

COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQÜÍFERO DUNAS/BARREIRAS À POLUIÇÃO NA ÁREA DE NATAL (RN)

J.G. Melo¹

E.M. Figueredo²

1 Professor de Hidrogeologia, Dept^o de Geologia da UFRN, Natal/RN.

2 Geólogo, Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Rio Grande do Norte – CDM/RN, Natal, RN.

RESUMO

A cidade de Natal está edificada sobre areias de dunas que repousam sobre sedimentos Barreiras. Estas duas unidades geológicas formam no conjunto um sistema hidráulico muito complexo, que se evidencia pela grande variação faiológica da parte superior do Barreiras. Em caráter geral ficou caracterizada a existência dos aquíferos Dunas, livre, e Barreiras, semi-confinado, que apresentam conexão hidráulica por drenança vertical descendente, através de uma seqüência argilo-arenosa. Localmente, entretanto, estas unidades aquíferas chegam a constituir um sistema hidráulico único e indiferenciado. Este comportamento, aliado às feições geomorfológicas da área indicam que o sistema é vulnerável à poluição. Os riscos de contaminação crescem a medida que a cidade se expande em direção à zona de recarga do aquífero Dunas.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo foi elaborado com base em resultados obtidos no trabalho "Avaliação das Possibilidades de Infiltração de Efluentes Domésticos no Aquífero Dunas na área de Natal (RN), executado pela ACQUA-PLAN – Estudos, Projetos e Consultoria/CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte, no período janeiro – setembro de 1988.

Pretende-se mostrar as características do escoamento do aquífero Dunas e as relações hidráulicas que apresenta esta unidade com o aquífero Barreiras que lhe sotopõe, bem como a susceptibilidade dos mesmos à poluição na área de Natal.

A região em consideração abrange uma superfície de cerca de 80 km² e compreende a maior parte das áreas de captação da CAERN e a área urbanizada de Natal. Situa-se na faixa costeira Leste do Estado do Rio Grande do Norte e o clima é tropical úmido com precipitações pluviométricas da ordem de 1500 mm anuais.

A área é coberta, em sua maior parte, por sedimentos dunares e as feições morfológicas assumidas no seu domínio propiciam uma drenagem pouco desenvolvida com reduzido escoamento superficial e elevadas taxas de infiltração. A impermeabilização artificial provocada pelas pavimentações produz, por sua vez, enxurradas e alagamentos, afetando desta feita as condições naturais dos escoamentos e infiltrações.

GEOLOGIA

Na área de Natal são reconhecidas duas unidades geológicas principais, que são: os sedimentos Barreiras, do Terciário e as areias de dunas, do Quaternário.

Estas, abrangem a maior superfície de área estudada, enquanto que os sedimentos Barreiras estão sotopostos à cobertura dunar, aflorando apenas nas bordas da área em consideração, em estreita faixa.

Os sedimentos Barreiras repousam discordantemente sobre arenitos calcíferos, de diagênese forte. Pode-se individualizar duas unidades faciológicas: a unidade inferior constituída predominantemente de areias de granulação fina a grossa e a unidade superior, formada de sedimentos variegados e estratificados. Nesta, ocorrem areias argilosas, siltitos e argilas.

As dunas são em geral constituídas de areias finas e médias, quartzosas, homogêneas e de boa seleção, verificando-se em alguns casos, um percentual argiloso.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES AQUÍFERAS

A caracterização das unidades aquíferas foi feita com base na análise de in-

fomações já existentes, cadastramento de pontos d'água e interpretação de resultados de testes de aquífero.

A correlação lito-estratigráfica entre os perfis de poços, representada em blocos diagrama, diagramas em painéis e perfis hidrogeológicos, sugeriu a existência de um sistema hidráulico muito complexo, em face da grande variação fáciesológica, tanto vertical como longitudinal, dos sedimentos Barreiras (ver figuras 1 e 2). No geral, entretanto, depreendeu-se a existência de duas unidades aquíferas principais que são: a unidade superior formada pelos depósitos inconsolidados de areias de dunas e, em alguns casos, areias coluvionares e produtos de retrabalhamento do Barreiras; a unidade inferior constituída pelos sedimentos arenosos da parte inferior do Barreiras.

PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO AQUÍFERO DUNAS

Foram inventariados 51 cacimbas, 7 piezômetros e 2 poços tubulares captando águas do aquífero Dunas. As cacimbas apresentam profundidades que variam de 1,5 a 40 m, e os piezômetros e poços tubulares, todos eles situados na área do Centro Administrativo, com profundidades de 12 a 16 m.

O aquífero Dunas é livre. Sua superfície piezométrica tanto aflora na superfície do terreno sob a forma de fontes, como situa-se a profundidades de até 30,5 m, em cotas piezométricas que variam de 0,17 a 35,58 m, segundo medições efetuadas em março de 1988. É constituído em geral de areias finas e homogêneas, entretanto, nas regiões com colúvios e detritos do Barreiras, o componente argiloso se faz presente. A espessura do aquífero Dunas (incluindo a parte não saturada) é variável. Em média, entretanto, a espessura de 20 m é representativa para a maior parte da área de estudo. As espessuras saturadas, segundo as medições efetuadas no âmbito deste trabalho variam de 8 a 11 m.

Realizou-se um teste de aquífero na área do Centro Administrativo com duração efetiva de 48 h. Foi bombeado o poço tubular PT-5A de 15 m de profundidade e observados os piezômetros Pz-5A e Pz-10A distanciados de 5,0 a 200 m, respectivamente do poço bombeado. Não foi observado nenhum abaixamento na unidade Pz-10A (ver figura 3). Considerando que o aquífero é livre e a curva da evolução dos abaixamentos com o tempo ter sugerido a existência de drenagem gravitacional retardada, foi aplicado o método de Boulton – Prickett que considera o fenômeno da "drenagem". Obteve-se os seguintes resultados: Transmissividade de $2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; permeabilidade de $3,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e porosidade específica de 10% (ver figura 4).

Foi interpretado os resultados de um ensaio realizado pela CDM na área do Centro Administrativo, cuja curva de campo apresentou um comportamento similar ao caso anterior. Foram obtidos os seguintes parâmetros: transmissividade de $2,05 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; permeabilidade de $2,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e porosidade específica de 22%.

Existem informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Dunas na área do Campo do Preá, obtidos pela ACQUA-PLAN (1978) em estudos desenvolvidos naquele setor. Esses valores, obtidos pela aplicação do método aproximativo de recuperação de Jacob-Theis foram: transmissividade de $2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; permeabilidade de $2,0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e porosidade específica de 10%.

A análise final dos resultados conduziu a obtenção dos seguintes parâmetros médios:

Transmissividade = $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Permeabilidade = $2,7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Porosidade específica = 15%

PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO AQUIFERO BARREIRAS

O aquífero Barreiras constitui o principal manancial hídrico no abastecimento da cidade de Natal. Existem cerca de 73 poços tubulares operando nas unidades de captação. A profundidade desses poços varia de 52 a 150 m. Os poços em geral apresentam problemas construtivos, com cimentação inadequada e incompleta, no espaço anelar entre as paredes do poço e o revestimento, o que facilita assim, a conexão hidráulica entre o aquífero Dunas e o Barreiras.

O aquífero Barreiras é formado por areias médias e grosseiras, cuja espessura é em média de 36 m. Está limitado na parte superior por sedimentos variados, formados de argilas arenosas e areias argilosas, com uma frequente mudança lateral de fácies. Esta sequência de finos ficou caracterizada como "aquitard" que atribui ao aquífero o caráter de semi-confinamento. A espessura desta camada, em média, é de 20 m.

Com a finalidade de avaliar o grau de conexão hidráulica entre os aquíferos Barreiras, inferior e Dunas, superior, executou-se na área do Centro Administrativo um teste de aquífero. Foi bombeado um poço tubular captando do aquífero Barreiras com profundidade efetiva de 62 m e observados três piezômetros, dois deles penetrando unicamente o aquífero freático, com 15 m de profundidade e o terceiro penetrando o aquífero semi-confinado com 57 m, com cimentação adequada na altura do "aquitard". O ensaio teve duração efetiva de 54 horas, com descarga constante de $150 \text{ m}^3/\text{h}$, tendo se verificado um rebaixamento de 2,0 cm nas unidades que penetram unicamente o aquífero freático, confirmando, por conseguinte, a conexão hidráulica entre os mesmos.

Os resultados do ensaio foram interpretados pelos métodos de Walton, válido para aquíferos semi-confinados drenantes, e Hantush, do ponto de inflexão, tendo sido obtidos os seguintes parâmetros hidrodinâmicos médios:

Transmissividade = $8,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Permeabilidade = $4,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Coefficiente de armazenamento = $4,0 \times 10^{-4}$

Fator de drenança = 247 m e

Permeabilidade do "aquitard" = $1,6 \times 10^{-6}$ m/s.

As informações existentes, de trabalhos anteriores, sobre os parâmetros hidrodinâmicos foram consideradas com reserva. São fruto da interpretação de ensaios em que tanto as unidades bombeadas como as observadas apresentam conexão hidráulica direta entre os dois aquíferos, superior e inferior, devido a cimentação inadequada dos mesmos.

3. COMPORTAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO DO AQÜÍFERO DUNAS

Foi elaborado o mapa isopiezométrico da superfície freática com equidistância de 5 m entre as isopiezas, conforme mostra a figura 5.

A superfície piezométrica mostra uma configuração intimamente associada à morfologia, verificando-se que as regiões mais elevadas e planas correspondem as zonas preferenciais de recarga e as superfícies de cotas mais baixas, em geral, são zonas de descarga d'água.

Ocorre na área duas frentes de escoamento principais que são: as frentes de escoamento do setor oriental e as do setor ocidental, estando a região principal de recarga do aquífero situada na parte sudoeste da área.

No setor oriental, o fluxo d'água oriundo da parte mais central da área escoam para nordeste com gradientes de 0,55 a 1,0%, com inflexões para leste em direção ao cordão de dunas e para norte convergindo para o dreno do vale do Baldo, onde ocorre uma parte das descargas d'água subterrâneas. A vazão do fluxo subterrâneo, segundo uma frente de escoamento de 4 km, neste setor, foi avaliada pela equação: $Q = K e l L$, onde K é a permeabilidade, no caso, $2,7 \times 10^{-4}$ m/s; e, a espessura saturada, de 8,0 m; l, o gradiente hidráulico, tomado como igual a 0,8%. Aplicando, resulta $Q = 6,91 \times 10^{-2}$ m³/s ou $2,18 \times 10^6$ m³/ano.

As águas subterrâneas do freático que escoam em direção do cordão dunar, era de se esperar que ressurgissem sob a forma de fontes na linha da costa, no contato das dunas com os afloramentos do Barreiras. Isto, entretanto, não acontece, pressupondo-se a existência de limites que favorecem a ocorrência de descargas verticais descendentes em direção ao aquífero Barreiras.

No setor ocidental, as frentes de escoamento seguem preferencialmente para noroeste, indo descarregar no rio Potengi, inclusive, sob a forma de fontes. Os gradientes hidráulicos variam de 1,6 a 4,2%, atingindo nas zonas de descarga (próximas às falésias do Barreiras) os gradientes mais altos. As zonas de gradientes mais elevados estão refletindo, em grande parte dos casos, menores permeabilidades do aquífero livre, como acontece nas zonas periféricas à margem do Potengi, onde o aquífero é formado em grande parte de sedimentos do Barreiras. Neste setor a vazão do fluxo subterrâneo, segundo uma frente de escoamento de 5 km é de 0,216 m³/s ou $6,8 \times 10^6$ m³/ano, admitindo permeabilidade de $2,7 \times$

10^{-4} m/s; espessura saturada de 8 m e gradiente hidráulico médio de 2%.

Nas depressões circulares, fechadas, com cotas inferiores a 30 m, não raro, se formam lagoas nas épocas chuvosas, provocadas, em parte, pelo escoamento superficial sobre uma superfície impermeabilizada artificialmente e, em parte, pela ascensão do freático que responde com rapidez às precipitações que caem sobre as dunas. É o caso das lagoas do Centro Administrativo.

4. SISTEMA HIDRÁULICO DUNAS/BARREIRAS

Os dois aquíferos, Dunas e Barreiras, apresentam conexão hidráulica por drenança vertical, preferencialmente descendente, através da sequência argilo-arenosa, caracterizada como "aquítard". O fenômeno de drenança foi constatado na área do Centro Administrativo pelas variações de cargas hidráulicas entre pares de poços penetrando os aquíferos livre e semi-confinado, devidamente isolados e em condições de equilíbrio. Observando as cargas hidráulicas de poços e piezômetros, durante as chuvas, verificou-se uma elevação da superfície freática da ordem de 1,0 m, enquanto que no mesmo período a superfície piezométrica do aquífero inferior apresentou uma elevação de 0,40 m. Estes números sugerem que para cada volume de água infiltrado nas dunas, 40% é destinado ao aquífero Barreiras.

O fenômeno de drenança vertical também ficou caracterizado durante um teste de aquífero com dispositivo de poços de observação na área do Centro Administrativo, conforme interpretação dos resultados do ensaio realizado.

As informações levantadas no âmbito deste trabalho são insuficientes para um conhecimento satisfatório do funcionamento hidráulico do sistema Dunas/Barreiras. Apesar do grande número de poços existentes penetrando o aquífero inferior, em geral os mesmos não permitem uma avaliação confiável das diferenças de carga entre as duas unidades aquíferas. Na grande maioria dos casos, há conexão hidráulica direta entre elas através do pré-filtro dos poços, por falta de cimentação adequada dos mesmos.

A variação média de carga hidráulica entre os aquíferos livre e semi-confinado, à luz das informações levantadas é de apenas 0,10 m. Uma estimativa do volume d'água anual afluyente para o aquífero Barreiras por drenança vertical através do "aquítard", no domínio da área de 80 km^2 em consideração, pode ser feita pela equação:

$$Q = \frac{K}{b} \Delta h A$$

onde Q é a vazão do fluxo descendente em m^3/s ou m^3/ano ; K' é a permeabilidade da camada semi-confinante, no caso em apreço, de $1,6 \times 10^{-6}$ m/s; b' é a espessura do aquítard, igual a 20 m; A, a superfície de 80 km^2 e Δh , a variação de carga de 0,10 m. Aplicando, resulta: $Q = 20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que representa quase 45% do volume d'água captado através da CAERN no aquífero Barreiras e 55%

das reservas reguladoras do freático.

As reservas reguladoras são da ordem de $36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, conforme obtido pela equação: $RR = A \Delta H n$, onde Δh é a variação de carga entre o nível piezométrico máximo e mínimo, da ordem de 3 m; e n , é a porosidade específica, estimada em 15%. A figura 6, apresenta o modelo esquemático do funcionamento hidráulico do sistema aquífero Dunas/Barreiras.

5. VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO DUNAS/BARREIRAS À POLUIÇÃO NA ÁREA DE NATAL

As características litológicas, dimensionais e hidráulicas do aquífero Dunas, associadas às feições geomorfológicas, na área de Natal, indicam que o mesmo é vulnerável à poluição. Esta afirmação é fundamentada nas considerações a seguir:

O aquífero Dunas é formado de sedimentos inconsolidados, de boa seleção, com baixo ou nenhum teor em argila. A inexistência de material adsorvente (argila) faz com que, as infiltrações de águas pluviais se processem com grande rapidez na zona insaturada, daí a elevada capacidade de infiltração das dunas, que lhes atribue riscos de poluição.

As depressões fechadas desenvolvidas na área das dunas contribuem para a formação de lagoas e elevação da superfície freática, se constituindo em áreas preferenciais de poluição.

Aliado a essas características naturais, o aquífero Dunas está sujeito à poluição no domínio da zona urbanizada de Natal pelos dejetos domésticos provenientes de fossas e esgotos. Os riscos de contaminação do aquífero tornam-se maiores pela existência de poços abandonados que podem facilitar o acesso desses efluentes à superfície freática, bem como o fato de algumas cacimbas terem sido transformadas em fossas negras.

O aquífero Dunas apresenta uma conexão hidráulica muito forte com o aquífero Barreiras (por drenança vertical descendente) através do "aquitard". Chega-se a admitir que localmente os mesmos venham a constituir um sistema aquífero único, complexo e indiferenciado. Nestas condições, conclui-se que o aquífero Barreiras é, também, vulnerável à poluição na medida que o aquífero Dunas torna-se poluído. Durante o bombeamento de poços captando água do Barreiras, o alívio das pressões nas áreas de influência dos bombeamentos proporcionam o afluxo d'água do aquífero Dunas para o Barreiras numa proporção muito maior, aumentando os riscos de contaminação deste último aquífero.

Os estudos hidroquímicos realizados para a ACQUA-PLAN/CAERN (1988) mostraram, entretanto, que o aquífero Dunas não está poluído em extensão, tendo se constatado apenas uma contaminação pontual em muitas cacimbas e poços, em consequência da falta de proteção e conservação dos mesmos. Leva-se a supor que a lenta circulação do fluxo subterrâneo, associado ao grande volume

d'água, tem impedido o desenvolvimento da poluição dos aquíferos. A ocupação urbana que vem se processando na zona principal de recarga do aquífero, setor sudoeste, poderá entretanto, limitar o processo de diluição das águas com resultados danosos no futuro. O problema poderá ser contornado com a implantação de um sistema eficiente de coleta de esgotos domésticos.

REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN/CAERN – **Avaliação das possibilidades de infiltração de efluentes domésticos no aquífero dunas na área de Natal (RN)**, Relatório Final, Natal, 1988.
- KRUSEMAN, G.P. and RIDDER, M.A. – **Analysis and evaluation of pumping test data**. Inst. of Land Recl. and Improvement Wageningen, the Netherlands, jul., 11, 1976.
- MELO, J.G. – Análise de dados de teste de bombeamento e de pressão à vazão livre em poços tubulares da Bacia do Jatobá – PE. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 1^o, Recife, 1980.
- MELO, J.G. e LOPES, V.L. – Comportamento hidráulico dos aluviões do curso inferior do Rio Encanto/RN. In: **Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste**, 1^o, Recife, dez. 1987.
- RAGHNATH, H.M. – **Ground Water**, John Wiley e Sons, Inc., New York, 1982, 456 p.

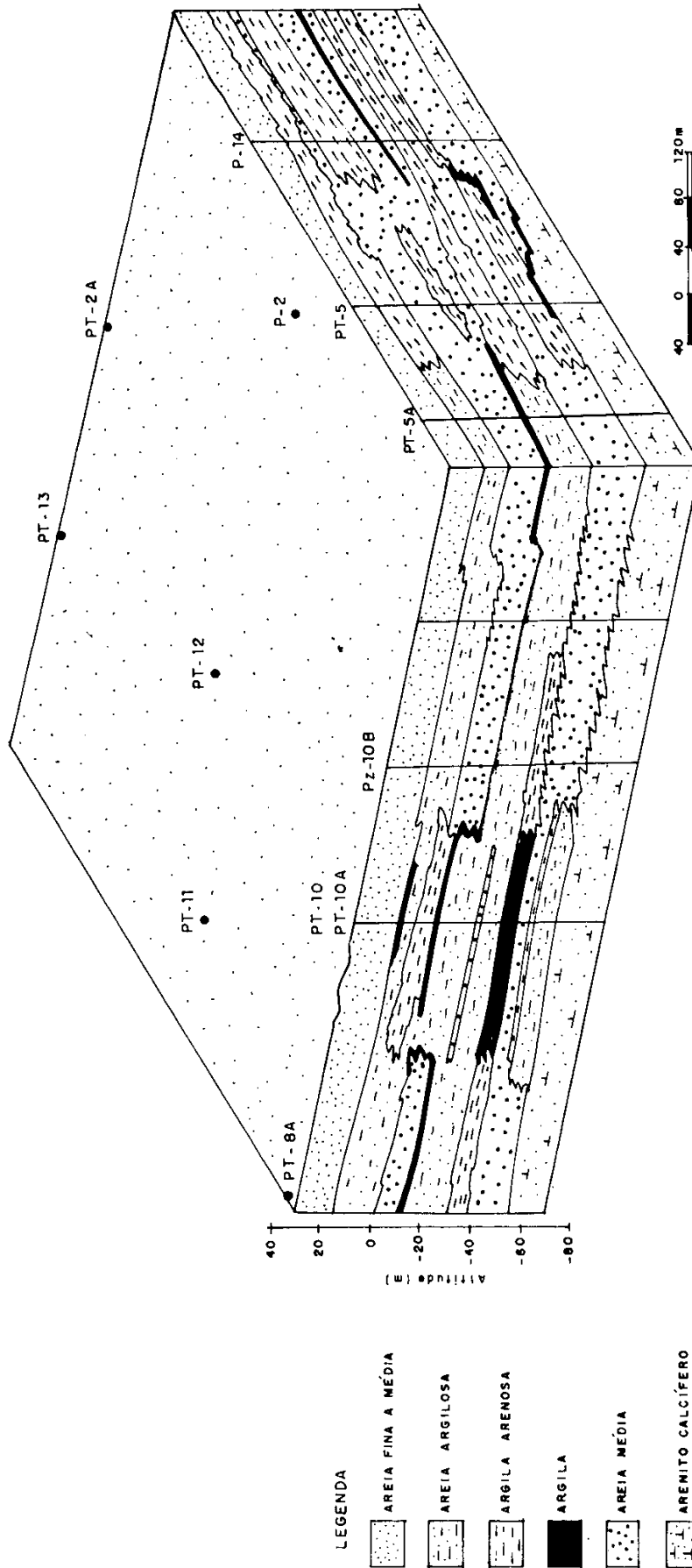


Figura 1. Bloco diagrama mostrando as unidades lito-estratigráficas do sistema Dunas-Barreiras na área do Centro Administrativo.

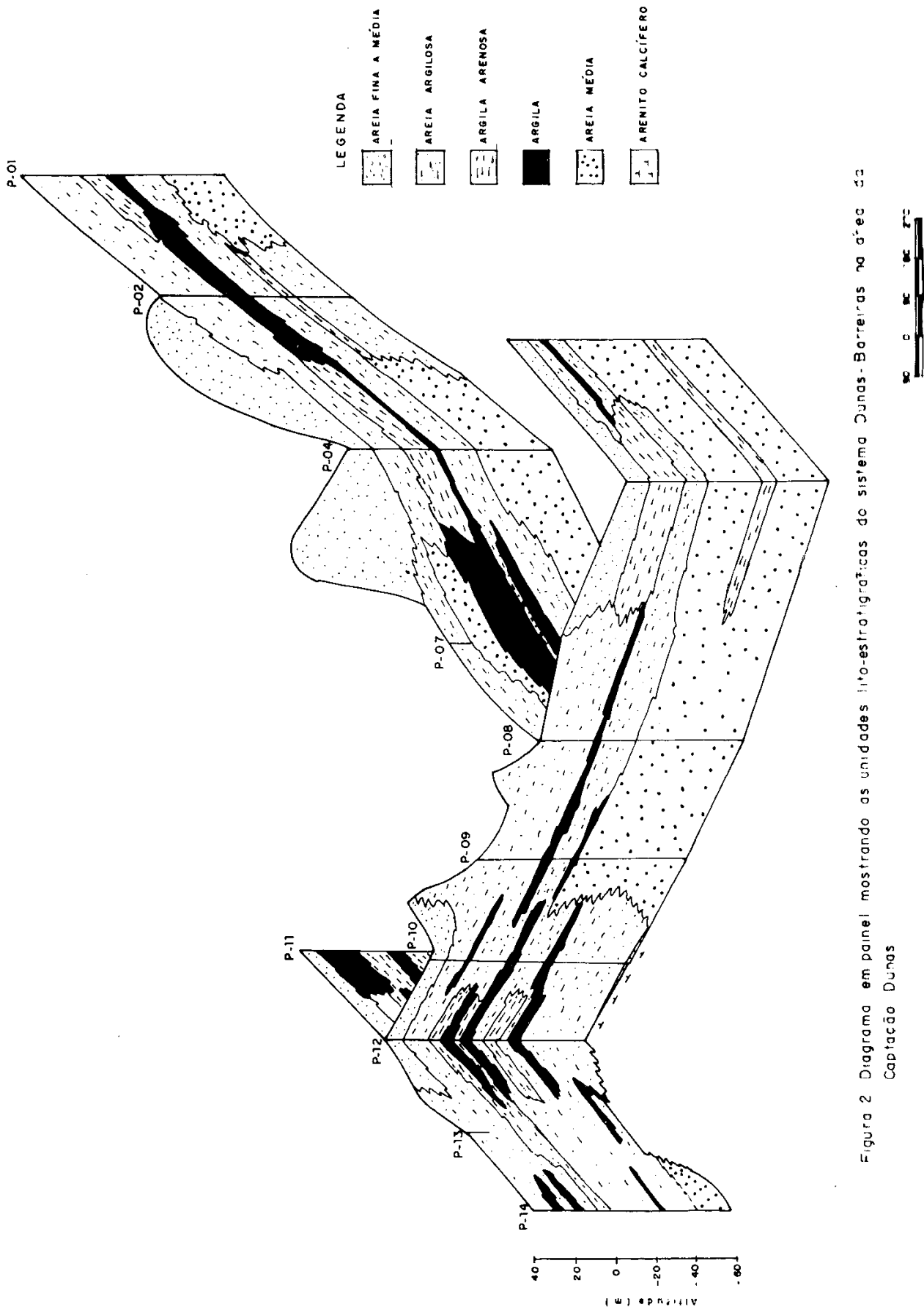


Figura 2 Diagrama em painel mostrando as unidades lito-estratigráficas do sistema Dunas-Barreras na área de Captação Dunas

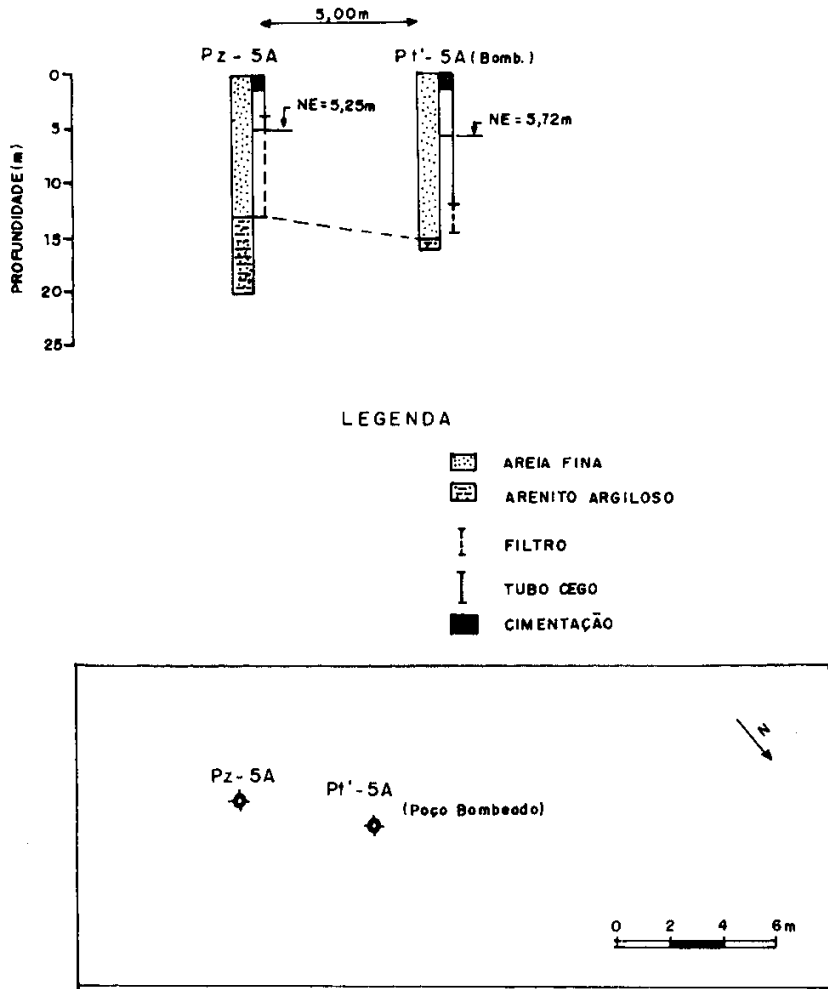


Figura 3. Perfis hidrogeológicos e situação dos poços utilizados no teste de aquífero Pt'- 5A.

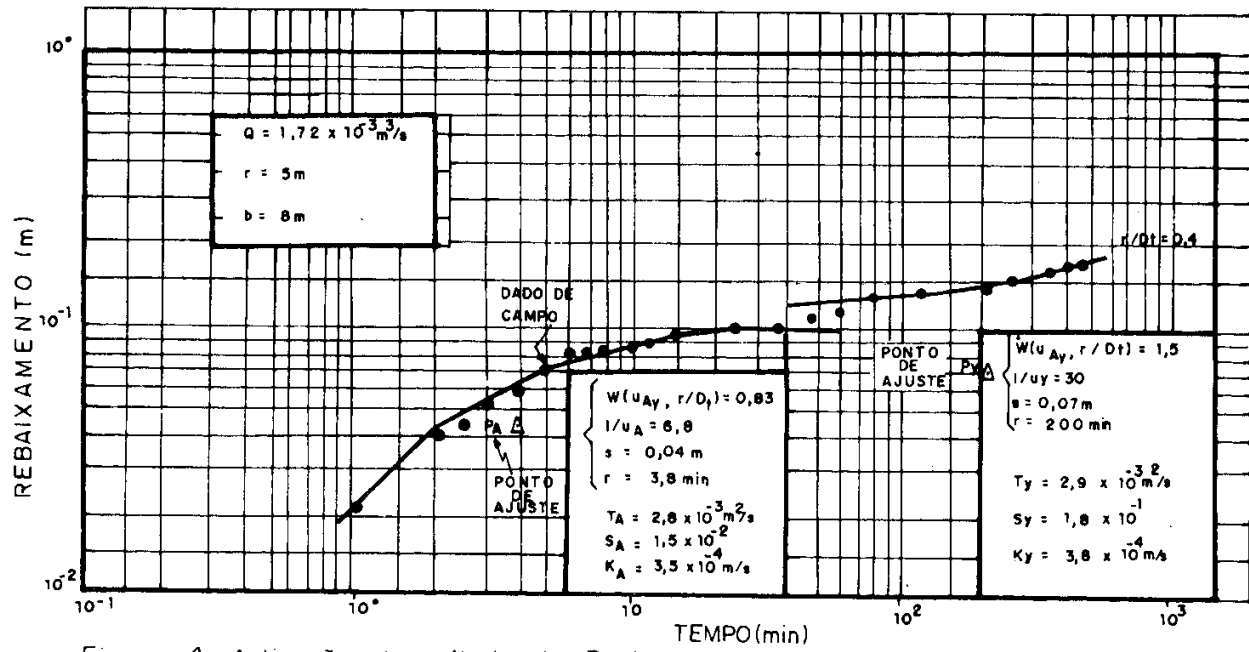
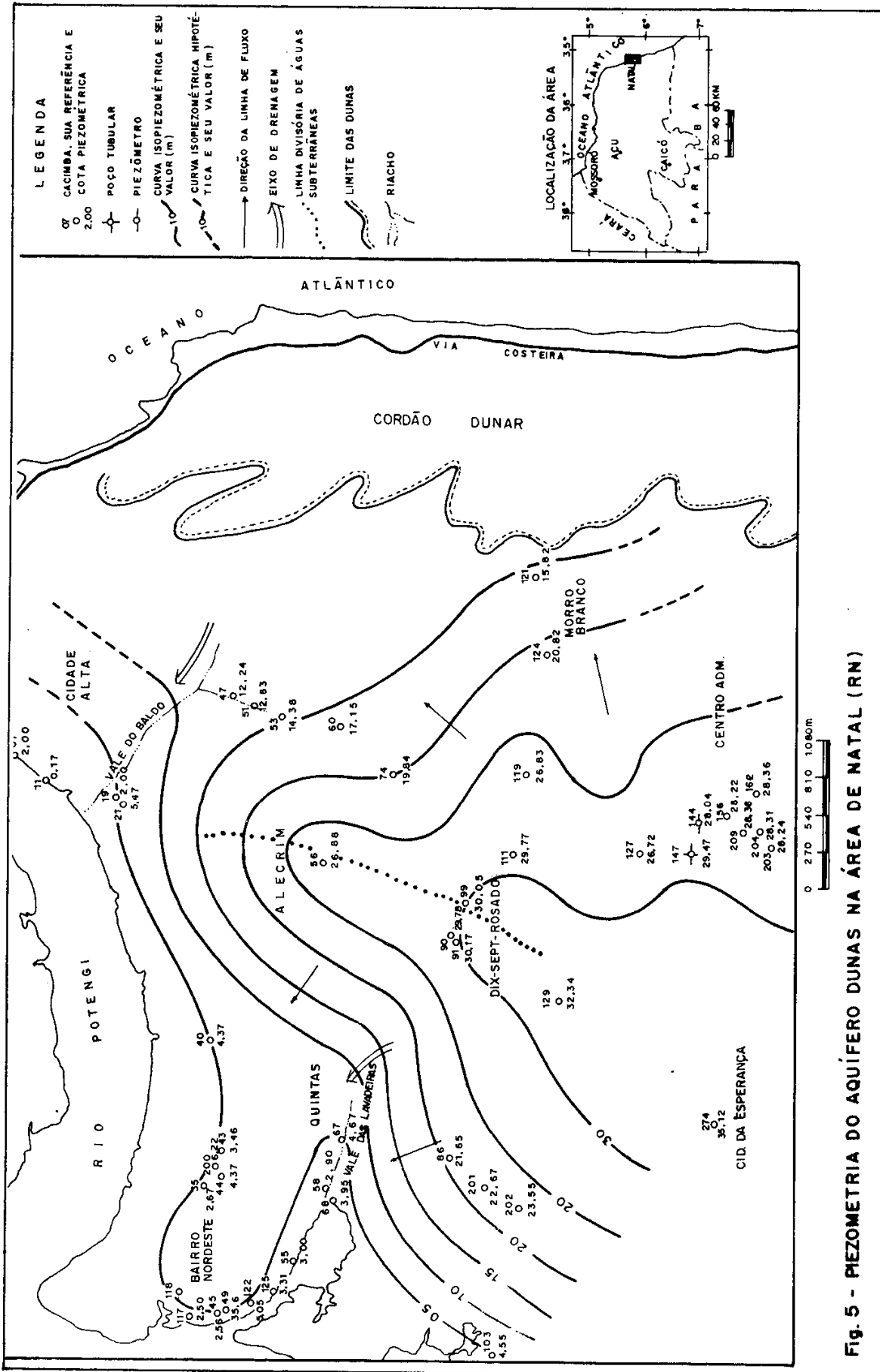


Figura 4. Aplicação do método de Boulton-Prickett



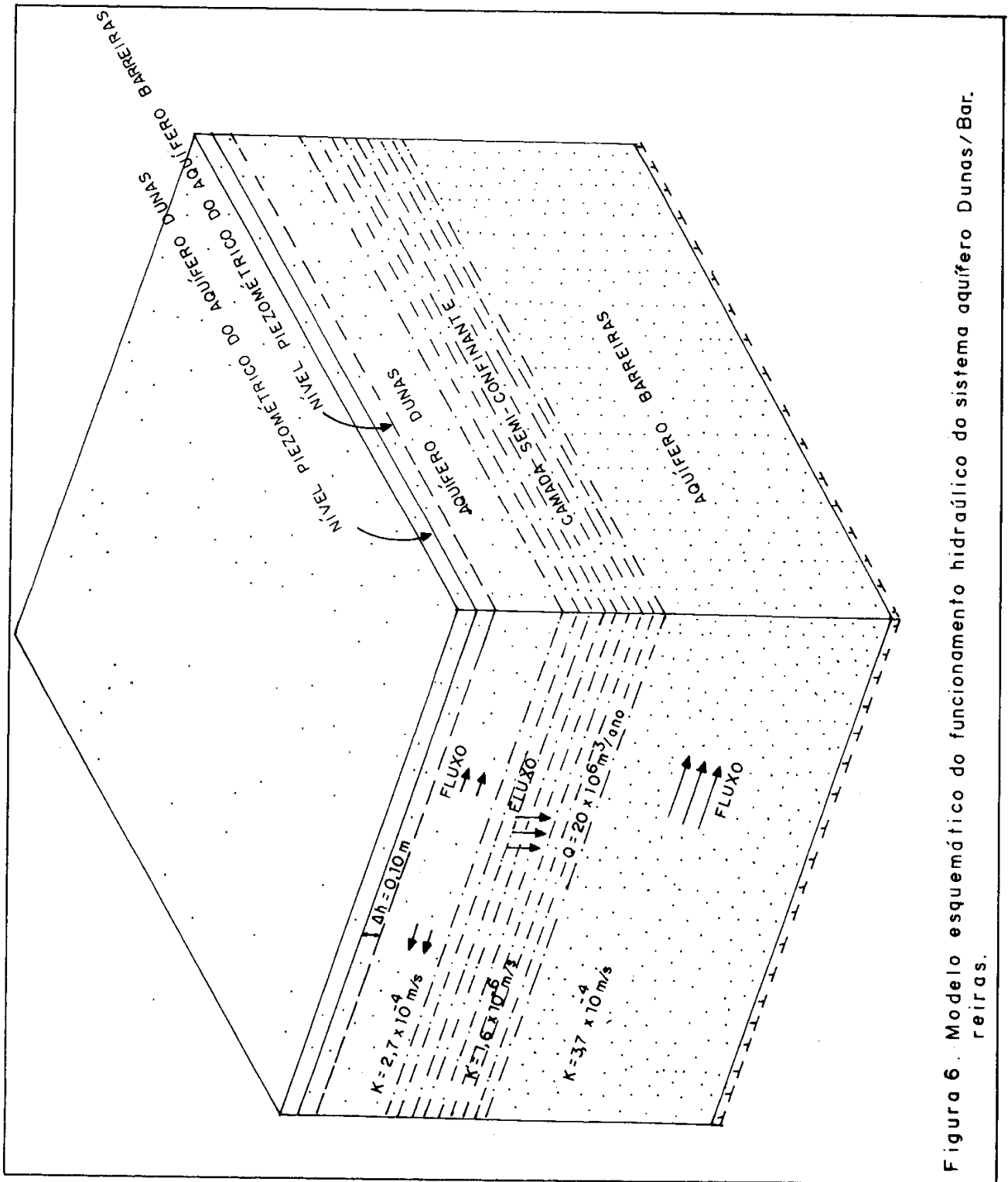


Figura 6. Modelo esquemático do funcionamento hidráulico do sistema aquífero Dunas/Barreiras.