

Marcos Fernandes de Sousa¹, José Pires Ribeiro²

Resumo -- Este trabalho trata da experiência adquirida pela CDRM no tocante a minimização dos efeitos das perdas de carga em poços do tipo "Amazonas", mediante o emprego de filtros espiralados de ranhura contínua, instalados na horizontal e na base do poço e do aquífero. Os reservatórios subterrâneos estudados e trabalhados são sedimentos aluvionares de pouca espessura, localizados no semi-árido nordestino, região oeste do Estado da Paraíba. As captações até então melhoradas ou construídas, num total de 6, se destinam ao atendimento do abastecimento de pequenas cidades interiores, onde a demanda por água atinge no máximo 150 m³/h, em São Bento e mínima de 10 m³/h para Lastro. Os resultados obtidos são os melhores possíveis, uma vez que o sistema adotado torna o poço capaz de produzir vazões ajustadas à produtividade do aquífero, avaliada a partir da execução de pesquisas preliminares, que determinaram as características dimensionais e hidrodinâmicas do meio, permitindo o dimensionamento adequado dos filtros ponteiros instalados. A técnica empregada ainda se encontra em fase inicial de estudo, certamente será aperfeiçoada, mas mesmo assim já merece absoluto crédito para uso por outras empresas que trabalham no ramo da hidrogeologia.

INTRODUÇÃO

Independente da conceituação léxica de "essencial a vida", a água nas regiões semi-áridas assume importância preponderante na sobrevivência da biota. Para o homem o colapso do sistema, ou melhor do Ciclo da Água, significa necessidade de mudanças de hábitos, fortes e decisivas influências na estrutura sócio-econômica e mesmo nos casos extremos a migração tem sido a alternativa viável.

Sem embargo, toda e qualquer alternativa hídrica há de ser considerada, e neste sentido os aquíferos existentes nos aluviões distribuídos ao longo da extensa rede de drenagem do Nordeste, assumem destaque. Nestes depósitos, dado a simplicidade construtiva das unidades de captação, se exploram fabulosos volumes de água quase sempre potável e a baixo custo, sendo popularizado o poço tipo "cacimbão", ou quando melhor estruturado chamado de Amazonas, todos de grande diâmetro. Tecnicamente melhor definidas e projetadas, outras soluções tem sido adotadas na captação das águas aluviais - poço tubular ra-

poço coletor com drenos etc -, à depender das características de cada aquífero considerado. No entanto, até o momento, não se tinha definido uma solução adequada para exploração dos aquíferos aluvionares de pequena espessura, envolvendo numa só unidade, eficiência hidráulica e baixo custo de implantação e operação.

Assim sendo, foram desenvolvidos estudos e pesquisas no intuito de reduzir as perdas de cargas dos poços de grande diâmetro - cacimbões e Amazonas -, permitindo desta forma o bombeamento de altas vazões, compatíveis com a capacidade de produção dos aquíferos estudados e objetivando também, dotar de abastecimento de água cidades de pequeno porte ligadas a CACEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba -. Para localização dos poços foram efetuados levantamentos fotogeológicos e sondagens em 2", posteriormente definido o potencial do aquífero e confrontado com as demandas requeridas.

De forma simples, a solução encontrada teve como base a alta permeabilidade do aquífero e a excelente área aberta dos filtros ranhurados. Consistiu na instalação de ponteiros de filtros espiralados, por dentro dos poços, na horizontal e na base dos aquíferos, nos diâmetros de 2", 2.1/2", 3" e 4", atingindo-se o máximo de 7 metros por ramal instalado para o maior diâmetro citado. Foram construídos 6 (seis) poços coletores para estruturação do abastecimento de água nas cidades de Lastro (1 poço) Santa Cruz (2) São Bento (3) e Paulista (1), todos localizados na região noroeste do Estado da Paraíba.

PESQUISAS INICIAIS

A maioria dos aquíferos aluvionares nordestinos sedimentados ao longo dos grandes rios e seus tributários possuem profundidades variáveis, média de 7 a 8 m, alcançando máximas de 10 metros. No campo são facilmente identificáveis pela preservação do verde ao longo dos vales, mesmo nas estagens periódicas, além de se constituírem em áreas prioritárias para a agricultura.

A metodologia de trabalho empregada na pesquisa preliminar para identificação das características dimensionais e hidrodinâmicas, visando a exploração econômica e racional das águas subterrâneas destes reservatórios, tem sido gradualmente desenvolvida pela CDRM-DHS, e consiste nos seguintes pontos fundamentais:

- Levantamento fotogeológico visando identificar as manchas aluvionares mais promissoras, situadas próximas a comunidade a ser atendida com água. Elaboração de mapa fotogeológico, em escala apropriada, destacando os aluviões do embasamento.
- Visita de campo para levantamento de informações superficiais mais detalhadas sobre as áreas, tais como extensão lateral real, litologias, levantamento e identificação de unidades de exploração já existentes. Nesta mesma fase é feito a locação de sondagens de reconhecimento em 2", de preferência transversais ao vale, para identificação dos pontos mais profundos. Se necessário, são executadas tantas linhas transversais quanto forem necessárias para reconhecimento de todo o arcabouço do embasamento. Como exemplo ilustrativo, a distribuição das sondagens de pesquisa pode ser similar a apresentada

¹ Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Sondagens - DHS, da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM/PB, Campina Grande-PB.

² Geólogo, DHS-CDRM/PB

na Figura - 1, em anexo.

- c) Após a análise conjunta dos dois itens anteriores, notadamente os perfis das sondagens em 2", a fase seguinte se constitui na determinação das características hidrodinâmicas (T.K.S.) do aquífero a ser explorado, além da análise química prévia da água.

Testes de aquífero e piezômetros

Já existindo poços na área, seja do tipo tubular raso ou Amazonas, estas unidades são bombeadas para identificação dos parâmetros hidrodinâmicos, do aquífero observando-se os rebaixamentos nos piezômetros previamente construídos. Para um melhor entendimento da questão, foram seguidas as seguintes recomendações:

- a) Os piezômetros devem ficar afastados do poço bombeado, a uma distância de pelo menos uma vez e meia a espessura saturada detectada nas sondagens preliminares.
- b) Os piezômetros são construídos a partir de uma sondagem realizada, quando então são instalados tubos de PVC de 1" com ranhuras a altura do aquífero desejado.
- c) Não existindo poços aproveitáveis para testes, é recomendado a perfuração de pelo menos um poço tubular raso, telado no máximo 50% da espessura saturada com filtros espiralados de ranhuras contínuas. A perfuração pode ser realizada de forma convencional e as características construtivas e qualidade dos materiais empregados deve seguir as mesmas recomendações de um poço convencional. Para este caso específico, destaque-se, após a execução dos testes é recomendado sacar os tubos e filtros usados no poço, minimizando o custo dos serviços. Por outro lado, o grau de sofisticação da pesquisa é função da demanda requerida e do condicionamento hidrogeológico da área.
- d) Nos testes de aquífero serão extraídas vazões compatíveis para obtenção dos rebaixamentos mínimos necessários as interpretações, calculados em pré-testes efetuados. Rebaixamentos nos poços bombeados de cerca de 50% da espessura saturada, sempre tem produzido os efeitos requeridos.
- e) A definição dos parâmetros T, K e S normalmente tem como base o ajuste dos resultados obtidos em pelo menos dois métodos de interpretação convencional aplicados para os meios porosos, uma vez que interferem fortemente nos resultados dos testes os efeitos de barreira impermeável, variações de litologia, perdas por penetração parcial, etc. Desta forma não existe um método específico, absoluto ou único para definição destes elementos, em se tratando de aquífero livre ou semi-livre.

De posse destes elementos, é projetado o tipo de captação mais adequada para exploração do aquífero estudado, não ficando descartada a possibilidade de aproveitamento de poços existentes, com ou sem melhoramentos necessários. Se opção for a construção de poço coletor com drenos radiais, as cotas de instalação dos filtros devem ser definidas tendo-se por base os resultados de sondagens de detalhamento em 2", distribuídas em perfis transversais à unidade

de coletora, com espaçamentos máximo de 5 metros entre os furos. Como mostra a Figura - 1.

CAPTAÇÕES CONSTRUÍDAS

A existência de poços do tipo escavados para exploração de água datam de tempos bíblicos, notadamente pela sua simplicidade de construção a reduzir o custo. No entanto, pelas características dos materiais empregados são as unidades que apresentam os maiores índices de perdas de carga, cujos valores crescem com o tempo de uso e com o acréscimo da vazão de exploração. Isso se deve ao fato de que as seções filtrantes, à base de furos inadequados, realizados na própria parede do poço, não permitem o desenvolvimento de um indispensável pré-filtro através da retirada dos finos da formação.

Para superar ou minimizar esta deficiência, só a partir de 1934 este tipo de captação começou a ser adaptado com drenos horizontais, sistema esse idealizado por Ranney e Fellmann, engenheiros norte-americano e suíço, que aplicaram como filtros tubo de ferro em diâmetros variáveis, perfurados, instalados por dentro do poço mediante o emprego de sistema hidráulico. Na região Nordeste brasileira algumas captações semelhantes já foram construídas empregando-se filtros espiralados, instalados a céu aberto e com o lençol freático rebaixado, no entanto a elevado custo de construção.

No Estado da Paraíba, desde o segundo semestre de 1984, este tipo de captação vem sendo pesquisado e construído, utilizando filtros espiralados de ranhura contínua tipo ponteira, posicionados na horizontal e na base dos aquíferos, sendo instalados entretanto por dentro do poço. As captações até então construídas foram definidas próximo às sedes dos municípios de Lastro (1), Santa Cruz (2), São Bento (2) e Paulista (3), região Oeste do Estado dentro da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas. Se destinam ao atendimento do abastecimento d'água convencional destas cidades, ligado à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA. A localização das cidades é indicada na figura - 2, em anexo.

Dimensionamento do poço coletor

Em todos os poços construídos pela CDRM foram empregados filtros espiralados de ranhura contínua, tipo ponteira, diâmetros de 2" a 4", abertura de 2,5 mm a 3,8 mm, galvanizados e inoxidáveis, perfil em "V". No dimensionamento destas unidades se pode citar um exemplo prático, partindo das seguintes considerações:

- a) Espessura saturada mínima de verão (ho) = 2,0 m
- b) Rebaixamento permissível (s) = 0,30 ho
- c) Carga mínima sobre os coletores (hw) = 1,70 m
- d) Permeabilidade do aquífero: $K = 1,5 \times 10^{-3} \text{ m/seg}$ (obtido na pesquisa)
- e) Raio de influência $R = 575 \sqrt{K \cdot ho}$. $R = 18,9 \text{ m}$ (1)
- f) Para 8 ramais filtrantes simétricos, com 4 metros de extensão, o raio equivalente é dado pela equação (2) que define o raio equivalente

te (λ_e) do poço onde a_n é a extensão média dos ramais e n a quantidade dos mesmos:

$$\lambda_e = 0,8 a_n \sqrt[3]{1/4} \therefore \lambda_e = 2,69 \text{ m} \quad (2)$$

Nestas condições, sem levar em consideração as perdas por penetração parcial, e para as condições dadas, a vazão possível produzida pelo aquífero é dada por Dupuit, conforme expressa a equação (3).

$$Q = \pi K (h_o^2 - h_w^2) / \ln \frac{R}{\lambda_e} \quad (3)$$

$$Q = 5,0 \text{ l/s} \approx 18,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Segundo as recomendações da literatura especializada, a velocidade de entrada da água (v_e) nos filtros em aquíferos grosseiros e inconsolidados deve ser semelhante a permeabilidade (K). Neste caso v_e é igual a $1,5 \text{ mm/s}$, restando definir o diâmetro ótimo dos filtros e sua área aberta. Tem que se levar em conta que diâmetros menores propiciam melhores condições na instalação dos ramais, e a área aberta deve ser definida, também, em função da granulometria da formação. Quanto a este aspecto é importante acrescentar que a abertura dos filtros deve sempre permitir a passagem de pelo menos 40% do material do aquífero, facilitando sua penetração e a formação do indispensável pré-filtro natural.

As características finais dos filtros foram assim calculadas:

a) Vazão prevista (Q) = $18 \text{ m}^3/\text{h} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

b) Comprimento total (L) = 32 metros, dado no item f anterior

c) Velocidade de entrada $v_e = K = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

O comprimento total (L) é igual a relação existente entre a área aberta total requerida (A) e a área aberta unitária (a), sendo que:

$$A = \frac{Q}{v_e} \quad (4)$$

$$a = \pi d \times a_n, \text{ onde } a_n = \text{percentual de área aberta} \quad (5)$$

Efetuada as devidas substituições na equação (6), se obtém a seguinte relação:

$$L (\pi d \times a_n) = \frac{Q}{v_e} \therefore \pi d \times a_n = 0,10416 \quad (6)$$

Considerando o diâmetro nominal de 3", e aplicando seu valor em metros na relação acima, a área aberta total (a_n) requerida, mínima será de 43%, e os filtros devem possuir, nestas condições, ranhuras de 1,5 mm de abertura.

Características do poço coletor -- Possuem características construtivas idênticas à de um poço do tipo Amazonas, sem entretanto possuir a seção filtrante. Sumariamente destacam-se as seguintes partes:

- a) A base do poço, em concreto armado, é constituída pela Sapata Cortante que possui forma circular, diâmetro interno igual ao do poço, e seção transversal retangular. Esta estrutura é ligada aos anéis

através de 4 colunas, todas em concreto armado que asseguram a estabilidade e rigidez da estrutura como um todo.

- b) Diâmetro interno mínimo de 3 metros para facilitar as manobras dos serviços, durante a descida da estrutura do poço como também quando da instalação dos filtros.
- c) A parede do poço é construída com tijolo manual comum de uma vez. Para fixação do reboco interno e externo nas paredes, a mistura é enriquecida com SIKA objetivando uma eficiente impermeabilização.
- d) Com o objetivo de evitar a entrada de material da formação pelo fundo do poço, através do fenômeno da sub-pressão, é colocado uma laje de concreto magro de modo que a unidade fique praticamente estanque.
- e) Laje de cobertura em concreto armado, e casa de bomba em pontos de cotas superiores ao das enchentes máximas anuais.

O processo de construção do poço é simples, constando de escavações e retirada do material por dentro da estrutura que, a medida que vai descendo por gravidade, sua parede, colunas e anéis de concreto armado vão sendo construídas. Quando o nível d'água é alcançado, para rebaixá-lo, são utilizados os conjuntos moto-bomba centrífuga diesel de grande capacidade. A Figura 3 ilustra as características supra-citadas.

Instalação de ponteiras filtrantes -- Na instalação dos ramais filtrantes, uma vez que os mesmos são do tipo "ponteira", nos três primeiros poços foi empregada a mesma metodologia adotada para a instalação de filtros na vertical, recorrendo-se ao método de impacto com cabeça debater, usando para isso martelete de 8 a 10 Kg. Após vasto período de experiência este método provou que as dificuldades crescem com o avanço dos comprimentos instalados. A necessidade de instalação de filtros com maior diâmetro e extensão, para obtenção de maiores vazões, fez com que o método de instalação manual evoluísse para um sistema hidráulico, eliminando assim o desgastante esforço físico. Este é constituído de um cilindro hidráulico telescópico, acionado por bomba hidráulica manual comum de pequena vazão, cuja capacidade foi dimensionada para exercer pressão contínua de até 55 toneladas por centímetro quadrado. A prática mostrou que o método utilizado é eficiente, vez que nos diâmetros de 2" e 4" se conseguiu avançar até 7 metros de comprimento total por ramal projetado, com o máximo de 14 toneladas de pressão.

A formação artificial do pré-filtro começa desde o início das instalações, quando já é iniciado o carreamento de finos da formação para o interior do poço, através da abertura dos filtros. Nos níveis arenosos com granulometria de média a grosseira se chegou a medir até 10 litros de material produzido por metro de filtro, formando um pré-filtro natural de excelente qualidade, além de facilitar o avanço das ponteiras. Por isso, a prévia análise granulométrica de material representativo da formação aquífera é imprescindível, e após atender as exigências hidráulicas do projeto, é recomendado se fixar a abertura dos filtros em um valor que corresponda ao diâmetro de 40% dos finos determinados na análise, de modo que todo esse material seja retirado propiciando um substancial aumento da permeabilidade (K) nas medições do filtro instalado.

Experiências realizadas em laboratórios mostraram que filtros espiralados

te (κ_e) do poço onde a_n é a extensão média dos ramais e n a quantidade dos mesmos:

$$\kappa_e = 0,8 a_n \sqrt{1/4} \therefore \kappa_e = 2,69 \text{ m} \quad (2)$$

Nestas condições, sem levar em consideração as perdas por penetração parcial, e para as condições dadas, a vazão possível produzida pelo aquífero é dada por Dupuit, conforme expressa a equação (3).

$$Q = \pi K (h_o^2 - h_w^2) / \ln \frac{R}{\kappa_e} \quad (3)$$

$$Q = 5,0 \text{ l/s} \approx 18,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Segundo as recomendações da literatura especializada, a velocidade de entrada da água (v_e) nos filtros em aquíferos grosseiros e inconsolidados deve ser semelhante a permeabilidade (K). Neste caso v_e é igual a $1,5 \text{ mm/s}$, restando definir o diâmetro ótimo dos filtros e sua área aberta. Tem que se levar em conta que diâmetros menores propiciam melhores condições na instalação dos ramais, e a área aberta deve ser definida, também, em função da granulometria da formação. Quanto a este aspecto é importante acrescentar que a abertura dos filtros deve sempre permitir a passagem de pelo menos 40% do material do aquífero, facilitando sua penetração e a formação do indispensável pré-filtro natural.

As características finais dos filtros foram assim calculadas:

a) Vazão prevista (Q) = $18 \text{ m}^3/\text{h} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

b) Comprimento total (L) = 32 metros, dado no item f anterior

c) Velocidade de entrada $v_e = K = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

O comprimento total (L) é igual a relação existente entre a área aberta total requerida (A) e a área aberta unitária (a), sendo que:

$$A = \frac{Q}{v_e} \quad (4)$$

$$a = \pi d \times a_n, \text{ onde } a_n = \text{percentual de área aberta} \quad (5)$$

Efetuada as devidas substituições na equação (6), se obtém a seguinte relação:

$$L (\pi d \times a_n) = \frac{Q}{v_e} \therefore \pi d \times a_n = 0,10416 \quad (6)$$

Considerando o diâmetro nominal de 3", e aplicando seu valor em metros na relação acima, a área aberta total (a_n) requerida, mínima será de 43%, e os filtros devem possuir, nestas condições, ranhuras de 1,5 mm de abertura.

Características do poço coletor -- Possuem características construtivas idênticas à de um poço do tipo Amazonas, sem entretanto possuir a seção filtrante. Sumariamente destacam-se as seguintes partes:

- a) A base do poço, em concreto armado, é constituída pela Sapata Cortante que possui forma circular, diâmetro interno igual ao do poço, e seção transversal retangular. Esta estrutura é ligada aos anéis

através de 4 colunas, todas em concreto armado que asseguram a estabilidade e rigidez da estrutura como um todo.

- b) Diâmetro interno mínimo de 3 metros para facilitar as manobras dos serviços, durante a descida da estrutura do poço como também quando da instalação dos filtros.
- c) A parede do poço é constituída com tijolo manual comum de uma vez. Para fixação do reboco interno e externo nas paredes, a mistura é enriquecida com SIKA objetivando uma eficiente impermeabilização.
- d) Com o objetivo de evitar a entrada de material da formação pelo fundo do poço, através do fenômeno da sub-pressão, é colocado uma laje de concreto magro de modo que a unidade fique praticamente estanque.
- e) Laje de cobertura em concreto armado, e casa de bomba em pontos de cotas superiores ao das enchentes máximas anuais.

O processo de construção do poço é simples, constando de escavações e retirada do material por dentro da estrutura que, a medida que vai descendo por gravidade, sua parede, colunas e anéis de concreto armado vão sendo constituídas. Quando o nível d'água é alcançado, para rebaixá-lo, são utilizados dos conjuntos moto-bomba centrífuga diesel de grande capacidade. A Figura 3 ilustra as características supra-citadas.

Instalação de ponteiros filtrantes -- Na instalação dos ramais filtrantes, uma vez que os mesmos são do tipo "ponteira", nos três primeiros poços foi empregada a mesma metodologia adotada para a instalação de filtros na vertical, recorrendo-se ao método de impacto com cabeça de bater, usando para isso martelo de 8 a 10 Kg. Após vasto período de experiência este método provou que as dificuldades crescem com o avanço dos comprimentos instalados. A necessidade de instalação de filtros com maior diâmetro e extensão, para obtenção de maiores vazões, fez com que o método de instalação manual evoluísse para um sistema hidráulico, eliminando assim o desgastante esforço físico. Este é constituído de um cilindro hidráulico telescópico, acionado por bomba hidráulica manual comum de pequena vazão, cuja capacidade foi dimensionada para exercer pressão contínua de até 55 toneladas por centímetro quadrado. A prática mostrou que o método utilizado é eficiente, vez que nos diâmetros de 2" e 4" se conseguiu avançar até 7 metros de comprimento total por ramal projetado, com o máximo de 14 toneladas de pressão.

A formação artificial do pré-filtro começa desde o início das instalações, quando já é iniciado o carreamento de finos da formação para o interior do poço, através da abertura dos filtros. Nos níveis arenosos com granulometria de média a grosseira se chegou a medir até 10 litros de material produzido por metro de filtro, formando um pré-filtro natural de excelente qualidade, além de facilitar o avanço das ponteiros. Por isso, a prévia análise granulométrica de material representativo da formação aquífera é imprescindível, e após atender as exigências hidráulicas do projeto, é recomendado se fixar a abertura dos filtros em um valor que corresponda ao diâmetro de 40% dos finos determinados na análise, de modo que todo esse material seja retirado propiciando um substancial aumento da permeabilidade (K) nas medições do filtro instalado.

Experiências realizadas em laboratórios mostraram que filtros espiral

dos de ranhura contínua, com 18 hastes verticais, galvanizadas, em 2" e 4", de diâmetro, suportam, respectivamente 10 e 20 toneladas por centímetro quadrado para atingir o ponto de flambagem.

RESULTADOS OBTIDOS

A capacidade de produção dos poços coletores com ponteiros radiais não são bem definidas pela literatura especializada, dada a enorme quantidade de fatores que interferem no resultado final. Não obstante, associando as sugestões bibliográficas aos resultados práticos encontrados, se tem definido as condições de exploração dos poços implantados. Todos os poços foram construídos em aquíferos livres, aluvionares, e, em algumas situações o manancial não possuía nenhuma recarga e em outras, as unidades foram perfuradas ao lado de rios perenizados com o objetivo de induzir uma recarga artificial para o sistema aquífero. Foram aplicadas as seguintes metodologias:

Aquífero livre sem recarga

O local de construção dos poços foram definidos com base nas prévias pesquisas, procurando situá-los nos locais de maior favorabilidade, levando em conta as linhas equipotenciais e de fluxo do aquífero. As limitações dos mananciais, obrigaram a determinação da reserva explorável em períodos de recessão pluviométrica, mensuração esta que nem sempre pode-se considerar como inteiramente confiável, vez que as variações de fácies, ondulações do embasamento etc., não permitem a elaboração de cálculos precisos.

Diante destas dificuldades, e após as últimas análises de alguns resultados práticos, a determinação da capacidade de produção dos poços, melhor se ajustam quando realizadas com base na Teoria das Imagens, que considera os efeitos das barreiras impermeáveis. Evidentemente a permeabilidade (K) em contrada, rebaixamentos permissíveis e velocidade de entrada da água nos filtros também são considerados, sendo limitado o rebaixamento ao máximo de 50% da espessura saturada.

Nesta situação, para um dos poços com 19 metros de filtros de 2", área aberta de 53%, posicionados de forma simétrica no aquífero, espessura saturada mínima de 3,4 metros, $K = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{m/s}$ e porosidade efetiva (S_y) de 10%, se pode extrair em regime permanente uma vazão máxima de $11 \text{ m}^3/\text{h}$ compatível com as reservas exploráveis. Esta unidade foi construída na cidade de Lastro e será responsável pelo fornecimento de água para o sistema de distribuição recém implantado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA. Outros poços foram construídos, com características técnicas semelhantes, na cidade de Santa Cruz, localizada no extremo oeste do Estado.

Aquífero livre com recarga lateral

Em condições de recarga os poços devem ser construídos o mais próximo possível da fonte. No caso específico, em vista da reduzida espessura saturada (ho) de 2,5 metros nos períodos mínimos, a experiência prática demonstrou que a distância do poço ao rio é determinante, e para que se processe a tão desejada recarga induzida em tempo hábil, antes que os rebaixamentos sejam excessivos, é necessário que esta distância não seja superior a 5 vezes a espessura saturada (ho). O estudo relativo a eficiência da recarga é complexo, uma vez que o volume de água drenado para o poço é função da porosidade efe-

tiva do meio e, certos limites de velocidade do fluxo subterrâneo não podem ser ultrapassados, pois os regimes turbulentos são responsáveis por excessivas perdas de carga, atrasando mais ainda a resposta da fonte de recarga à solicitação efetuada no poço bombeado.

Para minimizar os efeitos citados, é recomendado instalar as ponteiros na forma indicada na Figura 3, de modo que haja uma maior concentração de filtros à frente da recarga, favorecendo sobremaneira a captação da água. De maneira semelhante, foi construído um poço coletor com ponteiros, com 24 metros efetivos de filtros de 2.1/2 polegadas de diâmetro e área aberta unitária de 63%. No caso específico, durante os ensaios de bombeamento, mesmo para vazões superiores a preconizada no projeto - cerca de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ - respeitando as velocidades de entrada de água, foram alcançados em dois testes com caudais de 40 e $60,0 \text{ m}^3/\text{h}$ o regime de equilíbrio. Esta situação foi favorecida pelo ligeiro aumento do volume da água do rio por conta das chuvas caídas na região, fazendo com que a espessura saturada passasse de 2,5 para $3,0 \text{ m}$ metros.

Esta captação foi construída para atender as necessidades hídricas da pequena cidade de Paulista, que totalizarão no final do século 20,0 m^3/h , onde a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA -, vem realizando obras de implantação do sistema de abastecimento d'água.

A determinação das condições de exploração destes poços são mais simples, tendo-se que considerar apenas os efeitos de penetração parcial, e as melhores ajustagens são encontradas quando os cálculos são realizados com base na Teoria das Imagens. Deste modo, foram realizadas as previsões das condições de exploração de duas unidades construídas para atender a cidade de São Bento, citando como exemplo, produzindo cada uma $40 \text{ m}^3/\text{h}$ - regime permanente - em circunstâncias hidrogeológicas semelhantes àquelas de Paulista, alterando-se substancialmente apenas as características dimensionais dos filtros. A distância mínima entre as unidades construídas deve ser superior a 10 vezes a distância média dos poços à fonte de recarga, pois durante os bombeamentos as interferências com a barreira positiva se processam por uma ampla frente, e não convém a superposição de efeitos que certamente implicará em maiores rebaixamentos.

Custos

Levando em conta as duas fases dos serviços; pesquisas e construção e testes, tendo como referência os trabalhos já realizados na Paraíba, o custo global médio alcançado foi de Cz\$ 30.000,00 (Trinta mil cruzados), cerca de 282 Obrigações do Tesouro Nacional - OTN, por metro de poço construído para as seguintes condições básicas:

- Utilização de 25 metros de filtros inoxidáveis, espiralados e diâmetro nominal de 2.1/2". Este item merece destaque porque é o de custo mais elevado no poço, correspondendo a 36% do valor total.
- As pesquisas realizadas representam pouco mais de 10% do valor global do poço.

Como os trabalhos desenvolvidos tiveram um caráter pioneiro e, diversas dificuldades só foram superadas após repetitivas tentativas, é presumível que, contornadas todas as dificuldades iniciais, os custos de produção se reduzam substancialmente, tornando mais atraente ainda este tipo de captação.

CONCLUSÕES

A metodologia empregada e desenvolvida pela CDRM-DHS, para redução das perdas de carga dos poços tipo "Amazonas" construídos em aquíferos aluviais de espessura inferior a 3,0 metros, alcançou o pretendido objetivo, já que, comprovadamente, as ponteiras filtrantes instaladas, permitiu a extração de altas vazões compatíveis com a produtividade dos aquíferos explorados. Assim foi feito pioneiramente na cidade de Lastro uma unidade para $10 \text{ m}^3/\text{h}$, duas outras em Santa Cruz, uma em Paulista e três para São Bento, onde duas delas produzirão $40,0 \text{ m}^3/\text{h}$ cada, todas para a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA.

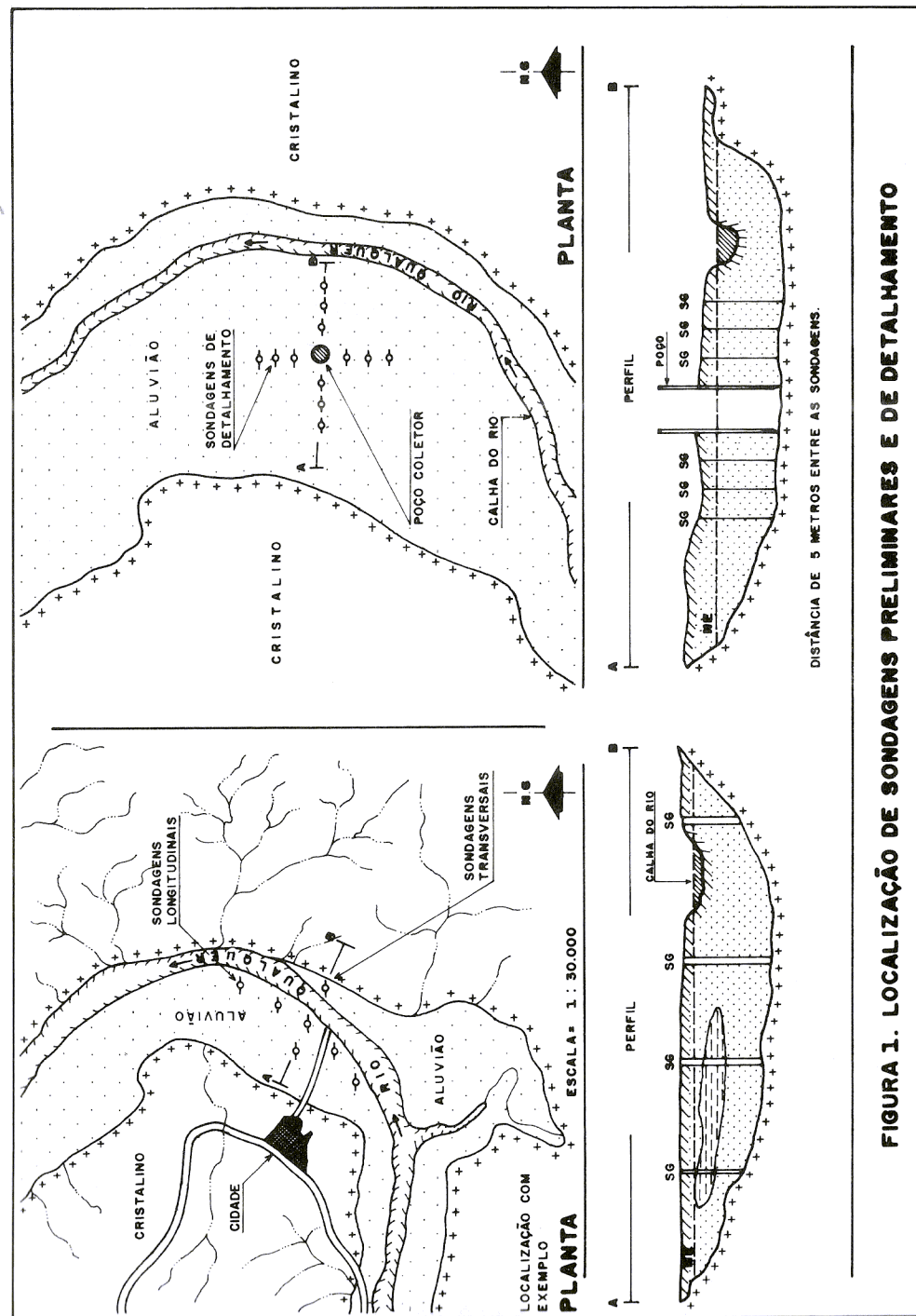
A conjugação da alta permeabilidade (K) dos aquíferos aluvionares com a excelente área aberta dos filtros de ranhuras contínuas, mesmo em pequenas espessuras saturadas (ho), permitem que consideráveis vazões sejam bombeadas instantaneamente, funcionando como verdadeiros exaustores das reservas do manancial subterrâneo. Se pode citar como indicador da eficiência hidráulica das ponteiras instaladas, as altíssimas vazões expeditas medidas durante suas instalações, não sendo incomum caudais, por ramal de 5 a 6 metros, superiores a $70,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Em aquíferos favoráveis, com recarga, facilmente se extrai vazões, em regime permanente, da ordem de 30 a $40 \text{ m}^3/\text{h}$ por unidade construída, desde que sejam bem definidas as características dimensionais dos poços, levando em conta especificamente os filtros ponteiras e seus posicionamentos em relação ao aquífero e a fonte de recarga.

Ao nível atual, as dificuldades maiores consistem na definição de um método adequado e eficiente no estabelecimento das condições de exploração dos poços, quando o aquífero é limitado como é uma constante nos aluviões. Para os sistemas com recarga os cálculos simplificam, podendo ser utilizado com confiança os conceitos da Teoria das Imagens. Em termos práticos, as aproximações efetuadas só serão devidamente ajustadas quando da exploração em definitivo dos poços pela CAGEPA, que deverá proceder um rígido e sistemático monitoramento dos bombeamentos efetuados.

Por fim, o custo por unidade é considerado alto quando se objetiva o atendimento de pequenas comunidades, no entanto, para demandas de cerca de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ou mais, os gastos já são compatíveis com os resultados, e especificamente, todas as captações foram construídas visando atender as necessidades hídricas de cidades de pequeno porte, mas com populações superiores a 2.000 habitantes onde estão sendo implantados ou ampliados sistemas de abastecimento de água.

BIBLIOGRAFIA

- BENÍTEZ, A. - Captacion de Aguas Subterraneas. 2.^a ed. Madrid, Editorial Dossat, 1963, 619p.
- CASTANY, G. - Prospección y Explotación de Las Aguas Subterraneas, Barcelona, Omega, 1975, 738p.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R. - Hidrología Subterranea. Barcelona, Omega, 1976. Tomo 2.
- LINSLEY, R. K. & FRANZINI, J. B. - Engenharia de Recursos Hídricos. São Paulo, McGraw - Hill, 1978, 798p.
- TODD, D. K. - Hidrologia de Águas Subterrâneas. São Paulo, Edgar Blucher, 1952, 320p.



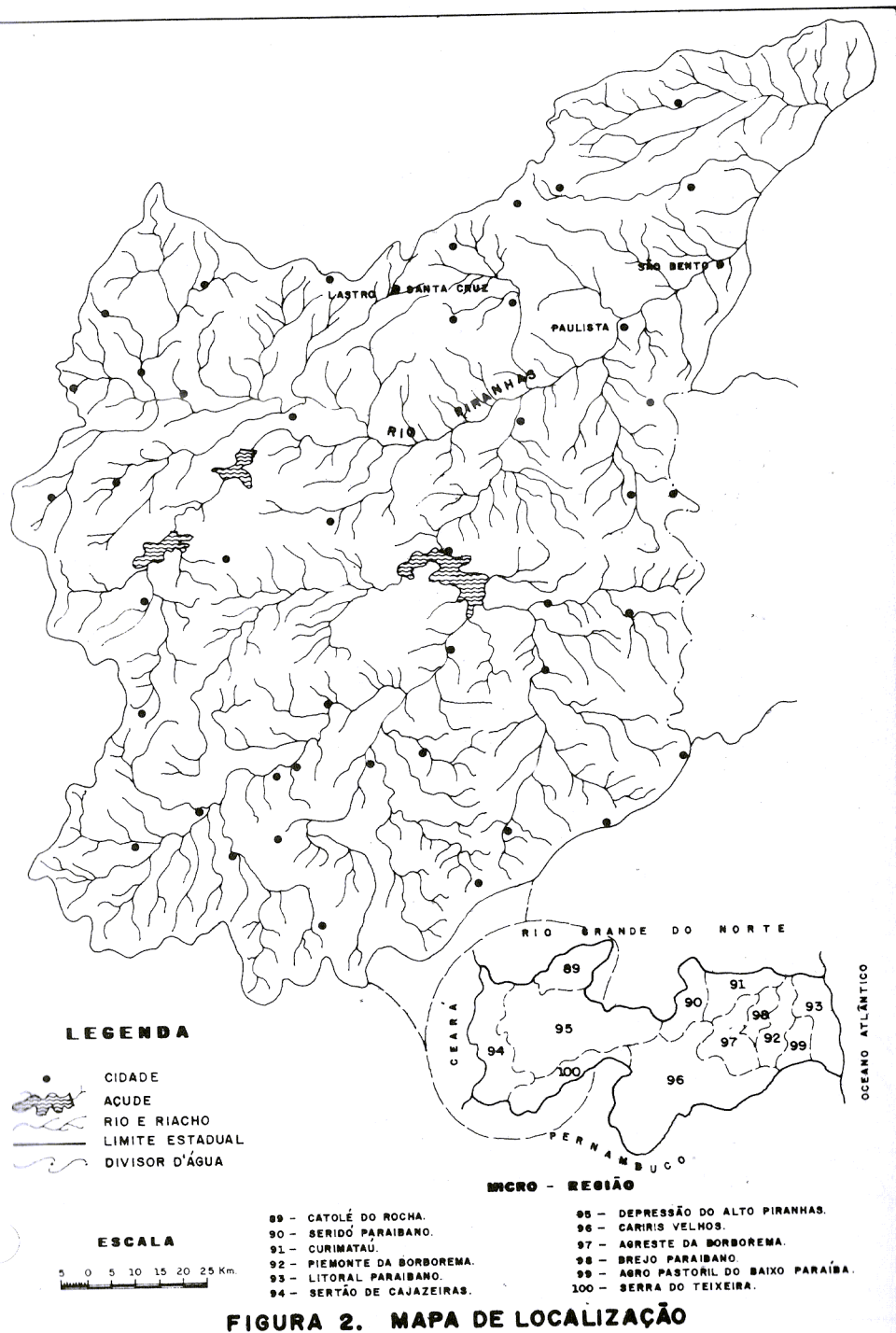


FIGURA 2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO

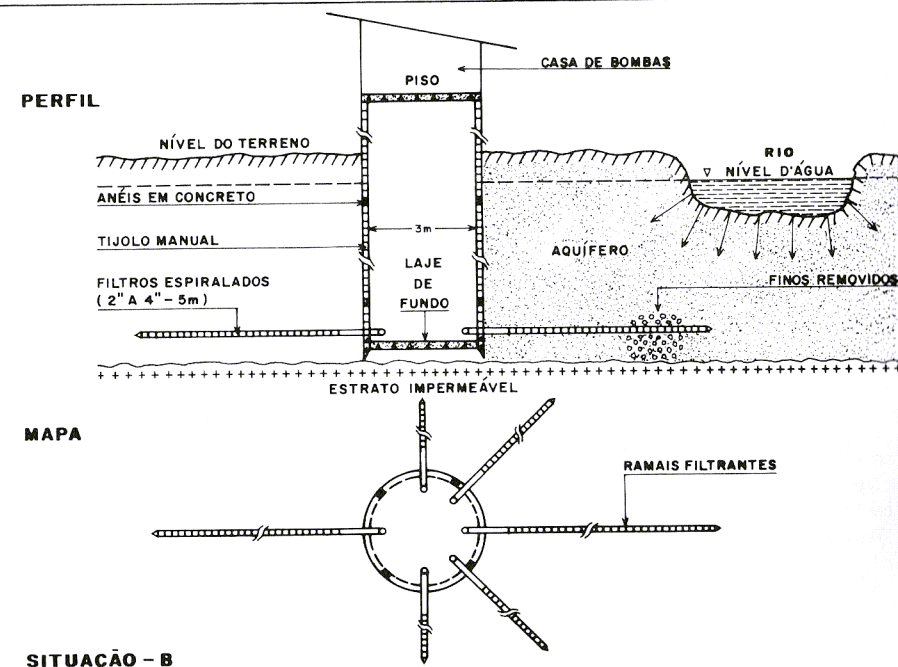
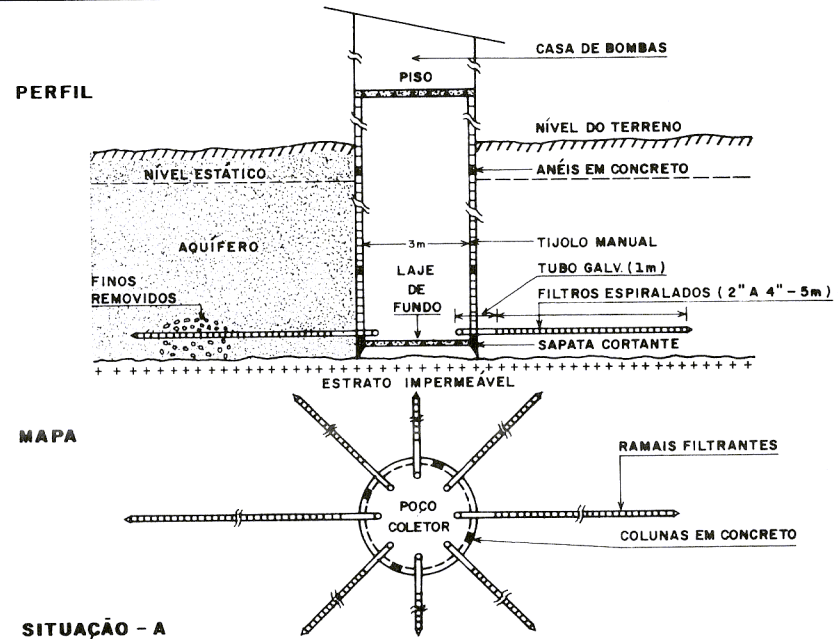


FIGURA 3. POÇOS COLETORES COM E SEM RECARGA INDUZIDA

Abstract -- This work deals about the experience obtained by CDRM concerning the efectos reduction of the capacity loss in "Amazonas" wells, by the use of slot opening well screens, installed horizontally and at the ground line of the well and the aquifer. The elaborate and worked ground reservoirs are alluvial sediments of little thickness, localized on the semi-arid northeastern Brazil, western region on Paraíba State. The till then improved or constructed impoundings, totalizing 6 ones, are destined to serve the small provincial towns supply, where the water demand reaches 150 m³/h at the utmost, in São Bento and the least of the 10 m³/h to Lastro. The obtained results are the best possible, as the used system makes the well able to produce discharge which are adjusted by the hydrodinamic parameters to the production of the aquifer and the quantities and characteristics of the installed well screens. the used technic is still at an inicial studying phase and will certainly be improved, nevertheless it already deserves absolute credit for application by other enterprises that work for the trade of hydrogeology.