

PLANEJAMENTO, PROTEÇÃO E CONTROLE DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA OLINDA — GOIANA, PE

Waldemir Barbosa da Cruz

INTRODUÇÃO

Neste trabalho são apresentados alguns aspectos sobre os recursos hídricos da Região Costeira de Olinda-Goiana, Estado de Pernambuco, à luz de novos dados hidrogeológicos e apresentadas algumas considerações sobre planejamento, proteção e controle dos recursos hídricos da área.

Parte dos dados e conclusões aqui apresentados foi elaborada durante o Projeto "Estudos de Reconhecimento e Estudos Hidrogeológicos para Aproveitamento Integrado da Região Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte" executado pelo Departamento de Recursos Naturais da SUDENE, em perfurações através da OESA — Organização e Engenharia S/A, do qual participaram os hidrogeólogos Adelbani Braz da Silva, Fernando Gomes Jardim e Carlos Alberto de Mello Peixoto, com consultoria do Dr. Emílio Custódio e Dr. Francisco Damborenea.

Pretende-se com a apresentação desta síntese no "I Seminário de Controle da Qualidade das Águas Subterrâneas" ressaltar o fato de que estudos hidrogeológicos requerem observação e medidas periódicas de longo prazo, que permitam eficiente controle e proteção dos recursos. De outro lado, mostrar as dificuldades de ordem que se apresentam ao planejamento, na falta de uma legislação competente que permita uma eficiente administração dos recursos hídricos subterrâneos.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Os primeiros estudos hidrogeológicos na área devem-se a Costa, Coutinho e Rebouças (1968) e Bezerra et alii (1970). Estudos posteriores foram realizados por Custódio et alii (1977) onde foram analisadas as possibilidades de intrusão marinha nos aquíferos; os resultados de uma simulação de exploração a partir de um modelo analítico são apresentados por Cruz et alii (1978 no prelo).

A bacia costeira de Pernambuco e Paraíba é constituída de uma sequência de rochas sedimentares cretáceas, representada por uma formação basal arenítica (Formação Beberibe) e uma sequência superior calcárea (Formação Gramame). Sobre estes sedimentos ocorrem, em áreas restritas, uma formação calcárea Terciária (Formação Maria Farinha) e, em áreas extensivas, uma unidade Terciária-Quartenária areno-argilosa (Grupo Barreiras) — Beurlen, 1967; Mablesone, 1967; Bezerra et alii, 1970 — além de aluviões e sedimentos de praia recentes. (Fig. 1).

O principal sistema hidrogeológico da bacia é representado pela Formação Beberibe, uma sequência de arenitos de granulação variável, contendo intercalações silticas e argilosas na seção inferior e abundante cimento calcífero na parte superior.

A zona aquífera inferior pode ser definida como semi-confinada, limitada na base, por um nível impermeável, representado pelo substrato cristalino pre-Cambriano e, no topo, por uma camada ou nível semi-permeável (folhelhos e siltitos) que funciona como um "aquitard". A zona aquífera superior constitui, também, um aquífero semi-confinado, separado do inferior por um "aquitard" e se limita, no topo, pelos calcários da Formação Gramame ou pelos sedimentos do Grupo Barreiras.

Na área de recarga, a oeste, a superfície do lençol freático mostra um controle topográfico, com linhas de fluxo convergentes em direção aos drenos superficiais. Os principais cursos d'água têm caráter efluente, ou seja, recebem contribuição das águas subterrâneas. Os gradientes hidráulicos são elevados, média de 7 m/km, com circulação rápida e grande volume de escoamento.

A partir do limite onde o aquífero passa a confinado, em direção ao mar, observa-se um sensível abrandamento dos gradientes hidráulicos que chegam a valores quase nulos. A circulação das águas tende a anular-se, em condições não influenciadas. Essa condição de estancamento indica que não há significativa saída lateral em direção ao mar devido à presença de sedimentos pouco permeáveis.

No aquífero superior, o escoamento tem sentido geral para leste, com gradientes hidráulicos fracos, sendo notável a ocorrência de cotas negativas ou com valores próximos a zero na faixa costeira, a partir de Maria Farinha até Olinda, indicando provavelmente influências de bombeamento na área.

Devido às condições de potencial piezométrico existentes e à presença do mar, os fluxos verticais devem predominar sobre os horizontais. A carga hidráulica do aquífero superior é normalmente menor que a do inferior, devendo ocorrer trocas de água, entre os 2 níveis por filtração vertical, através das camadas confinantes.

A carga do aquífero inferior tem lugar principalmente nas áreas de afloramento, através de infiltração de água de chuva. A maior parte das águas de infiltração é restituída aos rios e riachos que cortam a área de recarga e que funcionam como verdadeiros drenos. Devido às condições de circulação profunda no aquífero, onde as águas se encontram praticamente estacionárias, somente pequena parcela dessas águas percola em direção à zona confinada do aquífero, para contrabalançar as perdas por filtração vertical e por bombeamento na área.

Medidas de descarga efetuadas nos rios e riachos na área de recarga, no período de maio a novembro de 1975 e em correlação com os dados das bacias dos rios Gramame, Mumbaba e Mamoaba, (que possuem período de observação de três anos), indicam que o volume das contribuições de água subterrânea restituído aos rios é de 368×10^6 m³/ano, ou o equivalente a uma altura d'água da ordem de 600 mm, o que corresponde a cerca de 35% da precipitação média anual sobre a área. Este valor concorda com as estimativas efetuadas pelo DSE-SUDEMA (1968) para as bacias de Utinga e Pitanga.

O estudo hidrogeoquímico realizado por Custódio et alli, 1977, 1979 (no prelo), mostrou que existe uma marcada estratificação química neste aquífero, com águas mais duras e carbonatadas na parte superior e com águas agressivas e frequentemente menos duras no inferior, o que exclui a existência de fluxos descendentes, mas não de fluxos ascendentes, pelo menos em condições naturais.

As principais observações e conclusões sobre a possibilidade de intrusão marinha no aquífero Beberibe (Custódio et alii 1977) podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- 1 — Não ocorrem, atualmente, água fortemente salinizadas na zona, embora o reconhecimento geofísico de superfície (sondagens elétricas verticais) (Feitosa, 1976) indique, no litoral, águas muito salgadas até algumas dezenas de metros de profundidade, de acordo com uma situação de caráter normal. A existência de um potencial hidráulico, crescente em profundidade, impede a existência de águas salgadas mais abaixo.
- 2 — Possíveis sinais de contaminação marinha somente ocorrem em alguns poços profundos litorais e em alguns dos poços da área intensivamente explorada de Olinda. Infelizmente é desconhecida a qualidade inicial da água destes poços e não é segura a existência de uma salinidade progressiva. Não se pode precisar exatamente, com os dados disponíveis, as causas desta salinização. Os mecanismos de deslocamento horizontal de águas desde o mar (avanço da interface) ou, por outro lado, a circulação descendente, parecem pouco prováveis, não podendo ser abandonada a possibilidade de penetração de água salina ao longo da tubulação dos poços ou a existência de zonas preferenciais de fluxo vertical.
- 3 — Sobre a evolução provável de salinidade com uma intensa exploração dos aquíferos, não é possível fornecer dados quantitativos, porque são desconhecidos os valores de permeabilidade vertical, a qual pode variar notadamente de um lugar para outro, conforme seja maior ou menor a frequência e espessura das intercalações argilosas. Considerando-se um valor de $K' = 10^{-3}$ m/dia, e uma diferença entre o nível da superfície freática e a do aquífero profundo igual a 50 m, a velocidade média do movimento vertical de água seria da ordem de 0,5 m/ano, que é um valor muito pequeno.
- 4 — Com estes valores, pode-se esperar que os poços profundos e bem cimentados não acusem contaminação, salina, nem a curto nem a longo prazo, salvo se existem poços próximos que, por defeitos de construção ou má exploração e conservação, sejam um caminho preferencial para a entrada de águas salgadas. De outra parte, pode ocorrer que, em certos locais, a permeabilidade do "aquitard" seja maior do que o esperado, o que provocará uma circulação vertical da água muito mais rápida, aumentando assim, os perigos de deteriorização da qualidade da

água, tanto em relação à dureza como à salinidade devido ao movimento vertical de água desde as sequências superiores contaminadas.

Uma simulação de exploração concentrada na área de Olinda, realizada a partir de um modelo analítico (Cruz et alii, 1978, no prelo), mostrou que a permeabilidade do "aquítard" tem grande influência sobre os rebaixamentos dos níveis d'água que poderão verificar-se em toda a área.

Se se admitir, para toda a área de Olinda, um valor de $K' = 10^{-3}$ m/dia, os rebaixamentos, ao final de 10 anos (1985), com uma exploração próxima às demandas previstas, seria da ordem de 35 metros, enquanto para $K' = 10^{-4}$ m/dia seria da ordem de 90 metros.

Os rebaixamentos máximos que ocorreriam em Olinda para as condições de exploração especificadas no modelo e para uma permeabilidade $K' = 10^{-4}$ m/dia (Cruz et alii, op. cit) seriam ao final de 1980, de 65,5 metros para uma quantidade de água explorada de $16,2 \times 10^6$ m³/ano; em 1990, 105 metros para uma produção de $35,3 \times 10^6$ m³/ano; e em 1995, 140 metros para uma produção de $51,7 \times 10^6$ m³/ano.

RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

As possíveis fontes de abastecimento com águas superficiais seriam as indicadas no Quadro 1.

Os recursos disponíveis são aqueles correspondentes a rios com escassa poluição, sendo que os restantes e as parcelas de bacia não consideradas sofrem altos níveis de poluição, como ocorre, por exemplo, no Baixo Botafogo, Tracunhaém e Capibaribe Mirim.

Com exceção de Catucá, os rios tem suas nascentes situadas ainda na zona sedimentar, com uma vazão básica alta, devido à contribuição dos aquíferos. Daí a pouca ou nenhuma efetividade de regulação, devido à alta permeabilidade das bacias hidráulicas. Todavia, devem-se salientar as diferenças entre as vazões mínimas de estiagem com relação às médias, sem levar em conta as incontáveis (dentro de certos limites) pontas de enchentes.

As vazões médias oscilam entre 2 e 3 vezes as vazões mínimas. Os dados existentes não permitem avançar maiores conclusões sobre duração e frequência das vazões, como seria necessário para uma melhor otimização de possíveis sistemas de suprimento.

As bacias dos rios Itapirema e Jardim (vazão mínima de 1,1 m³/s, ou 34×10^6 m³/ano), em área sedimentar, fornecem águas da mesma qualidade química do aquífero Beberibe. Observa-se, por outro lado, comparando-se as demandas com as disponibilidades, um excedente de águas superficiais na metade norte da área capaz de compensar, com sobras, o déficit da metade sul, exceto na época de estiagem.

As possibilidades de exploração das águas subterrâneas foram expostas anteriormente. Se se compara a demanda em 1995 (aproximadamente 220×10^6 m³/ano) com os recursos superficiais disponíveis, verifica-se que existe um déficit de cerca de 130×10^6 m³/ano, para abastecer exclusivamente com águas superficiais a demanda da área. Quer dizer, o

suprimento das águas subterrâneas — que além do mais é praticamente o único aproveitado atualmente — deverá fornecer, até 1995, a referida quantidade de $130 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Considerando o problema inverso, isto é, exploração básica dos recursos subterrâneos, observa-se também a impossibilidade de serem atendidas as demandas até 1995 exclusivamente com águas subterrâneas, devido aos rebaixamentos cada vez mais acentuados que ocorreriam.

Admitindo-se sejam tomadas as precauções necessárias para que não ocorram problemas de contaminação marinha a curto e médio prazos, mesmo assim os rebaixamentos, que se verificariam em um programa de exploração concentrado, seriam acentuados.

USO ATUAL DA ÁGUA

O abastecimento urbano atual se processa principalmente a partir da utilização das águas subterrâneas. Praticamente todas as cidades da área, incluindo Olinda com uma população de 200.000 habitantes, abastecem-se em grande parte, ou exclusivamente, a partir do aquífero Beberibe. Certo número de indústrias, especialmente de papel, cimento e bebidas, utiliza também os mananciais subterrâneos.

A exploração de água subterrânea é significativa, especialmente ao sul, na região compreendida entre Olinda e Igarassu. Na Fig. 2 indicam-se a distribuição e as quantidades de água exploradas. A Fig. 3 mostra as características do uso das águas subterrâneas. Em 1975, a descarga por bombeamento no aquífero Beberibe inferior foi de $9,8 \times 10^6 \text{ m}^3$. No aquífero Beberibe superior os bombeamentos foram da ordem de $18 \times 10^6 \text{ m}^3$.

As águas superficiais são aproveitadas para abastecimento de algumas usinas e fábricas, através de captação de menor importância, enquanto se explora o rio Beberibe, para complementação do abastecimento de Olinda e parte para o Recife, além dos rios Pitanga e Utinga (Monjope) para o Recife.

PREVISÃO DA DEMANDA E TENDÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO URBANO

Sobre as tendências do desenvolvimento urbano e as previsões sobre sua distribuição no espaço e no tempo, há de se destacar, de um lado, a influência do eixo Norte-Sul, representado pela rodovia BR-101, como centro de atração para a localização de empreendimentos industriais e comerciais, com o seu efetivo populacional dependente. Esta situação, inclusive, já se encontra delineada atualmente, através das concentrações industriais de Paulista-Igarassu. De outro lado, deverá ocorrer um elevado desenvolvimento urbano em toda a faixa litorânea, caracterizada como áreas balneárias por excelência e por grande potencial turístico. Assim, tal como se verifica, no momento, a localização e distribuição das demandas muito provavelmente deverão seguir a tendência atual, com um desenvolvimento concentrado ao longo da metade da área, entre o litoral e o eixo Paulista-Igarassu.

A título de ilustração e sem entrar no mérito do procedimento adotado para os cálculos, são indicados no Quadro 2 as estimativas de demanda total de água para os anos de 1980, 1985, 1990 e 1995, incluindo tanto a demanda urbana como industrial na área.

Em torno da distribuição espaço-temporal da demanda, observa-se um notável desequilíbrio do Norte para o Sul. A demanda prevista de Olinda determina o deslocamento dos recursos hidráulicos existentes do Norte para o Sul. Por outro lado, o desenvolvimento industrial e urbano, ao longo da BR-101, quase que impõe também um eixo de abastecimento nesta direção.

PLANEJAMENTO DE USO DA ÁGUA

Um resumo dos aspectos hidrogeológicos mais relevantes e o confronto entre as demandas previstas e os recursos de água disponíveis mostram que:

— existe um déficit de água ao sul da área e excedentes hídricos superficiais ao norte;

— para satisfazer a demanda prevista na área de Olinda até 1995, com água subterrânea, em uma exploração concentrada, ocorrerão rebaixamentos acentuados.

— menores rebaixamentos de níveis d'água nos poços poderão ocorrer, desde que sejam evitadas grandes concentrações de poços e as baterias sejam alinhadas o mais próximo possível das áreas de recarga.

No que se refere às limitações de ordem física, pode-se afirmar que as características geológicas da área Olinda-Goiana restringem consideravelmente o aproveitamento das águas superficiais, apesar das favoráveis condições climáticas. Estas limitações são devidas sobretudo à topografia, à dimensão das bacias hidrológicas, em geral pequenas, e a esparsas possibilidades de regularização mediante barramentos. Quanto aos rios com bacias menores, apresentam, geralmente, algumas restrições de qualidade das águas, seja devido à poluição, seja por problemas de salinidade. Por outro lado, a expansão populacional vai ocupando as referidas bacias, convertendo-as em áreas urbanas e condenando progressivamente os cursos d'água à função de simples exutórios das redes de saneamento ou de dejetos industriais.

Uma análise de custos de água, em função da distância e do recalque, foi realizada com o objetivo de verificar as vantagens das captações de águas subterrâneas, concentradas ou dispersas, e as alternativas de transferência de recursos hídricos superficiais até os centros de consumo.

Inicialmente, foram calculados o preço do metro cúbico de água em função da adução (adutora e bombeamento), o preço da instalação do poço (construção e equipamento de bombeamento) e o custo de energia. Em seguida foram estudadas diversas alternativas de atendimento aos centros de consumo, variando-se a distância, ou seja, o comprimento da adutora, e a diferença de recalque do nível d'água dos poços.

O quadro 3 indica a equivalência de custos de exploração de água subterrânea entre dois pontos, para distâncias variáveis e diferenças de nível dinâmico entre tais pontos.

O Quadro 4 indica a equivalência de custos entre a exploração de água subterrânea e a de água superficial, para diferentes níveis dinâmicos e diferentes distâncias.

Os resultados indicam que, se a diferença entre os níveis dinâmicos entre 2 localidades é de 10 metros, já se justifica a adução desde poços distantes 2,1 Km.

Diferenças de níveis dinâmicos acima de 25, 50, 75 e 100 metros justificam a adução desde poços distantes 5, 10, 15 e 20 Km, respectivamente. Isto significa que para efeitos de otimização do sistema, os gradientes hidráulicos devem situar-se em torno de 5 m/km.

Níveis dinâmicos acima de 10, 30 e 80 metros, em uma certa localidade, justificam a adução de água superficiais, a partir de uma distância de 15, 20 e 30 Km, respectivamente. Isto significa que a adução desde os riachos Itapirema e Jardim, ao Norte de área, justifica-se a partir de rebaixamento de níveis d'água nos poços em Olinda, da ordem de 80-90 metros.

As considerações anteriores apontam para a necessidade de implantação na área Olinda-Goiana, de um sistema de exploração conjunto das águas superficiais e subterrâneas, pelas vantagens que oferecem a um maior controle e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

No "Planejamento do Sistema de Abastecimento D'Água da Área Metropolitana do Recife", elaborado pelo DSE-SUDENE (1968) foi previsto um sistema conjunto através de uma adutora Norte-Sul saindo de Olinda e seguindo aproximadamente paralela à BR-101, até o rio Botafogo. Além da captação do rio Botafogo, o sistema prevê a implantação de uma série de baterias de poços ao longo da adutora (Fig. 4).

Considerando os problemas de rebaixamentos de níveis d'água acentuados que deverão ocorrer caso se verifique uma exploração intensiva e concentrada no próprio centro de consumo, e tendo em conta, ainda, os perigos de contaminação marinha do aquífero que poderão ocorrer no futuro, um sistema como o proposto oferece grande flexibilidade no tempo e no espaço, implícita a exploração mista de águas superficiais-águas subterrâneas.

Entre as suas vantagens, podem ser citadas as seguintes:

— Permitirá otimizar o aproveitamento de todos os recursos hídricos disponíveis na área, incluindo as águas superficiais e subterrâneas.

— Permitirá a desconcentração de baterias de poços próximo aos centros de consumo, propiciando o aproveitamento das águas subterrâneas, de modo mais disperso, o que evitará rebaixamentos acentuados dos níveis piezométricos em zonas de bombeamento intenso, como em Olinda.

— Fornecerá a possibilidade de transferência de água de zonas com superávits, ao norte, para zonas com déficits como ao sul.

— Propiciará a possibilidade de perfuração de novos poços de captação ao longo da linha da adutora, acompanhando aproximadamente a rodovia BR-101, mais próximo às áreas de recarga, o que resultará em menores rebaixamento dos níveis piezométricos, devido aos efeitos provocados por este limite do aquífero.

— No caso de se verificar problemas de intrusão marinha na área de

super-exploração de Olinda, o sistema permitirá utilizar recarga artificial com água superficial da adução, nos períodos de excedentes hídricos.

Deve-se ressaltar ainda que as águas dos rios Itapirema e Jardim, distantes 35 km de Olinda, poderão ser aproveitadas, através de um prolongamento da adutora. Basta lembrar que o preço das águas destes mananciais entraria em concorrência, de acordo com o indicado no Quadro 4, a partir de rebaixamento no aquífero Beberibe da Ordem de 70-90 metros, o que poderá ocorrer em 1985 com uma exploração concentrada, em Olinda.

Por outro lado, a otimização do sistema seria alcançada mantendo-se um gradiente piezométrico entre os poços em torno de 5 m/Km, o que poderá ser mais facilmente obtido a partir de baterias de poços no sentido N-S ao longo da adutora, mais próximo à área de recarga.

Ao mesmo tempo, tal adutora poderia transferir os superávits de águas subterrâneas exploráveis ao Norte para atender ao Sul, quando, em épocas de chuvas e águas médias, as águas superficiais seriam utilizadas com preferência às subterrâneas, cogitando-se, inclusive, da possibilidade de recarregar os aquíferos com águas superficiais excedentes da adução.

Em resumo, o sistema proposto oferece as vantagens de um planejamento voltado para a proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos, tanto no que se refere a evitar uma exploração concentrada com declínio acentuado dos níveis piezométricos, como também a possibilidade de utilizar recarga artificial, tanto para aumentar o armazenamento e as reservas subterrâneas, como para evitar, no futuro, problemas de contaminação marinha.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO E CONTRÔLE

Um planejamento de uso das águas, tal como se apresenta na área de Olinda-Goiana, não poderá ser efetivamente posto em prática se não forem tomadas medidas de proteção e controle dos recursos disponíveis. Estas medidas seriam referentes tanto a aspectos técnicos como a aspectos de ordem legal, ou seja, neste caso, apoiadas por uma legislação competente que permita uma eficiente administração dos recursos hídricos.

Os problemas principais que envolvem a preservação e o uso racional dos recursos hídricos da região são principalmente de 3 tipos: (1) possibilidades de contaminação do aquífero por água do mar, (2) rebaixamento excessivos ou super-exploração; e (3) poluição urbana ou industrial das águas superficiais.

Os 2 primeiros problemas necessitam inclusive de uma tomada de consciência, por parte dos planejadores e organismos responsáveis de uma maneira ou de outra pela exploração destes recursos, no sentido de que os estudos hidrogeológicos requerem medidas periódicas de longo prazo e estudos sofisticados envolvendo grandes investimentos, que não são ainda usuais no Brasil. Diagnósticos apressados e estudos a curto prazo ou sem continuidade, em geral, não conduzem a resultados com suficiente segurança, o que leva a descréditos ou a abandono de ações válidas e mais racionais.

O terceiro problema pode ser resolvido a partir de um diagnóstico da situação ambiental das águas superficiais, seguido da implantação de um plano de controle da qualidade das águas com seleção de áreas de preservação.

As principais recomendações visando a proteção e controle dos recursos hídricos da região poderiam ser resumidas nos seguintes itens:

Quanto a estudos hidrogeológicos e hidrológicos:

— Dar continuidade às medições periódicas de níveis d'água dos aquíferos Beberibe Inferior, Beberibe Superior e Barreiras e ampliar o número de pontos da rede básica, com o objetivo de determinar a evolução da superfície piezométrica. As medidas deveriam ser mensais e prolongarem-se por um período de 5 anos. Alguns linígrafos (3 a 5) deveriam ser instalados para obtenção de registros contínuos.

— Controlar as descargas por bombeamento na área. A quantidade e distribuição das descargas por bombeamento poderiam ser definidas a cada ano.

— Coletar amostras de água para análise química completa, a cada ano, ou a cada meio ano, além de amostras mensais para controle de cloreto, nas áreas mais ameaçadas ou com sistemas de salinização. Nos poços profundos, convém controlar a dureza da água.

— Dar prosseguimento aos testes de aquífero em toda a área, dando-se especial importância à determinação da permeabilidade do "aquitard", a fim de se obter maior grau de certeza sobre as previsões de rebaixamentos dos níveis d'água e dos perigos da contaminação marinha futura. Testes de maior duração, com mais de 72 horas a 1 semana seriam recomendados, especialmente para determinação do coeficiente K'.

— Ajustar um modelo matemático depois de 3 ou 4 anos de observações hidrométricas bem planejadas, em vista de sua utilização na exploração do aquífero. Deve ser dada atenção particular à área da Olinda. Um modelo digital a pequena malha e um modelo analítico poderiam ser utilizados conjuntamente. O modelo, realimentado, permanentemente, com os novos dados das observações deverá ser reatualizado periodicamente. Numa etapa final, tal modelo deverá ser integrado a um outro mais geral, abrangendo também as águas superficiais, de forma a otimizar a exploração total do sistema integrado.

Quanto a administração dos recursos hídricos

— A exploração dos recursos subterrâneos deverá ser controlada por um órgão único, encarregado de:

- . autorizar a perfuração de novos poços;
- . emitir normas para a realização dos projetos de poços e aprovar estes projetos;
- . supervisionar a execução dos poços e a realização dos testes;
- . controlar a exploração dos poços;
- . manter atualizado o inventário e manter uma rede de observações com campanhas de medições e testes (piezometria, química, isótopos, logs, etc.);

. programar e elaborar normas para exploração e eventuais recargas dos poços;

. elaborar uma política de preços, taxas e incentivos, considerando o poço como equivalente a uma **ligação** a rede de abastecimento geral (neste caso o aquífero). Ainda supondo o **direito** do proprietário do poço, a uma vazão anual determinada (ao custo exclusivo da amortização da instalação, mais manutenção, mais custo de energia, mais uma taxa do órgão administrador), os excessos ou déficits da vazão real sobre a teórica deverão ser desestimulados ou incentivados, por tabelas progressivas, calculadas valorizando adequadamente os **prejuízos/lucros**, que tais variações de exploração produzem nos poços vizinhos (maiores/menores custos de bombeamento). Isto supõe a instalação de medidores pelo consumo de energia elétrica, conhecidos os níveis piezométricos na área. Tal controle refere-se tanto aos poços particulares (**industriais, prediais, etc.**) como aos poços ligados ao sistema geral de distribuição.

— A poluição dos aquíferos deve ser adequadamente controlada. As águas procedentes do aquífero Gramame não devem ser misturadas com as do Beberibe. A perfuração, construção, desenvolvimento e exploração dos poços devem ser cuidadosamente controlados, a fim de evitar a poluição do aquífero Beberibe. A qualidade das águas de possíveis recargas deverá ser bastante controlada.

— Em qualquer caso, os poços mais seguros são os profundos, captando o aquífero Beberibe Inferior. Especial atenção deve ser dada à construção dos poços em toda a área, que devem ser obrigatoriamente cimentados, isolando-se, e de modo perfeito, o aquífero do superior e do Gramame. Se a cimentação não é segura, pode ser muito perigoso para contaminação marinha, a partir dos níveis mais superficiais. Poços mal feitos e sem cimentação constituem caminhos preferenciais para circulação de águas salgadas dos níveis superiores e representam, na área costeira, especialmente em Olinda, o perigo mais imediato de uma possível contaminação por água do mar.

— As bacias hidrográficas dos riachos Itapirema, Jardim, Catucá e (dentro do possível) Paratibe devem ser objeto de reserva e proteção administrativa, a fim de evitar a poluição das mesmas.

— Cabe apontar a conveniência de zoneamento paralelo ao litoral, em faixas de mais ou menos 2 Km de largura, paralelas à costa, segundo consta da Fig. 5, visando uma ocupação racional do espaço e a seleção de áreas de preservação dos recursos hídricos superficiais.

BIBLIOGRAFIA

- BEZERRA, M.A., ALMEIDA, J.C., e SOUZA, P.C. — 1970 — O Aquífero Beberibe e as Melhores Áreas de Captação de Águas subterrâneas. Anais XXIV Cong. Bras. Geol. pp. 335-348. Brasília.
- BEURLEN, K. — 1967 — Estratigrafia da Faixa Sedimentar Costeira Recife — João Pessoa. Separata do Bol. Soc. Bras. Geol. 16 (1), pp. 43-56 — São Paulo.
- COSTA, W.D., COUTINHO, P.N., REBOUÇAS, A. da C. — 1968 — Reconhecimento Geológico e Hidrogeológico do Recife e Municípios Adjacentes. DSE — SUDENE — Recife.
- CRUZ, W.B. da, SILVA, A.B. da, JARDIM, F.G., PEIXOTO, C.A. de M. — 1978 — Modelo de Simulação Analítico de Exploração do Aquífero Beberibe na Área Olinda-Goiana, Pe — Bol. Soc. Bras. Geol. (no prelo).
- CUSTÓDIO, E., CRUZ, W.B. da, SILVA, A.B. da, JARDIM, F.G. PEIXOTO, C.A. de M. — 1977 — Estudo sobre as Possibilidades de Intrusão Marinha no Aquífero Beberibe, Região Costeira de Olinda — Goiana, Pe — Bol. Soc. Bras. Geol. 7 (3) pp 239 — 255 — São Paulo.
— Caracterização Química do Fluxo de Águas Subterrâneas na Região Costeira de Olinda-Goiana, Pernambuco. — (Inédito).
- DSE-SUDENE — 1968 — Planejamento do Sistema de Abastecimento D'Água da Área Metropolitana do Recife — Recife.
- FEITOSA, E.C., — 1976 — Reconhecimento Geofísico por Eletroresistividade da Bacia Sedimentar Costeira PE/PB/RN — CONESP 9 (inédito). Recife.
- MABESOONE, J.M., — 1967 — Sedimentologia da Faixa Costeira Recife — João Pessoa. Bol. Soc. Bras. Geol. 16 (1), pp 57-72 — São Paulo.
- SUDENE-CONESP-OESA — 1976 — Estudos de Reconhecimento e Estudos Hidrogeológicos para Aproveitamento Integrado da Região Centro-leste da Bacia Potiguar e Bacias Costeiras do Paraíba e Pernambuco — (Inédito), Recife.

Rio	Bacia (km ²)	Vazão média anual (10 ⁶ m ³ /ano)	Vazão mínima de estiagem (1) (m ³ /s)	Disponibilidade de água superficial (10 ⁶ m ³ /ano)
— Itapirema e Jardim	168,9	110,4	1,1	34,60
— Catuca (Botafogo)	82,4	62,0	0,3	9,45
— Paratibe	43,8	31,6	0,2	6,30
— Beberibe (2)	20,1	15,2	0,1	3,15
— Monjope (2)	66,0	—	1,2	36,5

(1) — Com 90% de garantia.

(2) — Já aproveitados para o abastecimento d'água de Recife e Olinda.

QUADRO 1

FONTES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

LOCALIDADE	DEMANDA URBANA (x10 ⁶ m ³ /ano)					DEMANDA INDUSTRIAL (x10 ⁶ m ³ /ano)						
	1980	1985	1990	1995	1980	1985	1990	1995	1980	1985	1990	1995
OLINDA	24,5	33,2	48,7	65,9	17,5	25,7	36,0	45,9	—	—	—	—
NAVARRO	0,15	0,20	0,24	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—
PAULISTA	1,2	1,3	1,4	1,6	10,8	15,9	22,3	28,5	—	—	—	—
PARATIBE	0,35	0,58	0,68	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—
ABREU DE LIMA	1,8	3,6	5,1	8,1	—	—	—	—	—	—	—	—
PRAIA DA CONCEIÇÃO	0,28	0,55	0,73	1,07	—	—	—	—	—	—	—	—
IGARASSU	1,6	2,0	2,9	3,7	8,2	12,0	16,8	21,4	—	—	—	—
ITAPISSUMA	0,28	0,53	0,70	0,73	—	—	—	—	—	—	—	—
ITAMARACÁ	0,23	0,28	0,35	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—
PONTA DE PEDRAS	0,11	0,21	0,27	0,35	—	—	—	—	—	—	—	—
GOIANA	1,6	1,8	2,1	2,4	17,2	25,3	35,5	45,3	—	—	—	—

QUADRO 2

DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA TOTAL NA ÁREA

OLINDA-GOIANA

$x_j - x_i$ (m)	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
l_{ij} (km)	2,1	4,2	6,3	8,3	10,0	12,5	14,6	16,7	18,8	20,8

$x_j - x_i$ = diferença de altura de elevação entre um poço na localidade j e um poço na localidade i.

l_{ij} = distância entre a localidade i e a localidade j.

QUADRO 3

EQUIVALÊNCIA DE CUSTOS DE EXPLORAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

PARA DIFERENTES DISTÂNCIAS E NÍVEIS DINÂMICOS

l_i (m)	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	150,0
x_j (m)	15,5	17,6	19,7	21,8	23,9	26,0	28,1	30,2	32,3	34,4	43,9

x_j = altura de elevação do poço na localidade j.

l_{ij} = distância entre a localidade i e a localidade j.

QUADRO 4

EQUIVALÊNCIA DE CUSTOS DE EXPLORAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ÁGUAS SUPERFICIAIS

BACIA COSTEIRA DE FERNAMBUCO - PARAIBA
CORTE GEOLÓGICO TRANSVERSAL BARRA DE CATUAMA - ITAPIREMA

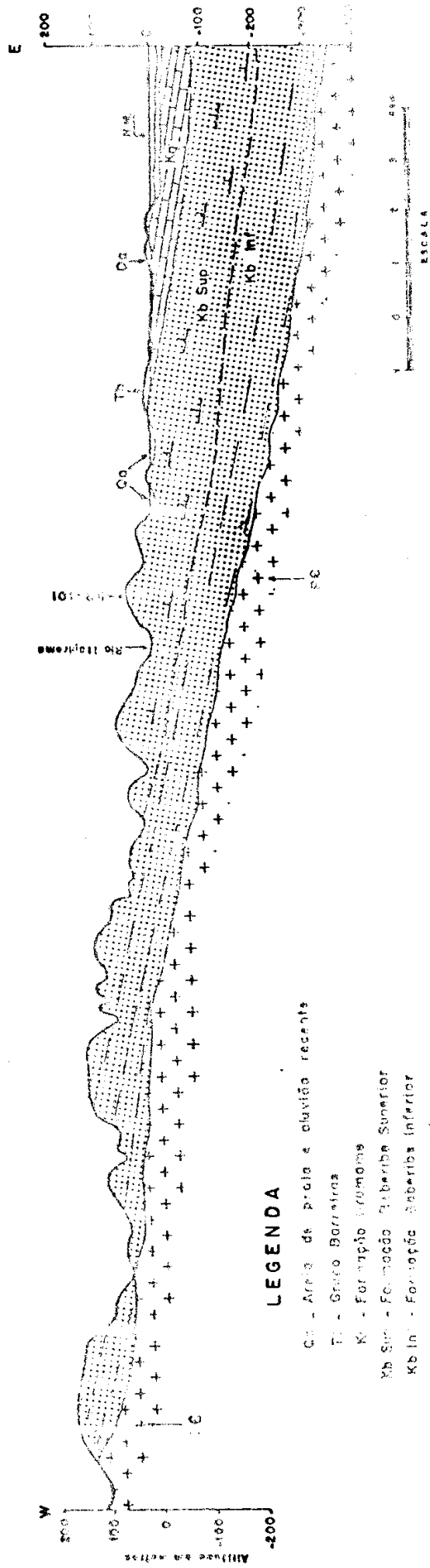
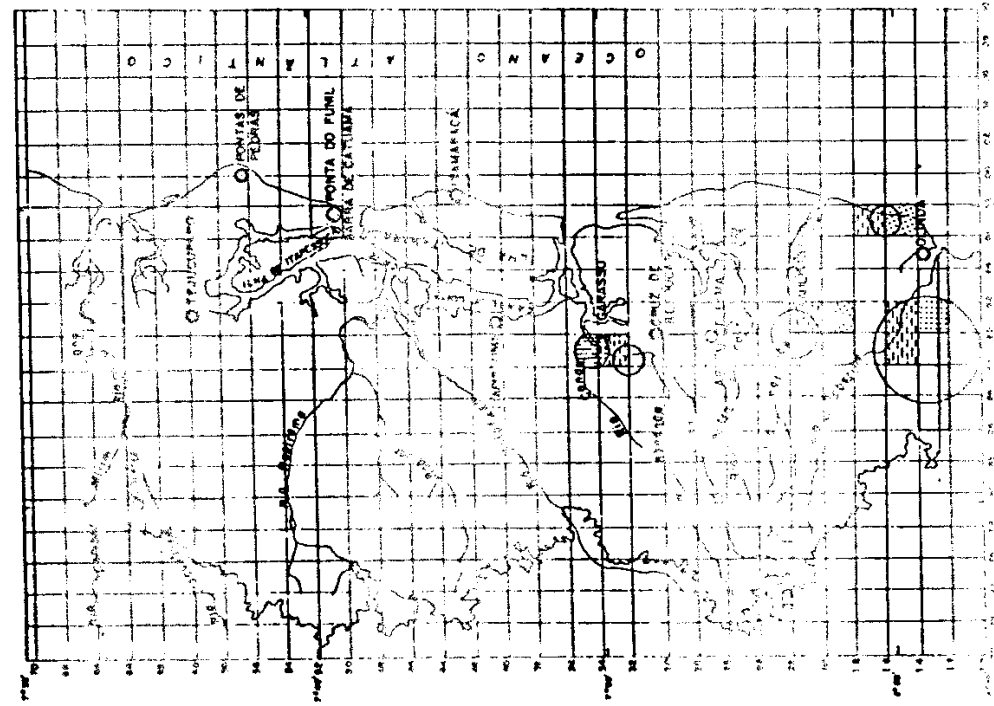
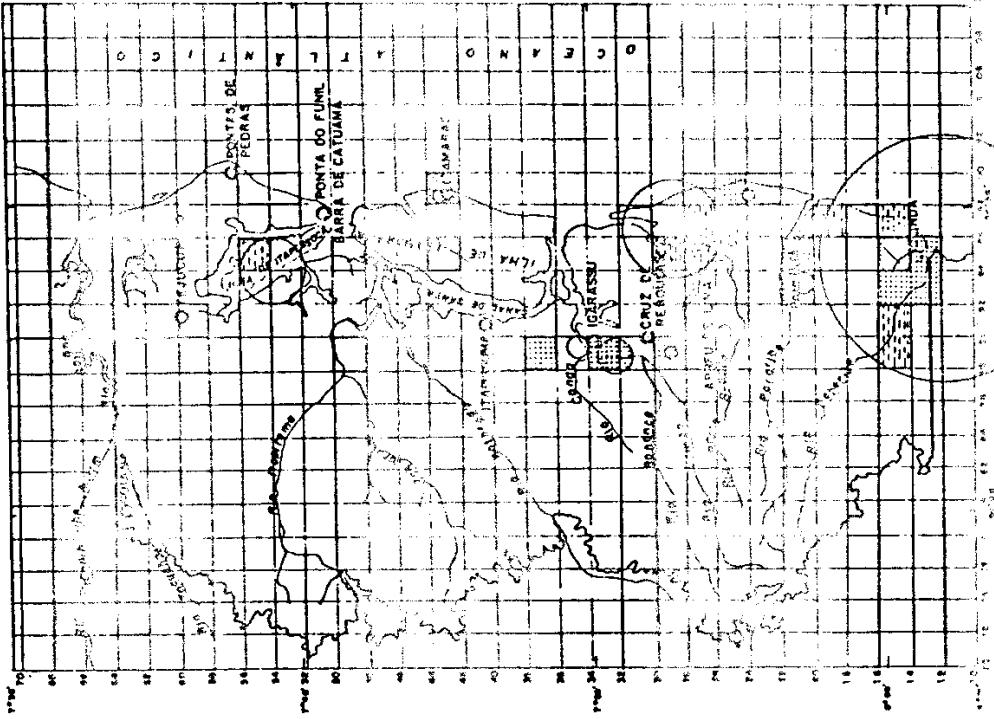
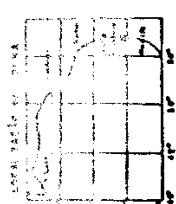


FIG. 1

BOMBAMENTO NA ÁREA OLINDA - GOIÂNIA



(A) PROGRAMA DE BOMBAMENTO DO AQUIFERO BEBEBE SUPERIOR 1975



(B) PROGRAMA DE BOMBAMENTO DO AQUIFERO BEBEBE SUPERIOR 1973

LEGENDA

- (A) DEMANDA DE BOMBAMENTO m³/dIA
- MENOR DO QUE 5.000
 - ENTRE 5.000 E 10.000
 - ENTRE 10.000 E 20.000
 - ENTRE 20.000 E 40.000
 - ENTRE 40.000 E 80.000
- DESCARGA POR BOMBAMENTO NO AQUIFERO BEBEBE INFERIOR-1975
- EQUIVALE A UMA DESCARGA BOMBEADA IGUAL A 13.110 m³/dIA
- LOCALIZADO NOS 100 METROS DE PROFUNDIDADE
- ÁGUA UTILIZADA PARA ABASTECIMENTO DE SANEAMENTO E IRRIGAÇÃO
- (B) DEMANDA DE BOMBAMENTO m³/dIA
- MENOR DO QUE 5.000
 - ENTRE 5.000 E 10.000
 - ENTRE 10.000 E 20.000
 - ENTRE 20.000 E 40.000
 - ENTRE 40.000 E 80.000
- DESCARGA POR BOMBAMENTO NO AQUIFERO BEBEBE SUPERIOR-1973
- EQUIVALE A UMA DESCARGA BOMBEADA IGUAL A 13.110 m³/dIA
- ÁGUA BOMBEADA DO AQUIFERO BEBEBE SUPERIOR
- ÁGUA BOMBEADA DOS AQUIFEROS SUPERIOR E INFERIOR

○ CENSO E POPULAÇÃO

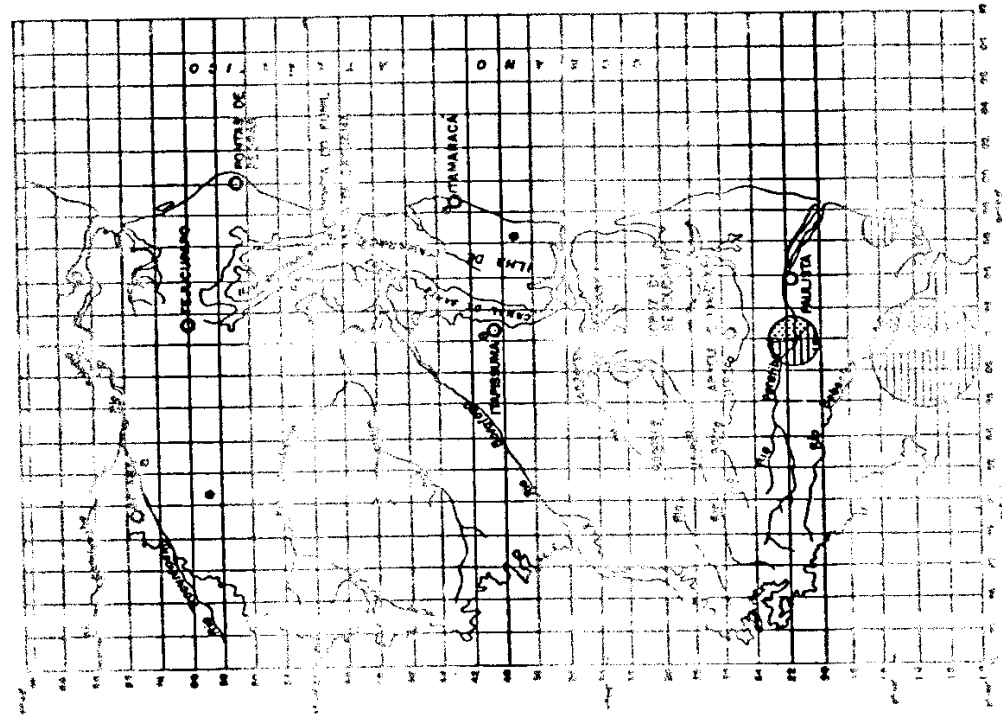
— RIO E RIBÃO

— LIMITE DA BACIA SEDIMENTAR

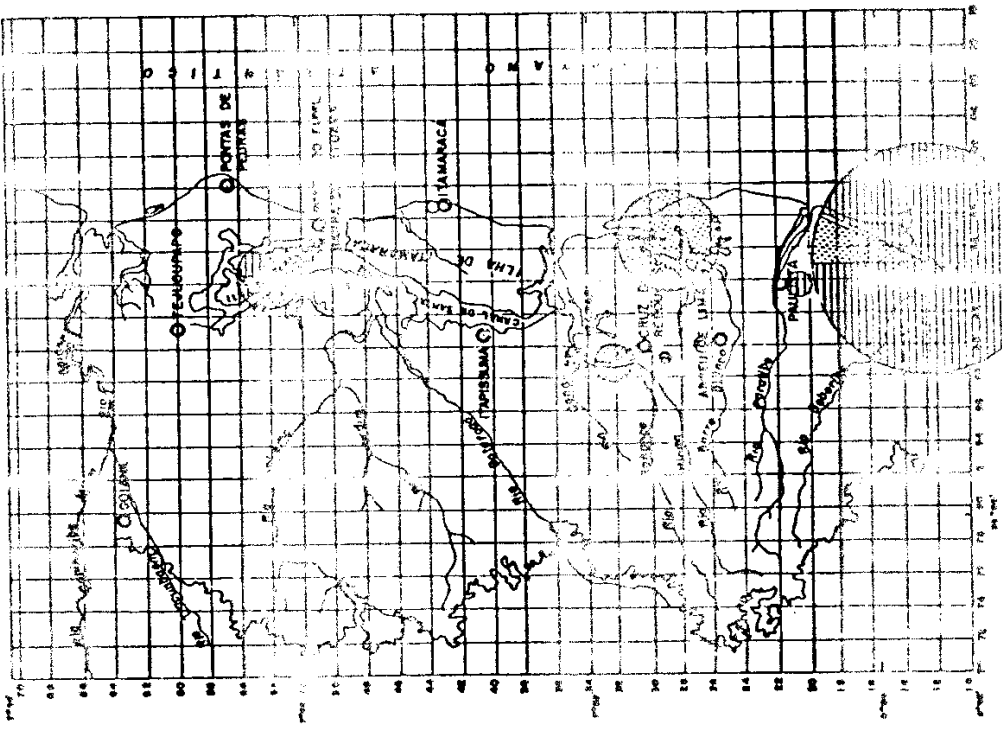
CEL/DA/RES/1000000

FIG. 2

USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA OLINDA - COIARÉ

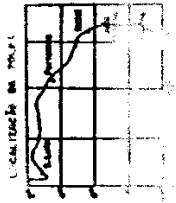


USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
AQUÍFERO BEBEDOURO SUPERIOR
1978



USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
AQUÍFERO BEBEDOURO INFERIOR
1978

- LEGENDA
- USO PASTORIL
 - USO INDUSTRIAL
 - OUTROS USOS
 - BOMBAMENTO TOTAL EM MILHÕES DE METROS CÚBICOS
 - CIDADE E POVOADO
 - RIO E RIACHO
 - LIMITE DA BACIA HYDROGRÁFICA

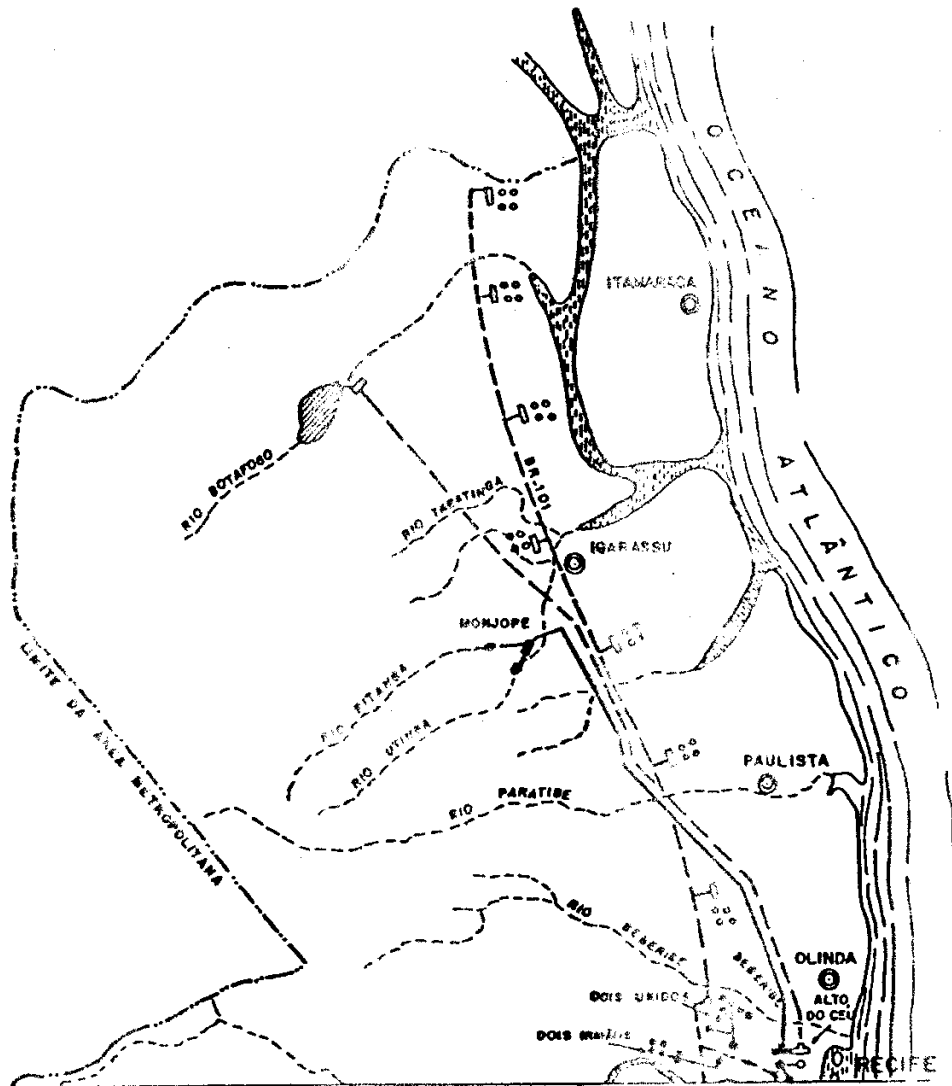


ESCALA



ABASTECIMENTO D'ÁGUA DA ÁREA METROPOLITANA DO RECIFE ZONA NORTE

SEGUNDO DSE - SUDENE - 1968



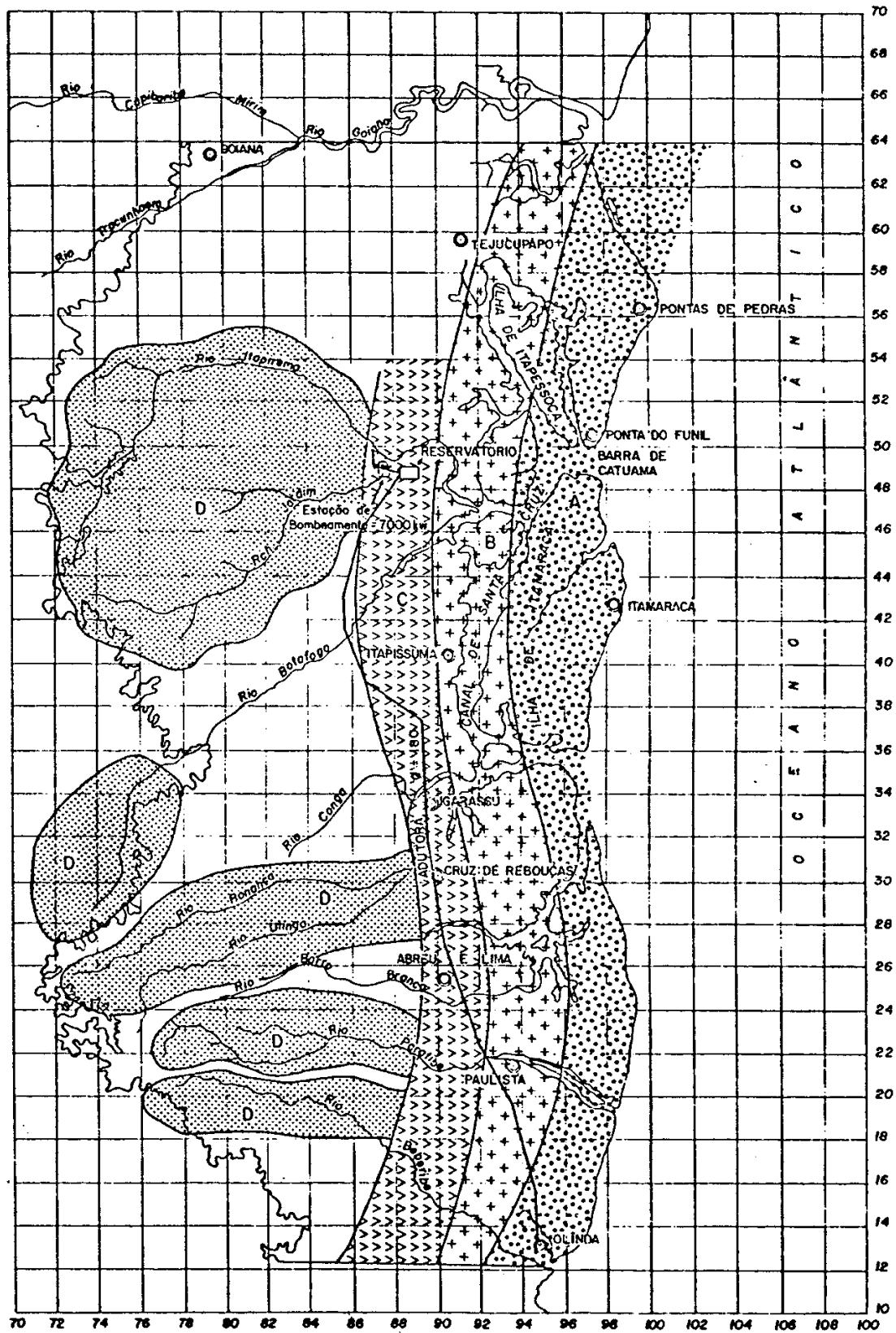
LEGENDA

PROJETADO	EXISTENTE	
		REPRESA
		ESTAÇÃO DO TRATAMENTO
		ESTAÇÃO ELEVATÓRIA
		RESERVATÓRIO
		POÇO
		ADUTORA

0 1 2 3 4 5 km
ESCALA

FIG. 4

ESQUEMA DE ADUÇÃO E ÁREAS SUGERIDAS PARA RESERVA DOS RECURSOS HÍDRICOS



LEGENDA








-  CIDADE E POVOADO
-  RIO E RIACHO
-  LIMITE DA ÁREA
-  TURÍSTICO E RESIDENCIAL
-  URBANO
-  INDUSTRIAL
-  RESERVA PARA APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

FIG. 5