

Emílio Custódio Gimena
Waldemir Barbosa da Cruz
Adelbani Braz da Silva
Fernando Gomes Jardim
Carlos Alberto de Mello Peixoto

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO COSTEIRA DE OLINDA-GOIANA, PERNAMBUCO.

ABSTRACT

The geochemical study of the underground waters in the area of Olinda and Goiana, Pernambuco State, was made in order to discover the origin and movement of these waters. A study of the geohydrochemical evolution in the recharge areas shows that the recharge waters present, practically insignificant chemical evolution between the recharge and discharge zones. In the lower parts of the coastal aquifer only small changes occur, due to the rapidly geowing age. In the upper levels, where sandstones with limestone cement occur, the aggressivity of the water reduces and a significant increase of HCO_3 takes place. Sometimes when the cement is dolimitic, Mg increases occur as well. The undep coastal underground waters present high salinity according to the fresh and salt water interrelationships. As to the evolution of ions in the coastal zone, one can observe that no significant variations exist in the vertical direction, with exception to the absence of carbonate in the inferior parts of the aquifer. The chloride content presents a small growth from 30 ppm to 50 ppm. The sulfate ion presents concentrations up to 10-15 ppm and does not show a clear evolution. As to the less deep underground waters, specially those of the Gramame formation, there still is a lack of data, nevertheless, high chloride contents have been found, not high enough though to be considered salt waters. An addition of the itb in the coastal zone has been detected. This may be due to ionic interchange phenomena that have lead to an increase of the hardness of underground water. A clear chemical stratification exists, with harder and more carbonated waters in the upper levels, and aggressive and frequently less harder waters in the lower parts. This stratification does not exclude the existence of ascendent flow of water but in natural conditions, descendent flow is excluded.

1. INTRODUÇÃO

Um levantamento dos recursos hídricos, para fins de aprovei

tamento integrado, foi realizado pela SUDENE-CONESP, através da OESA-Organização e Engenharia S.A. - na região costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Estes estudos, que se desenvolveram de junho de 1974 a março de 1976, incluíram, no campo da hidrogeologia, pesquisas a nível de detalhe, das características dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos, condições de circulação, recarga e descarga natural, uso e produção atual da água subterrânea e geoquímica das águas, além do estudo de possíveis influências de intrusão marinha, particularmente na área Olinda-Goiana, selecionada como a de maior potencial hídrico subterrâneo, de toda a região estudada.

O programa de trabalho abrangeu a perfuração de poços, sondagens e piezômetros, a realização de testes de aquíferos, medidas periódicas de níveis d'água em uma rede de poços de observação, além de um levantamento geofísico por meio da técnica de sondagens elétricas.

Neste trabalho apresentam-se os resultados alcançados com o estudo geoquímico das águas subterrâneas, na área entre Olinda e Goiana, no Estado de Pernambuco.

2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

A região estudada compreende a faixa sedimentar entre Olinda e Goiana, pertencente à bacia costeira de Pernambuco e Paraíba, onde ocorre uma sequência de rochas cretácicas, representada por uma formação basal arenítica (Formação Beberibe), e uma unidade superior (Formação Gramame), esta última estendendo-se segundo uma faixa paralela à costa, com largura máxima de 5 km. Sobre estes sedimentos, ocorrem, em áreas restritas, uma formação calcária terciária (Formação Maria Fariinha) e, em extensivas áreas, uma unidade terciária areno-argilosa (Grupo Barreiras), além de aluviões e sedimentos de praia recentes.

O principal aquífero (Formação Beberibe) é representado, na seção inferior, por arenitos quartzosos friáveis de granulação variável, contendo delgadas intercalações silticas e argilosas. A seção superior é constituída de arenitos compactos muito calcíferos. O subnível aquífero inferior classifica-se como um aquífero semi-confinado, limitado na base por um "aquicludo", representado pelo substrato cristalino precambriano e, no topo, por uma camada ou nível semi-permeável - folhelhos ou siltitos - que funciona como um "aquitard". A recarga processa-se através de infiltração direta das águas de chuva nas áreas de afloramentos, situadas na borda oeste da bacia, e o escoamento geral se verifica em direção à costa, acompanhando o mergulho regional. O subnível aquífero superior constitui também um aquífero semi-confinado, separado do inferior por um "aquitard", e limitado no topo pelos calcários da Formação Gramame ou pelos sedimentos do Grupo Barreiras.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Com base nos dados preliminares existentes, procedeu-se a uma planificação da coleta de dados necessários em pontos e situações que fossem os mais representativos e que cobrissem razoavelmente a a-

rea, tanto na faixa costeira como na zona de recarga.

No Quadro 1 indica-se o número de análises de água subterrânea estudadas por área.

QUADRO 1

Na maior parte das análises foram determinados quatro ânions (Cl , SO_4 , CO_3H e CO_3) e quatro cátions (Na , K , Ca , Mg), bem como diversas relações iônicas: $r\text{K}/r\text{Na}$; $r\text{Na}/r\text{Ca}$; $r\text{Mg}/r\text{Ca}$; $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$; $r\text{SO}_4/r\text{CO}_3\text{H}$; itb e $\text{Kr}(1)$ - além da condutividade elétrica, resíduo seco, pH e dureza total. A soma de ânions e cátions, em todas as análises, tem sido confrontada, a fim de se determinar e eliminar possíveis erros e anomalias.

Utilizando-se os dados mais representativos, foram desenhados mapas de isolinhas, com as limitações inerentes às dificuldades de ter em conta, em uma representação plano-horizontal, os efeitos de variações verticais.

Para poder ressaltar também os efeitos do movimento vertical da água, foram realizadas 15 análises parciais com determinação do CO_2 dissolvido e da dureza.

Foram também coletadas 22 amostras de água do freático (2 vezes), em zonas próximas às áreas pantanosas ou com influência de marê, além de 26 amostras de água superficial. Em todas elas foram determinados unicamente a condutividade elétrica e o conteúdo em cloretos.

Foram ainda tomadas 9 amostras de água de chuva em 5 estações, determinando-se o conteúdo em cloretos, sulfatos, sódio e potássio, além da dureza e condutividade elétrica.

As análises foram realizadas pelo Laboratório de Solo e Água do Nordeste.

4. EVOLUÇÃO GEOHIDROQUÍMICA NAS ÁREAS DE RECARGA E NOS AQUÍFEROS

Nas áreas de recarga, a água deve infiltrar-se através de um solo com uma notável atividade orgânica, o que permite dissolver - uma elevada quantidade de CO_2 , baixar o pH e portanto adquirir grande agressividade. Estas águas podem alcançar concentrações iniciais de CO_2 dissolvido próximas a 75 ppm, frequentemente superior a 50 ppm.

Na área de recarga dominam os arenitos do aquífero Beberibe inferior (Kb inf), praticamente isentos de carbonatos em muitas áreas.

- (1) - r = meq/l;
 - itb = índice de troca de bases = $r\text{Cl} - r(\text{Na} + \text{K})/r\text{Cl}$;
 - Kr = $r\text{Ca} \cdot r(\text{CO}_3\text{H})^2$.

São constituídos por grãos de quartzo, às vezes grosseiros, e menores quantidades de outros minerais procedentes da decomposição do cristalino, principalmente feldspatos (ortoclásios), às vezes alterados a caulim. O cimento, quando existe, é de caráter sílico.

Nestas condições, a agressividade da água não se consome e se mantém ao longo do trajeto subterrâneo, mesmo com permanências muito prolongadas. Somente em algumas zonas, principalmente próximas da base do aquífero, na zona costeira, a alteração dos silicatos permite o consumo de parte da agressividade com um aumento de CO_3H e de Na e Ca. Assim, $r_{\text{Na}} > r_{\text{Cl}}$, e, portanto, com um valor de itb cada vez mais negativo.

A citada evolução supõe a total ausência de carbonatos, o que parece verificar-se na área de recarga e na parte inferior do aquífero Beberibe (Kb inf), como será exposto adiante.

Nestas condições, a água de recarga somente pode sofrer uma evolução química reduzida e lenta, no aquífero. Entre a entrada e os pontos de descarga nos pequenos rios que nascem e drenam a zona, são produzidas, apenas, alterações na composição química da água do meio saturado.

A água contida na parte profunda do aquífero litoral somente pode sofrer pequenas modificações em função da idade, rapidamente crescente, visto que se trata de um sistema semi-confinado. Estas modificações são, principalmente:

a. pequeno incremento do conteúdo de cloreto por dissolução de traços no terreno; somente se produz em zonas com águas praticamente estacionárias;

b. pequeno incremento do conteúdo de sulfatos, da mesma forma que o de cloretos, salvo quando ocorrem fenômenos de redução, muito pouco prováveis devido à aparente ausência de materiais redutores no aquífero e na água de infiltração.

c. incremento do conteúdo de bicarbonatos às expensas do CO_2 dissolvido, por dissolução de pequenas quantidades de carbonatos e principalmente, por ataque à pequena fração silicatada das areias, com um incremento no conteúdo em Ca e Na, função do tipo de reações e trocas iônicas que se produzam. A evolução do conteúdo de Mg é incerta.

Ao passar a água, por circulação vertical ascendente na zona costeira, aos níveis de arenitos com cimento calcário (aquífero Beberibe superior, Kb sup) a agressividade se consome e aumenta notavelmente o conteúdo em CO_3H , e às vezes Mg, se o cimento é dolomítico, aumentando o pH.

Todo o exposto será desenvolvido em continuação.

4.1. CONCENTRAÇÕES IÔNICAS

a - Rios

Os rios e riachos em geral drenam os aquíferos da zona e constituem praticamente a única descarga natural importante de água subterrânea. Por isso, a composição química de suas águas coincide com a das águas dos poços próximos existentes na área de recarga. Constituem exceção aqueles rios que têm uma parte significativa de sua bacia no cristalino e que recebem aportes destes terrenos que são mais salinos pela menor umidade climática e pela maior alterabilidade das rochas e do solo.

Sendo o normal, uma concentração entre 15 e 25 ppm de Cl, estes rios com águas procedentes do cristalino apresentam geralmente maior quantidade deste íon, conforme se verifica no Quadro 2.

QUADRO 2

Os dados são do período seco, de setembro a novembro de 1975 (Quadro 3), exceto para o rio Goiana (Capibaribe Mirim e Tracunhaém), que são do final da época úmida (23 de julho de 1975).

QUADRO 3

É interessante observar que os rios estão ordenados no Norte para o Sul e que, nos rios que praticamente só drenam bacias não afetadas pelo cristalino, o conteúdo em cloreto na água decresce de Norte para o Sul.

b - Águas Freáticas e Superficiais na Zona Baixa

Nas zonas baixas, submetidas a efeitos de maré e onde existem mangues, foram coletadas amostras de (1) águas superficiais e de (2) águas freáticas, por meio de pequenos furos de trado, até alcançar o nível d'água.

Nestas águas somente foram determinados o conteúdo de cloretos e a condutividade elétrica. As amostras de águas freáticas foram coletadas em julho (época úmida), exceto em dois lugares, que foram amostrados em setembro (Quadro 4).

QUADRO 4

É fácil observar (Figura 1) que ao chegarem os rios na zona de influência de maré, a salinidade cresce rapidamente até valores próximos aos do mar (19.000 ppm Cl), em Igarassu e final do rio Botafogo. O rio Paratibe parece manter a salinidade quase nula até muito próximo da desembocadura.

FIGURA 1

Quanto à água freática nas zonas de baixa altitude, próximas às marés, alcança salinidades próximas às do mar e, inclusive, mu

to superior por efeito de evaporação em zonas estagnadas, mas diminui rapidamente ao afastar-se das margens (Figura 1). Na área de Goiana, o conteúdo de cloreto das águas freáticas na zona de mangues é maior que o da água subterrânea a causa da evaporação, mas difere do correspondente à água do rio Goiana e seus tributários (Capibaribe Mirim e Traçuhaém).

Dadas as características de elevada permeabilidade superficial do terreno e elevada pluvimetria, cabe esperar que a água subterrânea freática da faixa costeira (8 a 10 km de largura) seja normalmente pouco salina, exceto no canal de Santa Cruz, onde a salinidade é muito alta e também possivelmente na parte baixa do rio Goiana, mas não a alta. Ademais, podem ser esperadas salinidades elevadas nas águas subterrâneas pouco profundas, próximas ao litoral, de acordo com as características das relações água doce-água marinha e como evidenciado pelo reconhecimento geofísico de superfície (sondagens elétricas verticais):

- . Ponta do Funil - salinizados os primeiros 25 m;
- . Itamaracá - salinizados os primeiros 25 m;
- . Olinda - Paulista (poço OL-22) - salinizados os primeiros 40 m;
- . Zona entre Olinda e Recife, algo afastado do litoral - salinização moderada até 30 m de profundidade.

Nos três primeiros locais indicados, a resistividade chega a decrescer até 3 ohm.m, o que assinala a presença quase inequívoca de água marinha, especialmente tendo em conta que se trata de materiais calcários e arenosos.

c - Águas Subterrâneas na Zona de Recarga

Embora exista recarga em toda a área em estudo, chama-se zo na de recarga à faixa compreendida entre o contato com o cristalino e uma distância de 8 a 10 km do litoral. Trata-se da zona que descarrega preferencialmente aos pequenos rios da área e corresponde integralmente à formação Kb (Beberibe); a recarga na faixa litorânea é drenada para o mar e para os numerosos canais e zonas inundadas existentes, ou se evapotranspira nos mangues; esta área corresponde, em grande parte, às formações Kg; Km e Tb (Gramame, Maria Farinha e Barreiras).

O conteúdo em cloretos da água subterrânea, na zona de recarga, varia normalmente entre 15 a 25 ppm e é similar à água dos rios que as drenam e nascem na zona, como se pode ver na Figura 1 e no Quadro 5.

QUADRO 5

As observações mais importantes que podem ser feitas são:

- . Excetuando a área da bacia do rio Goiana, o conteúdo de cloretos da água subterrânea é uniforme, correspondendo ao dos rios que nascem na zona;

. Não se verifica nenhuma variação conhecida de cloretos com a profundidade;

. Na área entre o rio Itapirema e o rio Tracunhaém os cloretos diminuem a valores da ordem de 10 ppm ou menos, o qual parece estar relacionado com uma maior recarga percentual nessa zona, uma consequência do qual pode ser a existência de elevados níveis freáticos. O poço GN-24 é exceção, por ser o que tem maior conteúdo em cloretos (34 ppm), porém se trata de um poço muito próximo do limite com o cristalino e que possivelmente capta águas provenientes de escoamento, ou do contato com o teto alterado do cristalino, sendo por isso diferente dos demais poços, que exploram água das areias silíceas sedimentares que cobrem o embasamento.

Na Figura 1 mostra-se o conteúdo em sulfato na água subterrânea. Na zona de recarga são válidas as mesmas observações anteriores, tendo-se em conta que o conteúdo em sulfatos é em média da ordem de 3 a 5 vezes menor que o de cloretos. A homogeneidade é menor, porém pode ser devido à menor precisão na determinação do sulfato e outras perturbações. Em geral, o conteúdo é menor que 6 ppm. Parece existir uma ligeira tendência a diminuir o teor de SO_4 com a profundidade, se bem que tal fato está pouco claro e poderá ser um efeito recente, causado pelo estabelecimento de cultivos nos tabuleiros. Nada faz pensar em redução de sulfatos (1).

Desconhece-se o conteúdo em SO_4 nas águas superficiais, exceto no início do rio Tabating (fonte IG-61), onde o teor é idêntico ao já aludido e ligeiramente maior que nos poços próximos.

d - Águas Subterrâneas na Zona Litorânea de Transferência

Denomina-se zona litorânea de transferência à faixa costeira em torno de 5 km de largura, na qual o aquífero Beberibe (kb) se encontra abaixo dos sedimentos calcários das formações Maria Farinha (Kmf) e Gramame (Kg), onde as espessuras sedimentares atingem os 400 m abaixo do nível do mar. A muito lenta descarga dos níveis profundos de ve fazer-se principalmente por movimento vertical ascendente, dadas as características do aquífero e o aumento de espessura do recobrimento calcário no sentido do mar.

O movimento vertical parece estar dificultado, de forma bastante importante, pela presença de intercalações sedimentares argilosas e de folheto, algumas de mais de 10 m de espessura, distribuídas irregularmente tanto em sentido vertical como horizontal, tal como cor responde a um sistema litorâneo transgressivo-regressivo. A permeabilidade vertical é provavelmente uma a duas ordens de grandeza inferior a permeabilidade horizontal.

Analisando-se dados de cloretos e sulfatos da Figura 1 e tendo-se em conta que as pequenas diferenças podem ser atribuídas a inevitáveis erros analíticos, nada faz suspeitar que existam variações de SO_4 e Cl em sentido vertical, apesar da ausência de carbonatos na

parte inferior e a presença de silicatos leucocráticos cada vez maior para a base e para o mar. Perto da superfície crescem rapidamente, mas é um efeito de águas superficiais freáticas.

Os dados do Quadro 6 confirmam estas observações, sendo razoável considerar que aproximadamente, só existem variações em sentido horizontal, que estão representadas pelo traçado das linhas da Figura 1.

QUADRO 6

Ao passar da zona de recarga para a faixa costeira, o conteúdo de cloreto, que se situava ao redor de 20 ppm, inicia um lento crescimento, passando a 30 ppm e alcançando 50 ppm no litoral. Quanto ao sulfato, sua evolução é menos clara (possível efeito de erros analíticos e de alteração do conteúdo de sulfato, de algum modo, por ambiente redutor moderado), apresentando a grosso modo um aumento desde 3-5 ppm a 10-15 ppm.

As principais observações que se podem fazer são:

. em Olinda existe um importante aumento localizado no conteúdo de cloreto, que afeta tanto a parte superficial como profunda do aquífero Beberibe (Kb), com aumento similar no conteúdo em sulfatos, embora não tão perceptível e ligeiramente deslocado em sua posição;

. de Paulista até o litoral existe uma zona de água similar às de recarga;

. desde a coata até Abreu e Lima, observa-se uma zona mais salina, identificada pelos cloretos e sulfatos;

. os cloretos não indicam variações importantes entre a zona anterior e o limite norte, se bem que os sulfatos mostram um ligeiro aumento em Igarassu, e uma faixa de águas pouco sulfatadas ao longo de uma linha entre Itamaracá e Goiana, que é possível que mantenha relação com as águas menos cloretadas existentes na área de recarga, entre Tejuçupapo e o rio Itapirema.

Quanto às águas subterrâneas menos profundas, principalmente as da formação Gramame, os dados são muito escassos e assinalam águas já bastante cloretadas, com um conteúdo em sulfatos de tendência elevada, porém sem que possam ser consideradas águas salgadas. Os poços perfurados nessa formação penetram até sua base. Não foram obtidos dados da zona média e alta, salvo aqueles indiretos fornecidos pela geofísica e anteriormente mencionados.

A fonte GN-03, que corresponde a uma descarga próxima ao li

(1) Erros de ± 2 ppm de SO_4 para volumes de 100 ml; de $\pm 0,8$ ppm, em 250 ml. Para o íon Cl, as previsões são de $\pm 0,10$ e $\pm 0,04$ ppm de Cl

toral do aquífero Barreiras (Tb), similar ao Beberibe (Kb), embora mais argiloso, apresenta água semelhante à existente na zona de recarga do aquífero Beberibe (Kb).

4.2. Relação rK/rNa e Índice de Troca de Base

Para interpretar o significado das variações da relação rK/rNa , é necessário considerar que:

a. em águas pouco salinizadas, o rNa pode ser praticamente da mesma ordem que o rK (rK/rNa entre 1 e 0,5);

b. em águas mais salinizadas, a relação rK/rNa tende a diminuir, com limite inferior próximo a 0,02;

c. a presença de silicatos potássicos (por exemplo, ortoclásio) tende a modificar a relação, fazendo-a crescer, se bem que parte do potássio liberado tende a ser fixado no terreno. As trocas iônicas entre o Na e K parecem pouco importantes e, em todo caso, levam a relação rK/rNa a diminuir.

Ademais, ao comparar, através de um quociente, grandezas que podem conter um erro elevado devido às pequenas quantidades medidas, devem ser consideradas as variações que podem ocorrer. Estas variações são ainda maiores para o itb , em virtude de o numerador ter uma diferença entre valores que podem ser de importância similar.

Os valores de rK/rNa e itb são apresentados na Figura 2.

FIGURA 2

Os principais fatos observados são (Quadro 7):

QUADRO 7

as águas de rápida renovação (fontes, poços pouco profundos longe do litoral) têm uma relação rK/rNa pequena, de acordo com o observado na água de chuva, sem que exista uma tendência definida no itb , cujo valor na água de chuva é incerto como se verá adiante.

as zonas centrais tendem a estar ocupadas com águas nas quais a relação rK/rNa é alta, inclusive até valores que superam 0,4. Isto pode ser um efeito de aportes seletivos de K, procedentes dos silicatos contidos nas areias, principalmente do ortoclásio. Simultaneamente, o itb tenda a fazer-se muito negativo, possivelmente, em razão da alteração dos silicatos.

Não obstante e sem ser de todo significativo, dado o possível erro nas cifras, parece existir uma certa tendência a aumentar rK/rNa e itb de baixo para cima. Isto já indicaria uma certa estratificação da origem da água, mais marcada na costa e muito mais incerta na zona intermediária. Uma consequência disto é que o fluxo vertical as-

cedente, a partir dos níveis mais profundos, deve ser pequeno, especialmente para a costa.

na zona costeira, o valor de rK/rNa diminui rapidamente, até valores menores que 0,2, atribuídos principalmente ao aumento de salinidade e fixação seletiva de K. É fácil se observar que os poços mais cloretados na faixa litorânea, são os de menor valor de rK/rNa . Não há orientações sobre a origem do íon Cl. Quanto ao valor de itb , também a faixa litorânea mostra um comportamento singular, com valores crescentes, inclusive até com valores positivos mais ou menos correspondentes aos da zona litorânea de menor valor de rK/rNa .

O incremento litorâneo do valor do itb , que parece muito mais acentuado em níveis profundos, pode ser devido a fenômenos de intercâmbios iônicos, que levariam a um endurecimento da água, em detrimento do conteúdo em alcalinos. Isto pode ser ocasionado pela presença de minerais argilosos, de ambiente alcalinoterroso, submetidos a um processo de entrada de águas mais salinas e sódicas, o qual explicaria o aumento de cloreto nessa zona e os demais fenômenos observados, devendo admitir-se, para isto, uma grande lentidão de circulação, conforme a estrutura muito estratificada do meio e a existência de potenciais hidráulicos rapidamente crescentes em profundidades.

As águas pouco profundas da faixa litoral indicam uma baixa relação rK/rNa e um valor positivo de itb , correspondente a águas mais salinizadas que as anteriores e em relação com o mar ($rK/rNa = 0,015$; $itb = + 0,12$). O fato do valor de itb ser igual ou superior ao marinho indica um equilíbrio, ou uma possível tendência à salinização.

4.3. Efeitos Produzidos pela Agressividade da Água

A existência de níveis isentos e de níveis com certa proporção de cimento calcário introduz variações importantes, no conteúdo de íons derivados do gás carbônico e dos íons alcalino-terrosos.

Em geral, as amostras mais típicas do aquífero Beberibe inferior (Kb inf) silícico têm um pH inicial muito baixo, provavelmente da ordem de 5,5 a 6 na zona média, embora alcance de 6,5 a 7,5 no litoral. Tratam-se de águas agressivas, com uma grande quantidade de CO_2 não equilibrado, que se perde facilmente durante o armazenamento, aumentando o pH. As águas típicas do aquífero Beberibe superior (Kb sup), quando este tem cimento carbonatado, apresentam um pH inicial mais alto, de 6,5 a 7,5; às vezes até 8, que também aumenta por perda do CO_2 , favorecido geralmente pela alta temperatura ambiental.

A perda de CO_2 conduz, nas águas saturadas ou próximas à saturação de CO_2/Ca , a precipitação carbonato-cálcica, o que produz não só a diminuição do conteúdo em Ca, como também um aumento da relação rMg/rCa , posto que o Mg tende a permanecer em solução. Por isso, a relação rMg/rCa deve ser interpretada com precauções.

Em novembro de 1975, foram coletadas algumas amostras espe-

ciais, a fim de determinar o conteúdo de CO_2 dissolvido (analisado no campo) e a dureza total, além de outros valores químicos. Os resultados estão apresentados no Quadro 8. As determinações foram realizadas em laboratório, no mesmo dia da coleta.

QUADRO 8

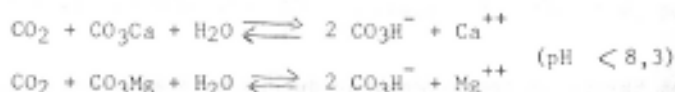
As conclusões mais importantes são que:

a. as águas do aquífero Beberibe inferior (Kb inf) são normalmente agressivas e pouco duras na zona de recarga e média, ainda mantendo certa agressividade no litoral, apesar do elevado tempo de contato com o aquífero, indicador da ausência de carbonatos;

b. as águas do aquífero Beberibe superior (Kb sup) não são normalmente agressivas (podendo ser na parte mais baixa, porém não na parte alta), com um pH alto, normal ou baixo conteúdo em CO_2 dissolvido e elevada dureza;

c. conseqüentemente, existe uma marcada estratificação química da água, com águas mais duras e carbonatadas na parte superior do aquífero Beberibe e águas agressivas e com frequência menos duras no inferior, o que não exclui a existência de fluxos ascendentes, mas sim descendentes, pelo menos em condições naturais.

Se as águas do aquífero Kb superior procedem das do Kb inferior, por movimento vertical ascendente, o aumento de dureza deveria estar correspondendo com a diminuição de CO_2 dissolvido, de acordo com as reações químicas:



na qual 44 ppm CO_2 dissolvem 40 ppm de Ca^{++} ou 24 ppm de Mg^{++} , o que produz um aumento de dureza de 100 ppm expressa em CO_3Ca .

Desse modo, tem-se:

a. Barra de Catuana

Aquífero inferior PZ-03-IA	41,4 ppm CO_2	93 ppm CO_3Ca
Aquífero superior PZ-03-IA	2,6	166
Variação	38,8	73
Incremento teórico de dureza	$38,8/0,44 = 88$, próximo a 73	
Aquífero inferior PC-03-IA	22,9 ppm CO_2	123 ppm CO_3Ca
Aquífero superior PZ-03-IA	2,6	166
Variação	20,3	43
Incremento teórico de dureza	$20,3/0,44 = 46$, próximo a 43.	

A correspondência é muito boa e nestes pontos não se tem anomalias analíticas importantes.

b. Itapirema - Jardim

Aquífero inferior PZ-03-IA	74,8 ppm CO ₂	67 ppm CO ₃ Ca
Aquífero superior PZ-03-IA	52,8	131
Variação	22,0	64

Incremento teórico de dureza $22,0/0,44 = 50$, próximo a 64.

O poço PC-02-IA é anômalo, pois a água tem uma menor agressividade, não compensada por um aumento de dureza.

Os resultados anteriores indicam que é possível que a água do aquífero Kb superior proceda da água do aquífero Kb inferior, já que se viu que não existem diferenças entre o conteúdo em Cl e SO₄, e o aumento de dureza é correspondente à diminuição do CO₂, embora possa tratar-se também de uma transmissão lateral desde uma área fonte comum.

Na figura 3 estão assinalados os diferentes valores da dureza obtidos das análises químicas, interpretados com prudência, devido às possíveis alterações nas amostras. As isolinhas traçadas correspondem, aproximadamente, à parte alta do aquífero Beberibe (Kb sup), que contém cimento carbonático, tendo-se em conta que este cimento carbonático está distribuído irregularmente, podendo ser escasso em alguns lugares e abundante em outros, inclusive alcançando o aquífero inferior (Kb inf).

FIGURA 3

Existe um crescimento da dureza mais ou menos regular desde a zona de recarga até a costa, com irregularidades menores. O aumento lento na zona confinada pode indicar que a dissolução dos carbonatos e a perda de agressividade é antes de tudo um fenômeno lento, ligado à muito lenta velocidade de fluxo.

Na zona de recarga, a escassez de carbonatos parece maior na área entre os rios Itapirema e Jardim e no alto curso do rio Beberibe.

No aquífero profundo, as águas com baixa dureza aparecem com frequência e muito distribuídas, alcançando até a mesma cota entre Itamaracá e Olinda. Isto indica a ausência de carbonatos nos níveis mais profundos. É difícil saber como se modifica a composição com a exploração por bombeamentos, embora seja possível que a dureza aumente progressivamente nos poços explorados, pela descida das águas mais duras situadas acima. Estas águas sofrerão uma mistura com as águas menos duras, provenientes do limite superior da zona de recarga, por transmissão horizontal profunda, sem que se possa decidir sobre a preponderância de um ou outro mecanismo, embora se possa esperar que pre-

domine o segundo. Na zona média da área de recarga, a dureza pode ser intermediária, talvez por aportes de Na e Ca de silicatos, com um certo consumo de agressividade.

As curvas de igual dureza, traçadas no mapa, são devem ser consideradas como primeira aproximação do que sucede na parte superior do aquífero Beberibe (Kb sup). A dureza destas águas pode ter variações importantes na vertical, principalmente quando se considera que o aquífero Beberibe pode receber águas ainda mais duras do aquífero Gramame (Kg). A elevada dureza das águas em Cruz de Rebouças, Paulista e Olinda pode ser, simplesmente, decorrente dos poços serem menos penetrantes, do aquífero ter mais cimento carbonatado ou da exploração que colocou em movimento descendente águas superiores, cujo conteúdo em Cl e SO_4 não é ainda diferente. Exceção ocorre em Olinda, onde a maior dureza e o aumento de sulfatos e cloratos assinalam ou um movimento descendente importante, ou um movimento horizontal de águas mais salinizadas do lado do mar, com endurecimento por troca iônica.

Na Figura 3 estão indicadas as variações da relação rMg/rCa , cuja interpretação deve ter presente que:

. as alterações da amostra durante o armazenamento, ou durante o processamento por perda de CO_2 e precipitação de CO_3Ca , conduzem a um aumento de rMg/rCa , em relação ao valor real;

. no aquífero não há silicatos máficos que possam proporcionar quantidades relativas importantes de Mg;

. na base da formação Gramame (Kg) e, talvez também na parte alta do aquífero Beberibe (Kb), a fração carbonática é, por vezes, dolomítica.

Desta maneira, as águas com valor muito elevado de rMg/rCa ($> 1,5$) estão possivelmente alteradas, especialmente se correspondem a níveis profundos. As águas menos profundas, com elevado valor de rMg/rCa (0,7 a 1,2) assinalam, em grandes traços, as zonas mais dolomíticas.

Na Figura 4, estão representadas as diferentes análises químicas, em forma de diagramas de Stiff modificados, onde é possível verificar o conjunto exposto anteriormente. Ressaltam as seguintes observações:

FIGURA 4

. o poço CN-24 é anômalo na zona, por uma possível influência do cristalino;

. as águas mais profundas coincidem com as águas da área de recarga.

. as águas dos arenitos com cimento calcário contém muito

Ca e CO_3H , podendo ser, às vezes, elevado o conteúdo em Mg, inclusive superando o de Ca. São produzidas principalmente na zona litorânea. Em bora no interior possam existir águas com $r\text{Mg} > r\text{Na}$, não são, normalmente, águas fortemente bicarbonatadas;

... existem águas profundas, mais frequentes no litoral, com $r\text{Na} \gg r\text{Cl}$ e com tendência bicarbonatada sódica, nas quais a agressividade diminui por alteração de níveis com silicatos leucocráticos (ortoclásio e plagioclásio principalmente sódicos);

... além das águas notadamente salinas e de caráter cloreto-sódico das formações superiores (Tb e Kg), são aparecem sinais de contaminação marinha na área de Olinda, principalmente nos poços OL-16 e OL-69. O primeiro destes é pouco penetrante e tem filtros entre 80 e 110 m de profundidade, justamente no teto das areias cimentadas da Formação Beberibe superior (Kb sup), e o segundo tem seção de filtros entre 180 e 330 m, desde a parte média até a profunda da Formação Beberibe. A estes poços e o OL-11, próximo e também relativamente salinizado, correspondem valores muito elevados do itb que superam amplamente o valor da água marinha (+ 0,12), o qual identifica alguma forma de penetração de águas salgadas.

5. RELAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS DE CHUVA E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em cinco localidades da área foram coletadas 9 (nove) amostras de água de chuva, todas elas do mês de julho/75, na segunda metade da época úmida, em um ano de pluviosidade notadamente mais alta que a média.

As determinações realizadas e o cálculo de algumas relações iônicas constam do Quadro 9. Supondo um conteúdo normal de CO_3H^- , em chuvas caídas, entre 0,1 e 0,5 meq/l, as análises demonstram como aceitável o equilíbrio iônico. Não obstante, as variações na diferença $r(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) - r(\text{Cl} + \text{SO}_4)$ oscilam entre 0,1 e 0,36 meq/l, o que não elimina possíveis erros analíticos, que, por outro lado, são lógicos, dadas as pequenas concentrações.

QUADRO 9

Considerando a quase ausência de substâncias solúveis no terreno arenoso-silício da área de recarga e a elevada infiltração (1) que impede qualquer depósito de sais no terreno, os valores de dureza e sulfatos parecem concordantes com os observados nas águas subterrâneas em zonas de terreno desprovido de carbonatos (QUADRO 10)

- (1) Estima-se ser da ordem de 600 a 700 mm/ano, em ano úmido, e, talvez, ao redor de 500 mm, em ano médio, ou seja, da ordem de 1/4 a 1/3 da precipitação anual. Isto se baseia na vazão drenada do aquífero pelos rios, na área de renovação rápida. O escoamento superficial direto ("surface runoff") é proporcionalmente pequeno.

BIBLIOGRAFIA

- BEURLIN, K. - 1967 - Estratigrafia da Faixa Sedimentar Costeira Recife-João Pessoa. Separata do Bol. Soc. Bras. Geol., Vol. 16 (1), pp. 43-56. São Paulo
- COSTA, W.D. - 1968 - Reconhecimento Geológico e Hidrogeológico do Recife e Municípios Adjacentes. DSE - SUDENE. Recife.
- CUSTODIO, E. - 1976 - Relaciones agua dulce-agua salada en las regiones costeras. Hidrologia Subterrânea. Ed. E. Custodio, M.R. Llamas. Ediciones Omega, Barcelona, Vol. II, seccion 13, pp. 1313-1389.
- DAVIS e De WIEST - 1966 - Hidrologia. Ediciones Omega, Barcelona.
- LUSCZYNSKI, N.S., SWARZENSKI, W.V. - 1966 - Saltwater Encroachment in Southern Nassau and Southeastern Queens Countries, Long Island, New York. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1613-F, Washington, 76 pp.
- MABESCOONE, J.M. - 1967 - Sedimentologia da Faixa Costeira Recife - João Pessoa. Bol. Soc. Bras. Geol. Vol. 16 (1) pp. 57-72.
- SANTINY, G. - 1963 - Salt-Water-Freshwater relationships the development of groundwater resources with special reference to Deltaic Areas. UNESCO, Le café, Water Resources Series nº 24, pp. 52-63.
- WALTON, W.C. - 1970 - Ground Water Resource Evaluation, 1a. Ed. New York. Mc. Graw-Hill Book Company, 664 pp.

QUADRO 1

NÚMERO DE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR ÁREA

ÁREA	Nº DE ANÁLISES	OBSERVAÇÕES
- Goiana	22	3 em poços do projeto com diferentes profundidades
- Itamaracá	3	-
- Igarassu	11	1 em sondagem do projeto
- Paulista	14	4 em poços e sondagens do projeto
- Olinda	12	1 poço com 3 análises
TOTAL:.....	<u>62</u>	-

QUADRO 2

CONTEÚDO EM CLORETOS NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA ÁREA OLINDA-GOIANA

RIO	BACIA	Cl (em ppm)
- Capibaribe Mirim e Tracunhaém	exterior grande	100-200
- Itapirema e Jardim ⁽¹⁾	interior	20- 30
- Botafogo	exterior notável	46
- Conga e Bonança ⁽²⁾	interior	20- 30
- Barro Branco	interior	15- 20
- Paratibe	interior	15- 20
- Beberibe	interior	10+ 15

(1) - Fonte de nível suspenso, com 8 ppm.

(2) - Fonte no rio Tabatinga, com 15 ppm.

QUADRO 3

ANÁLISES QUÍMICAS PARCIAIS DE ÁGUAS DE SUPERFÍCIE

REFERÊNCIA DO PONTO	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (microghos/ cm/25° C)	CLORETO (ppm)	DATA
AT-03	100	32,00	26/09/75
AT-04	200	31,00	13/10/75
BB-01	100	12,00	23/09/75
BB-02	100	16,00	29/10/75
BF-01	180	41,00	-
BF-02	200	46,00	26/09/75
BF-03	360	116,00	26/09/75
BF-04	40.000	12.750,00	03/11/75
BO-01	100	26,00	25/09/75
BO-02	100	36,00	25/09/75
BO-03	100	18,00	23/09/75
BR-01	100	14,50	23/09/75
BR-02	140	21,00	23/09/75
DE-01	42.500	1.460,00 ⁽¹⁾	23/09/75
GO-01	180	20,50	23/07/75
GO-02	180	21,00	23/07/75
GO-03	420	78,00	23/07/75
GO-04	340	60,00	24/07/75
GO-05	650	135,00	19/10/75
GO-06	1.800	500,00	19/10/75
IG-02	200	26,00	25/09/75
IG-03	60.000	18.500,00	03/11/75
IT-01	140	24,00	21/10/75
JD-01	100	17,00	03/11/75
PR-05	130	19,00	23/09/75
PR-06	100	13,00	23/09/75

(1) - dado anômalo; possivelmente Cl = 14.600 ppm.

AT = rio Atapuz (Itapirema); BB = rio Beberibe; BF = rio Botafogo; BR = rio Barro Branco; DE = rio Desterro; GO = rio Goiana e afluentes; IG = rio Igarassu; IT = rio Itapirema; ID = rio Jardim; PR = rio Paratibe.

QUADRO 4

ANÁLISES QUÍMICAS PARCIAIS DE ÁGUAS DO FREÁTICO

REFERÊNCIA DO PONTO	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (micromhos/cm 25° C)	CLORETO (ppm)	RESÍDUO SECO (ppm/105° C)	DATA
CS-01-F	100	2,00	-	10/07/75
CS-02-F	260	40,00	-	10/07/75
CS-03-F	95.000	30.500,00	66.536	13/09/75
CS-03-F	95.000	29.500,00	63.786	13/09/75
CS-04-F	52.000	18.720,00	-	17/07/75
CS-05-F	35.000	15.000,00	-	23/07/75
GO-01-F ⁽¹⁾	800	50,00	-	21/07/75
GO-02-F	800	132,50	-	21/07/75
GO-03-F	1.600	290,00	-	24/07/75
GO-04-F ⁽²⁾	1.050	45,00	-	24/07/75
GO-05-F	6.000	2.025,00	-	25/07/75
IT-01-F	950	245,00	-	15/07/75
IT-02-F	32.000	11.300,00	-	24/07/75
IT-03-F	120	28,00	-	25/07/75
IT-04-F ⁽³⁾	24.000	21.000,00	-	26/07/75
IT-05-F	45.000	17.000,00	-	26/07/75
TB-01-F	6.000	1.900,00	-	15/07/75
TB-02-F	25.000	9.375,00	-	15/07/75
TB-03-F	4.000	1.300,00	-	22/07/75
TB-04-F	45.000	17.000,00	-	22/07/75
TB-05-F ⁽⁴⁾	340.000	130.000,00	220.686	29/09/75
TB-05-F ⁽⁴⁾	320.000	122.500,00	278.851	29/09/75

(1) - Valores duvidosos; talvez se trate de águas bicarbonatadas.

(2) - Talvez seja água de chuva encharcada.

(3) - Talvez a condutividade seja 42.000.

(4) - Resíduo seco em ppm/110°C.

CS = canal de Santa Cruz; GO = vale do rio Goiana e afluentes;

IT = ilha de Itamaracá; TB = zona do rio Timbó.

QUADRO 5

CONTEÚDOS DE CLORETOS NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS NA ZONA DE RECARGA

ZONA	ppm de Cl - ÁGUA SUBTERRÂNEA	Cl - RIOS INTERNOS
- Itapirema-Jardim	15-20	15-30
- Igarassú-Abreu e Lima	15-20	15-25
- Beberibe - Paratibe..	15-20	15-20

QUADRO 6

CONTEÚDO EM CLORETOS E SULFATOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

POÇO OU SONDAGEM	LOCAL	ppm	Cl	ppm	SO ₄
		in- ferior	su- perior	in- ferior	su- perior
- PC-01-IA ..	Paulista	34	34	12	13
- IG-09,02,03 e 04	Igarassu	20-22	21	19	12
- IG-01,37 ..	Igarassu	25	16	2,5	4
- IT-03,02 ..	Itamaracá	25	60(?)	6	7 ⁽¹⁾
- PE/PC-02-IA	Gambá	17-18	16	?	3,2 ⁽²⁾
- PE-03-IA ..	Ponta do Funil	24-40	26	2,6-3,3	2,3-3,3

(1) - Talvez os valores cresçam em direção à parte superior.

(2) - SO₄ inferior duvidoso.

QUADRO 7

VALORES MAIS FREQUENTES DE FK/YNA E DE itb NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
(Aqüífero inferior não calcífero, aquífero superior calcífero)

POÇO OU SONDAGEM	LOCAL	FK/YNA				itb		Circulação Vertical Ascendente
		inferior	superior	inferior	superior	longe do mar	na costa	
FC-01-1A	Abreu e Lima	0,24-0,27	0,15	-0,7 - 0,6	-0,8	diminui	crece	
IG-01,37	Igarassu	0,34	0,39	-0,42	-0,33	crece	-	
IT-03,02	Itamaracá	0,09	0,18	-2,8	+0,09(7)	-	crece	
PS/PC-02-1A ..	Itapiruma	0,21-0,25	0,32	-0,73;-1,0	-0,75	diminui	-	
PS-03-1A	Poço do Fúnil	0,10-0,14	0,32	-1,1;-2,1	-1,10	-	crece	

QUADRO 8
ANÁLISES QUÍMICAS REPERTE

DESCRITIVO	PERÍO DO MONITORAMENTO												
	28-02-78	08-03	15-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78	17-03-78
- Sólidos totais	20,24	2,44	7,45	9,28	4,43	2,44	32,38	32,38	38,00	59,40	28,29	34,34	31,31
- Sólidos em suspensão	117,80	133,00	41,58	133,56	81,38	189,58	123,58	131,58	203,00	209,00	61,58	497,08	339,08
- Sólidos em solução	03,03/78	-	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78	14,05/78
- Cálcio	81,50	376,89	18,89	371,89	371,89	376,89	376,89	376,89	376,89	376,89	376,89	376,89	376,89
- Magnésio	32,89	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99
- Sódio	3,88	5,38	1,38	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28
- Potássio	3,42	9,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
- Cloreto	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
- Sulfato	4,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08
- Nitrito	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76
- Nitro	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
- Amônio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Fósforo	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76
- Silício	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
- Zinco	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Cobre	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Manganês	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Ferro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Flúor	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Iodo	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Bromo	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Cloro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Selenio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Vanádio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Molibdênio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Boro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Alumínio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Silício	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Cálcio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Magnésio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Sódio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Potássio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Amônio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Nitrito	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Nitro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Amônio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Fósforo	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Silício	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Zinco	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Cobre	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Manganês	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Ferro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Flúor	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Iodo	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Bromo	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Cloro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Selenio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Vanádio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Boro	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
- Alumínio	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08

Nota: O monitori, que a maioria das análises foram realizadas, sendo a maioria das análises realizadas em condições de funcionamento de poço em funcionamento.

QUADRO 9
ANÁLISES DE ÁGUAS DE CHOVA
MÊS DE JULHO DE 1975

LOCAL	DIAS	Cl (ppm)	SO ₄ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Dureza Total (ppm Ca, Mg)	rK/rNa	1tb	r(Na+K)/rCl
1-Colana	1 e 7	1,00	1,85	1,32	0,40	4,00	1,35	0,810	-1,40
2-Itamaracã	2 e 7	1,00	1,64	1,98	0,40	8,50	1,20	0,120	-2,42
3-Itamaracã	17	1,00	2,88	1,54	0,20	9,00	2,10	0,080	-1,60
4-Igarassu	1 e 7	1,00	5,55	1,76	1,60	7,50	4,00	0,540	-3,17
5-Igarassu	21	1,00	2,67	7,70	0,80	-	2,10	0,060	-0,26
6-Abreu e Lima...	1 e 9	1,00	2,67	0,88	0,40	7,00	2,00	0,270	-0,72
7-Abreu e Lima...	10	1,00	1,85	0,22	0,20	3,50	1,30	0,640	+0,48
8-Olinda	5 e 10	4,30	1,85	4,84	0,40	0,50	0,30	0,053	-0,74
9-Olinda	20	7,00	1,85	9,20	0,40	9,50	0,20	0,026	-1,08

ANÁLISE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ecst = r(Ca+Mg+Na+K)	0,15	0,27	0,25	0,27	-	0,19	0,08	0,39	0,60
Em = r(Cl+SO ₄)	0,07	0,06	0,09	0,14	0,16	0,08	0,07	0,16	0,24
Diferença = rCO ₂ e erros...	0,08	0,21	0,16	0,13	-	0,11	0,01	0,23	0,36

Obs.: - Dureza/10 = [Ca+Mg]

- Falta o CO₂, não determinado;

- Tendo em conta que, os termos, 1 gpa = 0,2 ml, para os volumes de 100 ml analisados, são obtidas as seguintes condições, de acordo com os dados fornecidos pelo laboratório: 0,10 ppm de Cl e 0,2 ppm de CO₂ de alcalinidade: 2,02 ppm de Ca; 0,12 ppm de Mg; 0,06 ppm de CO₂ de dureza. Para o Ca, Mg e dureza, com microbureta, a percentagem são 4 vezes maior, pois 1 gpa = 0,05 ml. A precisão é inversamente proporcional ao volume da amostra e os valores máximos são: 100 ml para Cl; 250 ml para alcalinidade e 0,50 ml para Ca, Mg e dureza. Os teores de SO₄, não de terminados gravimetricamente, com uma precisão de 0,0005 g de SO₄ para 250 ml, obtiveram 19,8 ppm de SO₄. O Na e K são determinados com fotômetro de chama, com erros de 0,11 ppm de Na e 0,11 ppm de K.

- Condutividade < 100 µmho/cm, a 25°C. ± 0,1. ± an. < 1.

QUADRO 10

RELAÇÕES DE SULFATOS E DUREZA ENTRE AS ÁGUAS
DE CHUVA E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ÁREA	ppm NA CHUVA		ppm EM AQUIFERO		CHUVA/AQUIFERO	
	SO ₄	Dureza	SO ₄	Dureza	SO ₄	Dureza
- Interior Sul	1,5-2	~ 8	1-3	15-30	~ 0,7	0,3-0,5
- Interior Central	2-5	3-7	5-6	-	~ 0,5	-
- Interior Norte	2	4-8	3-5	10-12	~ 0,5	0,3-0,4
- Costa Norte	3-5	7-9	20	18	~ 0,25	~ 0,25

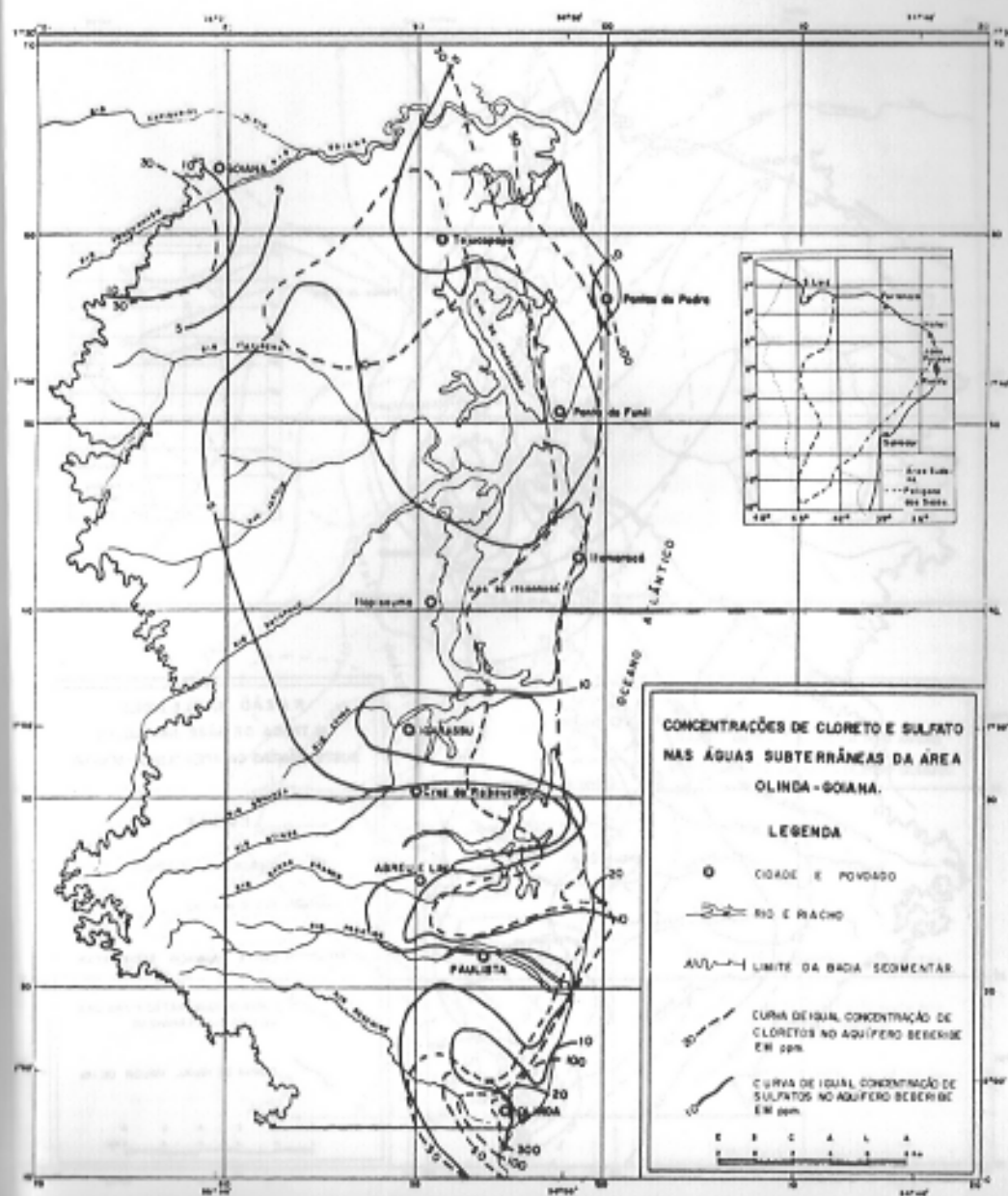


Figura 1

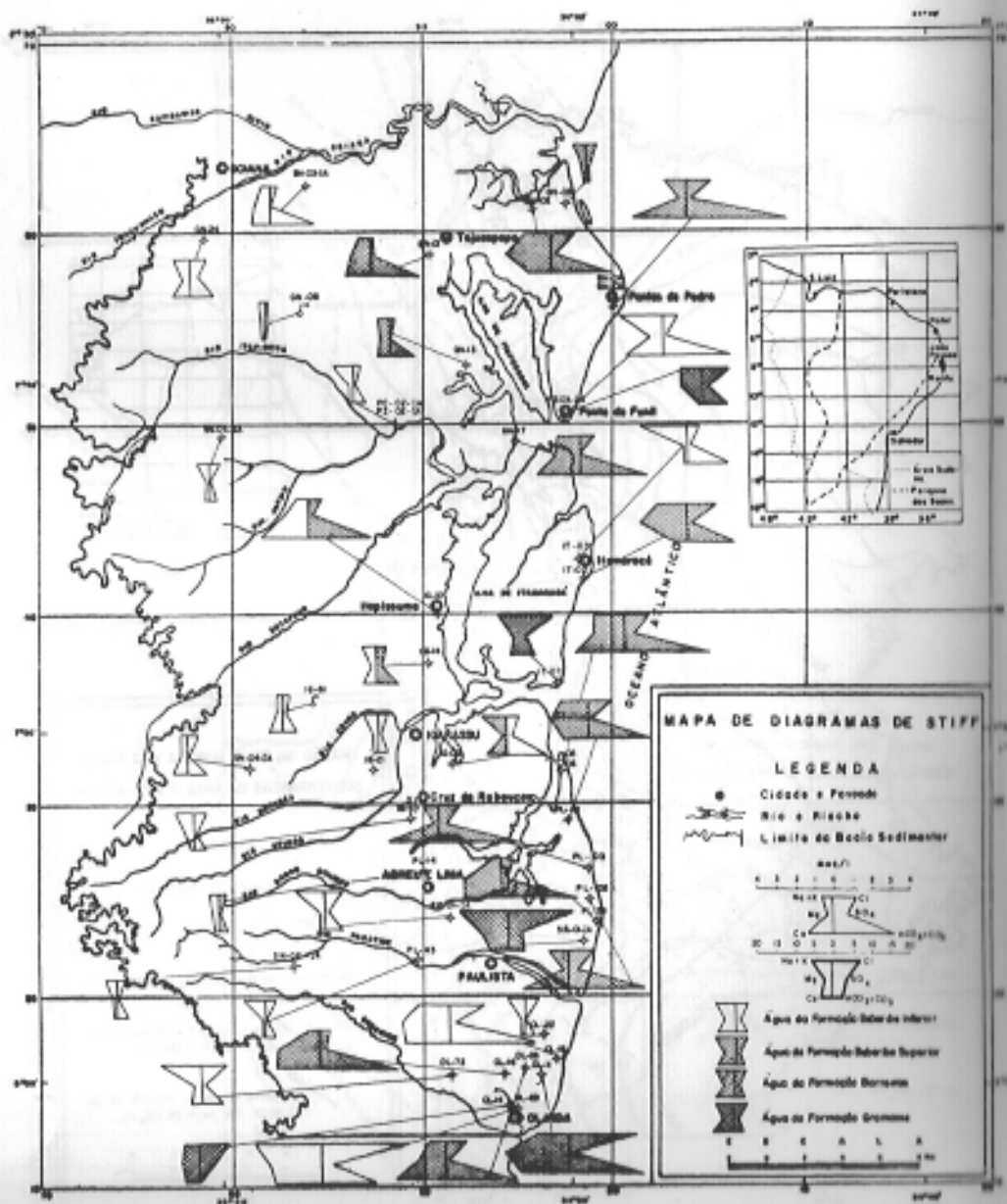


Figura 4