resultados de águas superficiais utilizou-se, geralmente, os valores médios ou os valores mínimo e máximo dos teores dos elementos obtidos nas três campanhas. Na impossibilidade de repetição da amostragem nos pontos de coleta de águas subterrâneas (não foram calculadas as médias das concentrações), utilizou-se somente os valores mínimo e máximo.

## APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS: INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

Potencial hidrogeniônico (pH) - Os valores de pH em águas superficiais (Tabela 1) encontram-se entre 6,05 e 7,55 (média de 6,63) e, nas águas subterrâneas, entre 5,20 e 7,10 (Tabelas 2, 3 e 4), o que situa essas águas dentro da variação de 6,50 a 8,50 citada por Hem (1970) e Margalef (1983) para corpos aquosos naturais não poluídos.

As águas estudadas, são menos ácidas, com maior concentração em eletrólitos e maior capacidade tampão que as águas ácidas e pobres em sais dissolvidos, que drenam terrenos sedimentares (não carbonáticos) da bacia amazônica (Tabela 5). A Tabela 6, apresenta valores de pH algo mais elevados e semelhantes aos encontrados em Salobo, principalmente para águas em contato com terrenos de rochas ígneas vulcânicas.

O gráfico da Figura 5 mostra o comportamento deste parâmetro nos períodos analisados. A ação tampão, exercida por espécies de CO<sub>2</sub> dissolvidas sobre o pH das águas é, sem dúvida, o principal mecanismo de controle das reações químicas no meio aquoso. Porém, não deve ser desprezível a influência da sílica proveniente da dissolução dos minerais silicatados (altamente intemperizáveis) da região. Como mostraram Stevens (1934) e Bricker & Garrels (1967), a sílica tem ação tampão em águas naturais. A participação de minerais silicatados no controle de determinadas espécies químicas e do pH, em águas oceânicas, é relatada por Garrels (1965) e Mackenzie & Garrels (1965).

Cátions - Nas águas superficiais as médias dos teores (mg/l) indicam que o Na apresentou as maiores concentrações, seguido do Ca, Mg e K. Esta ordem foi observada em todas as campanhas realizadas (Tabela 1) mas em miliequivalentes/litro, a ordem é modificada, conforme será visto adiante.

Neste trabalho, não foram consideradas outras fontes que não as litológicas. Porém, Kotschoubey et al. (1990) concluíram que as águas pluviais da região são influenciadas por contribuições de origem oceânica. Estes autores utilizaram a curva de equilíbrio Na Vs. Cl (Stallard & Edmond 1981) verificando que, grande parte de seus resultados encontrava-se nesta curva, aparecendo enriquecidas em sódio, as águas que lixiviam as rochas ricas em minerais sódicos da "Área Salobo". Estas mesmas águas, percolando os xistos e formações mineralizadas, ricas em magnetita e hematita, são enriquecidas também em cálcio, magnésio, sódio e sílica.

A Figura 6 mostra o comportamento destes elementos nas três campanhas (em águas superficiais), onde o cálcio apresenta ligeiro aumento de suas concentrações juntamente com forte liberação de potássio em épocas chuvosas.

O potássio, que normalmente é fixado no solo por argilo-minerais (Loughnan 1969; Hem 1970) pode ter seu comportamento associado à lixiviação da matéria orgânica em contato com o solo, o que também foi observado por Miller & Drever

(1977) e Feller & Kimmins (1979), nas áreas por eles pesquisadas. Da mesma forma, a diminuição das concentrações do magnésio em águas superficiais (exceto ponto 9) na 2ª e 3ª campanhas pode estar ligada à sua fixação aos produtos do intemperismo, fato já observado por Loughnan (1962) em outras regiões.

Em águas subterrâneas as concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio (em mg/l) são mais elevadas que as concentrações em água de superfície, destacando-se o cálcio.

Comparando-se os resultados analíticos encontrados nas águas superficiais da "Área Salobo" com valores de águas drenando terrenos basálticos, verifica-se que os teores de cálcio em solução são pouco inferiores ou semelhantes aos existentes em (3), (5), (6) e (7) (Tabela 6). Em contrapartida, os teores de magnésio e sódio encontram-se mais elevados em Salobo.

Em águas drenando terrenos sedimentares (não carbonáticos), da bacia Amazônica, observa-se deficiência destes elementos em relação à "Área Salobo" (Tabela 5).

Comparando-se agora as concentrações catiônicas da "Área Salobo" com aquelas de rios da América do Sul (Tabela 7), observa-se a pobreza em cálcio e a riqueza em magnésio das águas analisadas neste estudo, bem como a deficiência de cálcio, magnésio, sódio e potássio em relação à composição média mundial. Nas águas subterrâneas, os teores catiônicos (Tabelas 2, 3 e 4) foram superiores aos registrados por outros autores, em águas em contato com terrenos basáltico-areníticos e de composição ácida apresentados na Tabela 6.

Ânions - Entre as espécies de  $\text{CO}_2$  dissolvidas, o  $\text{HCO}_3^-$  é a de maior significado qualitativo para a determinação da alcalinidade do meio, dentro da faixa de pH (5,20 a 7,55) apresentada por essas águas. Em águas superficiais, o bicarbonato não apresentou variação sazonal definida (Figura 7). As pequenas diminuições de concentrações são causadas provavelmente por diluição e, parcialmente, pelo abaixamento do pH, uma vez que a estabilidade do ânion depende largamente do pH e do teor de  $\text{CO}_2$  no meio aquoso (Hem 1970). As águas subterrâneas apresentaram-se mais concentradas em bicarbonato que as águas superficiais (Tabelas 1-4).

O sulfato apresentou baixas concentrações em águas superficiais (0,80 a 6,95 mg/l) e em águas subterrâneas (1,10 a 8,70 mg/l). A elevação dos teores de sulfato nas 2ª e 3ª campanhas (excluindo-se outras fontes), pode estar relacionada à lixiviação rápida dos produtos do intemperismo acumulados em épocas úmidas e, posteriormente, lixiviados rapidamente pelas primeiras chuvas na região. De acordo com Hem (1970), a origem do íon  $\text{SO}_4=$  em regiões portadoras de sulfeto, na ausência de outras fontes, está ligada principalmente à atuação do intemperismo e à velocidade das correntes a partir da área fonte.

As reduzidas concentrações de sulfato em solução são explicadas, a princípio, pela ausência de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) que, dentre os sulfetos, é aquele capaz de liberar grandes quantidades de íons  $\text{H}^+$  para o meio aquoso. Assim, o meio torna-se ácido o bastante para solubilizar outras espécies de sulfetos, ocasionando, conseqüentemente, o aumento da produção do sulfato.

Na ausência de pirita, sulfetos poucos solúveis como os que ocorrem em Salobo, podem contribuir com certa quantidade de sulfato, porém, não são tão facilmente intemperizados. Como já observaram Miller & Drever (1977).

Outros fatores que impedem a ação do intemperismo tais como: a concentração dos sulfetos, sua distribuição nas rochas e a maior ou menor facilidade de contato dos minerais com águas oxidantes, devem ser considerados. Toledo-Groke et al. (1985), a propósito, observaram a quase inexistência de minerais de sulfeto no manto intempérico.

O cloreto, nas águas superficiais, apresentou concentrações mais elevadas no período chuvoso do que no período de estiagem (4,12 a 8,76 e 3,06 a 7,63 mg/l, respectivamente), contrário ao observado por Ruivo & Sales (1989) em regiões vizinhas. Nas águas subterrâneas, os teores de cloreto foram mais elevados (6,18 a 20,61 mg/l), com pequenas variações nas coletas realizadas em período seco e úmido.

As concentrações de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) são elevadas nas águas superficiais (11,6 a 64,3 mg/l) se comparadas à outras pesquisas na região amazônica (Tabelas 5 e 6). Em geral houve aumento de concentração na época de chuva (Figura 7). Ruivo & Sales (1989) registraram uma variação sazonal definida para a sílica em drenagens de regiões circunvizinhas, onde os teores médios mais elevados, foram encontrados em épocas chuvosas.

O suprimento de sílica e seu comportamento no meio aquoso como função das oscilações do regime pluvial, tem sido relatado em vários trabalhos como, por exemplo, em Bittencourt (1980) e Miller & Drever (1977), nas bacias de drenagem do rio Jacutinga (Bacia do Paraná) e do rio Shoshone (Wyoming), respectivamente, onde as concentrações diminuem em épocas chuvosas. Feller & Kimmins (1979), porém, concluíram que nem sempre a sílica em solução na região de Haney (Sowthwestern British Colúmbia) experimenta diminuição com o aumento da descarga, podendo apresentar uma elevação das concentrações em período de chuvas fortes através da lixiviação de material solúvel armazenado no solo, fato também observado por Loughnan (1962), Davis (1964) em rios dos EUA e Szikszay (1973), na bacia do Paraná.

A dissolução de minerais silicatados segundo Edwards & Liss (1973), embora sendo a principal fonte de silício em solução, é pouco provável que seja suficientemente rápida em termos de eventos hidrográficos individuais. Nesse sentido, Davis apud Edwards & Liss (1973) sugere uma desorção de ácido silícico de partículas do solo para explicar a rápida aquisição do silício pelas correntes de águas superficiais.

Evidências obtidas em laboratório por Jones & Handreck (1963) revelam que níveis de silício dissolvido são controlados por reações de adsorção-desorção, envolvendo óxido de ferro e de alumínio. Este mecanismo pode ser proposto para explicar a rápida lixiviação de silício na "Área Salobo", devido a existência de óxido de alumínio e abundantes óxidos de ferro.

Em águas subterrâneas, o controle geoquímico das concentrações de sílica pelo intemperismo das rochas é evidenciado pelos altos teores de sílica em solução, concordando com as observações de Davis (1964), que considera a influência litológica como o mais importante fator controlador dos teores de sílica nas águas subterrâneas. O autor cita ainda que, grandes quantidades de sílica em solução estão associadas a rochas vulcânicas, enquanto que, concentrações menores provêm de rochas graníticas e sedimentares.

Comparando-se com valores da Tabela 7, as concentrações de sílica nas águas superficiais da "Área Salobo" são mais elevadas que as médias dos teores de rios da América do Sul e do mundo. Teores elevados foram observados inclusive nas drenagens de maior volume de água (pontos 19, 21 e 25).

Condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) - Os valores médios obtidos para CE e STD nas águas superficiais não evidenciam águas ricas em substâncias dissolvidas, com exceção de alguns dos pontos amostrados (Figura 8). Apesar disto, o teor de STD em águas superficiais, na "Área Salobo", é superior às médias dos teores encontrados em rios da América do Sul, correspondendo a cerca de 76% do total encontrado em águas mundiais, segundo os valores de Gibbs (1972), Tabela 7.

Através das semelhanças existentes entre seus gráficos, verifica-se uma estreita relação entre a condutividade elétrica e alguns dos constituintes dissolvidos (Ca, Mg, Na, K e  $\text{HCO}_3^-$ ) cujas variações dos teores, nos períodos amostrados, não se refletem em modificações significativas no comportamento da condutividade elétrica ou mesmo na quantidade de STD. Além disso, sabe-se que CE e STD são fortemente influenciados por fatores climáticos, litologias, topografia, área de drenagem, etc., além dos ions dominantes de acordo com trabalhos de Livingstone (1963); Miller & Drever (1977); Feller & Kimmins (1979).

Em águas subterrâneas, a condutividade elétrica manteve-se entre 80 e 225 microsiemens/cm, enquanto que os sólidos totais dissolvidos figuram entre 100 e 277,2 mg/l.

As águas subterrâneas apresentam-se normalmente mais concentradas em STD que as águas superficiais devido ao maior tempo de contato, as vezes permanente, com rochas e minerais. Esse contato se dá em condições de baixa aeração e altas concentrações de  $\text{CO}_2$ , favoráveis particularmente à dissolução de muitos componentes minerais. Tais fatos favorecem a dissolução, pois permitem que as reações mais lentas sejam completadas.

Gases dissolvidos - Em águas superficiais, o oxigênio dissolvido (obtido apenas na 2a. campanha), mostrou concentrações altas, correspondendo aproximadamente aos valores teóricos da solubilidade do oxigênio a 30°C, de aproximadamente 7,63 mg/l (Schäfer 1985). A porcentagem de saturação do oxigênio, calculada através do Nomograma de Maittland apud Schäfer (1985), variou entre 58,60% e 97,80% (média de 83,30%).

O  $\text{CO}_2$  livre não apresentou grande variação de concentração (Figura 6) e seus altos teores são semelhantes aos já observados em águas amazônicas (Tabela 5). Em alguns dos pontos amostrados, observa-se que os teores de oxigênio diminuem, com um aumento correspondente para o  $\text{CO}_2$  livre, o que está relacionado a locais de fluxo lento ou a degradação de matéria orgânica acumulada próximo ao local de coleta.

Em águas subterrâneas, as concentrações de OD foram relativamente pouco menores que as observadas na superfície (3,40 a 5,40 mg/l; 40 a 70% de saturação) devido a influência do oxigênio atmosférico conduzido pelas águas que fluem por inúmeras fraturas existentes nas rochas. As concentrações de  $\text{CO}_2$  livre são elevadas significando, talvez, a influência do manto intempérico contribuindo para a produção de  $\text{CO}_2$  em épocas chuvosas.

#### CORRELAÇÕES ENTRE OS CONSTITUINTES QUÍMICOS

Foram observadas correlações positivas entre Na, K, Ca e Mg na 1a. campanha, que decrescem nas demais coletas realizadas e, cujas melhores correlações, são expressas entre Ca e Mg e entre Mg e Na (Tabela 8).

Em época de estiagem, existe alta correlação entre Na, K, Ca, Mg e a sílica; entre a sílica e a alcalinidade (bicarbonato) e desta com a condutividade elétrica; estas correlações tendem a diminuir em períodos chuvosos. Segundo Margaleff (1983), quando a fração mais importante dos ânions é constituída por ácidos fracos, principalmente  $\text{HCO}_3^-$ , é observada correlação significativa (positiva) entre a alcalinidade e a condutividade elétrica, conforme também observado para Salobo. Tal observação certamente pode-se estender ao comportamento da sílica, por se apresentar em altas concentrações e formar o ácido silícico fracamente dissociado.

As correlações significativas da condutividade elétrica com os íons principais, verificadas principalmente em época de estiagem, demonstram o comportamento do sistema aquoso sem a interferência das chuvas e a utilidade deste parâmetro para avaliar modificações na qualidade química das águas.

Correlações negativas entre o  $\text{CO}_2$  livre e o oxigênio dissolvido são explicadas pela presença de abundante matéria orgânica nos locais de coleta, cuja degradação consome o oxigênio e libera o  $\text{CO}_2$ .

## INTERAÇÕES ENTRE A ÁGUA E O MEIO GEOLÓGICO

A extensão pela qual a composição química das águas naturais (superficiais e subterrâneas) relaciona-se às litologias, tem sido estudada por vários autores para as mais diversas finalidades, e sumarizada por Hem (1970) que mostra que os principais constituintes dissolvidos, em geral, são derivados de minerais das rochas e do solo.

A contribuição das águas subterrâneas para a composição química das águas superficiais é ressaltada por Gat (1980). Particularmente, no que se refere à "Área Salobo", as águas subterrâneas podem ser uma fonte importante de íons para as águas superficiais. O alto grau de fraturamento das rochas da região, facilita a aquisição de sais pelo meio aquoso, o fluxo das águas e sua descarga nos cursos superficiais.

O levantamento hidrogeoquímico da região Salobo (Tabelas 1 a 4) revelou águas superficiais "brandas" (segundo classificação de Custódio & Llamas 1976), com valores para dureza, em mg/l  $\text{CaCO}_3$ , em média superiores aos de águas que drenam terrenos sedimentares ou de composição ígnea ácida (Tabelas 5 e 6). As águas subterrâneas apresentam valores de dureza um pouco mais elevados, o que as classifica ainda em águas "brandas", porém, com tendência a ligeiramente "duras".

Os resultados das análises efetuadas na 1ª campanha são considerados como os mais representativos da composição química das águas e suas interações químicas com as rochas e solos da região, pois foram realizadas em época seca. É nesse período que o sistema aquoso deve atingir seu equilíbrio químico máximo, sem as perturbações provocadas pela águas pluviais.

Assim, na 1ª campanha, em cada ponto analisado, as águas superficiais apresentaram o Na (em mg/l) como o íon principal, com alternâncias do Ca e do Mg na 2ª. posição, seguidos do K. Nas campanhas seguintes, realizadas em época chuvosa, o Ca é mais lixiviado, dividindo a 1ª. posição com o Na.

Apesar das variações sazonais encontradas, pode-se estabelecer uma sequência para os cátions de  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$  em % em peso (% mg/l) representada por 37,81% Na; 30,12% Ca; 23,16% de Mg e 8,91% de K. As relações apresentadas pelos cátions apontam ainda para uma predominância dos íons alcalinos-terrosos (Ca+Mg) sobre os íons alcalinos (Na+K), em % mg/l.

Dentre os ânions, o bicarbonato é o íon principal, existindo em uma quantidade relativa média de 84,91%  $\text{HCO}_3^-$  seguido por 10,32% de  $\text{Cl}^-$  e 4,77% de  $\text{SO}_4^{2-}$ , portanto,  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  (em % mg/l).

Tomando-se esses dados na forma de miliequivalentes/litro (meq/l), que permite uma comparação direta entre a quantidade dos íons em solução, constata-se que, na maioria dos pontos analisados na 1ª. campanha, o Mg apareceu em primeiro lugar seguido pelo Na ou Ca. Nas demais campanhas, além do Mg, apareceram o Na ou Ca na 1ª. posição, sempre acompanhados do Mg na 2ª. posição, o que demonstra

a importância deste íon para a definição da composição química dessas águas. Apresentaram em % de meq/l a sequência  $\text{rMg} > \text{rNa} > \text{rCa} > \text{rK}$  (respectivamente, 34,98%; 31,53%; 28,60% 4,60% meq/l).

Os ânions das águas superficiais (em % meq/l) mantiveram a mesma sequência descrita anteriormente, com 78,17%  $\text{HCO}_3^-$ ; 16,94% de  $\text{Cl}^-$  e 5,03% de  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Para as águas subterrâneas, não foram calculados os valores médios dos parâmetros estudados. Ao contrário do observado para as águas superficiais, na 1ª campanha, mostraram o Ca ou o Mg como cátions principais, tendo como 2º elemento o Na. Nas campanhas seguintes, não houve uma sequência definida de composição química das águas, provavelmente devido à mistura provocada pelo aumento do fluxo aquoso subterrâneo em resposta à elevação da intensidade das chuvas em áreas de recarga.

Observa-se ainda, em cada ponto analisado, a predominância dos alcalino-terrosos (Ca+Mg) sobre os íons alcalinos (Na+K) mantendo-se a relação  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  (em mg/l) para os ânions, relação análoga à observada em águas superficiais. Estas relações mantêm-se quando os dados são transformados em meq/l.

A ordem de predominância dos cátions e ânions (em meq/l) mostra águas bicarbonatadas, de composição magnésiana, com importantes contribuições de Na e Ca, cuja configuração e evolução química nos períodos analisados pode ser observada através dos diagramas de Piper (Figura 9). Nestes diagramas, a partir da 1ª campanha, nota-se a modificação química das águas superficiais e subterrâneas desde tipos tipicamente magnesianos até águas mistas, verificadas em períodos chuvosos, com destaque para a predominância dos íons alcalino-terrosos (50%) nessas águas.

Dentre os índices hidrogeoquímicos utilizados para expressar as relações entre a água e a geologia dos terrenos em contato (Schoeller 1962; Custódio & Llamas 1976), a razão  $\text{rMg/rCa}$  apresentou valores médios nas três campanhas de: 1,60; 1,09 e 1,05, respectivamente. Apenas na 1ª campanha todos os pontos apresentaram valores  $> 1$ , nas campanhas seguintes, a relação diminui ( $< 1$ ) em alguns dos pontos analisados, devido ao aumento das concentrações de cálcio.

Nas águas subterrâneas, somente os pontos 5, 23 e 33 apresentaram valores para  $\text{rMg/rCa}$  maiores que 1, com uma variação nas três campanhas de 0,38 a 20,11. Estes valores sugerem que naqueles locais as águas provêm da drenagem de terrenos ricos em silicatos magnesianos, segundo Schoeller (1962); Custódio & Llamas (1976).

Neste trabalho, procuramos relacionar a composição química das águas superficiais e subterrâneas da "Área Salobo" com os principais tipos litológicos da região. Porém, fatores tais como: o alto grau de fraturamento das rochas da região e o espesso manto intemperado que as recobre, dificultam a análise sobre relações de

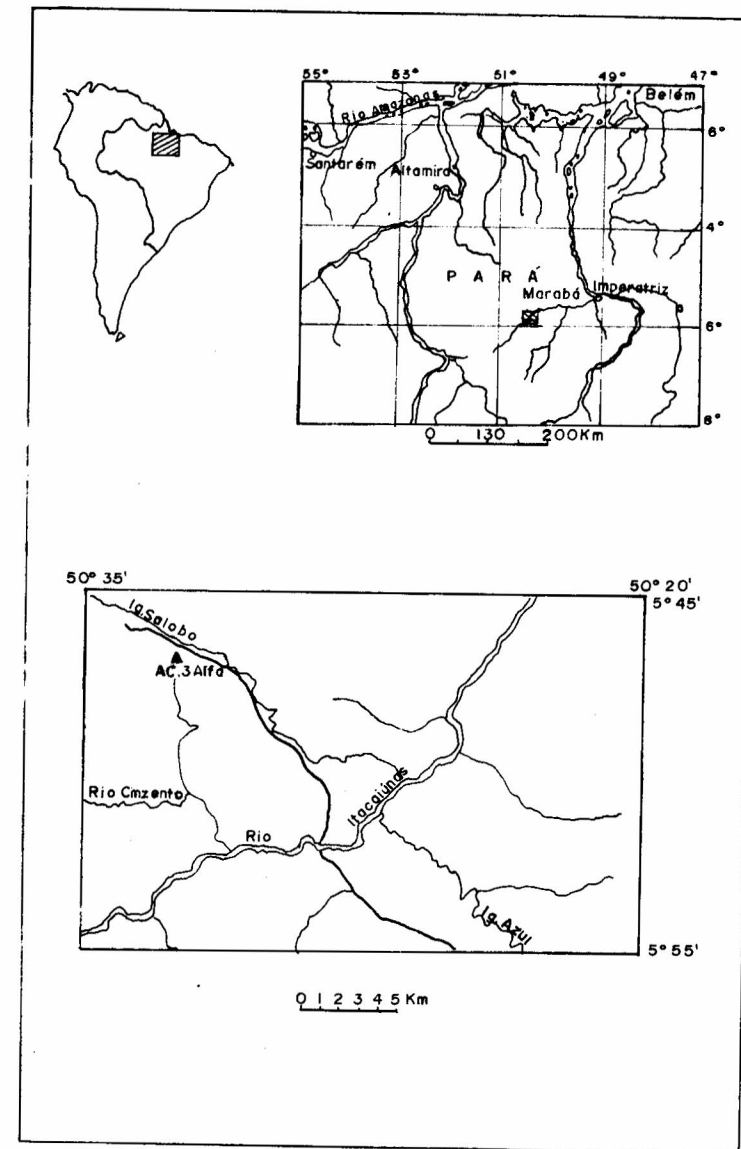
contato entre o meio aquoso com as litologias, bem como discussões sobre a proveniência de determinados tipos químicos de águas subterrâneas.

Assim, um reflexo das interações físicas e químicas das águas estudadas com as rochas do Grupo Igarapé Salobo é observado devido enriquecimento das águas em Na, Ca e Mg. Esta composição catiônica e o domínio dos alcalino-terrosos estão em associação geoquímica com os metassedimentos (xistos) e as rochas metavulcânicas da Formação 3 Alfa. Estas são bastante permeáveis e possuem minerais máficos em abundância, se comparados às demais unidades geológicas que ocorrem na região (Figuras 3,4).

### CONCLUSÕES

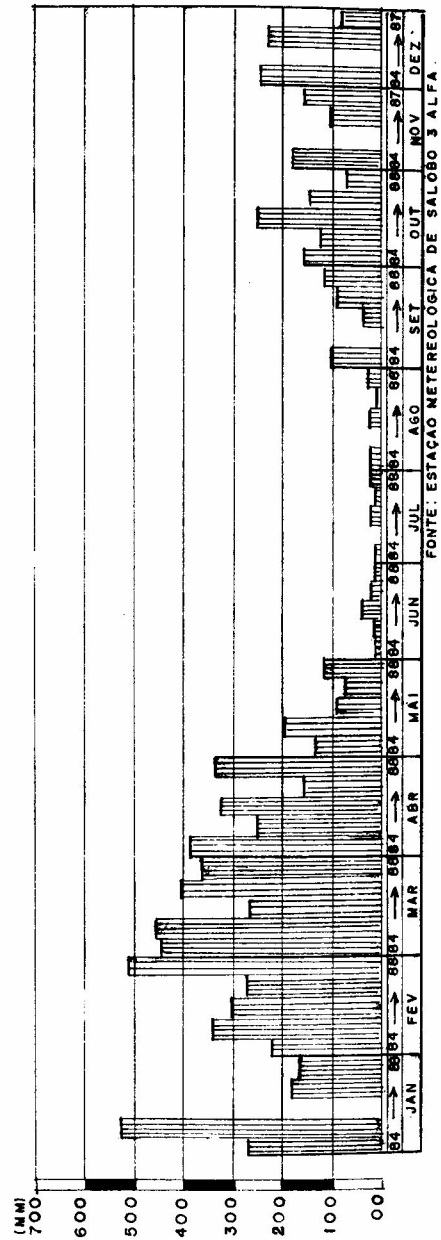
A partir dos dados obtidos, a interpretação da composição química das águas superficiais e subterrâneas da "Área Salobo" proporcionou as seguintes conclusões:

- As águas estudadas são "brandas" (águas superficiais) ou ligeiramente "duras" (águas subterrâneas), do tipo bicarbonatadas magnesianas, com importantes contribuições de sódio e cálcio.
- As litologias e os solos destacam-se como fontes provedoras de íons para o meio aquoso. As águas são de baixo conteúdo iônico e os sólidos totais dissolvidos variam pouco com as variações de intensidade das chuvas.
- Existe forte correlação entre os cátions e destes com a sílica e o bicarbonato. A interdependência dos constituintes dissolvidos com a condutividade elétrica evidencia um ótimo equilíbrio iônico. Tal fato determina uma interação efetiva entre o meio aquoso e a geologia da região, podendo a condutividade elétrica ser utilizada para expressar variações na composição química das águas em diferentes períodos do ano.
- Os produtos da decomposição dos minerais sulfetados não são observados nas águas da "Área Salobo", uma vez que o pH mostra-se fracamente ácido a alcalino e as concentrações de sulfato são baixas.
- A influência das rochas da Formação 3 Alfa, do Grupo Igarapé Salobo, sobre a qualidade química das águas superficiais e subterrâneas é assinalada através do enriquecimento das águas em Na, Ca e Mg, pelo domínio dos íons alcalino-terrosos e pelas relações hidrogeoquímicas (rMg/rCa) que evidenciam a maior susceptibilidade destas rochas ao intemperismo químico.



- ~ Ig. = Igarapé
- ~ Rio profundo
- ▲ AC = Acampamento
- = Área aproximada de trabalho

Figura 1 - Localização da Área Salobo.



(1) relativo aos anos de 1984 a 1988

Figura 2 - Gráfico de Precipitação Pluviométrica.

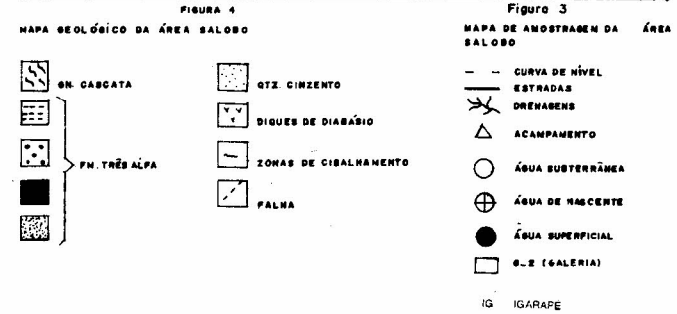
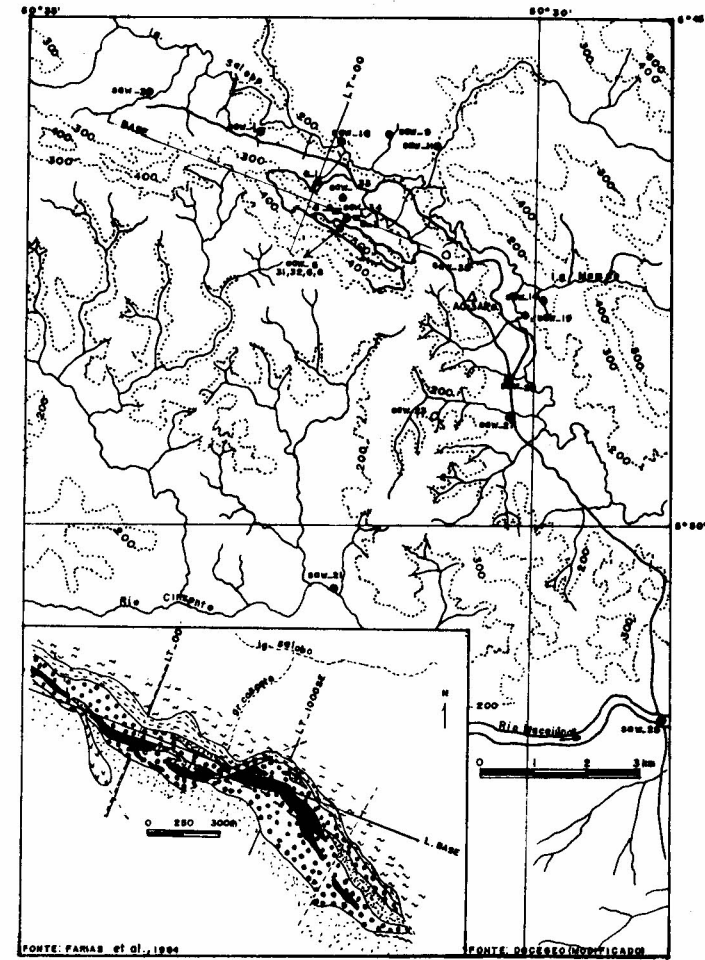


Figura 3 e 4: 3 - Mapa de Amostragem da Área Salobo; 4 - Mapa Geológico da Área Salobo.



Figura 5

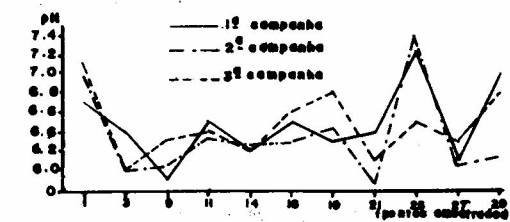


Figura 6

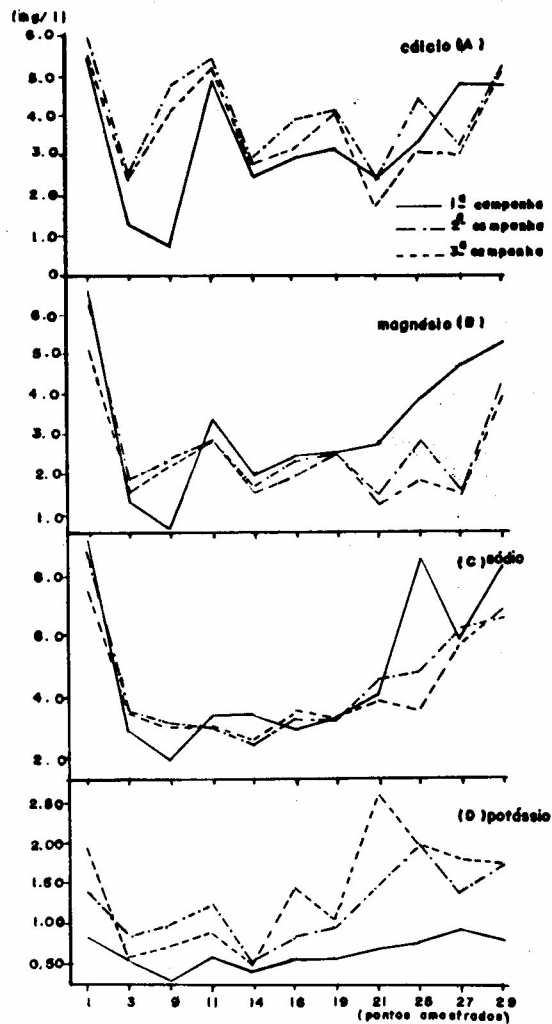


Figura 5 e 6: 5 - Valores de pH em águas superficiais; 6 - Concentrações de cálcio (A), magnésio (B), sódio (C) e potássio (D) em águas superficiais.

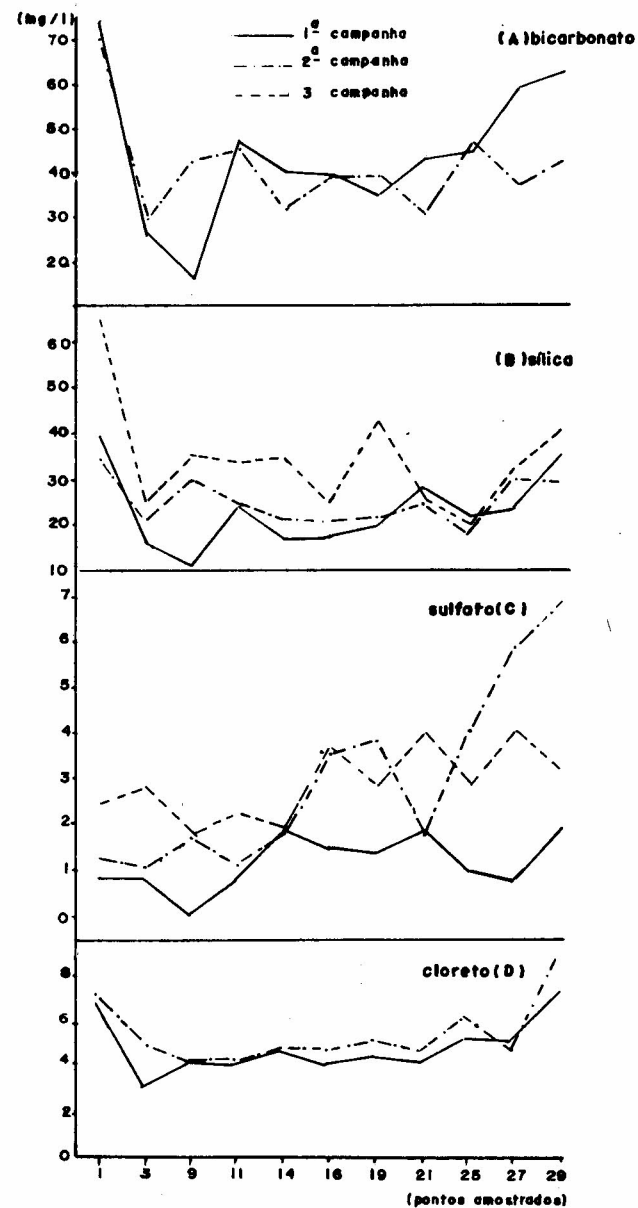


Figura 7 - Concentrações de bicarbonato (A), sílica (B), sulfato (C) e cloreto (D) em águas superficiais.

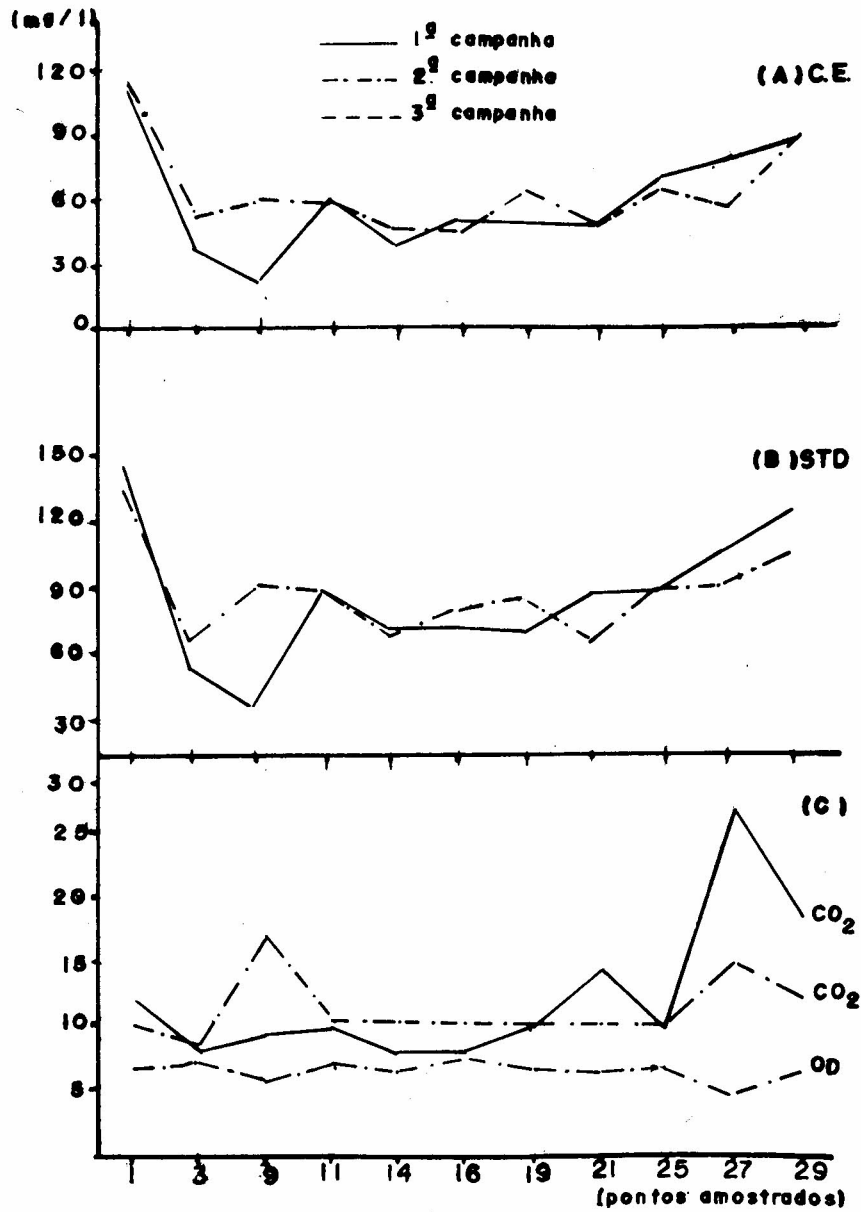


Figura 8 - Condutividade elétrica (A), sólidos totais dissolvidos (B) CO<sub>2</sub> livre e oxigênio dissolvido (C), em águas superficiais

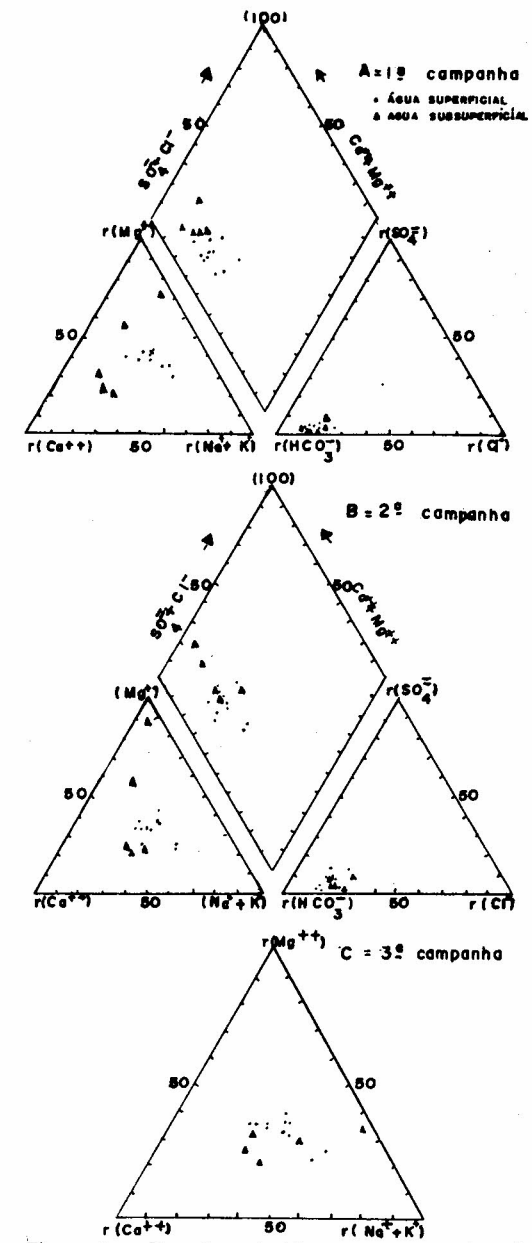


Figura 9 - Diagramas de Piper para as amostras de águas ssuperficiais e de subsuperfície r=% meq/l.

Figura 9 - Diagramas de Piper para as amostras de águas ssuperficiais e de subsuperfície r=% meq/l.

Tabela 1 - Valores mínimos, máximos, média aritmética e desvio padrão ( $\bar{d}$ ), para os constituintes das águas superficiais.

Parâmetros	Ca	Mg	Na	K	Dur	SiO2	S04=	pH	HC03-	Cl-	Cond. elet.	STD.	C02 Livre	O2 Diss.	%SAT	T°C
(1)																
MÍNIMOS	0,82	0,68	2,00	0,24	4,84	11,6	0,80	6,10	16,68	3,06	20,00	36,30	8,2	-	-	25,0
MÁXIMOS	5,43	6,58	9,25	0,99	40,55	39,9	2,00	7,40	72,68	7,63	110,00	143,40	26,80	-	-	27,0
MÉDIAS	3,37	3,27	5,03	0,66	21,82	24,1	1,29	6,67	44,08	4,85	61,00	87,60	12,40	-	-	26,1
$\bar{d}$	1,53	1,77	2,62	0,20	10,85	8,8	0,51	0,39	16,23	1,32	27,30	38,10	5,70	0,80		1,64
(2)																
MÍNIMOS	2,44	1,48	2,58	0,55	12,17	19,7	1,00	6,05	29,05	4,12	48,00	66,10	8,50	4,90	58,6	24,0
MÁXIMOS	5,94	6,25	8,66	2,00	40,48	34,3	6,95	7,55	69,26	8,76	115,00	136,00	17,00	7,90	98,8	28,0
MÉDIAS	4,10	2,78	4,61	1,24	21,67	26,1	3,00	6,63	41,00	5,48	66,80	89,30	11,60	6,90	83,3	25,7
$\bar{d}$	1,19	1,40	1,92	0,43	8,36	5,0	2,05	0,50	11,00	1,55	20,50	20,30	2,40	-	5,9	1,27
(3)																
MÍNIMOS	1,76	1,32	2,66	0,52	9,81	21,9	1,80	6,20	-	-	-	-	-	-	-	24,0
MÁXIMOS	5,50	5,06	7,56	2,36	34,50	64,3	4,10	7,30	-	-	-	-	-	-	-	29,0
MÉDIAS	3,69	2,53	4,38	1,41	19,60	35,3	2,88	6,60	-	-	-	-	-	-	-	25,18
$\bar{d}$	1,23	1,14	1,69	0,68	7,50	11,9	0,79	0,34	-	-	-	-	-	-	-	1,47

\* Cátions e ânions em mg/l; dureza total (mg/l CaCo3); condutividade elétrica (microscm); STD (sólidos totais dissolvidos).

(1), (2) e (3): 1ª, 2ª e 3ª campanhas.

(-) análise não realizada

88

Tabela 2, 3, 4 - Resultados analíticos para cátions e ânions (mg/l).  
(Águas subterrâneas) - ÁREA SALOBO

Tabela 2 - (1ª Campanha)

Pontos Amostrad.	Ca++	Mg++	Na+	K+	SiO2	S04=	Cl-	Alcal.	HC03-	STD	Cond. Elet.	pH	Dureza	C02 Livre	T°C	O2 Dissolvido % SAT.
SaW - 05	6,47	8,04	3,00	1,81	47,57	2,80	9,69	51,75	63,14	146,47	130,00	6,85	49,14	35,00	27,00	-- --
SaW - 06	18,21	4,31	11,18	1,85	47,14	8,70	13,26	71,28	86,96	196,96	190,00	7,10	63,95	41,00	26,00	-- --
SaW - 08	24,62	8,97	9,25	0,86	49,50	2,70	10,20	131,83	160,83	267,36	225,00	6,95	98,33	20,60	26,00	-- --
SaW - 18	22,50	6,25	9,50	1,19	30,00	1,10	6,63	55,66	67,91	152,22	180,00	6,90	81,86	57,66	27,00	-- --
SaW - 23	1,78	22,02	13,53	0,64	51,43	2,70	18,36	133,78	163,21	277,24	225,00	7,00	94,73	51,48	25,00	-- --

Tabela 3 - (2ª Campanha)

SaW - 05	7,81	10,00	2,65	2,71	40,71	3,25	10,31	52,19	63,67	145,36	120,00	6,90	60,53	32,00	26,00	5,00 60%
SaW - 18	5,63	1,94	3,41	0,88	27,43	3,60	6,18	40,29	49,15	100,00	80,00	5,39	22,03	81,00	27,00	4,00 50%
SaW - 23	2,44	23,33	2,34	0,75	45,43	2,00	20,61	127,28	155,28	254,26	190,00	6,82	101,75	34,00	24,00	3,40 40%
SaW - 31	7,22	2,41	6,57	2,43	41,36	4,55	11,34	37,54	45,80	139,51	115,00	7,83	27,93	41,00	26,00	5,20 64%
SaW - 32	11,64	3,08	7,93	2,00	38,57	3,90	11,34	64,10	78,20	162,91	140,00	6,58	41,73	66,00	26,00	5,40 70%

Tabela 4 - (3ª Campanha)

Pontos Amostrados	Ca++	Mg++	Na++	K+	SiO2	S04=	pH	Dureza	T°C
SaW - 18	4,99	2,40	3,31	1,30	49,29	1,85	5,20	22,40	26,00
SaW - 23	2,64	19,80	71,00	0,68	63,86	2,65	6,80	87,78	27,00
SaW - 33	24,20	9,00	13,19	1,90	61,29	3,35	6,40	97,48	24,00
SaW - 34	2,64	1,80	3,41	3,05	41,36	1,95	5,30	13,82	26,00
SaW - 35	5,87	1,60	4,75	1,80	60,86	2,95	6,00	21,24	26,00

Alcal = Alcalinidade (mg/l)  
STD = Sólidos Totais Dissolvidos  
(soma dos constituintes dissolvidos)  
Cond. = Condutividade elétrica microscm)

89

Tabela 5 - Resultados analíticos (em mg/l) obtidos por vários autores em águas superficiais e subterrâneas em contato com terrenos sedimentares da Amazônia.

PARÂMETROS	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	I (6)	II (1)
Ca <sup>++</sup>	0,36-7,31 (3,86)	0,00-7,56 (1,80)	0,00-5,00	(0,02)	0,18-0,71 (0,34)	0,00-0,04 (0,01)	0,31-0,84	0,19-1,03 (0,48)
Mg <sup>++</sup>	0,23-0,54 (0,41)	0,00-1,78 (1,21)	0,00-0,38	(0,02)	0,11-0,97 (0,38)	0,00-0,10 (0,03)	0,07-0,11	0,05-0,56 (0,24)
Na <sup>++</sup>	0,50-2,50 (1,65)	0,10-2,88 (0,97)	0,85-2,53	---	0,10-2,16 (0,64)	0,00-0,48 (0,19)	0,61-2,83	1,60-2,30 (1,95)
K <sup>+</sup>	0,19-0,37 (0,29)	0,12-2,00 (0,79)	0,53-1,52	---	0,09-1,94 (0,60)	0,00-0,45 (0,06)	0,86-1,85	0,24-0,90 (0,56)
SiO <sub>2</sub>	0,15-2,64 (1,01)	1,18-5,36 (3,08)	0,50-4,50	3,00-5,00 (4,20)	---	---	---	---
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,61-7,20 (3,74)	2,13-5,64 (3,47)	0,00-0,48	---	---	---	---	3,00-10,70 (5,11)
Cl <sup>-</sup>	0,50-7,04 (3,94)	0,43-2,20 (1,05)	0,00-3,50	0,45-0,70 (0,65)	0,39-2,07 (0,90)	---	---	5,30-9,50 (7,96)
Condut.	14,00-86,00 (33,83)	6,66-50,54 (18,14)	---	5,50-9,90 (7,32)	---	---	---	32,00-45,00 (35,90)
Ph	3,90-6,80 (5,07)	4,20-6,60 (5,70)	4,40-5,30	4,50-5,20 (4,76)	4,30-5,20 (5,56)	---	---	4,00-5,10 (4,50)
STD	13,40-55,00 (27,57)	---	---	---	---	---	---	---
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,00-26,23 (10,86)	---	0,00-0,04	---	---	---	---	12,57-21,40 (16,15)
Dureza	1,80-20,50 (11,37)	---	---	---	---	---	---	---
CO <sub>2</sub> Livre	---	---	0,50-82,60	20,60-29,70 (25,00)	---	---	---	---
O <sub>2</sub>	3,00-6,80 (5,66)	---	---	---	---	---	---	---

\* (medidas entre parêntesis representam as médias dos valores)

(-) coleta e/ou análise não realizada

1, 2, 3 (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> campanhas)

Águas superficiais

(1) LIMA & KOBAYASHI (1988) - Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas (parcialmente reproduzidas)

(2) SANTOS & RIBEIRO (1988) - Rio Amazonas e afluentes (parcialmente reproduzidas)

(3) SIOLI (1968) - Sedimentos Barreiras, condutividade elétrica (mVa/1)

(4) BRINKMANN & SANTOS (1971) - Formações Terciárias

(5) BRINGEL et al. (1984)

(6) NORTCLIFF & THORNES (1978) - Terciário da Amazônia

(I) e (II) - Águas subterrâneas

90

Tabela 6 - Resultados analíticos (em mg/l) obtidos por vários autores em águas superficiais e subterrâneas em terrenos cristalinos de várias regiões do Brasil e do mundo.

PARÂMETROS	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(I)	(IIa)	(IIb)
Ca <sup>++</sup>	0,0-18,4	0,20-11,85	4,84-9,44 (6,14)	5,4-8-6	4,0	1,11-3,59	0,5-9,4 (3,4)	(2,74-5,27)	1,54	(1,5-1,7)	1,1-24,0	0,5-6,0 (2,48)	(7,15)
Mg <sup>++</sup>	0,0-9,9	0,12-16,40	0,14-3,84 (2,1)	1,5-2,4	1,5	0,51-1,43	0,5-9,4 (1,9)	(1,65-2,76)	0,45	(0,3)	0,8-5,6	2,0-7,0 (2,95)	(5,9)
Na <sup>+</sup>	0,46-2,24	0,92-4,08	0,40-1,90 (1,52)	5,2-11,4	2,2	0,62-1,21	0,1-14,66 (2,0)	(1,99-2,64)	0,79	(0,1-1,2)	0,3-5,8	0,4-4,8 (2,48)	(6,75)
K <sup>+</sup>	0,26-1,0	0,39-2,96	0,2-2,3 (0,78)	0,41-0,57	2,2	0,45-1,45	0,2-5,4 (1,4)	(1,19-2,03)	0,26	(0,1-0,2)	0,4-5,0	0,6-3,3 (1,5)	(2,78)
SiO <sub>2</sub>	0,50-6,65	6,44-33,98	16,0-40,0 (26,5)	15,9-21,1	12,5	8,1-11,8	1,2-35,5 (7,2)	(8,79-12,84)	3,90	(4,2-5,9)	8,5-41,0	1,10-4,1 (2,76)	(5,83)
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,0-1,25	0,1-14,20	---	4,2-10,0	---	---	1,1-35,4 (7,4)	(4,0-6,06)	6,12	(1,9-2,2)	---	0,0-12,0 (2,61)	(1,95)
Cl <sup>-</sup>	0,0-1,87	1,19-14,0	0,0-2,7 (1,14)	---	2,5	2,0-2,5	0,24-15,6 (2,1)	(4,99-5,73)	0,1	(0,8-0,9)	1,5-4,5	1,0-8,0 (2,87)	(5,92)
Cond.	0,57-5,34	16,0-225,0	---	---	42,4	13,53-37,04	---	(49,42-56,55)	23,8	(19,8-20,5)	20,4-161,1	24,0-107,0 (43,62)	40,0-280,0 (110,0)
pH	4,8-6,6	4,4-8,0	6,6-7,4 (6,96)	7,2-8,1	7,0	6,49-6,76	5,10-7,8 (6,96)	(5,92-6,66)	5,11	(6,8)	5,6-8,1	4,7-5,5 (4,79)	4,7-5,7 (5,1)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0-0,17	4,88-97,79	29,8-39,04 (34,16)	36,7-59,2	27,0	18,36-33,11	---	(21,31-24,05)	---	(8,6-9,9)	12,6-99,3	10,0-50,0 (18,15)	(51,48)
CO <sub>2</sub> Livre	1,80-81,40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	28,0-80,0 (45,85)	12,0-100,0 (46,0)
O <sub>2</sub>	1,5-8,6	6,30-8,45	---	---	---	6,02-8,35	---	(6,98-7,61)	---	---	---	12,0-28,0 (15,46)	5,0-21,0 (12,0)
Dureza	---	2,1-71,4	---	---	---	10,66-19,48	---	(16,26-17,97)	---	---	---	---	---
STD	---	10,66-66,67	---	---	52,0	---	---	(31,26-35,95)	---	---	27,0-163,0	28,0-98,0 (45,85)	38,0-220,0 (92,65)

(-) Coleta e/ou análise não realizada - 1, 2, 3: 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> campanhas

\* (medidas entre parêntesis representam as médias dos valores)

Águas superficiais

(1) SIOLI (1968) - Terrenos cristalinos arqueanos do Alto rio Negro, rios Içua e Maracuaia

(2) MPEG (1988) - Área Salobo e Pojuca - Pontos de monitoramento do Projeto Ferro Carajás (MPEG)

(3) BITTENCOURT (1980) - Córrego Jacuting, Bacia do Paraná (terreno basáltico-toleítico)

(4) MILLER & DREVER (1977) - Rochas vulcânicas-andesíticas

(5) GALLO & SINNELI (1980) - Terrenos basáltico-areníticos

(6) MAIER et al. (1986) - Terrenos basáltico-araníticos

(7) SZIKSZAY (1973) - Rios da Bacia do Paraná (terrenos basálticos-areníticos), variações entre as medianas das concentrações e/ou valores médios

(8) RUIVO & SALES (1989) - Águas drenando várias regiões da área de abrangência do Projeto Ferro-Carajás, Pa

(9) JOHNSON et al. (1968) - Terrenos de sillimanita-gnaisses (New Hampshire)

(10) FELLER & KIMMINS (1979) - Rochas ígneas ácidas, principalmente quartzo-diorito (Near Haney, Southwestern British Columbia)

Águas subterrâneas

(I) GALLO & SINNELI (1980) - Terrenos basáltico-areníticos (Ribeirão-Preto)

(IIa) SZIKSZAY & TEISSEIDRE (1977) - Terrenos gnáissicos-migmatíticos, mica xistos e granitos (SP)

(IIb) SZIKSZAY & TEISSEIDRE (1978) - idem

91

Tabela 7 - Composição média (mg/l) em águas de rios do mundo e da Área Salobo

PARÂMETROS	(1)*	(2)*	(3)
Ca	6,40	15,00	3,72
Mg	1,20	3,90	2,86
Na	4,90	6,90	4,67
K	1,50	2,10	1,10
HCO <sub>3</sub>	24,20	55,90	42,54
SO <sub>4</sub>	4,30	1,60	2,39
Cl	5,40	8,10	5,17
SiO <sub>2</sub>	12,40	13,10	(24,1-35,30)
TOTAL (STD)	61,50	116,90	88,50

(1) Rios da América do Sul

(2) Rios do Mundo

(3) Área Salobo

\* Gibbs (1972)

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ORGANIZATION. 1976. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C., AWWA/WPCF, 1193p.
- BITTENCOURT, A. V. L. 1980. Aspectos hidroquímicos da alteração intempérica de basaltos da bacia do Paraná: Bacia Hidrográfica do Jacutinga (PR). *Rev. Bras. Geoc.*, 10 (3): 202-212.
- BRICKER, O. P. & GARRELS, R. M. 1967. Mineralogic factors in natural water equilibria. In: FAUST, S. D. & HUNTCH, J. V. (ed). *Principles and Applications of Waters Chemistry*. New York, John Wiley & Sons, P. 449-469.
- BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, U de M.; RIBEIRO, M. de N.G.; BENJAMIN FILHO, H. 1984. Bacia do rio Parauari-Maués-Açu. Aspectos químicos devidos às alterações hidrológicas da Bacia. *Acta Amazôn* 14(1/2):77-85.
- BRINKMANN, W.L.F. & SANTOS, A. dos. 1971. Time dependency of hydrogen ion concentration and electric conductivity measurements in river water samples of Central Amazonia. *Acta Amazô.* 1(2):57-62.
- CETESB. 1978. *Análises físico-químicas de águas. Normalização técnica, saneamento ambiental-NT 07*. São Paulo.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. 1976. *Hidrologia Subterrânea*. v. 1. Barcelona, Omega. p. 1019-1095.
- DAVIS, S.N. 1964. Silica in streams and groundwater. *Am. Journ. Sci.*, 262: 870-891.
- DOCEGEO. 1981. *Projeto Cobre Carajás, Jazidas Salobo 3A e 4A*. v. 1 Belém, p. 207.
- DOCEGEO. 1987. Lithostatigraphic review of the Carajás District and Southern Para-Brazil. In: IUGS. PRECAMBRIAN EVOLUTION OF THE AMAZONIAN REGION, CARAJÁS. *Final meeting of the working group, Carajás, 1987. Extended abstracts*. Carajás. p.11-19.

- DOCEGEO. 1988. Geologia Regional das Cabeceiras do Igarapé Aquiri, extremo oeste da Província Mineral de Carajás (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Anais Belém, 1988. Belém, SBG, 6: 2704-2712.
- EDWARDS, A.M.C. & LISS, P.S. 1973. Evidence for buffering of dissolved silicon in fresh waters. *Nature*. 243(8): 341-342.
- FARIAS, N.F.; SANTOS, A.B.S.; BIAGINI, D.O.; VIEIRA, E.A.P.; MARTINS, L.P.B.; SAUERESSIG, R. 1984. Jazida de Cu e Zn da Área Pojuca, Serra dos Carajás-Pa. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Anais. Rio de Janeiro, 1984. Rio de Janeiro. SBG, 3: 3658-3668.
- FELLER, M.C. & KIMMINS, J.P. 1979. Chemical characteristics of small streams near Harrey in Southwestern British Columbia. *Water Resour. Res.* 15(2). 247-258.
- GAT, J.R. 1980. The relationship between surface and subsurface waters: Water quality aspects in areas of low precipitation. *Hidrol. Sci. Bull. Sci. Hydrol.* 25(3): 257-267.
- GALLO G. & SINELLI, O. 1980. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto (SP). *Rev. Bras. Geoc.*, 10: 129-140.
- GARRELS, R.M. 1965. Silica: Role in the buffering of natural waters. *Science*, 148:69.
- GIBBS, R.J. 1972. Water chemistry of the Amazon river. *Geochimica et Cosmochim. Acta*, 36 (9): 1061-1066.
- HEM, J.D. 1970. Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. *Prof. Pap. U.S. geol. Surv.* Washington, 1473. 363p.
- JONRD, L.H.P.; HANDRECK, K.A. 1963. Effects of iron and aluminium oxides on silica in solutions in soils. *Nature*, 198: 852-853.
- JOHNSON, N.M.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. 1968. Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 32: 1668.
- KOUTSCHOUBEY, B.; HIERONYMUS, B.; GODOT, J. M.; SILVA, E.P. & BOULEGUE, J. 1990. Geoquímica das águas de percolação em alguns setores da parte nordeste da Serra dos Carajás (Estado do Pará). CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Anais Natal, 1990. Natal, SBG, 2: 877-888.
- LIVINGSTONE, D.A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes. *Prof. Pap. U.S. Geol. Surv.* Washington, 440 G: 1-64.
- LIMA, W.N. & KOBAYASHI, C.N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena, Pa. *Geochem. Bras.*, 2(1): 53-71.
- LOUGNHAN, F.C. 1962. Some considerations in the weathering of the silicate minerals. *J. Sediment. Petrol.*, 32(2): 284-290.
- LOUGNHAN, F.C. 1969. *Chemical weathering of the silicate minerals*. New York, American Elsevier Pub. 154p.
- MAIER, M.H.; TAKINO, M.; 1986. Ecologia da Bacia do Jacaré Pepira: ions dominantes, São Paulo - Brasil. *Bol. Inst. Pesca*, 13(1): 135-151.
- MACKENZIE, F.T.; GARRELS, R.M. 1965. *Silicates: Reativity with sea-water*.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnologia*. Barcelona, Omega, 1010p.
- MILLER, W.R. & DREVER, J.I. 1977. Chemical weathering and related control on surface water chemistry in the Absaroka Mountains, Wyoming. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 41(12): 1693-1702.

- MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. 1988. *Projeto Estudos e preservação de recursos humanos e naturais na área do projeto Ferro-Carajás; Relatório final.* Belém, 315 p.
- NORTCLIFF, S. & THORNES, J.B. 1978. Water and cation movement in a tropical rainforest environment. *Acta Amazn.*, 8(2): 245-258.
- PIRES, J.M. 1973. Tipos de vegetação da Amazônia. *Publ. Avulsa Mus. Par. Emilio Goeldi*, (20): 179-202.
- RUIVO, M. L.P. & SALES, M.E. C. 1989. Monitoramento da qualidade da água na área do projeto Ferro-Carajás: Um subsídio para o estudo ambiental. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. Série Ciênc. Terra.* Belém, 1(1): 12-24.
- SANTOS, U. M. & RIBEIRO, M. N.G. 1988. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. *Acta Amazôn.*, 18 (3/4): 145-172.
- SCHAFER, A. 1985. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais.* Porto Alegre, Editora da Universidade, 532 p.
- SCHOELLER, M. 1962. *Les eaux souterraines.* Paris, Masson, 642p.
- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C. ; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S & GUIMARÃES, G. 1974. Geologia das Folhas SB-22 Araguaia e parte de SC-22 Tocantins. Projeto RADAM/BRASIL. Folha SB-22 Araguaia e parte da Folha SC-22 Tocantins; geologia geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM:1-143. (Levantamento de Recursos Naturais, 4).
- SILVA, J.F.B.R. da. 1992. *Estudo hidrogeoquímico das regiões de Salobo e Pojuca, Carajás-Pa.* Belém. UFFPa, 151 p. Tese de Mestrado.
- SIOLI, H. 1968. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana*, 1(3): 267-277.
- SOUZA, H.B. & DERÍZIO, J.C. 1977. *Guia Técnico de Coleta de amostras de água.* São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental CETESB, 275p.
- STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. 1981. Geochemistry of the Amazon precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. *J. geophys. res.* 86(10): 9844-9858.
- STEVENS, R.E. 1934. Studies on the alkalinity of some silicate minerals. *Prof. Pap. U.S. Geol. Surv.*, Washington, 185 A: 1-13.
- SZIKSZAY, M. 1973. Dados hidrogeoquímicos de rios da Bacia do Paraná. *Bol. Inst. Geociênc., USP* 4: 97-108.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. 1977. Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes dos arredores da Bacia de São Paulo. *Rev. Bras. de Geociênc.* 7(1): 32-44.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. 1978. Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes da região das águas de Lindóia. *Rev. Bras. Geociênc.* 8(4): 235-248.
- TOLEDO-GROKE, M.C.; PROST, D.; ILDEFONSE, P.; MELFI, A.J.; DELVIGNE, J.; PARISOT, J.C. 1985. Alteração dos minerais da zona supérgena da Formação crupífera do Salobo 3A (Serra dos Carajás) - Localização do cobre nos produtos secundários. *J. Geoch. Explor.*, 20: 33-46.
- VAN LOOM, J.C. 1985. Selected methods of trace metals analysis biological and environmental samples. New York, John Willey & Sons. 351p.

Recebido em 8.1.93  
Aprovado em 17.12.93



 Editora Supercorres

Travessa do Chaco, 688.  
Tel.: (091) 233-0217. Fax: (091) 244-0701  
Belém do Pará