

# CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO DO GRUPO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO

Heraldo Cavalheiro Navajas Sampaio Campos\*

## Resumo

O sistema aquífero Bauru representa uma das principais fontes de exploração da água subterrânea do Estado de São Paulo. É representado por sedimentos cretácicos do Grupo Bauru, de litologia variável, cobrindo uma área de 104.000 km<sup>2</sup>. Foram utilizadas neste estudo 336 análises químicas das águas subterrâneas. Estas águas apresentam, em geral, teores salinos muito baixos e pertencem a dois tipos químicos dominantes: o das águas bicarbonatadas cálcicas e o das águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. A tendência da evolução hidrogeoquímica regional dos íons HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e no sentido nordeste-sudoeste. Quanto à aptidão das águas subterrâneas para os distintos usos, de um modo geral atendem aos padrões exigidos; as águas são potencialmente incrustantes ou corrosivas ou potencialmente corrosivas.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema aquífero Bauru representa uma das principais fontes de exploração de água subterrânea no Estado de São Paulo. É representado por sedimentos cretácicos de litologia variável que recobrem discordantemente os basaltos da Formação Serra Geral, cobrindo uma área de 104.000 km<sup>2</sup> (cerca de 40% do território estadual) de um total de 315.000 km<sup>2</sup> de sua ocorrência na Bacia do Paraná. Este sistema aquífero, devido à relativa facilidade de captação de água através de poços de profundidade moderada (em média 150 metros), atende a um amplo espectro de fontes de demanda de água, desde núcleos urbanos de pequeno porte e indústrias até propriedades rurais que necessitam de água para irrigação.

A área objeto de estudo localiza-se na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, situada na região nordeste da Bacia do Paraná, entre os paralelos 20° e 23° de latitude sul e os meridianos 48° e 53° de longitude oeste (figura 1). Limita-se ao norte pelo rio Grande, a oeste pelo rio Paraná, a sul pelo rio Paranapanema e a leste pela linha de contato geológico entre o Grupo Bauru e a Formação Serra Geral.

Os sedimentos de origem continental do Grupo Bauru, com espessura máxima de até duzentos metros, em termos regionais, pode ser subdividido em quatro formações, da base para o topo: *Formação Caiuã* (arenitos finos a médios, bem selecionados, arroxeados, com estratificação cruzada de grande a médio porte), *Formação Santo Anastácio* (arenitos muito finos a médios, mal selecionados,

---

\* Geólogo do Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE - Rua Riachuelo, 115 - 1.º andar - São Paulo - SP.

geralmente maciços), *Formação Adamantina* (arenitos finos a muito finos, siltitos, argilitos, róseos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos, com estratificação cruzada plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte) e *Formação Marília* (arenitos finos a grosseiros, conglomerados, carbonáticos, mal selecionados, maciços, com concreções carbonáticas).

Do ponto de vista hidrogeológico (DAEE 1974, 1976, 1979), o pacote de sedimentos cretácicos que constituem o sistema aquífero Bauru comporta-se, regionalmente, como um sistema aquífero livre por toda a sua extensão e está assentado sobre um substrato impermeável formado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que é bastante irregular, resultante tanto de falhamentos como de um ciclo erosivo pré-deposição Bauru; a tendência geral do caimento deste substrato é de leste para oeste. As condições de circulação da água subterrânea e o comportamento hidráulico do Grupo Bauru sugerem que a recarga natural se dá diretamente pelas águas de chuva que caem por toda a região e que sua superfície piezométrica possui configuração nitidamente associada a morfologia, com os divisores de água subterrânea seguindo, aproximadamente, os divisores das bacias hidrográficas.

Nos "Estudos de Águas Subterrâneas" levados a efeito pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE, órgão vinculado à Secretaria de Obras do Estado de São Paulo, em 1974, 1976 e 1979, em levantamento de campo, foram cadastrados 2.426 poços tubulares perfurados nos sedimentos do Grupo Bauru. Atualmente, com base nas curvas de tendência de perfuração obtidas nessas sucessivas campanhas de cadastramento, estima-se a existência de mais de 4.000 poços neste sistema aquífero.

## 2. OBJETIVOS E MÉTODOS

De um modo geral, a maioria dos estudos de composição química das águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru estão voltados exclusivamente para os aspectos de qualidade de água face aos distintos usos (humano, animal, irrigação e industrial).

Nos estudos efetuados pelo DAEE entre 1974 e 1979, além dos aspectos de qualidade, as águas são classificadas em grupos hidroquímicos, cuja ocorrência é relacionada às facies litológicas e as feições geomorfológicas.

O conhecimento das características hidrogeológicas do sistema aquífero Bauru a nível regional, em pequena escala, é incipiente. Embora este fato esteja associado à ausência de um esforço considerado de pesquisa, é certo que subsistem outras dificuldades: a complexidade litológica, com variação lateral e vertical de facies, não permite ainda estabelecer um modelo físico do sistema aquífero; além disso, a determinação em subsuperfície, da posição e das características hidráulicas dos estratos aquíferos é difícil, porque a maioria dos dados dos poços não tem a consistência mínima.

Assim, visando preencher esta lacuna do conhecimento hidroquímico do sistema aquífero Bauru no Estado de São Paulo, torna-se necessária a investigação e estudo da relação rocha-água da diferenciação de tipos químicos por litofácies e da variação

da composição química das águas subterrâneas em seu percurso. Em âmbito regional, o estudo aqui realizado teve como objetivos: caracterizar os tipos hidroquímicos e sua interrelação; efetuar o zoneamento hidrogeoquímico com a diferenciação dos tipos químicos por unidades estratigráficas; estudar a evolução da composição química das águas subterrâneas com a percolação no meio aquífero; determinar a qualidade das águas para os distintos usos e determinar o potencial de corrosão ou incrustação das águas subterrâneas.

A escala de trabalho adotada foi a de 1:500.000 devido ao caráter regional do estudo e também pela facilidade de se dispor de uma base cartográfica compatível (Mapa Geológico do IPT, 1981). A partir dos resultados das análises físico-químicas das águas, foram realizados cálculos de consistência de dados, histogramas, gráficos, mapas de tendência e de isovalores, por processamento automático em computador, com vistas a fornecer um quadro da caracterização química das águas subterrâneas no domínio do Grupo Bauru.

Deste modo, após a seleção dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos, foram considerados dados referentes a 336 poços, com uma densidade de distribuição na área de cerca de 1 poço/300 km<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Composição Química das Águas Subterrâneas

Os resultados físico-químicos obtidos para um total de 336 amostras de água subterrânea do Grupo Bauru, revelam que estas águas são fracamente salinas, com resíduo seco a 180°C inferior a 240 mg/l em 91,3% das amostras. A figura 2 mostra a distribuição pontual para cada análise química através do diagrama de Stiff.

As águas fortemente bicarbonatadas cálcicas são características das formações Marília e Adamantina, principalmente no domínio dos espigões e interflúvios, passando às vezes dentro da mesma formação (porém em áreas localizadas mais próximas dos vales dos rios) para águas fracamente bicarbonatadas cálcico-magnesianas. Águas fracamente bicarbonatadas cálcico-magnesianas parecem caracterizar a Formação Santo Anastácio. Águas praticamente desmineralizadas são características da Formação Caiuá (ROCHA et al. 1982) e (CAMPOS, 1987).

#### Tendências de Variações das Relações Iônicas

CAMPOS (1987) procurou interpretar a distribuição das relações iônicas com base na análise de mapas de isovalores dos ions que representam a maior parte do conteúdo salino nas águas subterrâneas do Grupo Bauru, ou seja:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

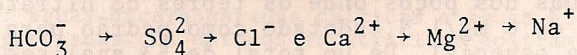
A figura 3 mostra a relação  $\text{rCl}^-/\text{rCO}_3^-$  onde o domínio do íon  $\text{HCO}_3^-$  sobre o  $\text{Cl}^-$  é marcante, pois o  $\text{Cl}^-$  existe em pequenas quantidades nas águas subterrâneas da área. Todavia, embora predomine o íon  $\text{HCO}_3^-$  pode-se notar um certo aumento desta relação, sugerindo um incremento do  $\text{Cl}^-$  em áreas restritas, onde a espessura dos sedimentos é menor, próximo a áreas onde afloram rochas basálticas e em áreas, onde predominam a Formação Caiuá, na região do Pontal do Paranapanema.

O mapa da distribuição de isovalores da relação  $rMg^{2+}$  (figura 4) mostra que na maior parte da área, sob o domínio da Formação Adamantina, predomina o intervalo de 0.0 a 0.5. O intervalo de 0,5 a 1,0 localiza-se em áreas menores da Formação Adamantina próximas aos médios cursos dos rios São José dos Dourados e Tietê e na região de Araçatuba, onde afloram terrenos basálticos; a maior distribuição deste intervalo encontra-se na porção que se estende desde as cabeceiras do rio do Peixe e do interflúvio entre este rio e o rio Aguapeí (Formação Marília), passando pelo "embaciamento" de Pirapozinho-Presidente Bernardes, na região de Presidente Prudente (Formação Adamantina) e atingindo o rio Paraná, abrangendo parte das formações Santo Anastácio e Caiuá. O intervalo superior a 1.0 localiza-se essencialmente no extremo oeste da área no domínio de abrangência das formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá.

### Evolução Hidrogeoquímica Regional

Em geral, as águas subterrâneas de circulação regional tendem a aumentar sua mineralização se saturando dos diferentes íons.

Segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), entre ânions primeiro satura o  $HCO_3^-$ , incluído desde a infiltração e após satura o íon  $SO_4^{2-}$ , o  $Cl^-$  não chega a saturar normalmente. Entre os cátions primeiro satura o  $Ca^{2+}$ , mais dificilmente o  $Mg^{2+}$ ; o  $Na^+$  normalmente não chega a saturar. Assim, a evolução normal de uma água de circulação regional é aquela em que sucessivamente vão dominando os seguintes íons:



Com base no estudo das tendências de variações das relações iônicas apresentadas anteriormente, CAMPOS (1967) tenta estabelecer um modelo esquemático tipo hipotético para a evolução hidrogeoquímica regional, como mostra o bloco-diagrama da figura 5. Na área, águas bicarbonatadas cálcicas, de teor salino entre 100 e 200 mg/l são características da Formação Marília e das partes superiores da Formação Adamantina; águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas, de teor salino menor que 100 mg/l, correspondem em domínio das formações Adamantina e Santo Anastácio, numa faixa de aproximadamente 80 quilômetros paralela ao rio Paranapanema; a ocorrência de águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas evoluindo para sódicas, de teor salino em torno de 50 mg/l, no extremo oeste da área, onde predomina a Formação Caiuá, sugerem uma zona de transição na evolução hidrogeoquímica regional, no sentido  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , de nordeste para sudoeste.

Cabe ressaltar aqui que embora o modelo de CAMPOS (1987) não mostre um enriquecimento salino, a nível regional, das águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru (talvez associado às diferentes quantidades de carbonato de cálcio (calcrete) ou de argilo-minerais, constituintes do cimento das litofacies das distintas formações do Grupo Bauru) pode-se notar o sucessivo domínio dos íons  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , do nordeste para sudoeste, acompanhando a grosso modo, a resultante dos fluxos da água subterrânea para a confluência dos rios Paraná e Paranapanema.

## Potencial de Incrustação ou de Corrosão das Águas Subterrâneas

A figura 6 mostra a distribuição do zoneamento deste potencial, onde o domínio das águas potencialmente incrustantes ou corrosivas, com o índice de saturação de Rysnar variando de 7.0 a 9.0, correspondem grosseiramente às áreas de exposição das Formações Marília e Adamantina (principalmente nos domínios geomorfológicos dos planaltos e espigões), onde as águas subterrâneas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas, com teores salinos variando de 100 a 200 mg/l; um outro zoneamento, de águas potencialmente corrosivas, com índices de Rysnar apresentando valores acima de 9,0, é característico das Formações Caiuá e Santo Anastácio, onde as águas são bicarbonatadas cálcico magnesianas, com teores salinos inferiores a 100 mg/l.

### Aptidão das Águas Subterrâneas para os Distintos Usos

#### *Uso Humano e Animal*

O exame de potabilidade das águas subterrâneas, em função de composição química e da concentração de sais, foi baseada nos padrões estabelecidos pelo Decreto 12.486, de 20/10/1978 - NTA-80, do Governo do Estado de São Paulo.

De modo geral, as águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru são de excelente qualidade para o consumo humano e animal, porém, dos 335 poços cujas águas foram analisadas, 53 (15,8%) ultrapassam o limite superior recomendado que é de 6 mg/l de N. As águas dos poços onde os teores de nitrato excedem o limite superior de 6 mg/l N, adotado como padrão para o consumo merecem destaque especial. De um total de 53 análises que indicam valores superiores a 6 mg/l, 23(43.4%) são de águas de utilização doméstica, via de regra, de poços que captam águas em zona rural, o que sugere poços poluídos através da proximidade com fossas negras ou mesmo com estábulos, além da possibilidade de existir poluição por meio de fertilizantes agrícolas. O número de 19 poços que apresentam águas com teores de nitrato acima do padrão (35.8%) são destinados ao abastecimento público.

#### *Uso Agrícola*

A aptidão das águas subterrâneas para irrigação foi examinada com base no diagrama e nos padrões de salinidade do Laboratório de Salinidade de Riverside, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

De acordo com esse critério, verifica-se que dos tipos de águas existentes na área estudada 85% das amostras analisadas, são de excelente qualidade, baixa salinidade, fracamente sódicas, podendo ser utilizadas sem restrições para quase a totalidade das plantas e para a maioria dos solos, com pequeno risco de salinização. As classes de águas de boa qualidade compõem-se de 15% das amostras. São águas de salinidade média (de 250 a 300  $\mu$ S/cm), sódicas, podendo ser utilizadas com limitações para plantas com tolerância moderada a sais, em solos bem drenados.

O exame de qualidade das águas para fins industriais, em razão da diversidade de requisitos para cada tipo de indústria, foi efetuado de acordo com o perfil de produção existente na área, composto pelas seguintes indústrias: frigoríficos, alimentos, curtumes, textil, enlatamento de produtos vegetais e cervejaria.

Pelo exame das análises químicas verificou-se que as águas subterrâneas da área necessitam de controle de qualidade principalmente, de pH (para tornarem-se básicas) e de dureza, para atender as exigências de teores para determinados tipos de indústria.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise do comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo permitiu o delineamento das tendências regionais de enriquecimento salino em associação com as características litológicas das formações e seus condicionantes geomorfológicos.

Em âmbito regional, as águas subterrâneas do Grupo Bauru têm baixa salinidade, com valores de resíduo seco inferiores a 240 mg/l. A faixa de 100 a 200 mg/l é predominante em área. Os valores acima de 200 mg/l são características dos espigões e planaltos. Nas áreas de interflúvios e na região de Pontal do Paranapanema as águas apresentam teores de resíduo seco abaixo de 100 mg/l.

As águas subterrâneas apresentam dois tipos químicos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. Os estudos estatísticos mostram que os íons  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são os principais responsáveis no processo de enriquecimento salino das águas. Em área, o domínio das águas bicarbonatadas cálcicas abrange cerca de 70% da área de estudo. Além destes grupos químicos predominantes, foram individualizadas duas áreas principais de águas bicarbonatadas sódicas nas regiões de Araçatuba e Presidente Prudente.

A composição mineralógica dos sedimentos das distintas formações do Grupo Bauru (à exceção da Formação Caiuá) parece contribuir significativamente para a predominância destes íons maiores: o carbonato de cálcio (calcrete) e os argilo-minerais, constituintes do cimento das litofácies, devem ser as principais fontes de enriquecimento iônico do meio aquífero.

A evolução hidrogeoquímica regional das águas subterrâneas apresenta uma tendência predominante de modificação química no sentido nordeste-sudoeste, acompanhando a resultante dos fluxos da água subterrânea para a confluência dos rios Paranã e Paranapanema. Águas fortemente bicarbonatadas cálcicas passam gradativamente para águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas, até atingirem uma zona de águas fracamente bicarbonatadas e cloretadas sódicas. Estas três zonas hidrogeoquímicas foram delimitadas na área.

As duas áreas de águas bicarbonatadas sódicas (Ara

çatuba e Presidente Prudente, com teores alinos relativamente mais elevados, podem vir a ser favoráveis para a prospecção hidrogeológica de carbonatos de sódio (trona), dependendo de estudos adicionais sobre o modelo deposicional em certas áreas da "bacia Bauru".

À luz das características hidroquímicas analisadas, o sistema aquífero Bauru comporta pelo menos uma divisão em duas unidades aquíferas: o "aquífero Caiuá" e o "aquífero Bauru" (constituído pelas Formações Marília, Adamantina e Santo Anastácio). Isto porque as águas da Formação Caiuá apresentam características inteiramente distintas das demais formações, são águas ácidas, de concentração salina muito baixa, com teores de resíduo seco em torno de 50 mg/l, fracamente bicarbonatadas. Sua individualização como unidade aquífera se justifica além disso, pelas suas características hidráulicas, como já sugerido por outros autores em trabalhos anteriores.

O zoneamento das águas subterrâneas quanto ao seu potencial de incrustação ou de corrosão revela que, na metade da área as águas são potencialmente incrustantes ou corrosivas e na outra metade são águas potencialmente corrosivas. Portanto, os projetos de captação devem levar em conta a adequada seleção de materiais e equipamentos de poços, assim como de seu regime de bombeamento a fim de minimizar os processos de corrosão ou incrustação.

No que se refere à utilização das águas, o estudo mostra que sua qualidade química natural atende aos requisitos de potabilidade e irrigação; quanto ao uso industrial, para alguns tipos de indústrias (textil, curtumes, cervejaria, enlatamento de vegetais), as águas necessitam de correção, principalmente da dureza e do pH, no domínio das águas bicarbonatadas cálcicas. Em 53 amostras de água (16%) foram constatados teores de nitrato acima do padrão de potabilidade, indicando contaminação.

O presente estudo, dada a escala de abrangência e as deficiências próprias dos dados existentes (poços), representa tão somente um esforço de sistematização do conhecimento hidrogeológico do Grupo Bauru, a nível regional. Futuros trabalhos de investigação hidrogeológica deverão privilegiar áreas ou sub-bacias pequenas, representativas, e contar com perfurações especiais que permitam a amostragem vertical em cada zona aquífera, de modo a propiciar o acompanhamento das modificações hidroquímicas tanto na lateral como na vertical.

## 5. AGRADECIMENTO

O autor agradece a Gerônimo Albuquerque Rocha, geólogo do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) pelas críticas e sugestões recebidas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, H.C.N.S. - 1987 - Contribuição ao Estudo Hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Inst.Geoc., São Paulo, 160p.

CUSTÓDIO, E.O. & LLAMAS, M.R. - 1976 - Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Ed. Omega, 2v.

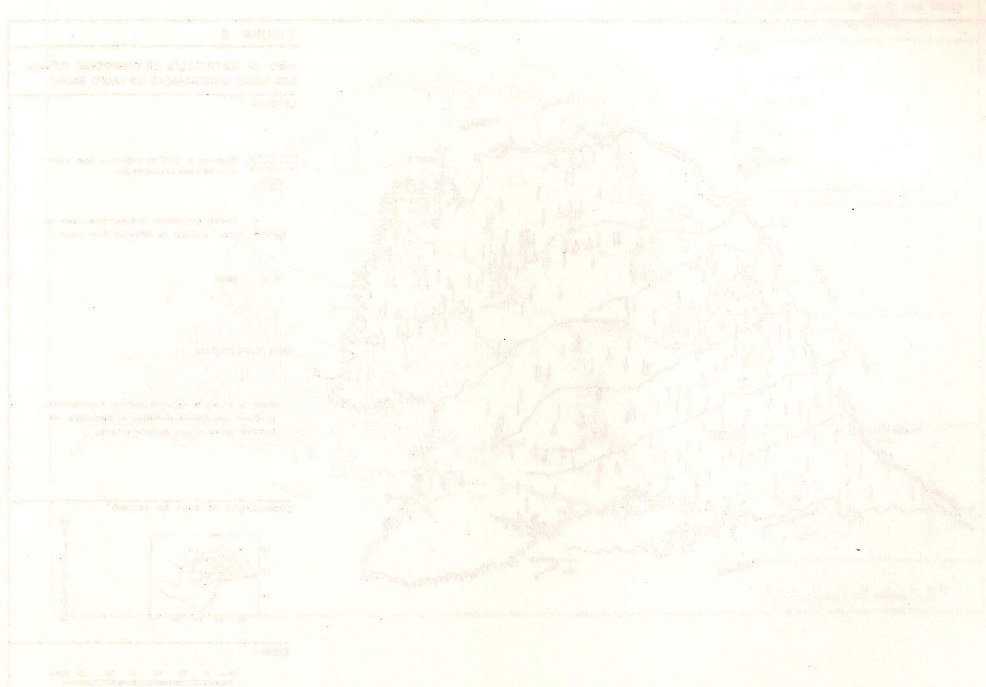
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica - 1974 - Estudo de Águas Subterrâneas; Região Administrativa 6, Ribeirão Preto, SP - Geopesquisadora-Tahal, 2v.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica - 1976 - Estudo de Águas Subterrâneas; Regiões Administrativas 7,8 e 9 (Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba, São Paulo, ENCO, 4v.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica - 1979 - Estudo de Águas Subterrâneas; Regiões Administrativas 10 e 11 (Presidente Prudente e Marília), São Paulo, 3v.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia - 1981 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo.

ROCHA, G.A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; CAIXETA, J.B. - 1982 - Tentativa de Zoneamento das Características Hidráulicas e Hidrogeoquímicas do Aquífero Bauru. In: SBG & ABAS. Encontro de Geologia e Hidrogeologia, São Paulo.





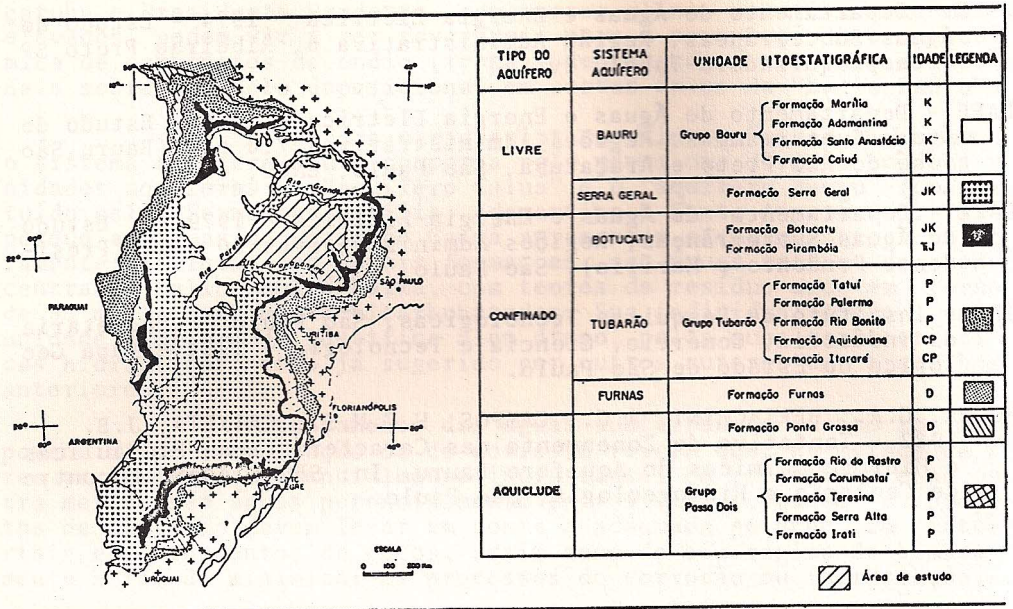
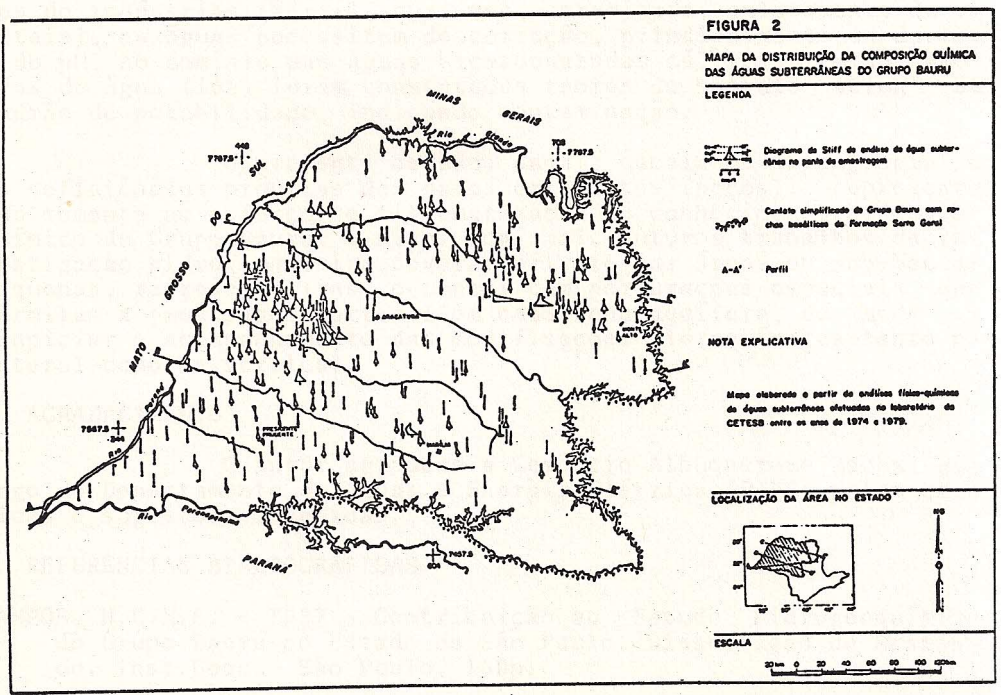
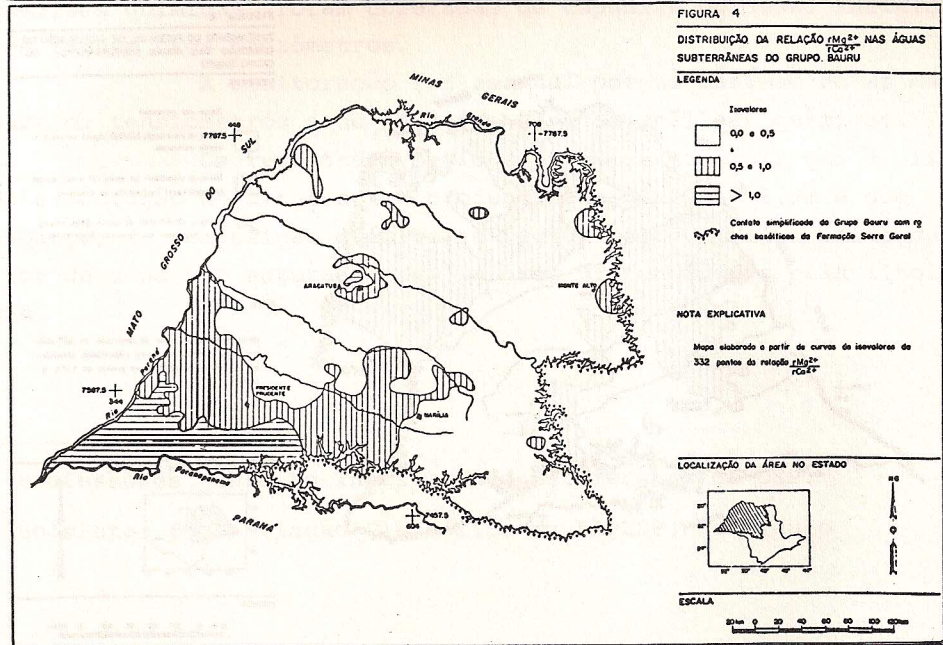
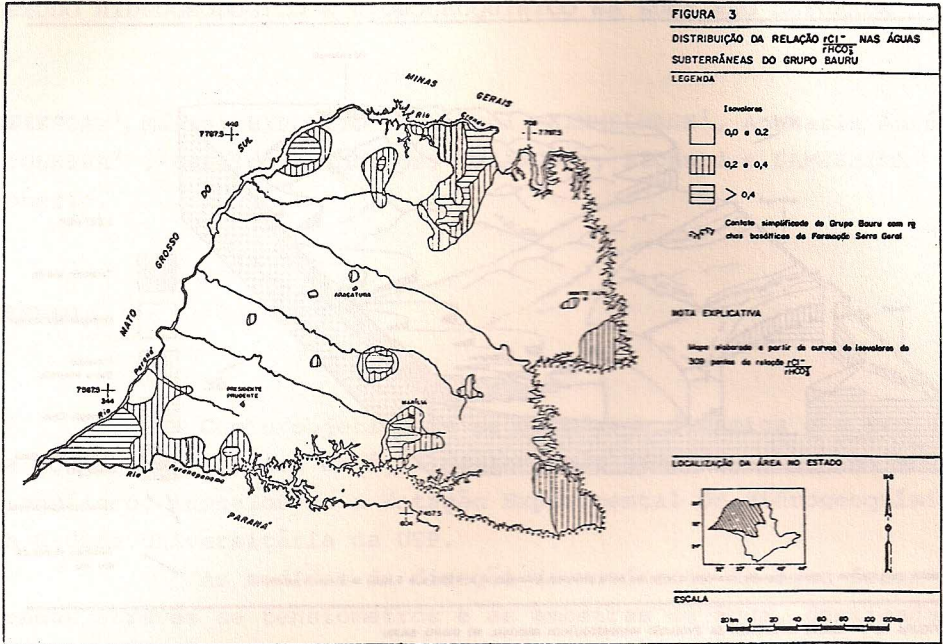
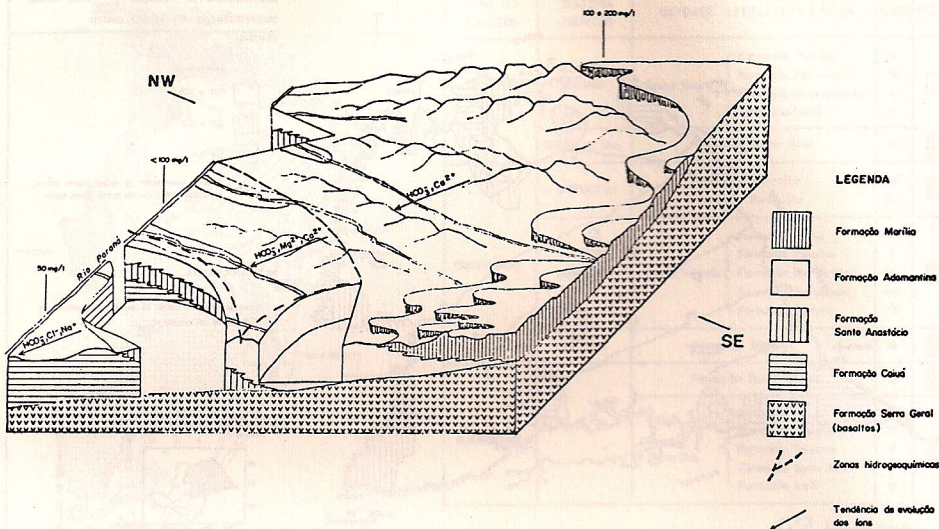


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E UNIDADES HIDROGEOLOGICAS NA BACIA DO PARANÁ, MODIFICADO DE SILVA (1983).







NOTA EXPLICATIVA : Bloco-diagrama construído a partir das perfis geológicas de Almeida et al (1961) e de 3 perfis do presente estudo

FIGURA 5' : - MODELO HIPOTÉTICO DA EVOLUÇÃO HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL NO GRUPO BAURU

