

HIDRÁULICA DE CAPTAÇÃO CONJUNTA DOS AQÜÍFEROS SERRA GRANDE E CABEÇAS NA BACIA DO PARNAIBA

Edilton Carneiro Feitosa¹
José Gellson Alves Demétrio²

1 Professor de Hidrogeologia, UFPE/CT. Hidrogeólogo do LABHID, UFPE/CT
2 Mestrado de Hidrogeologia, UFPE/CT. Hidrogeólogo do LABHID, UFPE/CT

RESUMO

No âmbito do Projeto de Irrigação do Gurguéia, em desenvolvimento pelo DNOCS, foram perfurados entre agosto/86 e o presente 22 poços produtores captando o aquífero Cabeças. O poço BP6 (CPRM 4-CC-24-PI), entretanto, foi aprofundado para captar também o aquífero Serra Grande com o objetivo de, aproveitando sua elevada carga hidráulica, operar com níveis dinâmicos menores que aqueles do aquífero Cabeças onde as interferências vêm se revelando excessivas. A partir da diferença de carga entre os dois aquíferos (60,0 m) e das suas transmissividades e coeficientes de armazenamento (Cabeças: $T = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e $S = 3,0 \cdot 10^{-4}$); Serra Grande: $T = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e $S = 1,0 \cdot 10^{-4}$), foi possível estudar teoricamente o mecanismo de captação conjunta em regime transitório, utilizando um modelo numérico em diferenças finitas ("MODFLOW") devido a McDonald M.G. e Harbaugh A.W. (U.S. Geological Survey). Conclui-se que, na ausência de bombeamento, o aquífero Serra Grande deve produzir uma descarga substancial (entre 300,00 e 400,0 m^3/h) a qual é injetada no aquífero Cabeças. Em presença de bombeamento e para vazões na boca do poço inferiores a 570,0 m^3/h (alcance de 20 anos), a aportação do Serra Grande é superior a essa descarga, sendo o excedente injetado no Cabeças. Este último só seria solicitado para vazões de bombeamento superiores a 570,0 m^3/h . Esses resultados sugerem que são grandes as possibilidades de uma efetiva recarga do Cabeças a partir do Serra Grande, através de poços convenientemente locados e construídos. A verificação prática da validade desses resultados teóricos acha-se na dependência de testes específicos que estão programados.

1. ANTECEDENTES

A bateria de poços do Projeto Piloto de Irrigação do DNOCS, no Vale do Gurguéia-PI (Fig. 1), captando o aquífero Cabeças (Devoniano Médio da Bacia do Parnaíba), conta presentemente com 24 poços.

Considerando a magnitude das interferências, o poço BP6 (CPRM 4-CC-24-PI) foi aprofundado para captar conjuntamente os aquíferos Cabeças e Serra Grande. O objetivo do aprofundamento foi, de um lado, testar a potencialidade do aquífero Serra Grande e, de outro lado, considerando a elevada carga hidráulica deste último, verificar as possibilidades de minimizar os níveis de bombeamento no Cabeças através de poços captando conjuntamente os dois aquíferos.

2. AQUÍFEROS CAPTADOS

Os aquíferos captados pelo poço BP6 são a Formação Cabeças, que representa o Devoniano médio da Bacia Piauí-Maranhão e a Formação Serra Grande representando o Siluriano.

A Formação Cabeças no local da captação, revelou uma espessura de 275,00 metros, sendo constituída predominantemente de arenitos quartzosos esbranquiçados, acentuadamente homogêneos em seu conjunto. Apenas na porção basal apresentou uma intercalação de argilito puro, avermelhado, com 18,0 metros de espessura.

Já a Formação Serra Grande revelou uma espessura de pelo menos 480,0 metros, sendo constituída predominantemente por arenitos grosseiros, com alguns níveis silíticos e alguns seixos de quartzo (níveis conglomeráticos), acentuadamente homogêneos em seu conjunto a exemplo da Fm. Cabeças.

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO POÇO

O poço BPp-6 foi perfurado pela CPRM entre os dias 01/05/87 e 07/06/87, captando o aquífero Cabeças. Os serviços de aprofundamento para captar o aquífero Serra Grande foram iniciados em 25/07/88 e concluídos em 10/11/88, ficando o poço com as seguintes características técnicas:

| | | | |
|-------------|-----------|-------------------|---------|
| Perfuração: | 0,00 a | 6,25 metros em | 35" |
| | 6,25 a | 200,00 metros em | 26" |
| | 200,00 a | 425,00 metros em | 15" |
| | 425,00 a | 839,00 metros em | 12 1/4" |
| | 839,00 a | 993,00 metros em | 9 7/8" |
| | 993,00 a | 1054,00 metros em | 9 5/8" |
| | 1054,00 a | 1220,00 metros em | 9 1/2" |

Revestimento: 0,00 a 6,25 metros em 28" OD
+0,75 a 197,58 metros em 18" OD
376,00 a 796,53 metros em 9 5/8"

4. HIDRÁULICA DE CAPTAÇÃO CONJUNTA

O que chamamos de hidráulica de captação conjunta, no presente trabalho, diz respeito aos fenômenos hidráulicos (descargas, recargas e níveis piezométricos) que ocorrem em um poço tubular totalmente penetrante captando simultaneamente dois aquíferos confinados de extensão lateral infinita, separados por um nível impermeável. A expressão captação conjunta não é nossa, tendo sido utilizada anteriormente pelos consultores do COTEP (consórcio OFSA-TECNOSOLO -EPTISA) nos estudos pioneiros realizados no conhecido poço Violeto.

Em 1976 o COTEP apresentou uma primeira abordagem teórica do problema em regime permanente, confirmando os resultados alcançados através de dados obtidos no poço Violeto. A abordagem do problema em regime transitório, por sua vez, conduziu a uma equação integro-diferencial de Volterra de 2ª espécie, sem solução analítica. Teoricamente seria possível a aplicação de métodos numéricos para solucioná-la. Entretanto, computadores suficientemente rápidos e de grande capacidade de memória não eram muito difundidos na época, de modo que a abordagem em regime transitório ficou momentaneamente inviabilizada.

Apesar de termos analisado a captação conjunta do BP6 em regime permanente, não julgamos proveitoso apresentar os resultados obtidos, considerando sua menor importância em relação ao regime transitório que reflete com muito maior fidedignidade o mecanismo em estudo. Apresentaremos, portanto apenas a abordagem em regime transitório.

MÉTODO UTILIZADO

Foi utilizado o método numérico em diferenças finitas. Não nos preocupamos (nem isso foi necessário) em montar uma equação diferencial específica para o problema nem, muito menos, em expressá-la sob a forma de diferenças finitas e elaborar um programa para aplicá-la.

Utilizamos simplesmente um modelo em diferenças finitas ("MODFLOW"), adquirido do International Ground Water Modeling Center (IGWMC). Este modelo é tri-dimensional e, graças a sua grande riqueza de possibilidades, permitiu simular satisfatoriamente o mecanismo de captação conjunta.

SIMULAÇÃO DO POÇO BP6

Na simulação do poço BP6 foram adotadas as condições a seguir indicadas e comentadas:

● Os limites da área discretizada (29 linhas x 29 colunas) são considerados como limites sem fluxo. Suas grandes dimensões (lados de 4332,0 km) destinam-se a simular a condição de extensão lateral infinita admitida para os aquíferos Cabeças e Serra Grande. Pretendeu-se com isso evitar que os cones de rebaixamento e de recarga atingissem os limites do modelo, o que faria falsear os níveis piezométricos no poço. A célula de 36,5 x 36,5 m que contém o BP6 destina-se a obter os rebaixamentos teóricos reais no poço. Essas dimensões foram adotadas a partir de correlações anteriormente realizadas, sendo a referida célula equivalente a um poço de diâmetro igual a 9 1/2".

● O modelo comporta apenas duas camadas homogêneas e isotrópicas simulando os aquíferos Cabeças e Serra Grande, os quais são considerados como confinados e não recarregados. A Formação Pimenteiras que os separa é simulada pela adoção de baixíssimos valores de condutância hidráulica vertical entre as duas camadas aquíferas, em todas as células à exceção da célula que representa o poço. Nesta última, adotou-se um altíssimo valor para a condutância. Nessas condições, simula-se a inexistência de fluxo vertical através da Formação Pimenteiras e a comunicação hidráulica entre os dois aquíferos, estabelecida pelo poço de captação conjunta. A condutância hidráulica vertical vem a seguir definida:

$$C_V = K_V \frac{A}{L} \quad \text{onde:} \quad (1)$$

K_V = permeabilidade vertical

A = área horizontal entre duas células

L = distância vertical entre o centro de uma célula e o centro da outra célula, ou seja, entre os nós.

Foram adotados os seguintes valores para a condutância vertical:

Na célula do Poço: $C_V = 10^6 \text{ m}^2/\text{ano}$

Nas demais células: $C_V = 10^{-8} \text{ m}^2/\text{ano}$

● As transmissividades e armazenamentos utilizados foram os seguintes:

| | T (m ² /s) | S |
|-----------|-----------------------|---------------------|
| Cabeças | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | $3,0 \cdot 10^{-4}$ |
| S. Grande | $6,0 \cdot 10^{-3}$ | $1,0 \cdot 10^{-4}$ |

● As cargas hidráulicas iniciais consideradas foram: 100,0 metros para o aquífero Cabeças e 160,0 metros para o aquífero Serra Grande, ou seja, uma diferença de carga de 60,0 metros a favor do último aquífero.

● A formulação em diferenças finitas utilizada é a formulação implícita ("backward difference"), sendo utilizado na solução dos sistemas de equação um método iterativo denominado de SIP ("Strongly Implicit Procedure").

RESULTADOS OBTIDOS

O comportamento hidráulico do poço BP6, captando conjuntamente os aquíferos Cabeças e Serra Grande, é mostrado nas figuras 2, 3, 4 e 5.

Na Fig. 2 verifica-se que, comunicados os dois aquíferos e na ausência de qualquer bombeamento, o aquífero Serra Grande produz uma descarga a qual é injetada no Cabeças. Este resultado é evidenciado pelos cones de rebaixamento no Serra Grande (parte superior da figura) e pelos cones de recarga no Cabeças (parte inferior da figura).

A Fig. 3, por sua vez, mostra que para uma descarga de 300,0 m³/h na boca do poço, subsistem cones de recarga no aquífero Cabeças. Isto significa que, para um bombeamento de 300,0 m³/h no poço BP6 de captação conjunta, o aquífero Serra Grande produz mais que esta descarga, sendo o excedente injetado no aquífero Cabeças.

No caso da Fig. 4, por outro lado, verifica-se que, para uma descarga de 730,0 m³/h na boca do poço, o aquífero Cabeças passa a ser solicitado, contribuindo para a descarga do poço. Temos, neste caso, cones de rebaixamento no Serra Grande e no Cabeças.

Os resultados acima relatados mostram que existe uma vazão crítica de bombeamento abaixo da qual o aquífero Cabeças é recarregado e acima da qual este aquífero contribui para a descarga global do poço. Para se quantificar esta vazão crítica foram adotados os seguintes procedimentos:

- As curvas de rebaixamento e de recarga permitiram calcular as descargas e recargas dos aquíferos em jogo, através da equação analítica de Theis abaixo indicada:

$$Q = \frac{4\pi T s_w}{W(u)} \quad \text{onde:} \quad (2)$$

T = transmissividade hidráulica do aquífero considerado.

s_w = rebaixamento medido nos cones de rebaixamento e de recarga das figuras 2, 3 e 4.

W(u) = função exponencial integral de Theis.

$$u = r^2 S/4Tt \quad (3)$$

r = distância a partir do poço

S = coeficiente de armazenamento do aquífero considerado

t = tempo de bombeamento

- As descargas e recargas dos aquíferos em jogo, obtidas para vazões na boca do poço de 0,0, 100, 300, 500, 630 e 730 m³/h, são mostradas no Quadro 1,

a partir do qual foi elaborado o gráfico da Fig. 5 que permite quantificar a vazão crítica.

O gráfico vazão do poço x aportação do Serra Grande (Fig. 5) admite os seguintes comentários:

- A reta a 45° de equação $q_2 = Q$ expressa o caso trivial de um poço captando unicamente o aquífero Serra Grande.

- As retas de equação geral $q_2 = aQ + b$ expressam o caso em estudo, de captação conjunta. A relação entre q_2 e Q é expressa por retas em virtude de não terem sido consideradas as perdas por fricção no trajeto entre os aquíferos Serra Grande e Cabeças, ou seja, ao longo da Formação Pimenteiras. Essas perdas, entretanto, são pequenas. Cálculos efetuados em regime permanente, onde essas perdas foram consideradas, mostraram, com efeito, que a relação entre q_2 e Q mantêm-se aparentemente retilínea para Q (vazão na boca do poço) entre 0, 0 e 800,0 m³/h. Conclui-se, portanto, que o erro cometido é desprezível.

- Para $Q = 0$ (poço não bombeando), Serra Grande estaria produzindo ao final de 20 anos uma descarga de 380,0 m³/h a qual estaria sendo injetada no aquífero Cabeças.

- Para $Q > 0$ (poço bombeando) Serra Grande produziria uma descarga maior que Q , sendo a diferença injetada no Cabeças. Esta diferença, ou seja, a recarga do Cabeças, diminui com o aumento da vazão Q do poço, podendo ser avaliada diretamente no gráfico da figura 5 [recarga = $(aQ + b) - Q$].

- A vazão crítica do poço, que se procura quantificar, seria, ao final de 20 anos, 570,0 m³/h. A aportação do Serra Grande, que vinha diminuindo, torna-se aqui igual à descarga de 570,0 m³/h na boca do poço. Neste caso, nada é injetado no aquífero Cabeças que, por sua vez, nada produz.

- Para descargas na boca do poço superiores à vazão crítica (570,0 m³/h), o aquífero Cabeças passa a ser solicitado sendo sua contribuição estimada no gráfico como $[Q - (aQ + b)]$.

5. CONCLUSÕES

Os resultados teóricos, acima relatados, permitem verificar que são grandes as possibilidades de uma efetiva recarga do aquífero Cabeças a partir do Serra Grande, mesmo com o poço de captação conjunta sendo bombeado. Esta perspectiva reveste-se de grande importância no caso da bateria do Projeto Piloto do DNOCS, onde os níveis de bombeamento vêm se revelando muito pronunciados. Os resultados teóricos obtidos, entretanto, carecem de confirmação prática, o que se pretende obter com testes de captação conjunta, específicos, que estão programados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNOCS/ATEPE/LABHID – **Projeto de Irrigação do Gurguéia: Poço BPP-6 – Aprofundamento para o Serra Grande.** Relatório Conclusivo, Recife, fevereiro/89 (Relatório Técnico Inédito).
- DNOCS/COTEP – **Estudo de Viabilidade do Vale do Gurguéia, Vol. I, Tomo I,** Terezina, 1976 (Relatório Técnico Inédito).
- McDONALD, M.G. e HARBAUGH, A.W. **A Modular Three – Dimensional Finite – Difference Ground-Water Flow Model.** U.S. Geological Survey, Virginia, USA, 1984.

QUADRO 1

CÁLCULO DOS APORTES DO SERRA GRANDE E DO CABEÇAS

| Q-Poço (m ³ /h) | REBAIXAMENTO S. GRANDE REBAIXAMENTO CABEÇAS (m) | | | APORTE S. GRANDE APORTE CABEÇAS (m ³ /h) | | |
|-------------------------------|--|--------|---------|--|--------|---------|
| | 1 ano | 5 anos | 20 anos | 1 ano | 5 anos | 20 anos |
| 0,0 | 9,7 | 11,5 | 12,9 | 415,0 | 400,0 | 380,0 |
| | -4,5 | -5,5 | -6,2 | -415,0 | -400,0 | -380,0 |
| 100,0 | 10,5 | 12,5 | 14,5 | 450,0 | 430,0 | 420,0 |
| | -3,8 | -4,5 | -5,1 | -350,0 | -330,0 | -320,0 |
| 300,0 | 12,0 | 14,5 | 16,5 | 515,0 | 495,0 | 480,0 |
| | -2,3 | -2,6 | -2,8 | -215,0 | -195,0 | -180,0 |
| 500,0 | 13,6 | 16,5 | 18,9 | 585,0 | 565,0 | 550,0 |
| | -0,8 | -0,6 | -0,5 | -85,0 | -65,0 | -50,0 |
| 630,0 | 14,4 | 17,6 | 20,0 | 630,0 | 605,0 | 588,0 |
| | 0,0 | 0,3 | 0,7 | 0,0 | 25,0 | 42,0 |
| 730,0 | 15,2 | 18,6 | 21,2 | 656,0 | 640,0 | 623,0 |
| | 0,7 | 1,2 | 1,8 | 67,0 | 90,0 | 107,0 |

Obs.: r=2.918,25 metros

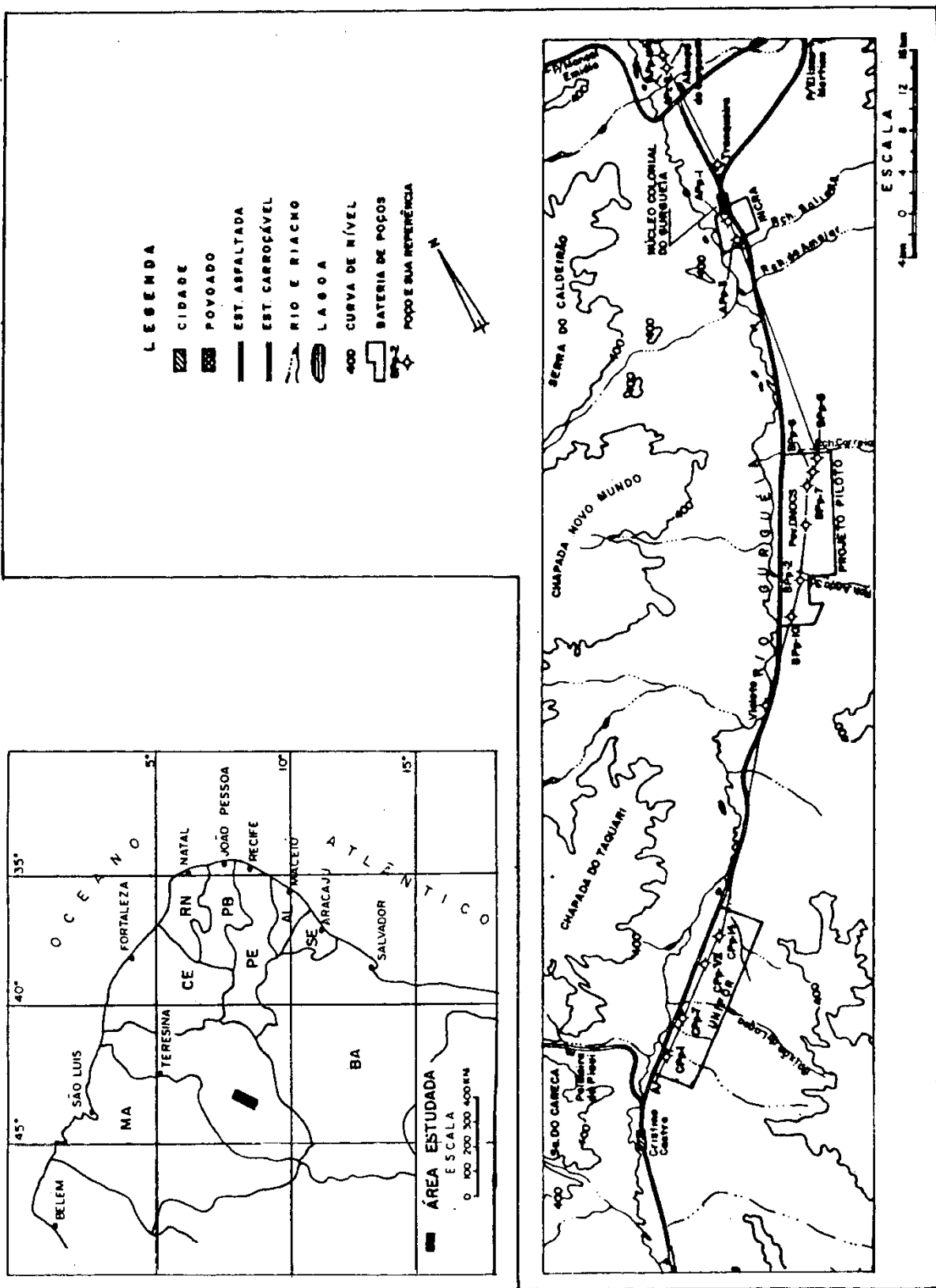


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO

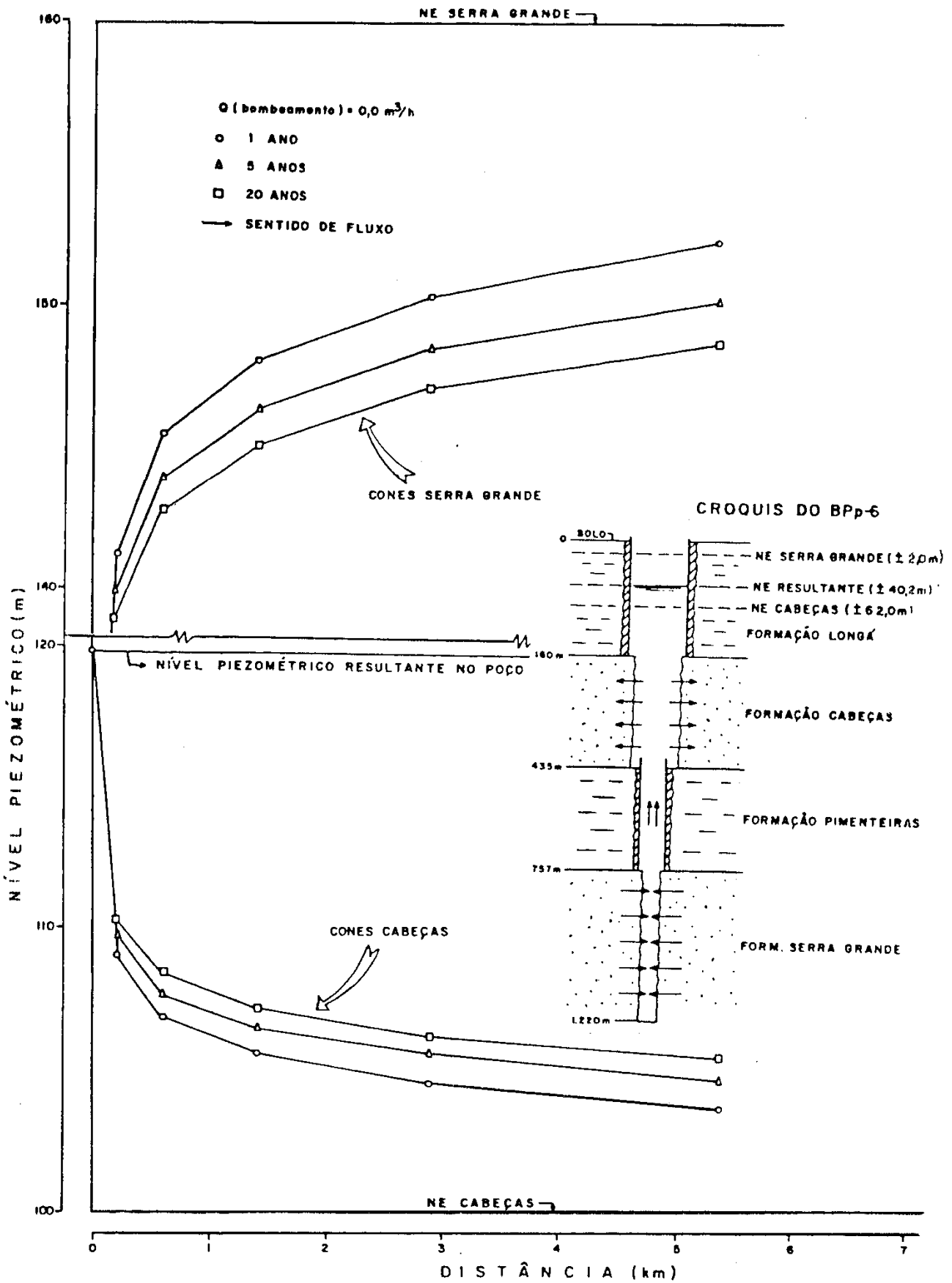


FIGURA 2- CONE DE REBAIXAMENTO (S.Grande)
CONE DE RECARGA (Cabeças)

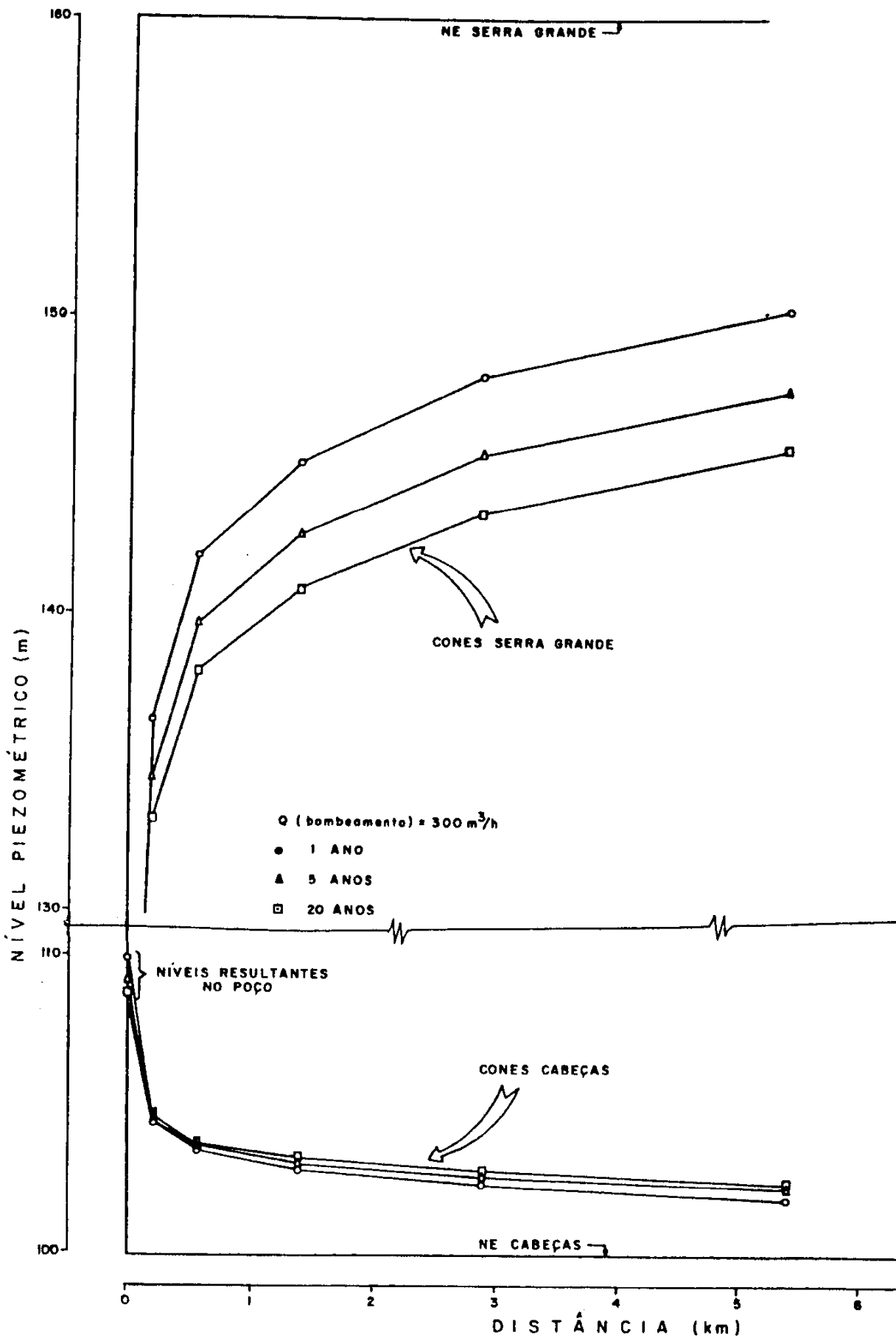


FIGURA 3- CONE DE REBAIXAMENTO (S.Grande)
CONE DE RECARGA (Cabeças)

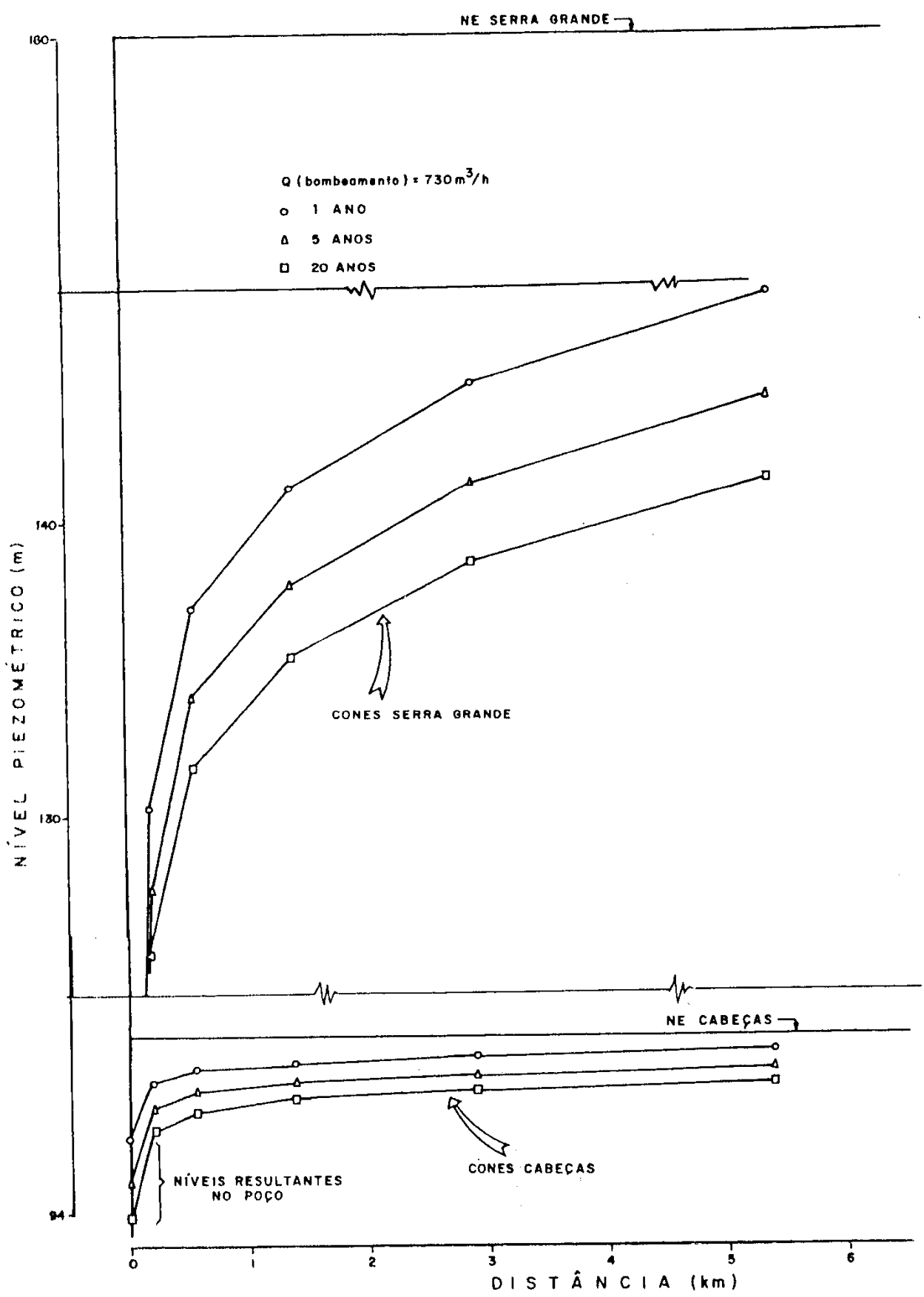


FIGURA 4- CONES DE REBAIXAMENTO (S.Grande e Cabeças)

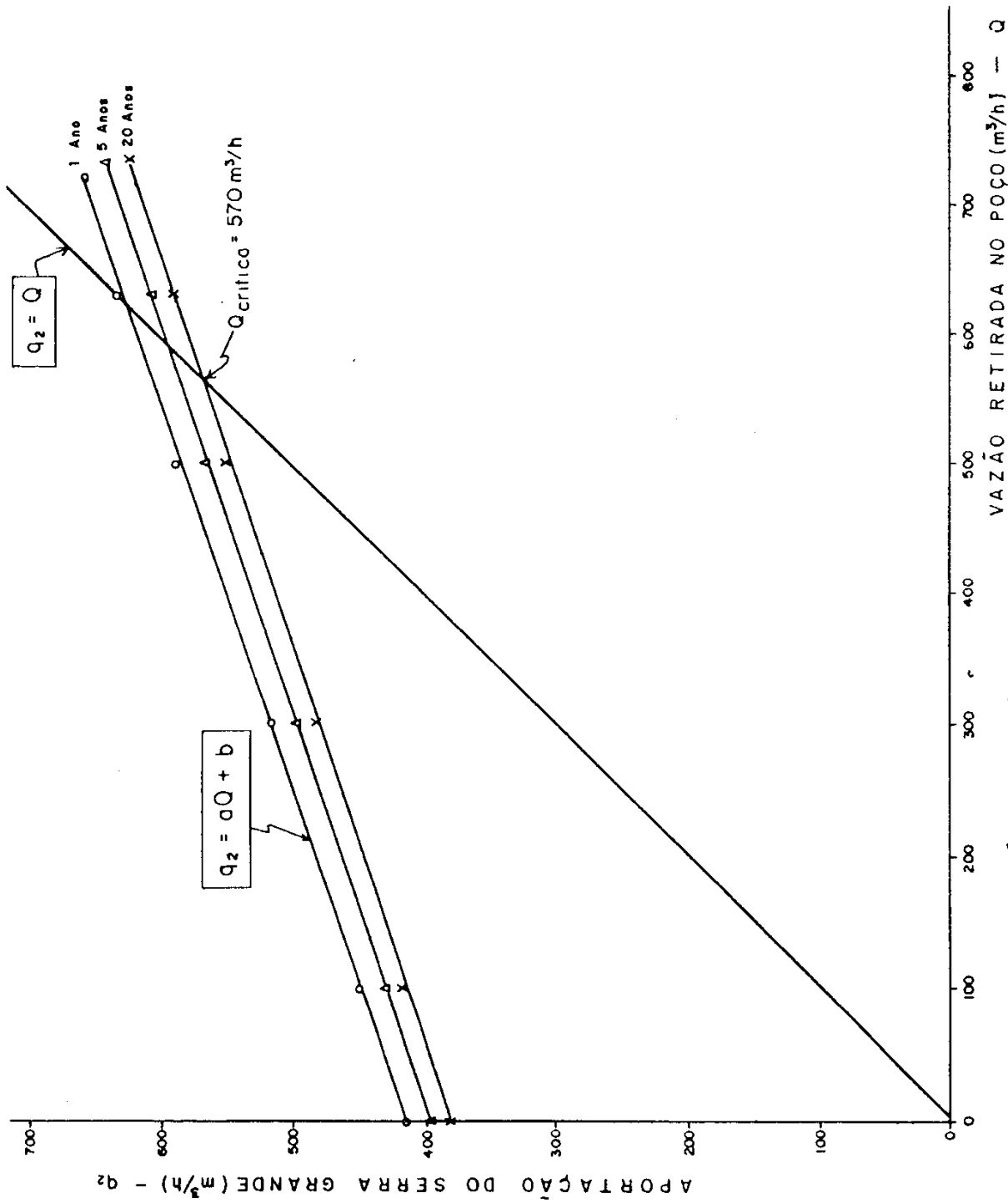


FIGURA 5- GRÁFICO VAZÃO DO POÇO X APORTAÇÃO DO SERRA GRANDE