



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DOS AQUIFEROS
BASÁLTICOS DO RIO GRANDE DO SUL

TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM HIDROLOGIA APLICADA

AUTOR: Rogério Dewes

ORIENTADOR: Prof. Ceferino Alvarez Fernandez

EXAMINADORES:

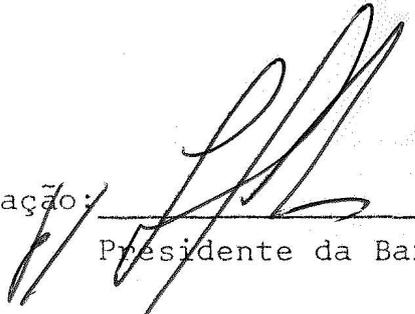
Prof. Ceferino Alvarez Fernandez

Prof. Herbert Neuland

Prof. José Carlos Saraiva Martins

Geólogo Abrão Hausman

Data do exame: 09/05/80

Aprovação: 
Presidente da Banca

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Av. Bento Gonçalves, 10600 — C.P. 530
90 000 PORTO ALEGRE (RS) — BRASIL

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao auxílio de várias pessoas. Em primeiro lugar, o autor agradece aos professores orientadores. Prof. Mário Wrege, pelo auxílio inicial; prof. Ceferino Alvarez pelo acompanhamento e sugestões dadas durante o decorrer do trabalho e prof. Herbert Neuland pela revisão final do texto e discussões sobre os tópicos abordados.

Agradecimentos especiais ao prof. Manuel Varela, consultor da UNESCO, que organizou o plano de trabalho e indicou os tópicos a serem abordados.

Ao prof. Waldemir Cruz pelas sugestões e críticas; ao prof. Trac-Nguyen, consultor da UNESCO, pelo auxílio dado nas questões de cunho prático.

Ao estagiário Álvaro Fernando Abrantes Monteiro pelo auxílio na coleta de dados.

À Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) nas pessoas dos Geólogos Abraão Hausmann e Arnaldo Brun, pelo acesso aos arquivos de dados.

O autor faz um agradecimento especial ao professor e amigo Alejandro Borche pelo auxílio e confecção dos programas de computador utilizados neste trabalho, sem os quais seria impossível a realização das análises dos testes de bombeamento.

Finalmente, agradecimentos a todos que direta ou indiretamente auxiliaram ao longo do trabalho.

SINOPSE

Este trabalho procura questionar a validade de parâmetros hidrodinâmicos obtidos através de testes de bombeamento em aquíferos fraturados. A análise é feita aplicando diferentes métodos (comparativamente) aos dados de testes de bombeamentos realizados pela CORSAN, nos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Esta pesquisa sugere a análise de curvas "rebaixamento versus tempo", a fim de obter valores de vazão ótima de exploração de um poço, de forma mais rápida e barata. Considera ainda, a possibilidade do estudo do fluxo de água em aquíferos fraturados através de modelos simples, com o objetivo de isolar determinados fatores que mais influenciam no comportamento da água nos meios fraturados.

O trabalho apresenta também, um tratamento computacional de dados de testes de bombeamentos que agilizam a análise e obtenção de valores de transmissividade.

ABSTRACT

The present study attempts to cast a doubt on the validity of hydrodynamic parameters obtained by means of pumping tests in fractured aquifers. Analysis is done by applying different (comparative) methods to pumping test data obtained by CORSAN in the basaltic flows of the Serra Geral Formation.

Research suggests the analysis of "drawdown versus time" curves so as to obtain optimum flow values to exploit a well as fast and as cheaply as possible. It also considers the possibility of studying water flow in fractured aquifers by means of simple models, to isolate certain factors which have the most influence on the behaviour of water in fractured media.

This study also presents a computer treatment of pumping test data which makes it easier to analyze and obtain transmissivity values.

SUMÁRIO

	pág.
I - INTRODUÇÃO	1
II - OBJETIVOS	2
III - METODOLOGIA	4
III.1 - Métodos de análise de testes de bombeamento empregados	5
III.2 - Análise dos dados	6
III.3 - Programa JACOB. Etapas principais	8
IV - TEORIA DA HIDRÁULICA DE POÇOS	9
IV.1 - Análise de dados de rebaixamento	14
IV.2 - Análise de dados de recuperação	22
IV.2.1 - Método de JACOB-THEIS	23
IV.2.2 - Método de STERNBERG	25
IV.3 - Métodos de análise de testes de bombeamento em rochas fraturadas	27
V - ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
V.1 - Valores de transmissividade obtidos pelo método de JACOB-THEIS	31

	pag.
V.2 - Valores de transmissividade obtidos pelo método de STERNBERG	34
V.3 - Comparação entre os valores de T_S e T_J ..	37
V.4 - Valores de vazão específica (Q/s)	41
V.5 - Análise de curva característica (s x Q)..	44
VI - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	52
VII - LISTA DE ABREVIACÕES	58
VIII- BIBLIOGRAFIA	98
ANEXO I	59
ANEXO II	67
TABELA A	89

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DOS AQUÍFEROS BASÁLTICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

I - INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul possui um total de 232 municípios, sendo que 108 são abastecidos por água proveniente do sub-solo, através da captação por poços tubulares. Assim sendo, fica evidente a importância da água subterrânea no suprimento de água de consumo doméstico e industrial para a maioria da população do Estado. Deve-se ainda considerar que a crescente poluição dos recursos de água superficial, gerando tratamentos de água cada vez mais onerosos e difíceis, tende a incrementar a utilização de água subterrânea, fazendo desaparecer o mito de que esta água é cara e de difícil exploração.

A pesquisa sistemática e bem orientada dos recursos hídricos subterrâneos do Estado, é de vital importância. Basta que se observe as constantes secas que tem ocorrido nos últimos anos, com inestimáveis prejuízos para a agropecuária, chegando, às vezes, a atingir a população. A água subterrânea pode amenizar os efeitos das secas, sendo, no entanto, necessário um maior conhecimento do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos, principalmente basálticos.

II - OBJETIVOS

O conhecimento das características hidrodinâmicas dos aquíferos que ocorrem no Estado, fornece dados para uma avaliação das suas potencialidades. Baseado nisso, este trabalho tem como objetivo tentar fornecer uma primeira aproximação a respeito da ordem de magnitude destas características, principalmente os valores de transmissividade (T) e, quando possível, os valores do coeficiente de armazenamento (S). Tentar-se-á, também, delimitar zonas de comportamento hidráulico semelhante, bem como traçar curvas de isotransmissividade dentro dessas zonas, quando possível.

Os valores da transmissividade (T) e do coeficiente de armazenamento (S) serão obtidos a partir de dados de testes de bombeamento realizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) em todos os municípios nos quais esta Companhia é responsável pelo abastecimento de água. Optou-se pela utilização unicamente dos dados da CORSAN, embora existam outros órgãos (públicos e privados), por serem os únicos que se encontram devidamente catalogados e que são fiáveis. Desta forma, um grande número de informações que poderiam ser utilizadas neste e em outros trabalhos encontram-se perdidas ou dificilmente recuperáveis.

Um outro aspecto que será discutido, é o da validade da análise dos dados de testes de bombeamento para determinados tipos de litologia, bem como discutir a validade de cada método de análise destes dados para cada tipo de rocha.

Como último objetivo, este trabalho poderá servir como contribuição para um futuro mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul.

III- METODOLOGIA

Para atingir os objetivos expostos, seguiu-se a seguinte metodologia:

A partir dos dados de testes de bombeamento realizados pela CORSAN em poços por ela perfurados e por ela administrados, foi possível obter alguns valores de transmissividade (T). Tais valores encontram-se distribuídos em quase todo o Estado do Rio Grande do Sul. Como cerca de 80% dos poços encontram-se em zonas de rochas efusivas da Formação Serra Geral, as demais regiões do Estado possuem apenas alguns valores de T, valores estes de pouca utilidade na análise dos aquíferos.

Desta forma, o estudo se concentra principalmente na Formação Serra Geral, onde estão localizados 165 municípios do total de 211 municípios nos quais a CORSAN é responsável pelo abastecimento de água. Isto é, 78% dos municípios se encontram na Formação Serra Geral. Por outro lado, por serem poços de abastecimento público, todos eles se encontram na sede dos municípios. Assim, os valores obtidos neste estudo possuem pouca representatividade quando observados em pequena escala. Por isso, o trabalho deve ser considerado como uma tentativa de indicar alguns valores de transmissividade em todo o Estado, de forma global, não se detendo em analisar características particulares de cada sistema aquífero.

III.1 - Métodos de análise de testes de bombeamento empregados.

Embora existam muitos métodos de análise de testes de bombeamento em rochas cujo fluxo se dá por fraturas (Rofail; Gringarten, Witherspoon, Sharma, etc...), todos eles requerem o auxílio de parâmetros que não foi possível obter, tais como, difusividade piezométrica das fraturas, coeficientes que caracterizem a rugosidade e abertura das fraturas, ou ainda, simpplificações no que diz respeito ao padrão de fraturamento, como no caso do método de Gringarten & Witherspoon (modelo de fratura vertical e de fratura horizontal).

A aplicação de algum dos métodos citados seria possível em poços situados em zonas onde fosse realizado um estudo de detalhe do padrão de fraturamento, da abertura das fraturas, da rugosidade e da sua densidade, o que limitaria o trabalho a uma região relativamente pequena. Como a proposição inicial deste estudo era a de fazer um levantamento geral das caracteriísticas hidráulicas de todo o Estado do Rio Grande do Sul, não cabia uma análise tão detalhada, o que certamente levaria um período de tempo excessivamente longo.

Desta forma optou-se pela aplicação de métodos simples e rápidos, que embora requeiram certas condições não satisfeitas neste caso, servem para dar ao menos uma idéia de valores de transmissividade. Um outro aspecto considerado é o da possibilidade de utilização de um programa de computador que forneça

a obtenção rápida de resultados.

Os métodos utilizados na análise dos dados de testes de bombeamento foram os de JACOB (rebaixamento) e o método de JACOB-THEIS para a recuperação. Embora sejam métodos desenvolvidos para rochas detriticas, se adaptaram àquelas condições de simplicidade e rapidez acima descritos. Naqueles testes onde houvessem variações no valor da vazão, foi aplicado o método de STERNBERG para corrigir os valores de tempo de bombeamento (TB) e para calcular um valor de vazão média.

III.2 - Análise dos dados.

Inicialmente os dados provenientes dos testes de bombeamento executados pela CORSAN foram submetidos a uma filtragem visual, sendo eliminados aqueles testes que apresentavam erros de leitura de níveis e oscilações no valor da vazão com reflexos nos níveis dinâmicos (ND), ou seja, quando a vazão diminui o nível dinâmico no poço se eleva de forma marcante.

O segundo passo, foi a aplicação do método de JACOB para dados de rebaixamento e do método de JACOB-THEIS para os dados de recuperação. Com o auxílio de um programa de computador foi possível uma segunda filtragem, onde foram eliminados aqueles testes que não permitiam uma interpretação razoável de suas curvas [$s \times \log t$ (método de JACOB); $s' \times \log \frac{t + \tau}{t}$ (método de JACOB-THEIS)].

Poucos testes forneceram valores de T nas curvas de re-

baixamento. A causa principal seria a da variação aleatória da vazão. A grande maioria dos testes que forneceram curvas possíveis de interpretar, foram curvas de recuperação. Outro aspecto que limita a interpretação é que todos os dados se referem ao próprio poço de bombeamento, inexistindo piezômetros.

O passo seguinte foi comparar os diferentes valores de T obtidos com os diversos métodos citados. Considerando que o método de JACOB foi desenvolvido para testes à vazão constante, tomou-se como mais próximos do real os valores de T obtidos pelo método de STERNBERG, visto que a maioria dos testes foram realizados à vazão variável. Procurou-se também relacionar os valores de vazão específica (Q/s) com os valores de T obtidos por JACOB e STERNBERG e ainda considerar a variação da vazão em cada teste e a sua influência no valor de T.

Um outro aspecto abordado, com referência às rochas da Formação Serra Geral, é o da necessidade de conhecer a geologia da zona estudada, no que se refere à intensidade e padrão de fraturamento existente nas cercanias do poço.

Finalmente são apresentadas algumas sugestões quanto a novos parâmetros a considerar em estudos de circulação de água em rochas fraturadas, bem como a escala em que deve ser realizado tal estudo, tendo em vista a pouca utilidade dos parâmetros obtidos com métodos clássicos de análise de testes de bombeamento. Considerou-se ainda a utilidade, em rochas fraturadas, do valor da vazão específica (Q/s) que na quase totalidade dos casos é mais representativo do que o valor da trans

missividade (T).

III.3 - Programa JACOB. Etapas principais.

Com o objetivo de agilizar a análise dos testes de bombeamento, foi desenvolvido o Programa JACOB, que a partir dos dados de nível dinâmico e tempo, traça as curvas $s \times \log t$ (rebaixamento) e $s' \times \log \frac{t + \tau}{t}$ (recuperação) e calcula os valores de transmissividade correspondentes. Os passos principais do programa se encontram descritos no anexo I.

IV - TEORIA DA HIDRÁULICA DE POÇOS

Nas últimas décadas, foram feitos grandes progressos no campo da análise matemática e das técnicas de simulação sobre os problemas de fluxo d'água no solo.

Aplicando métodos matemáticos e modelos apropriados é possível resolver a maioria destes problemas. No entanto, para que os resultados obtidos por estes métodos sejam dignos de confiança, é necessário que os valores numéricos tomados representem, com a maior exatidão possível, as características do aquífero, bem como que as condições de contorno sejam estabelecidas corretamente.

Entre os métodos citados, um dos mais úteis para determinar as características hidráulicas de aquíferos, é o teste de bombeamento. A partir deste método, é possível obter resultados fiáveis que, em geral, são representativos de uma superfície maior que aqueles obtidos por meio de observações pontuais. Entretanto, mais uma vez é necessário que se tenham em mente as limitações que cada método de análise de dados de testes de bombeamento impõem para sua aplicação. Quase todos os métodos matemáticos que atualmente são utilizados para a análise de dados de testes de bombeamento, são baseados em certas suposições e generalizações. Seguidamente os erros obtidos ao calcular as características hidráulicas de um aquífero, são atribuídos a incorreções do método empregado, enquanto que a verdadeira causa destes erros se deve às condições

de campo, que não satisfazem às suposições sobre as quais está baseado o método. No entanto, na prática podem aparecer situações que se afastam bastante das condições e suposições exigidas. Assim mesmo, é possível a aplicação de um determinado método, desde que se tenha uma idéia dos desvios que serão obtidos, com relação às condições teóricas. Às vezes, é necessário ainda, que os dados obtidos em campo sofram uma correção, antes de serem introduzidos em um método de análise.

O movimento da água subterrânea é governado por princípios hidráulicos estabelecidos. Hagen (1839) e Poiseuille (1846) mostraram que a velocidade do fluxo em tubos capilares é proporcional ao gradiente hidráulico. Henry Darcy (1856) confirmou a aplicabilidade deste princípio para fluxo laminar de água através de areias uniformes. Ele observou que a velocidade de fluxo através de um meio poroso é proporcional à primeira potência do gradiente hidráulico. Esta afirmação é conhecida como "Lei de Darcy" e serve como base para estudos quantitativos do movimento da água subterrânea.

A Lei de Darcy estabelece que o fluxo através de um meio poroso é proporcional à perda de carga, e inversamente proporcional ao percurso do fluxo. Em forma usual, esta lei é expressa por:

$$Q = K \frac{\partial h}{\partial L} S_t \quad (1)$$

sendo:

$$Q = \text{vazão (L}^3 \text{ T}^{-1}\text{)}$$

$$K = \text{coeficiente de permeabilidade (L T}^{-1}\text{)}$$

$$S_t = \text{área da seção transversal (L}^2\text{)}$$

$$\frac{\partial h}{\partial L} = \text{gradiente hidráulico}$$

J. Dupuit (1863) publicou estudos a respeito da dinâmica do movimento da água subterrânea nas proximidades de obras de captação, em regime permanente.

Considerando o esquema da figura 1, a equação da superfície livre pode ser obtida a partir da equação da continuidade:

$$\frac{K}{2} \frac{\partial^2 (h^2)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (h^2)}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

Para fluxo unidimensional, pode-se escrever:

$$\frac{d^2 (h^2)}{dx^2} = 0 \quad (3)$$

A solução geral da equação (3) é:

$$h^2 = C_1 x + C_2 \quad (4)$$

onde C_1 e C_2 são constantes que podem ser determinadas a partir das condições nos limites (Vide figura 1).

$$x = 0 \rightarrow h = H_1$$

$$x = L \rightarrow h = H_2$$

Substituindo estes resultados na equação (4), resulta:

$$h^2 = H_1^2 - (H_1^2 - H_2^2) (x/L) \quad (5)$$

A equação (5) mostra que a forma da superfície livre é uma parábola (chamada "parábola de Dupuit"), e a descarga total através de uma superfície de largura "B", perpendicular à direção do fluxo, pode ser obtida a partir de:

$$Q = Bhv_x = - KBh \frac{\partial h}{\partial x} = - \frac{KB}{2} \frac{d(h^2)}{dx} \quad (6)$$

Conjugando a equação (6) com a equação (5),

$$Q = \frac{KB(H_1^2 - H_2^2)}{2L} \quad (7)$$

A equação (7) acima é conhecida como "fórmula da Dupuit".

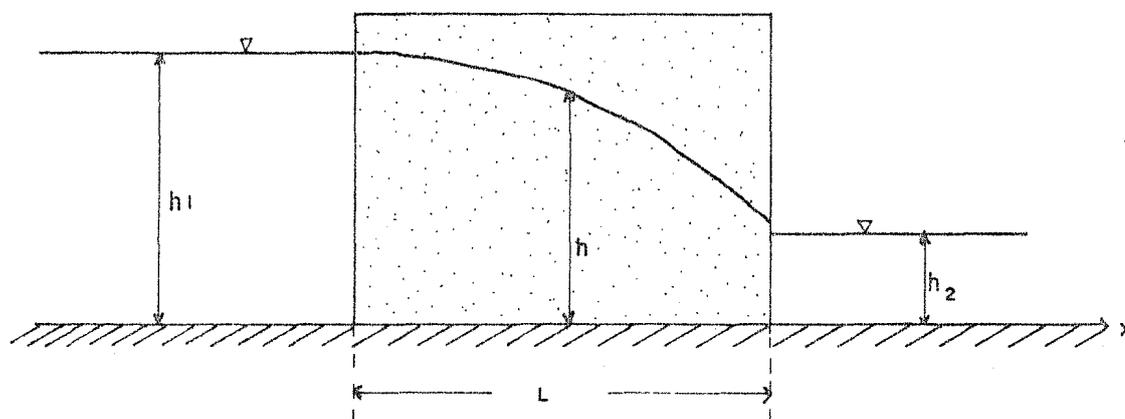


FIG. 1

Embora a equação (7) tenha sido derivada apenas na direção "x", desprezando a variação de "h" na coordenada vertical, a fórmula de Dupuit fornece bons resultados, mesmo que a dimensão "L" seja muito pequena e a diferença entre H_1 e H_2 seja muito grande.

IV.1 - Análise de dados de rebaixamento.

Grande parte da análise matemática de Dupuit foi repetida por Adolf Thiem (1887). No entanto, foi Günther Thiem (1906) quem propôs uma solução de utilidade prática imediata ao determinar que os métodos de Dupuit-Thiem podiam aplicar-se a qualquer ponto da parábola representativa do cone de depressão ao redor de uma obra de captação. A aplicação destes métodos permite obter o valor da condutividade hidráulica (K) do aquífero.

Para derivar a equação de Thiem e mostrar sua relação com a Lei de Darcy, considere-se a fig. 2, que representa a metade de uma seção transversal do cone de depressão desenvolvido ao redor de um poço A. Bombeia-se uma vazão constante Q, durante um tempo suficiente para que se estabeleça um regime permanente. Pela lei da continuidade, as vazões que passam em fluxo radial em direção ao poço, através de seções definidas dentro do cone de depressão por dois cilindros concêntricos, são iguais a Q.

Na figura 2, as distâncias do poço de bombeamento para os poços de observação B e C, definem os raios dos cilindros concêntricos, r_1 e r_2 , e ao mesmo tempo, definem as geratrizes dos cilindros, cujas superfícies laterais constituem as seções por onde passam as vazões Q_1 e Q_2 , ou seja,

$$Q \equiv Q_1 \equiv Q_2$$

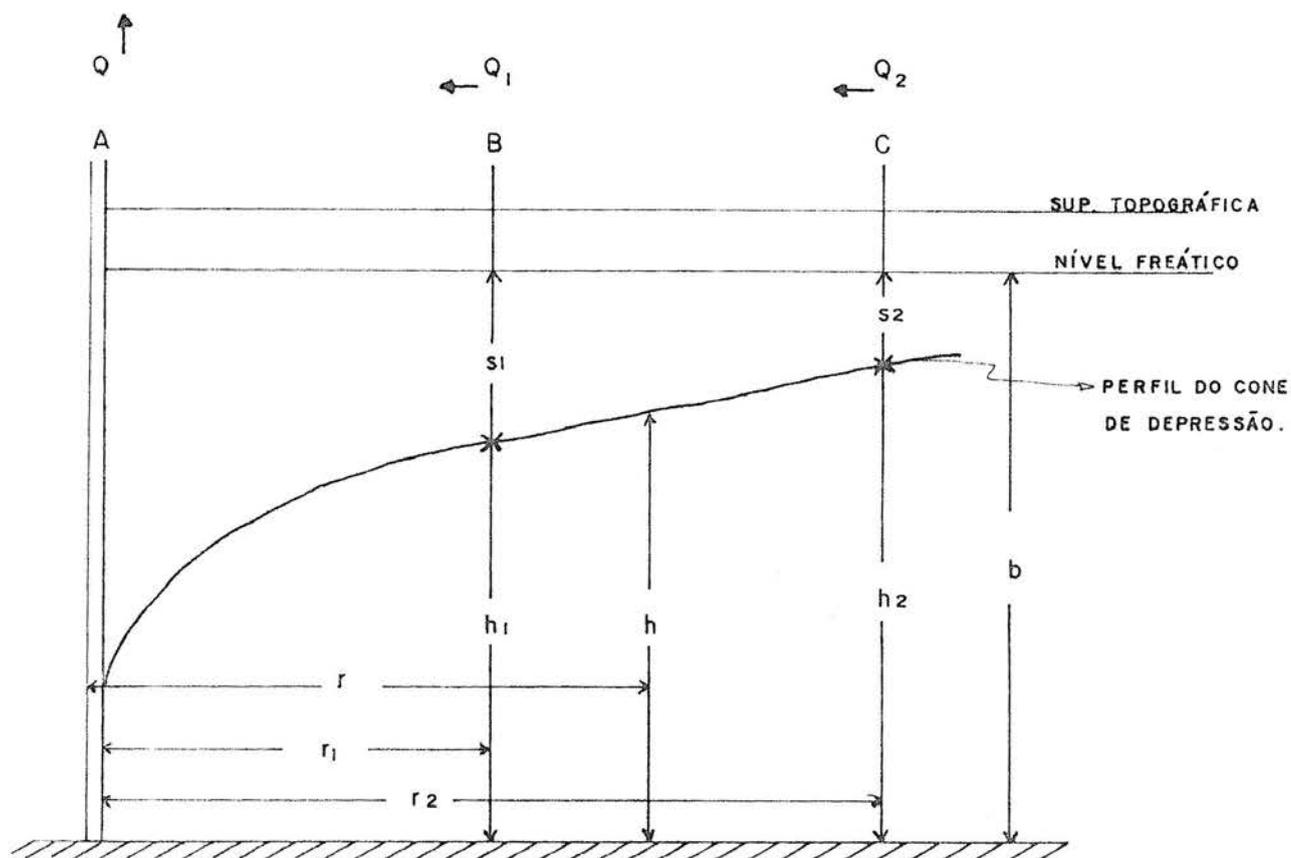


FIG. 2: SEMI-SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CONE DE DEPRESSÃO PROVOCADO POR UM POÇO (A) EM AQUIFERO LIVRE. (SEG. LOHMAN-1977)

Assim, a lei de Darcy pode ser expressa, em coordenadas cilíndricas, como uma equação diferencial de primeira ordem:

$$Q = -K 2\pi r h \frac{dh}{dr} \quad (L^3 T^{-1})$$

separando variáveis, ter-se-á:

$$\frac{dr}{r} = - \frac{2\pi k}{Q} h dh.$$

Integrando entre r_1 e r_2 , h_1 e h_2 (Fig.2):

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = - \frac{2\pi K}{Q} \int_{h_1}^{h_2} h dh.$$

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = - \frac{2\pi K}{Q} \left[\frac{h_2^2}{2} - \frac{h_1^2}{2} \right]$$

Isolando o valor de K e passando para logaritmos de base decimal, resulta:

$$K = - \frac{2,30 Q \log r_2/r_1}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \quad (L T^{-1}) \quad (8)$$

A expressão (8) é uma das formas da equação de Thiem. Uma outra forma pode ser obtida considerando um aquífero livre de suficiente espessura (no qual os valores do rebaixamento "s" podem ser considerados desprezíveis em comparação com o valor de "b"), a soma $h_1 + h_2$ é praticamente igual a $2b$. Como $h_2 - h_1 = s_1 - s_2$, resulta $h_2^2 - h_1^2 = 2b(s_1 - s_2)$. Sendo o valor da transmissividade (T) igual a Kb , a equação (8) pode ser escrita:

$$T = - \frac{2,30 Q \log r_2/r_1}{2\pi(s_1 - s_2)} \quad (L^2 T^{-1})$$

A equação de Thiem para regime permanente é amplamente aplicável para determinar a permeabilidade. No entanto, pode ser que as condições de campo sejam tais que se necessite de uma quantidade de tempo considerável para alcançar o regime permanente de fluxo.

C.V. Theis (1935) desenvolveu uma equação para regime não permanente na qual tomam parte o fator tempo e o coeficiente de armazenamento (S). O aquífero deve ser homogêneo, isotrópico, infinito, de espessura constante e não sofrendo recarga.

Quando um poço localizado neste aquífero é bombeado com uma vazão constante Q, a água é continuamente retirada do armazenamento do aquífero, a medida que o cone de depressão se estende. Se o aquífero não é recarregado, o nível d'água não se estabiliza e a carga hidráulica continuará decrescendo. A água fornecida pelo aquífero é proveniente do armazenamento e da sua própria expansão. Considerando que a água é liberada instantaneamente com o decréscimo da carga hidráulica, a equação diferencial que governa o fluxo radial em regime não permanente é, em coordenadas polares:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (9)$$

onde "r" é a distância do poço de observação ao poço em bombeamento.

Para obter uma solução matemática simples, o poço de bombeamento é substituído na análise por um ponto matemático de saída de água com potência constante. Para as condições nos limites $h \rightarrow h_0$, $r \rightarrow \infty$ para $t \geq 0$:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{Q}{2\pi T}$$

e para as condições iniciais $h(r,0) = h_0$ para $t \leq 0$, a solução da equação (9) é a seguinte:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\frac{r^2 S}{4Tt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du. \quad (10)$$

Theis (1935) foi quem primeiro aplicou esta equação na hidráulica de poços, que é conhecida como "equação de não-equilíbrio". A integral é função do limite inferior $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ e é tabulada como integral exponencial.

Desenvolvendo a integral exponencial em uma série convergente, o rebaixamento " s " = $h_0 - h$ em um poço de observação situado a uma distância " r ", num tempo " t " para uma vazão constante Q (vide figura 3), resulta:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots) \quad (11)$$

onde:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (12)$$

A integral exponencial é comumente expressa por $W(u)$, e é chamada "função de poço de Theis".

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

A forma comumente apresentada da equação de Theis, para representar o rebaixamento em um piezômetro é a seguinte:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (13)$$

Theis propôs um método gráfico simples de superposição para resolver as equações (12) e (13). Este método acha-se amplamente descrito em KRUSEMAN (1975, pg. 45), e LOHMAN (1977, pag. 57).

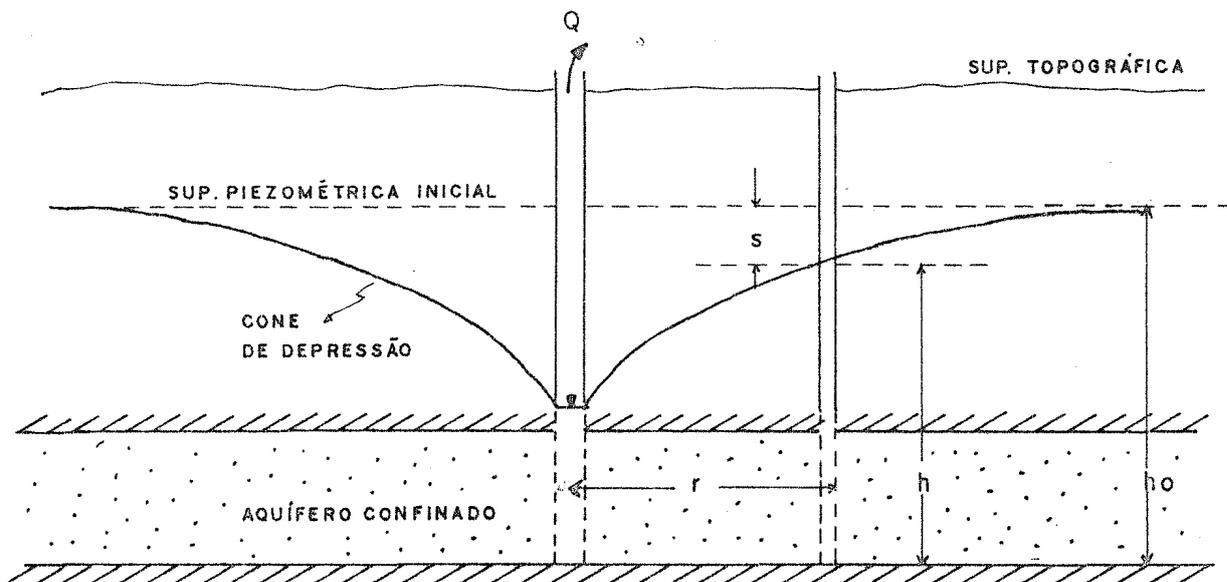


FIG. 3: PERFIL DO CONE DE DEPRESSÃO EM AQUÍFERO CONFINADO.

Quando os valores de "u" (equação 12) são pequenos ($u < 0,01$), ou seja, quando o tempo de bombeamento é grande e/ou a distância "r" é pequena, COOPER E JACOB (1946) mostraram que os termos posteriores a "ln u" da equação (11) tornam-se insignificantes, resultando:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0,5772 - \ln u)$$

ou seja:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0,5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right]$$

Simplificando e passando para logaritmos de base decimal, resulta:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln 0,56 + \ln \frac{4Tt}{r^2 S} \right]$$

$$s = \frac{2,30Q}{4\pi T} \left[\log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \right] \quad (14)$$

Como Q, T, S e r são constantes, pode-se reagrupar os termos da equação (14) e ter-se-á a forma seguinte:

$$s = \frac{2,30Q}{4\pi T} \left[\log \frac{2,25T}{r^2 S} + \log t \right]$$

Portanto, a representação gráfica do rebaixamento(s) em função do $\log t$, é uma linha reta com declividade igual a $\frac{2,30Q}{4\pi T}$.

Através do método de Jacob, partindo da representação gráfica "s x log t", é possível obter os valores da transmissividade (T) e do coeficiente de armazenamento (S). O método de Jacob encontra-se descrito em KRUSEMAN (1975 pg. 54).

→ O método de Jacob pode ser aplicado somente quando o valor de "u" for menor ou igual a 0,01. Para tanto é necessária uma análise dos parâmetros envolvidos na equação 12.

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Como o valor do coeficiente de armazenamento(s) se encontra no numerador, não havendo variação dos demais termos da equação 12, o valor de "u" é consideravelmente maior para aquíferos livres (rendimento específico de 0,1 a 0,3) do que para aquíferos confinados (coeficiente de armazenamento entre 10^{-5} e 10^{-3}). Para compensar esta diferença, é evidente que o tempo de bombeamento em aquíferos livres deve ser muito maior que em aquíferos confinados.

Da mesma forma, o valor de "r" (distância do poço de observação ao poço de bombeamento) se encontra no numerador e elevado ao quadrado. Assim, quanto maior o valor de "r", maior deve ser o tempo de bombeamento para que "u" se mantenha abaixo do valor limite.

IV.2 - Análise de dados de recuperação.

Um aspecto de grande utilidade na hidráulica de poços em regime variável, é o estudo da recuperação do nível da água após cessar o bombeamento.

Admitindo que um poço foi bombeado durante um tempo " τ " com vazão constante "Q", a parada do bombeamento no poço equivale a continuar o bombeamento mas colocando em marcha, no momento da parada, um poço similar no mesmo lugar que recarregue o mesmo caudal constante "Q". Assim, a parada equivale a superpor o efeito de um poço de caudal "-Q" com outro, situado no mesmo lugar, de vazão "+Q". Ambos os poços se diferenci

V - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores de transmissividade obtidos pelo método de JACOB (T_J) e pelo método de STERNBERG (T_S), bem como os valores de vazão específica (Q/s), encontram-se plotados em um mapa do Estado do Rio Grande do Sul (fig.5). Este mapa possui as divisões geomorfológicas do estado, os principais rios e os principais municípios.

É possível observar na fig. 5 o pequeno número de valores de transmissividade obtidos. Nota-se ainda, a grande distribuição destes valores em todo o Estado, tornando difícil a identificação de zonas de características hidrodinâmicas semelhantes.

V.1 - Valores de transmissividade obtidos pelo método de JACOB-THEIS.

A aplicação do Programa JACOB nos testes de bombeamento realizados pela CORSAN, permitiu a obtenção de 84 valores de transmissividade (T) em todo o Estado, sendo que 64 valores foram obtidos em poços localizados na Formação Serra Geral. Os 20 valores restantes se distribuem na Depressão Periférica e Planície Costeira.

O valor numérico da transmissividade varia (na Formação Serra Geral) de $0,02 \text{ m}^2/\text{h}$ (poço G532 VI 1 - Viadutos) até o valor de $5,07 \text{ m}^2/\text{h}$ (poço G481 RS 2 - Roca Sales).

O valor máximo de T foi obtido em Santa Vitória do Palmar (Planície Costeira), onde atingiu a $6,08 \text{ m}^2/\text{h}$ (poço G566 SV 11).

A tabela A mostra os valores de transmissividade (T), vazão específica (Q/s), nível estático (NE), nível dinâmico (ND) e vazão de teste (Q), obtidos no Estado através da aplicação do Programa JACOB. Além destes valores, constam o município onde o poço se localiza e o seu número.

O problema mais sério a considerar na aplicação do método de JACOB-THEIS, é qual o valor de vazão (Q) a ser utilizado no cálculo, visto que a variação mostrou-se bastante acentuada. O problema foi contornado utilizando o valor de Q mais constante e mais próximo do final do teste. Embora não seja esta a forma mais correta, tornou-se necessária a sua utilização, visto que o método de JACOB-THEIS não prevê o cálculo de T em teste de vazão variável, salvo se houver correção dos valores de Q e do tempo de bombeamento (TB).

Na tabela A é possível observar a grande variação numérica da transmissividade nos poços situados na Formação Serra Geral. Mesmo em poços situados no mesmo município, como é o caso de Tenente Portela, e localizados a pequena distância entre si, a diferença no valor de T é de até $2,06 \text{ m}^2/\text{h}$ (G373 TP 5: $T = 2,42 \text{ m}^2/\text{h}$; G379 TP 6: $T = 0,36 \text{ m}^2/\text{h}$). Tal fato é de grande importância nos aquíferos da Formação Serra Geral, onde não se conseguiu uma ordem de grandeza da transmissividade que pudesse caracterizá-la quanto ao seu comportamento hidráulico. Da mesma forma, não foi possível estabelecer zonas que possuam

valores de transmissividade da mesma ordem, ou seja, traçar curvas de isotransmissividade.

A grande maioria dos poços perfurados na Formação Serra Geral atingem apenas o basalto. No entanto, em alguns municípios, como é o caso de Alegrete, o perfil do poço apresenta 2 litologias totalmente distintas, ou seja, basalto e arenito. Assim, a água de bombeamento provém tanto do basalto quanto do arenito. Qualquer parâmetro hidráulico obtido nestas condições, não reflete as características do basalto, nem do arenito, mas sim uma "média" destas duas litologias. Se considerarmos a condutividade hidráulica (K) dos meios porosos atravessados pela perfuração, é possível demonstrar que:

$$\bar{K} = \frac{1}{L} \sum b_i \cdot K_i$$

sendo:

\bar{K} = permeabilidade média do conjunto de litologias.

L = espessura total do conjunto de litologias.

b_i = espessura de cada camada.

K_i = permeabilidade de cada camada.

Um raciocínio análogo pode ser feito para o valor da transmissividade, que numa primeira aproximação, teria o valor

$$\bar{T} = L.\bar{K}$$

Desta forma, os parâmetros obtidos nestas zonas devem ser tomados com certa precaução a fim de evitar uma superestimação (ou subestimação) das potencialidades destes aquíferos.

V.2 - Valores de transmissividade obtidos pelo método de STERNBERG.

A aplicação do método de JACOB em testes de bombeamento cuja vazão sofre variações no decorrer do teste, conduz à seguinte questão: qual a vazão que será utilizada para o cálculo da transmissividade? Numa tentativa de resolver este problema, optou-se pela aplicação do método de STERNBERG(já descrito). Os valores obtidos (T_s) encontram-se na tabela A.

Pode-se observar na tabela que foi possível aplicar o método de STERNBERG em apenas 38 testes. Nesta mesma tabela constam também os valores de vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) e vazão mínima ($Q_{m\acute{i}n}$). É notável a variação do valor numérico da vazão no decorrer do teste. Tal fato deve-se, em muitos casos, ao tipo de bomba utilizado. Em alguns testes a variação chega a 300% ou mais (Poço G743 AT3 - Arroio do Tigre - $Q_{m\acute{a}x} = 16,36 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q_{m\acute{i}n} = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$). Geralmente a vazão decresce com o tempo, ao contrário da forma clássica de realizar um teste à vazão variável, onde a vazão cresce com o tempo.

Em alguns casos existe um atenuante, ou seja, as maiores

vazões ocorrem no início do teste e tem pouca duração. Para testes com longo tempo de bombeamento, as vazões iniciais tem pouca influência na recuperação do nível d'água no poço, que tende a recuperar de acordo com a última vazão de bombeamento, desde que esta vazão tenha uma duração suficientemente grande.

O exemplo confirma a afirmação feita acima:

Poço G606 CBI 2 - CORONEL BICACO - RS

Vazão inicial = 43,90 m³/h.

Tempo de bombeamento = 600 minutos.

0	- 1	min	→	43,90	m ³ /h
1	- 10	min	→	26,00	m ³ /h
10	- 120	min	→	20,00	m ³ /h
120	- 600	min	→	18,95	m ³ /h

A aplicação do método de STERNBERG, neste teste, conduziu aos seguintes resultados:

vazão de teste (Q) = 19,00 m³/h

tempo de bombeamento (TB) = 609 minutos

Conforme pode ser observado, a vazão Q é praticamente igual à última vazão do teste (18,95 m³/h) da mesma forma que o TB é quase o mesmo (609 minutos). Isto é devido ao fato de que a partir dos 10 minutos de bombeamento, a vazão se manteve praticamente constante, pouco influenciando o valor de 43,90 m³/h

do início do teste, devido à sua pequena duração.

Um exemplo oposto ao visto acima, é o caso do poço G481 RS 2, localizado em Roca Sales:

Vazão inicial = 7,69 m³/h.

Tempo de bombeamento = 660 minutos.

0 - 10 min → 7,69 m³/h

10 - 180 min → 15,84 m³/h

180 - 300 min → 18,00 m³/h

300 - 660 min → 34,43 m³/h

Vazão de teste (Q) = 31,86 m³/h.

Tempo de bombeamento (TB) = 544 min.

A grande variação da vazão no decorrer do teste, originou uma substancial mudança no tempo de bombeamento (TB) calculado, que diferiu em mais de 100 minutos do tempo original (660 minutos). Da mesma forma, a vazão de teste obtida (31,86 m³/h) é um valor "médio" que relaciona o valor da vazão de cada patamar com sua duração, dando ênfase ao valor de Q final, que possui um maior peso no cálculo.

Nestes casos, o método de STERNBERG mostra-se de grande utilidade, uma vez que tende a amenizar os efeitos de grandes variações de vazão nos testes.

V.3 - Comparação entre os valores de T_S e T_J .

Os valores de transmissividade obtidos pelos métodos de STERNBERG (T_S) e de JACOB (T_J) encontram-se listados na tabela A. De uma maneira geral, nos poços onde foram obtidos os valores de T_S e T_J , não houveram diferenças significativas, com exceção de uns poucos, como por exemplo o poço G439 SO 8:

$$T_S = 0,93 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$T_J = 0,38 \text{ m}^2/\text{h}$$

Na figura 6 ($T_J - T_S \times TB$) é possível observar que a grande maioria dos testes apresentam diferenças entre T_S e T_J inferiores a $0,1 \text{ m}^2/\text{h}$.

A figura 7 ($T_S \times T_J$) mostra uma comparação gráfica dos valores de T_S e T_J . Os desvios dos pontos com relação à reta de 45° são de pequena amplitude. A maioria dos pontos encontram-se plotados sobre a reta bissetriz.

Visto que os métodos de JACOB e de STERNBERG foram aplicados nos mesmos dados, e portanto possuem os mesmos erros e mesmas limitações, as diferenças entre os valores de transmissividade obtidos, são devidos, em princípio, ao tempo de bombeamento (TB) e à variação da vazão (ΔQ).

A figura 6 ($T_J - T_S \times TB$) mostra um gráfico onde são comparados o tempo de bombeamento (TB) e as diferenças entre T_J e T_S . Os 38 testes analisados mostram que o tempo de bombe

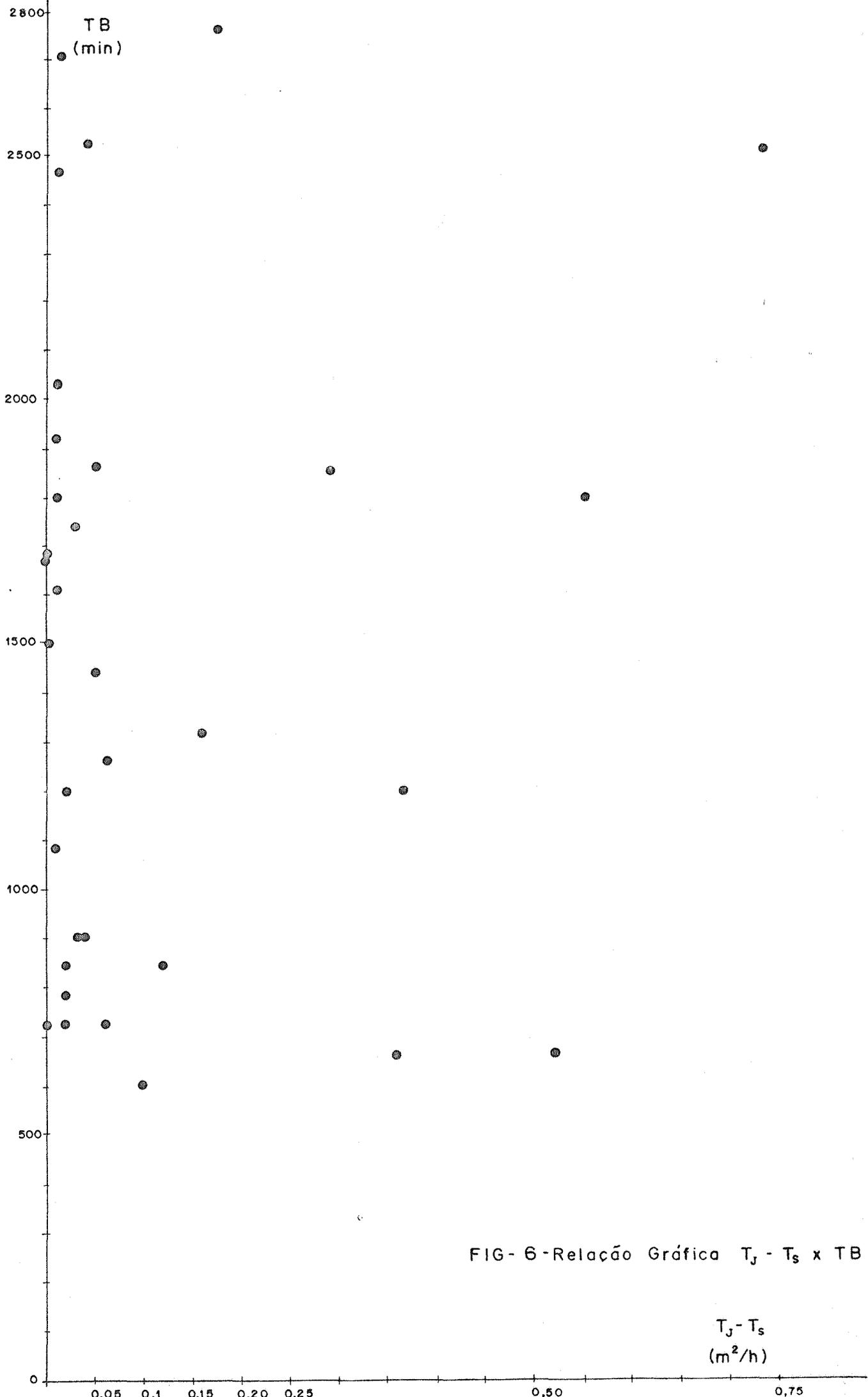


FIG- 6-Relação Gráfica $T_j - T_s$ x TB

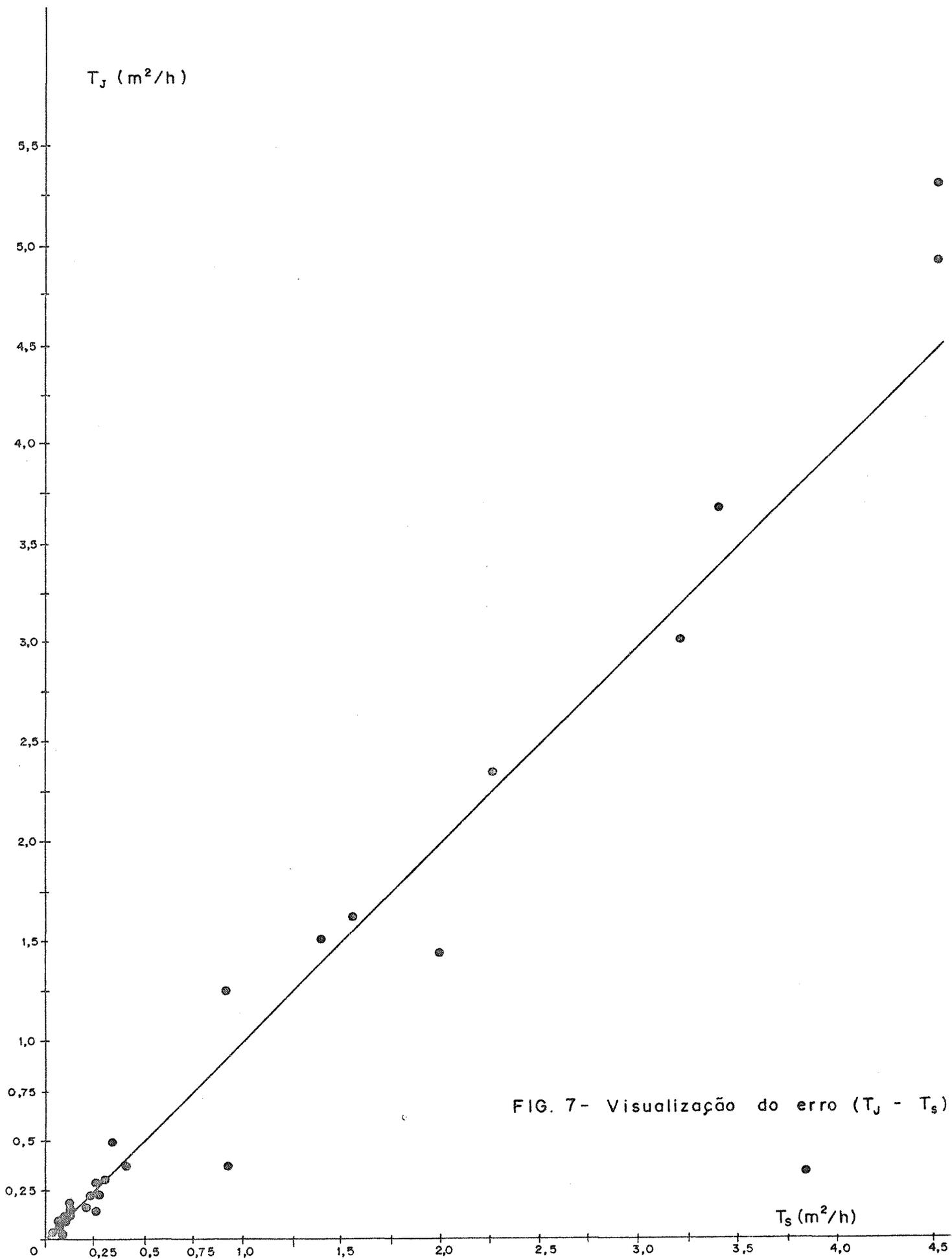


FIG. 7- Visualização do erro ($T_j - T_s$)

amento possui pouca influência nas diferenças observadas. Tanto testes de 2500 minutos quanto testes de 600 minutos acusaram diferenças significativas (até mais de $0,5 \text{ m}^2/\text{h}$). Também a variação absoluta da vazão tem pouco significado nas diferenças entre T_S e T_J , conforme pode ser observado na figura 8 ($T_J - T_S \times Q_F - Q_i$).

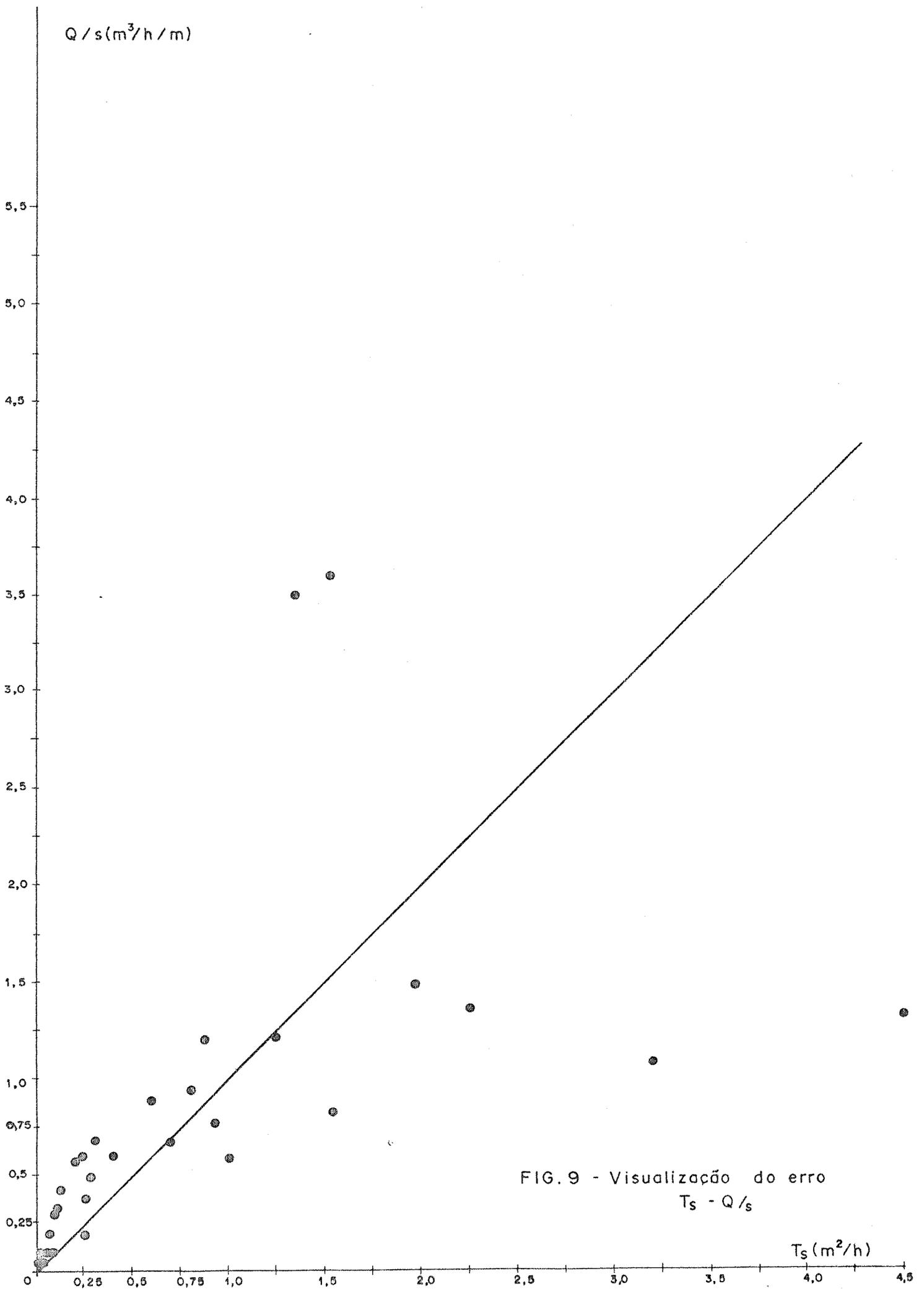
As figuras 6 e 8 mostram que, nestes casos, tanto o tempo de bombeamento quanto a variação da vazão tem pouca ou nenhuma influência nas diferenças entre T_S e T_J . O aspecto realmente importante que determina as diferenças $T_J - T_S$, é o da constância de uma determinada vazão, durante a realização de um teste, ou seja, as diferenças $T_J - T_S$ são função do tempo em que determinada vazão é mantida. Desta forma, não se cometem grandes erros quando se aplica o método de JACOB aos testes de vazão variável realizados pela CORSAN, quando um determinado valor de vazão se mantém durante um tempo razoavelmente grande. Deve-se, no entanto, considerar as limitações dos resultados obtidos, visto que se tratam de aquíferos fraturados.

V.4 - Valores de vazão específica (Q/s).

Os valores de vazão específica também encontram-se listados na tabela A. Tais valores variam de $0,05 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (poço G532 VI 1 - Viadutos) até um máximo de $16,87 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (poço G481 RS 2 - Roca Sales). De uma forma geral, os valores de vazão

específica acompanham os valores de transmissividade, ou seja, altos valores de Q/s indicam altos valores de T . No entanto, pode-se observar que os valores de vazão específica quase sempre são maiores que os valores de transmissividade. Sabe-se que no parâmetro "vazão específica" estão incluídas as perdas de carga no sistema aquífero-poço. CUSTÓDIO et al (1976-pg. 825) diz que o descenso (s) observado em poços de bombeamento é devido a vários fatores: perdas de carga no aquífero; perdas pela não validade da Lei de Darcy nas proximidades do poço; perdas na penetração d'água no poço; perdas ascensionais no poço e finalmente, perdas na entrada da bomba. Tais perdas fazem com que o rebaixamento do nível d'água no poço seja maior do que o rebaixamento teórico que deveria ocorrer. Assim os valores de vazão específica obtidos em poços de bombeamento são menores que os valores teóricos. Desta forma, existe uma certa incoerência entre os valores de Q/s e de T , pois a vazão específica deveria ser menor que a transmissividade, o que não ocorre com os testes de bombeamento analisados.

A figura 9 mostra uma comparação entre os valores de vazão específica (Q/s) e de T_S . Para valores pequenos de Q/s e T_S as diferenças são pequenas. À medida que aumentam T_S e Q/s , as diferenças são maiores. De uma maneira geral, existe pouca relação entre estes dois parâmetros.



V.5 - Análise de curvas características (s x Q).

Em alguns testes de bombeamento realizados pela CORSAN, onde houve variação de vazão, foi possível o traçado de curvas características, ou seja, curvas rebaixamento x vazão.

A análise da curva característica de um poço (Fig.10) permite distinguir duas partes. No primeiro trecho, OM, que corresponde a descensos pequenos, o gráfico é semelhante a uma reta, ou seja, a variação $s(Q)$ é linear. A partir do ponto M, a declividade da curva aumenta consideravelmente, ou seja, uma pequena variação no valor da vazão produz um rebaixamento importante. A partir do ponto M, a curva assemelha-se a uma parábola da forma:

$$s = AQ^2 + BQ$$

O ponto M é chamado de "ponto crítico", a partir do qual, a relação $s - Q$ deixa de ser linear e passa a ser parabólica.

O ponto crítico define a vazão ótima de exploração do poço, ou seja, a máxima vazão obtida com pequeno rebaixamento.

As figuras 10, 11, 12, 13 e 14 mostram curvas $s \times Q$ de 5 poços localizados na Formação Serra Geral.

O poço G498 EN 7 (Fig. 10) mostra uma curva $s \times Q$ na qual o último patamar ($Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$) produz um rebaixamento desproporcional, possivelmente indicando que a maioria dos níveis de contribuição de água, estão situados acima do nível

d'água no poço. A última entrada de água está localizada a 36,0 m de profundidade, segundo os dados da ficha do poço.

A curva $s \times Q$ indica que o valor da vazão ótima de exploração é de $27 \text{ m}^3/\text{h}$ (definida pelo ponto M).

Da mesma forma, os demais poços (Fig. 11, 12, 13 e 14) fornecem curvas $s \times Q$, nos quais é possível escolher a vazão mais indicada de exploração.

As figuras 11 e 12 mostram curvas onde o rabaixamento não é função linear da vazão. Nestes casos, o reconhecimento da vazão ótima de exploração se torna difícil.

Uma outra causa possível da mudança da forma da curva $s \times Q$, seria o aumento da perda de carga com o aumento da vazão. Tal incremento na perda de carga poderia indicar variação do regime de fluxo no poço? Sabe-se que em regime laminar a perda de carga é função da vazão, ao passo que em regime turbulento a perda de carga é função, aproximadamente, do quadrado da vazão. Assim, a forma parabólica da curva $s \times Q$ poderia ser explicada devido à mudança de regime, ou seja, passagem do regime laminar para turbulento. No entanto, a vazão de extração de água nos poços analisados é muito pequena (da ordem de 6 l/s), sendo difícil que com vazões tão baixas exista possibilidade de ocorrer fluxo turbulento.

Neuland, H. (informação oral) através da análise de grupos hierárquicos, identifica zonas no aquífero basáltico onde ocorre fluxo turbulento e zonas de fluxo laminar. A região sudoeste do estado apresenta fluxo principalmente laminar, tal

vez devido à proximidade do rio Uruguai, que atuaria como "amortecedor" da velocidade do fluxo. Nas demais regiões do estado ocorrem fluxo turbulento e laminar, sendo difícil isolar regiões de predominância de um ou outro.

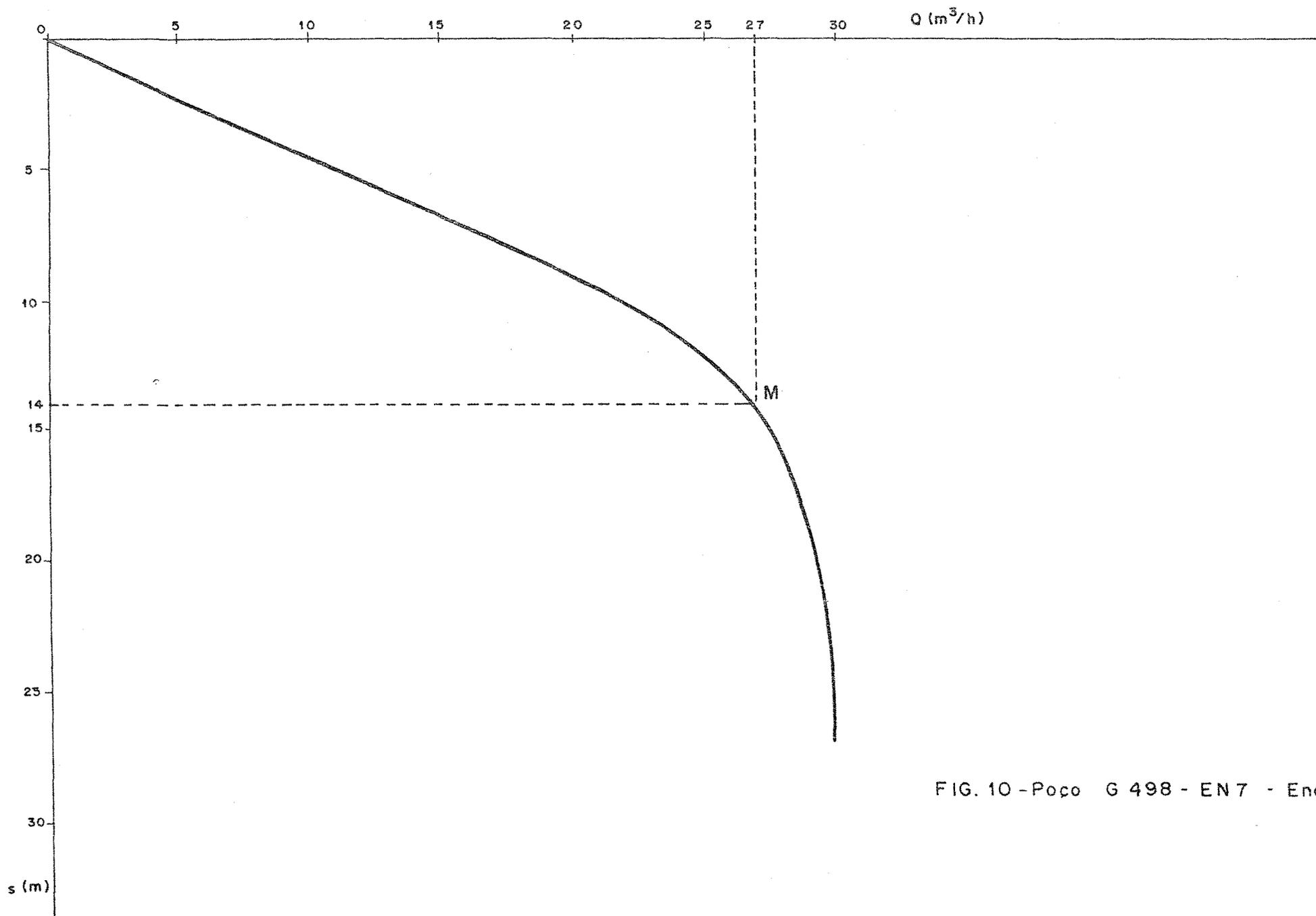


FIG. 10 - POCO G 498 - EN7 - Encantado

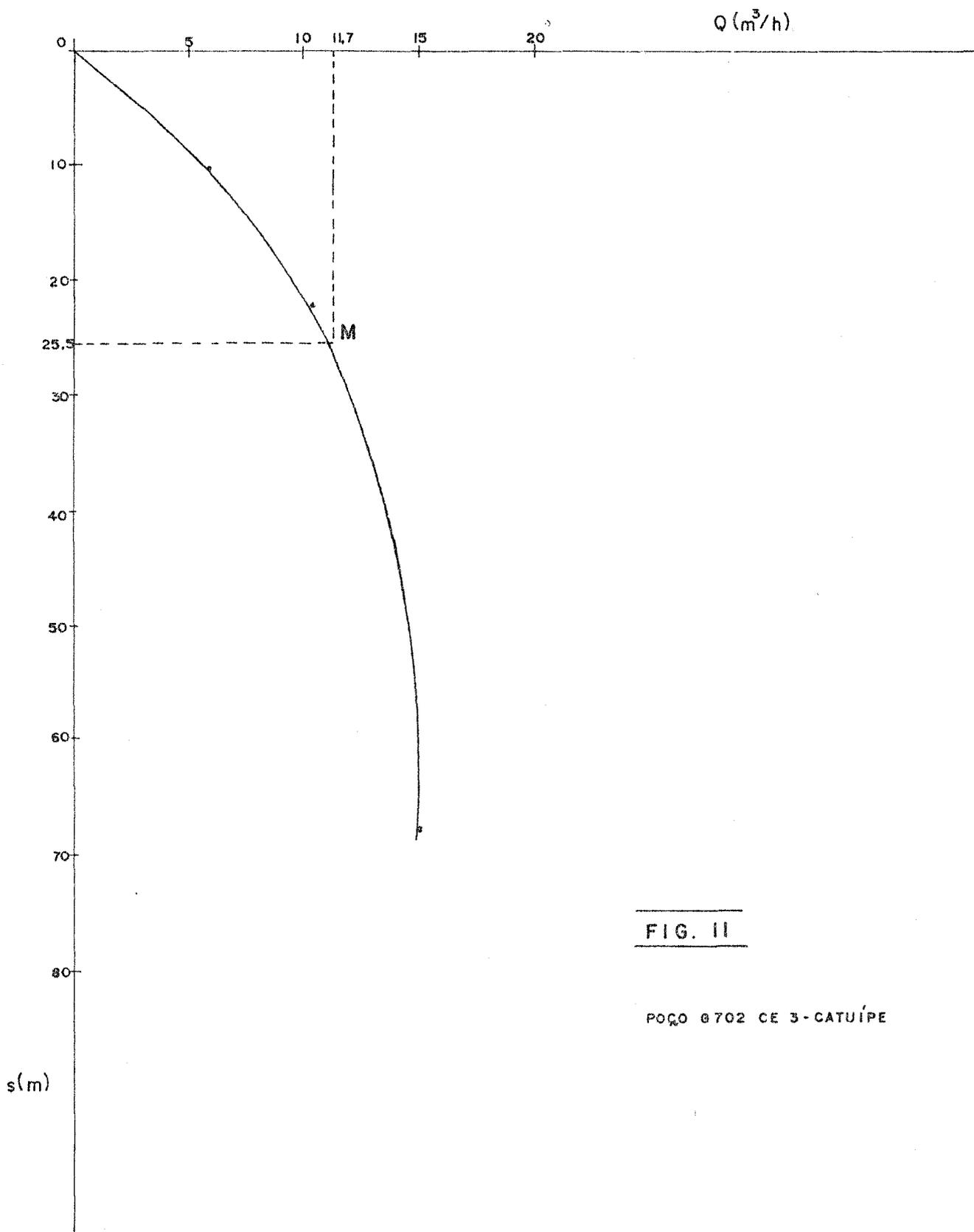


FIG. II

POÇO 6702 CE 3-CATUÍPE

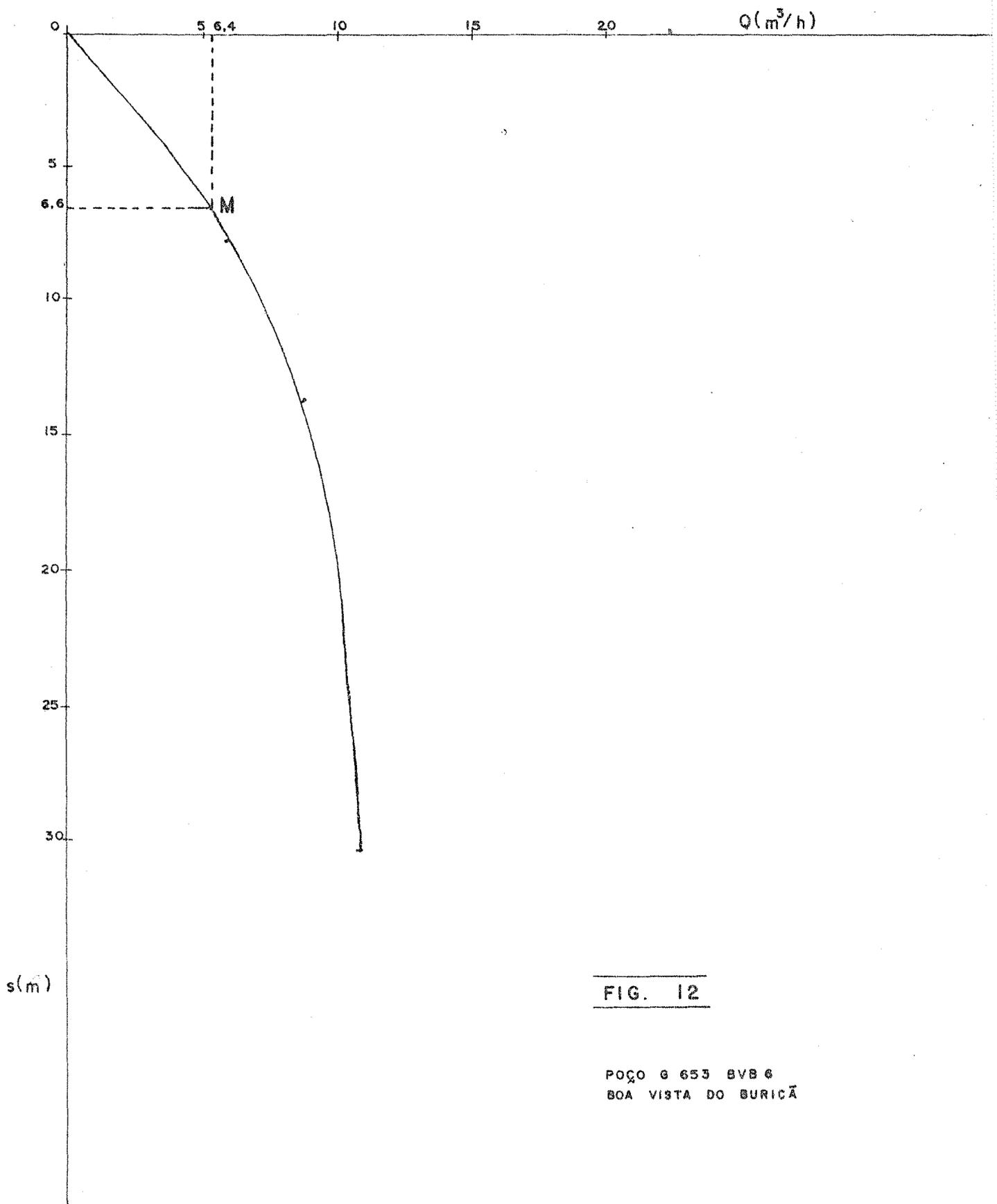


FIG. 12

POÇO G 653 BVB 6
BOA VISTA DO BURICÃ

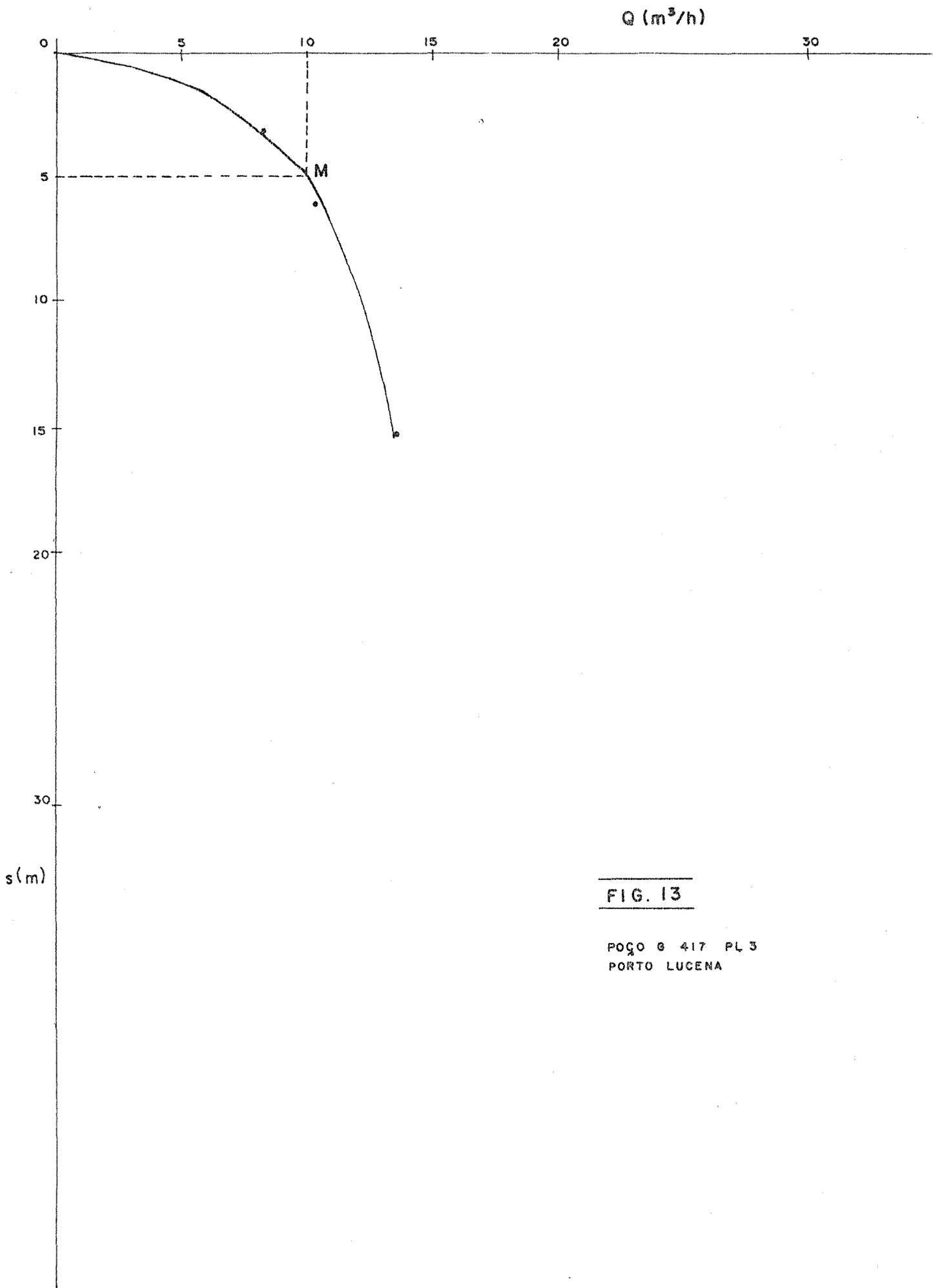
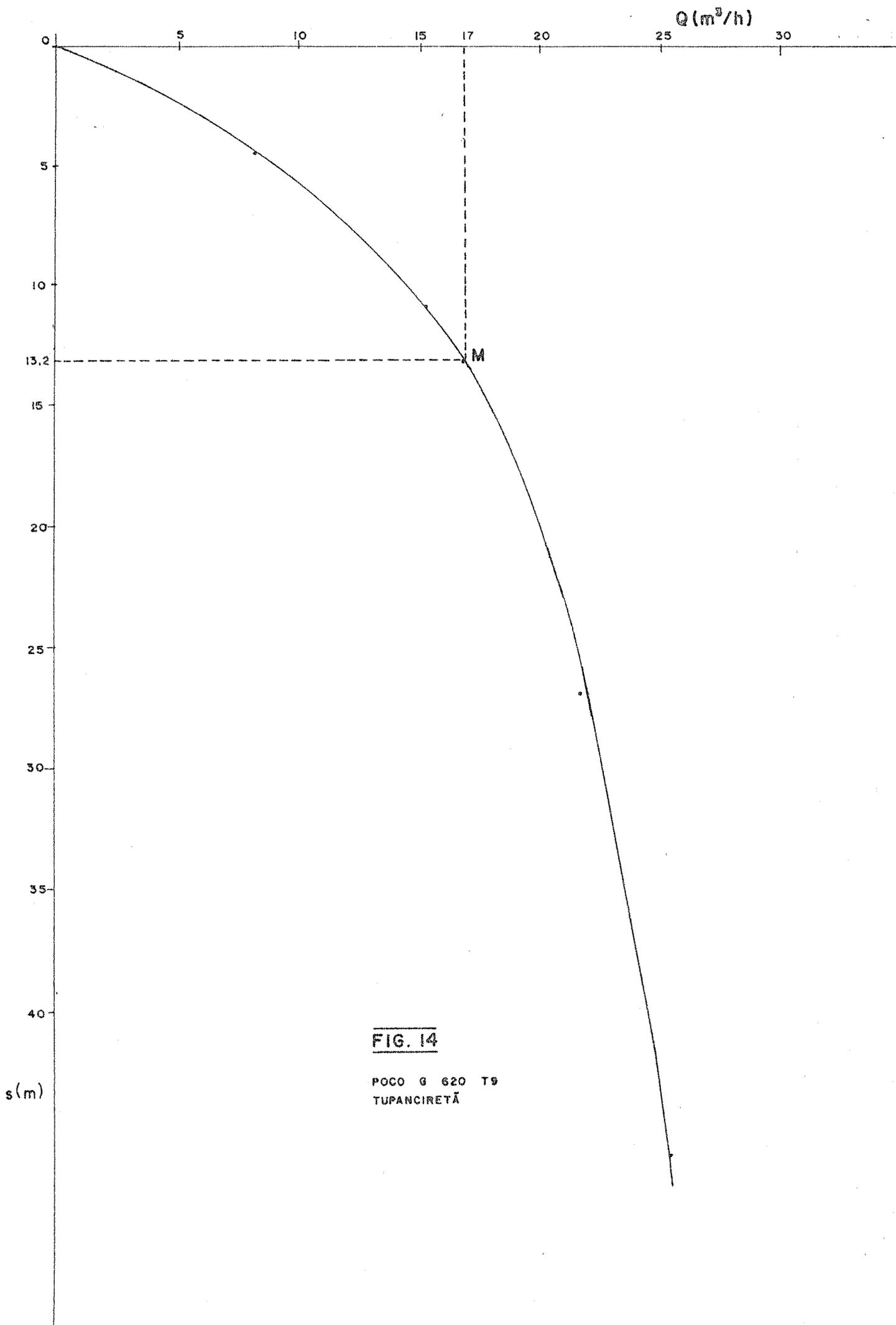


FIG. 13

POÇO 0 417 PL 3
PORTO LUCENA



VI - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise de cerca de 80 testes de bombeamento realizados no Estado do Rio Grande do Sul, a fim de obter valores de transmissividade e vazão específica, certamente não conduz a uma visão global das características dos diferentes aquíferos. Neste trabalho, procurou-se estudar a validade de um tratamento clássico dos testes de bombeamento, ou seja, aplicando os métodos desenvolvidos para estudo de características hidrodinâmicas de aquíferos porosos homogêneos. Os resultados obtidos desta forma, levaram a questionar a utilidade de parâmetros assim obtidos.

Sempre que se pensa em analisar dados de testes de bombeamento, a primeira idéia que surge é o cálculo da transmissividade. Especificamente para o caso do Rio Grande do Sul, onde 50% da superfície é constituída por rochas ígneas efusivas da Formação Serra Geral, a obtenção de valores de transmissividade desta Formação é de grande importância para o planejamento da utilização dos recursos de água subterrânea.

No entanto, para que os valores de transmissividade obtidos com os métodos clássicos sejam fiáveis, é necessário que certas condições sejam satisfeitas. Em primeiro lugar, todos os métodos de análise supõem aquíferos porosos homogêneos. Sempre que aparecem aquíferos fraturados, as soluções são complicadas e exigem o auxílio de simplificações que dificilmente ocorrem na prática, além de parâmetros cujos valores numéricos

não passam de mera suposição. Além disto, é necessário que o aquífero estudado seja de espessura constante e de extensão infinita.

No caso dos poços situados na Formação Serra Geral, onde o fluxo se dá através de fraturas, dificilmente o meio aquífero pode ser tomado como homogêneo. Existe grande variação de densidade de fraturas, bem como variações na espessura destas fraturas. Qualquer estudo de permeabilidade ou transmissividade em um poço, conduz a resultados que são válidos apenas pontualmente. Poços situados no mesmo município e localizados a pequena distância entre si, mostram valores de T totalmente diferentes (Vide tabela A). Frequentemente a literatura existente sobre análise de aquíferos fraturados, diz que para longos períodos de bombeamento, o aquífero pode ser tomado como homogêneo, visto que um grande volume do aquífero estaria envolvido na cessão de água para o bombeamento. No entanto, algumas análises efetuadas em rochas da Formação Serra Geral mostraram que muitas vezes os aquíferos possuem extensão limitada (Neuland, H; Dewes, R - 1979; Haussman - comunicação oral).

Richter e Lillich (1975) concluem que os valores de transmissividade são pontuais ou válidos somente para a área do rebaixamento, área esta muitas vezes difícil de delimitar. Consideram ainda que a transmissividade só é representativa para todo o aquífero, se for levado em conta a hidrogeologia global do aquífero, sua profundidade (que muitas vezes muda em

curtas distâncias), topografia e condições petrográficas.

Frequentemente, ao se efetuar um teste de bombeamento em rochas fraturadas, o nível d'água no poço estabiliza abaixo de algumas entradas de água que continuam contribuindo para a vazão do poço. Assim, tais entradas não estão afetadas pelo nível d'água no poço, ou seja, estão submetidas a um gradiente máximo definido pelo nível estático e pela profundidade em que elas se localizam. Em outras palavras, não é válida a Lei de Darcy, visto que a vazão do poço não é função apenas do gradiente e da permeabilidade do meio, mas também da vazão que as entradas d'água localizadas acima do nível dinâmico, possam fornecer.

Muitos poços se localizam em zonas onde existe fraturamento com direção preferencial. Nestas situações, existe um maior desenvolvimento do cone de depressão na direção deste fraturamento. Assim, as superfícies equipotenciais não são cilindros de seção circular e também não são concêntricos ao poço de bombeamento. Isto ocasiona diferentes gradientes em torno do poço, originando contribuições diferenciais de água em cada direção.

Todos estes fatos fazem com que o parâmetro "transmissividade" seja tomado com muita precaução quando se trata de estudar aquíferos fraturados.

Deve-se ainda considerar a possibilidade de ocorrer fluxo turbulento nas fraturas que alimentam o poço, principalmente aquelas que ficam suspensas acima do nível dinâmico.

A aplicação dos métodos de JACOB-THEIS E STERNBERG mostrou curvas $s' \times \log \frac{t + \tau}{t}$ com anomalias difíceis de serem interpretadas (vide ANEXO II). Tais anomalias poderiam ser originadas de dados mal coletados ou das próprias características dos poços analisados, que não se adaptam às condições exigidas para que seja possível uma interpretação das curvas pelos métodos clássicos.

A grande variação dos valores de transmissividade, aliada ao seu pequeno número, não permitiu o traçado de curvas de isotransmissividade no Estado, curvas estas que identificariam zonas de características semelhantes.

A utilização de curvas $s \times Q$ (curvas características) conduz a resultados mais reais do que o cálculo da transmissividade. Tais curvas permitem a obtenção de valores de vazão ótima de exploração de um poço, de forma rápida e barata. As figuras 10, 11, 12, 13 e 14, embora tenham sido traçadas a partir de poucos valores de vazão e rebaixamento, fornecem informações a cerca das características do poço, seu desenvolvimento e forma de exploração. Permitem ainda que se façam hipóteses a respeito do regime de fluxo nas proximidades do poço. Neuland (1980) destaca que o parâmetro vazão específica pode descrever as condições de vazão de um aquífero fraturado de maneira mais precisa, visto que ele já contém informações geológicas, ao passo que a transmissividade somente pode ser usada se forem obtidas informações geológicas adicionais. Destá

forma, o cálculo de vazões específicas e o traçado de curvas características, permite uma interpretação mais qualitativa do aquífero, embora as informações quantitativas sejam de menor expressão.

A formulação de teorias matemáticas, se é que isto é possível, a respeito do fluxo de água em aquíferos fraturados é muito difícil a partir de dados obtidos em poços de bombeamento, como é o caso deste trabalho, devido à grande heterogeneidade de um sistema fraturado. Diante disso, seria recomendável o estudo hidráulico do fluxo em meio fraturado a partir, talvez, de modelos simples, físicos ou matemáticos, que pudessem fornecer uma primeira aproximação, mesmo que grosseira, do comportamento da água nas proximidades de uma obra de captação. Essa primeira aproximação permitiria que fossem identificados aqueles parâmetros que possuem maior influência, que são mais significativos, no controle do fluxo. A medida que tais parâmetros fossem sendo isolados, seria possível ir sofisticando tais modelos, procurando uma aproximação maior com o meio aquífero real.

Em escala regional, as investigações deveriam englobar grandes áreas, empregando um grande número de parâmetros físicos, químicos, climatológicos, hidrodinâmicos, topográficos, etc..., utilizando métodos estatísticos a fim de obter informações globais que pudessem identificar zonas de características semelhantes, partindo depois para um estudo mais particular destas zonas. Neste estudo, poderiam ser utilizadas técnicas

cas que empregassem traçadores, com o objetivo de conhecer velocidades de fluxo, limites de aquíferos e talvez a permeabilidade média do meio.

Finalmente, os ensaios realizados em poços da Formação Serra Geral deveriam ser feitos à vazão variável na proporção 1,2,4,...(CUSTÓDIO et al, 1976 - pg. 829) a fim de traçar curvas s x Q , obtendo assim as vazões ótimas de exploração do poço.

VII- LISTA DE ABREVIações

- Q = vazão ($L^3 T^{-1}$);
- K = condutividade hidráulica ($L T^{-1}$);
- S_t = área da seção transversal (L^2);
- $\frac{\partial h}{\partial L}$ = gradiente hidráulico;
- r = distância do poço a um piezômetro (L);
- b = espessura do aquífero (L);
- s = rebaixamento (L);
- T = transmissividade ($L^2 T^{-1}$);
- S = coeficiente de armazenamento;
- $W(u)$ = função de poço de Theis;
- t = tempo (T);
- τ ou TB = tempo total de bombeamento (T);
- s' = descenso residual (L);
- V = volume total de água bombeada (L^3);
- τ^* = tempo total de bombeamento corrigido (T) - método de STERNBERG.

ANEXO I

PROGRAMA JACOB

Neste anexo são descritos os principais passos do Programa JACOB.

PROGRAMA JACOB

1. Objetivo.

O programa JACOB foi desenvolvido com o objetivo de calcular os valores de transmissividade (T) e do coeficiente de armazenamento (S) de um aquífero a partir de dados de testes de bombeamento. Além disso, o programa plota os dados de rebaixamento (DS) e tempo (t), sendo este último em escala logarítmica, tanto para rebaixamento como para recuperação.

2. Metodologia.

A curva plotada DS x log t tem a forma genérica de um "S" alongado (vide figura 1), e o método de JACOB consiste em aproximar a curva a uma reta. O coeficiente angular desta reta e a intersecção dela com o eixo "log t", que determina o valor " t_0 ", são utilizados para o cálculo do coeficiente de transmissividade, ou seja:

$$T = \frac{0,183 Q}{CA} \quad (1)$$

sendo:

$$Q = \text{vazão (L}^3 \text{ T}^{-1}\text{)}$$

CA= coeficiente angular da reta obtida

Após a obtenção de T é possível calcular o coeficiente de armazenamento (S), através da seguinte fórmula:

$$S = \frac{2,25/60 T t_0}{(RPI)^2}$$

ou

$$S = \frac{0,0375 T t_0}{(RPI)^2} \quad (2)$$

onde:

t_0 = ponto em que a reta intercepta o eixo "log t"

RPI = distância do poço de bombeamento ao piezômetro(L)

Tendo em vista que as unidades de transmissividade obtidas na equação 1 são m^2/h , é necessário que na equação 2, o numerador seja dividido por 60, visto que o valor " t_0 " é dado em minutos.

3. Programa.

As operações realizadas pelo programa JACOB para obter os valores de T e S, podem ser sintetizados nos seguintes passos:

- transformação dos valores de tempo para escala logarítmica e plotagem dos pontos (DS x log t).

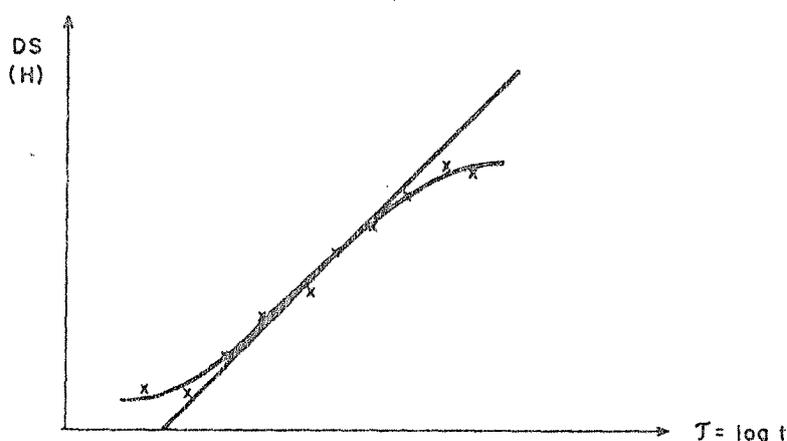


Fig. 1

- aproximação da curva dada pelos pontos plotados (Fig.1) a um polinômio do terceiro grau:

$$P(\tau) = a\tau^3 + b\tau^2 + c\tau + d \quad (3)$$

usando o método dos mínimos quadrados, ou seja:

$$S(a,b,c,d) = \sum_{i=1}^n [H_i - P(\tau_i)]^2 \rightarrow \text{mínimo} \quad (4)$$

A expressão (4) conduz à resolução do seguinte sistema de equações lineares:

$$a \sum \tau_i^6 + b \sum \tau_i^5 + c \sum \tau_i^4 + d \sum \tau_i^3 = \sum H_i \tau_i^3$$

$$a \sum \tau_i^5 + b \sum \tau_i^4 + c \sum \tau_i^3 + d \sum \tau_i^2 = \sum H_i \tau_i^2$$

(5)

$$a \sum \tau_i^4 + b \sum \tau_i^3 + c \sum \tau_i^2 + d \sum \tau_i = \sum H_i \tau_i$$

$$a \sum \tau_i^3 + b \sum \tau_i^2 + c \sum \tau_i + d n = \sum H_i$$

Resolvendo este sistema de equações lineares, obtêm-se os valores de a,b,c,d, ficando definido o polinômio $P(\tau)$;

- determinação da reta tangente a $P(\tau)$ no ponto de inflexão (Fig.2).

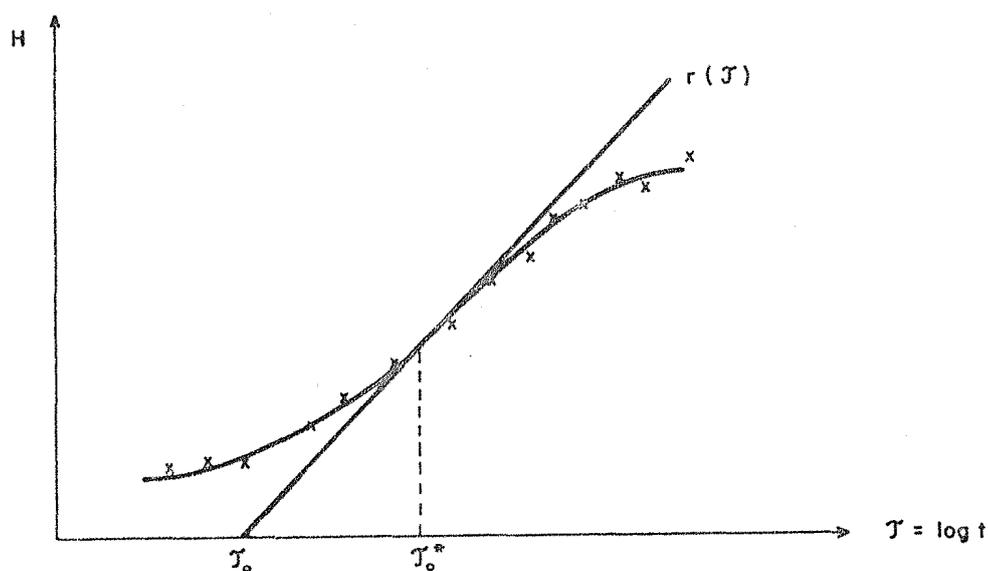


Fig. 2

O ponto de inflexão do polinômio corresponderá ao valor $\tau_0^* = -\frac{b}{3a}$, definindo então, que o coeficiente angular da reta r_τ , será igual a:

$$\alpha = 3a \tau_0^{*2} - 2b \tau_0^* + c$$

O ponto de intersecção da reta r_τ com o eixo das abcissas de fine o valor de τ_0 , igual a:

$$\tau_0 = \tau_0^* - \frac{P(\tau_0^*)}{\alpha}$$

- a reta (r_τ) tangente dá uma idéia da tendência da curva, porém ela não pode ser tomada como a melhor aproximação dos pontos. É sabido que os melhores dados dos testes de bombeamento correspondem aos pontos médios do ensaio. Sendo assim, procurou-se obter uma reta de aproximação que cumprisse as seguintes condições:

- fosse uma aproximação dos pontos médios do ensaio;
- refletisse a tendência da curva.

Desta forma, procura-se uma reta que seja aproximação linear, pelo método dos mínimos quadrados, da curva, não considerando os pontos extremos que mais se afastam da tendência geral. Sendo assim, é criado um algoritmo que calcula, pelo método dos mínimos quadrados, todas as possíveis retas de apro-

ximação da curva, eliminando sucessivamente os pontos de ambos os extremos, até um mínimo de pontos indicado. Dentro da família de retas assim obtida, é escolhida aquela cuja pendente seja a mais próxima possível à pendente da tangente ao ponto de inflexão (r_{τ}). A partir desta reta são calculados os coeficientes de transmissividade (T) e armazenamento de acordo com as equações 1 e 2.

4. Programa Principal

- a) Leitura de dados e impressão dos mesmos.
- b) Com os dados referentes ao rebaixamento e colocados os dados de tempo em escala logarítmica, chama a subrotina RESOL.
- c) Imprime os resultados de T e S obtidos com os dados de rebaixamento.
- d) Os procedimentos b e c são repetidos também para a recuperação.

- Subrotina RESOL

Chama a subrotina CALC 1, chama a subrotina CALC 2 e chama a subrotina PLOT. Calcula T e S.

- Subrotina CALC 1

Calcula os coeficientes do polinômio $P(\tau)$. Para isso, resolve o sistema de equações lineares (5) usando o mé-

todo de GAUSS, codificado na subrotina SIMQ.

- Subrotina CALC 2

Calcula a família de retas definida anteriormente. Para o cálculo destas retas, usa-se a subrotina MQL.

- Subrotina MQL

Aproxima a curva a uma reta pelo método dos mínimos quadrados.

- Subrotina PLOTA

Plota os dados, indicando os pontos considerados no traçado da reta definitiva.

- Subrotina SIMQ

Resolve o sistema de equações lineares pelo método de GAUSS.

ANEXO II

CURVAS $s \times \log t$

$$s' \times \log \frac{t + \tau}{t}.$$

$s \times t$

Neste anexo são apresentadas algumas curvas obtidas com a aplicação do Programa JACOB.

Aparecem listados os dados de tempo e nível dinâmico, curva $DS \times \log t$ (rebaixamento), curva $DS' \times \log \frac{t + \tau}{t}$ (recuperação) relativos ao método de JACOB e dados de tempo e nível dinâmico relativos ao método de STERNBERG, bem como a curva $DS \times \log \frac{t + \tau}{t}$ (recuperação). Aparecem ainda curvas de nível dinâmico x tempo que permitem observar a evolução do nível d'água no poço ao longo do bombeamento e da recuperação. Pode-se notar em algumas destas curvas a variação da vazão ao longo dos testes.

Os poços G498 EN 7, G653 DVB 6 e G464 SEB 3 apresentam curvas de rebaixamento impossíveis de interpretar. O poço G453 BVB 6 apresenta também uma curva de recuperação onde não é possível obter qualquer resultado. As curvas de nível dinâmico x tempo destes poços mostram anomalias tanto no rebaixamento como na recuperação. Tais anomalias podem ser devidas ou a dados mal coletados ou às próprias características do meio aquífero.

Todas as curvas são de poços localizados em rochas da Formação Serra Geral, ou seja, em aquíferos cujo fluxo se dá através de fraturas.

TESTE DE BOMBAMENTO

FOLHA 36

CODIGO DO POCO: G-611-BV8-04 LOCALIZACAO: BUA VISTA BURICA LITOLOGIA DO AQUIFERO: BASALTO DATA: 15/10/75

VAZAO(Q)= 2.25 l3/m DIST.AO PIEZ.(RPI)= 0.00 M NIVEL ESTATICO(HE)= 1.43 M TEMPO DE BOMB.(TB)= 1800.0 MIN

MEDICAO	TEMPO(MIN)	NIVEL DINAMICO DO POCO PIEZ.(M)	VARIACAO DO NIVEL DINAMICO(M)
1	0.0	1.43	0.00
2	1.0	4.23	2.80
3	5.0	10.07	8.64
4	10.0	12.86	11.43
5	20.0	19.78	18.35
6	40.0	33.28	31.85
7	60.0	48.52	47.09
8	120.0	52.52	51.09
9	180.0	54.93	53.50
10	240.0	57.02	55.59
11	300.0	58.36	56.93
12	360.0	59.89	58.46
13	420.0	61.49	60.06
14	480.0	63.01	62.18
15	540.0	64.43	63.50
16	600.0	65.93	64.50
17	660.0	67.07	65.64
18	720.0	68.22	66.79
19	780.0	69.04	68.21
20	840.0	70.57	69.14
21	900.0	71.54	70.11
22	960.0	72.55	71.12
23	1020.0	73.22	71.79
24	1080.0	73.65	72.22
25	1140.0	73.76	72.33
26	1200.0	73.85	72.42
27	1260.0	73.85	72.42
28	1320.0	73.89	72.46
29	1380.0	73.89	72.46
30	1440.0	73.89	72.46
31	1500.0	73.92	72.49
32	1560.0	73.93	72.50
33	1620.0	73.93	72.50
34	1680.0	73.93	72.50
35	1740.0	73.93	72.50
36	1800.0	73.93	72.50
37	1800.5	67.85	66.42
38	1801.0	63.33	61.90
39	1801.5	59.56	58.13
40	1802.0	58.87	57.44
41	1803.0	57.48	56.05
42	1804.0	56.29	54.86
43	1806.0	54.97	53.54
44	1808.0	52.16	50.73
45	1812.0	40.25	44.82
46	1816.0	41.21	39.78
47	1824.0	31.57	30.14
48	1832.0	20.86	19.43
49	1840.0	14.79	13.36
50	1860.0	8.86	7.43
51	1880.0	6.76	5.33
52	1900.0	5.61	4.18
53	1920.0	4.96	3.53
54	1950.0	3.76	2.33
55	1980.0	2.77	1.34

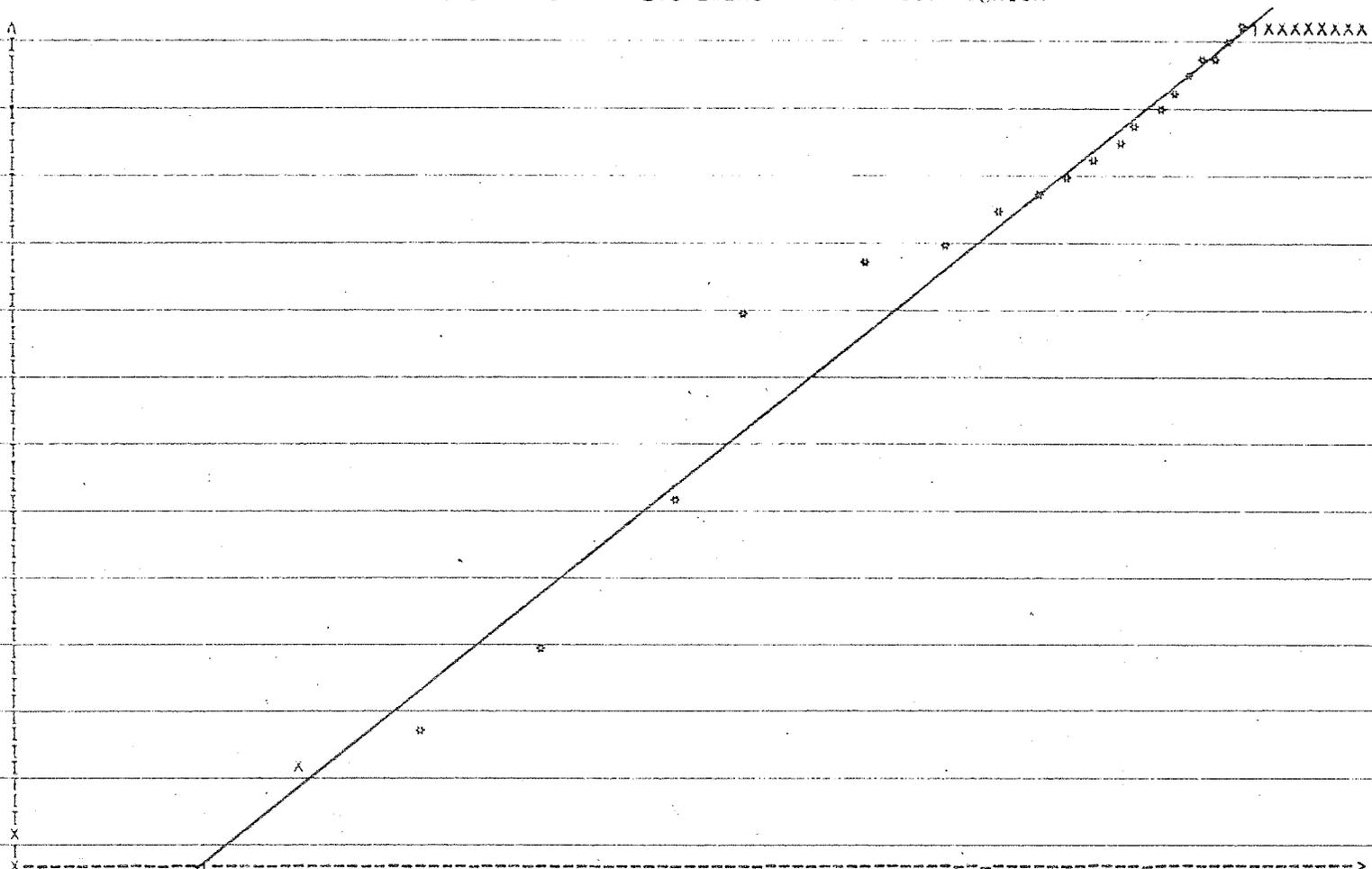
TESTE DE BOMBAMENTO

- METODO DE JACOB -

- REBAIXAMENTO -

POCO : G 611 BVB 04 LOCALIZACAO : BOA VISTA BURICA

DS A



T0 = 3.41 MIN COEF. ANG. = 24.64 NE = 3 ND = 14

LOG(t)

4.92 27.90

TRANSMISSIBILIDADE (T1) = 0.02 M2/H

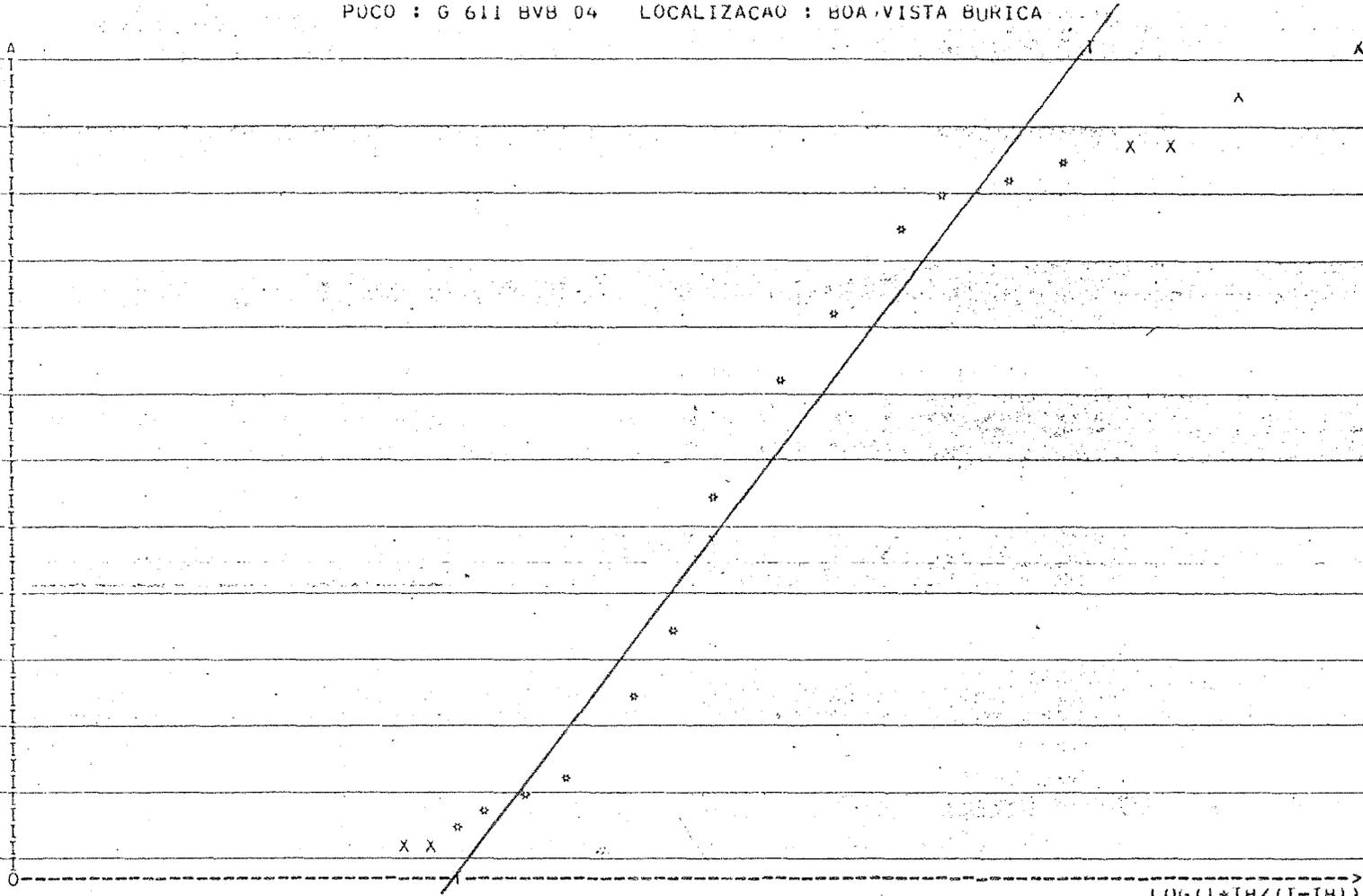
VAZAO ESPECIFICA (VE) = 0.03 M2/H

TESTE DE BOMBAMENTO
- METODO DE JACOB -

- RECUPERACAO -

POCO : G 611 BVB 04 LOCALIZACAO : BOA VISTA BURICA

DS A



T0 = 23.30 MIN COEF. ANG. = 34.29 NE = 4 ND = 2

LOG(1+T8/(T-T8))

22.70 34.43

TRANSMISSIBILIDADE (T2) = 0.01 M2/H

T1 - T2 = 0.00 M2/H

TESTE DE BOMBAMENTO

FOLHA 39

CODIGO DO POÇO: G-653-BVB-06 LOCALIZACAO: BOA-VISTA-BURICA LITOLOGIA DO AQUIFERO: BASALTO DATA: 11/ 8/76
 VAZAO(Q)= 10.00 M3/H DIST.AO PIEZ.(RPI)= 0.00 M NIVEL ESTATICO(HS)= 29.89 m TEMPO DE BOMB.(TB)= 1800.0 MIN

MEDICAO	TEMPO(MIN)	NIVEL DINAMICO DO POÇO PIEZ.(M)	VARIACAO DO NIVEL DINAMICO(M)
1	0.0	29.89	0.00
2	1.0	31.47	1.58
3	5.0	32.70	2.81
4	10.0	33.34	3.45
5	20.0	34.41	4.52
6	40.0	35.61	5.72
7	60.0	36.26	6.37
8	120.0	36.83	6.94
9	180.0	37.07	7.18
10	240.0	37.15	7.26
11	300.0	37.15	7.26
12	360.0	37.20	7.31
13	420.0	37.27	7.38
14	480.0	37.30	7.41
15	540.0	37.37	7.48
16	600.0	37.45	7.56
17	660.0	37.49	7.60
18	720.0	37.51	7.62
19	780.0	37.52	7.63
20	840.0	37.55	7.67
21	900.0	37.59	7.70
22	960.0	37.61	7.72
23	1020.0	37.64	7.75
24	1080.0	37.68	7.79
25	1140.0	37.68	7.79
26	1200.0	37.68	7.79
27	1260.0	43.64	13.75
28	1320.0	43.64	13.75
29	1380.0	43.64	13.75
30	1440.0	58.88	28.99
31	1500.0	60.36	30.47
32	1560.0	60.36	30.47
33	1620.0	60.36	30.47
34	1680.0	60.36	30.47
35	1740.0	60.36	30.47
36	1800.0	60.36	30.47
37	1800.5	49.59	19.70
38	1801.0	45.03	15.14
39	1802.0	43.48	13.59
40	1804.0	43.36	13.47
41	1806.0	43.32	13.43
42	1808.0	43.21	13.32
43	1812.0	43.08	13.19
44	1816.0	42.78	12.89
45	1820.0	42.48	12.59
46	1825.0	42.28	12.39
47	1830.0	41.95	12.06
48	1840.0	41.56	11.67
49	1860.0	40.78	10.89
50	1880.0	39.36	9.47
51	1900.0	37.92	8.03
52	1920.0	36.46	6.57
53	1950.0	35.13	5.24
54	1980.0	33.61	3.72
55	2040.0	32.73	2.84
56	2100.0	32.09	2.20

TESTE DE BOMBAMENTO
- METODO DE JACOB -

FOLHA

-REBAIXAMENTO-

POCO : G 653 BVB 06 LOCALIZACAO : BOA VISTA BURICA

DS A

XXXX

X

XX

I

X

X

X

X

X

X

X

LOG (t) →

VAZAO ESPECIFICATIVA = 0.33 M27H

TESTE DE BOMBAMENTO

- METODO DE JACOB -

- RECUPERACAO -

POCO : G 653 BVB 06 LOCALIZACAO : BOA VISTA BURICA

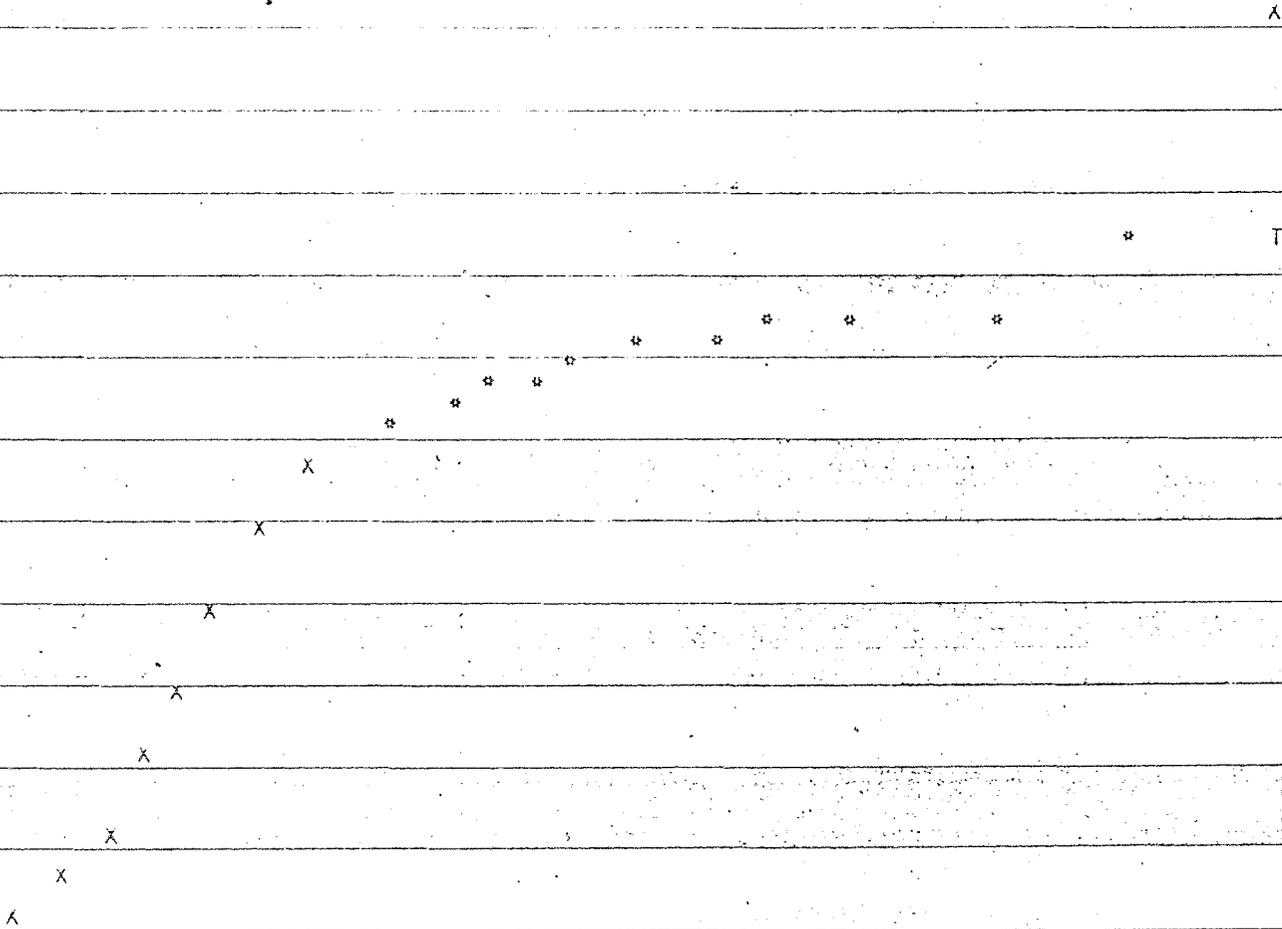
DS A

X

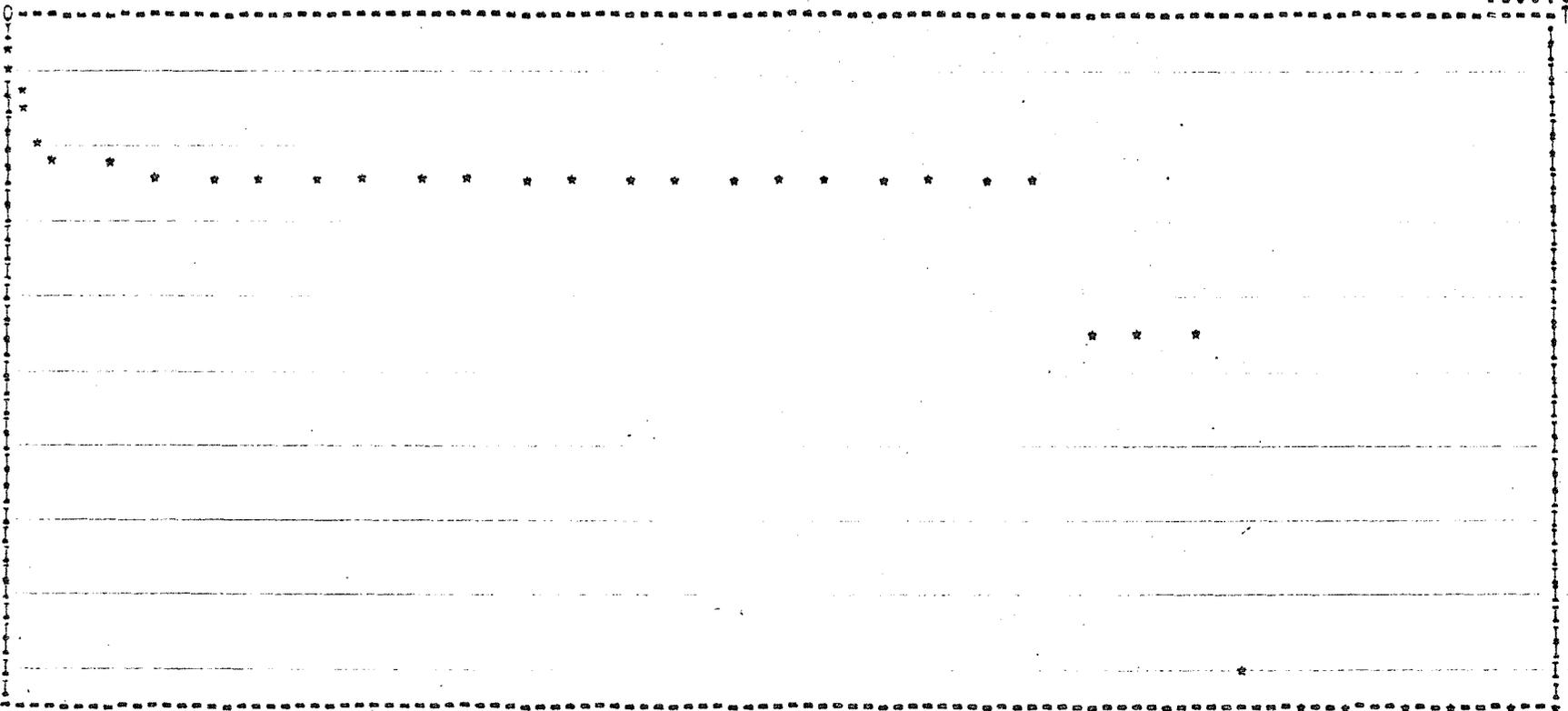
T

0

LOG(1+TB/(T-TB))



1800.0

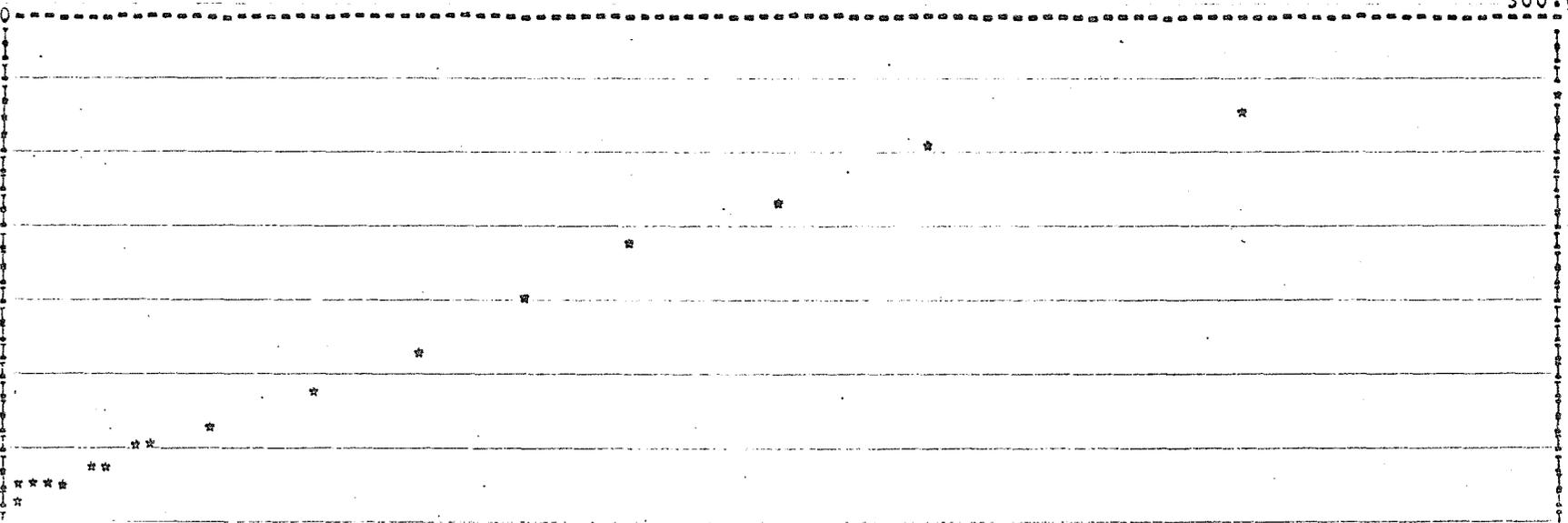


0.00	0.00
1.50	0.00
2.00	0.00
3.00	0.00
4.00	0.00
5.00	0.00
6.00	0.00
7.00	0.00
8.00	0.00
9.00	0.00
10.00	0.00
11.00	0.00
12.00	0.00
13.00	0.00
14.00	0.00
15.00	0.00
16.00	0.00
17.00	0.00
18.00	0.00
19.00	0.00
20.00	0.00
21.00	0.00
22.00	0.00
23.00	0.00
24.00	0.00
25.00	0.00
26.00	0.00
27.00	0.00
28.00	0.00
29.00	0.00
30.00	0.00
31.00	0.00
32.00	0.00
33.00	0.00
34.00	0.00
35.00	0.00
36.00	0.00
37.00	0.00
38.00	0.00
39.00	0.00
40.00	0.00
41.00	0.00
42.00	0.00
43.00	0.00
44.00	0.00
45.00	0.00
46.00	0.00
47.00	0.00
48.00	0.00
49.00	0.00
50.00	0.00
51.00	0.00
52.00	0.00
53.00	0.00
54.00	0.00
55.00	0.00
56.00	0.00
57.00	0.00
58.00	0.00
59.00	0.00
60.00	0.00
61.00	0.00
62.00	0.00
63.00	0.00
64.00	0.00
65.00	0.00
66.00	0.00
67.00	0.00
68.00	0.00
69.00	0.00
70.00	0.00
71.00	0.00
72.00	0.00
73.00	0.00
74.00	0.00
75.00	0.00
76.00	0.00
77.00	0.00
78.00	0.00
79.00	0.00
80.00	0.00
81.00	0.00
82.00	0.00
83.00	0.00
84.00	0.00
85.00	0.00
86.00	0.00
87.00	0.00
88.00	0.00
89.00	0.00
90.00	0.00
91.00	0.00
92.00	0.00
93.00	0.00
94.00	0.00
95.00	0.00
96.00	0.00
97.00	0.00
98.00	0.00
99.00	0.00
100.00	0.00
101.00	0.00
102.00	0.00
103.00	0.00
104.00	0.00
105.00	0.00
106.00	0.00
107.00	0.00
108.00	0.00
109.00	0.00
110.00	0.00
111.00	0.00
112.00	0.00
113.00	0.00
114.00	0.00
115.00	0.00
116.00	0.00
117.00	0.00
118.00	0.00
119.00	0.00
120.00	0.00
121.00	0.00
122.00	0.00
123.00	0.00
124.00	0.00
125.00	0.00
126.00	0.00
127.00	0.00
128.00	0.00
129.00	0.00
130.00	0.00
131.00	0.00
132.00	0.00
133.00	0.00
134.00	0.00
135.00	0.00
136.00	0.00
137.00	0.00
138.00	0.00
139.00	0.00
140.00	0.00
141.00	0.00
142.00	0.00
143.00	0.00
144.00	0.00
145.00	0.00
146.00	0.00
147.00	0.00
148.00	0.00
149.00	0.00
150.00	0.00
151.00	0.00
152.00	0.00
153.00	0.00
154.00	0.00
155.00	0.00
156.00	0.00
157.00	0.00
158.00	0.00
159.00	0.00
160.00	0.00
161.00	0.00
162.00	0.00
163.00	0.00
164.00	0.00
165.00	0.00
166.00	0.00
167.00	0.00
168.00	0.00
169.00	0.00
170.00	0.00
171.00	0.00
172.00	0.00
173.00	0.00
174.00	0.00
175.00	0.00
176.00	0.00
177.00	0.00
178.00	0.00
179.00	0.00
180.00	0.00

30.47 DS

G 653 BVB 06 BDA VISTA BURIGA

300.0



T	DS
0.5	19.70
1.0	15.14
2.0	13.59
4.0	13.47
6.0	13.43
8.0	13.32
12.0	13.19
16.0	13.00
20.0	12.80
25.0	12.60
30.0	12.46
40.0	12.27
60.0	12.00
80.0	11.80
100.0	11.67
120.0	11.59
150.0	11.50
180.0	11.43
240.0	11.32
300.0	11.19

TESTE DE BOMBAMENTO

FOLHA 75

CODIGO DO POÇO: G 498 EN 07 LOCALIZACAO: ENCANTADO LITOLOGIA DO AQUIFERO: BASALTO DATA: 13/11/73
 VAZAO(Q)= 30.00 M3/H DIST.AO PIEZ.(RPI)= 0.00 M NIVEL ESTATICO(HS)= 9.17 M TEMPO DE BOMB.(TB)= 1200.0 MIN

MEDICAO	TEMPO(MIN)	NIVEL DINAMICO DO POÇO PIEZ.(M)	VARIACAO DO NIVEL DINAMICO(M)
1	0.0	9.17	0.00
2	1.0	13.95	4.78
3	5.0	13.96	4.79
4	10.0	14.05	4.88
5	20.0	14.49	5.32
6	40.0	15.13	5.96
7	60.0	15.45	6.28
8	120.0	15.86	6.69
9	180.0	16.08	6.91
10	240.0	16.20	7.03
11	300.0	16.27	7.10
12	360.0	16.36	7.19
13	420.0	16.46	7.29
14	480.0	16.55	7.38
15	540.0	16.55	7.38
16	600.0	21.94	12.77
17	660.0	21.94	12.77
18	720.0	33.49	24.32
19	780.0	33.49	24.32
20	840.0	33.49	24.32
21	900.0	33.49	24.32
22	960.0	33.49	24.32
23	1020.0	33.49	24.32
24	1080.0	33.49	24.32
25	1140.0	33.49	24.32
26	1200.0	34.09	24.92
27	1200.5	22.16	12.99
28	1201.0	21.07	11.90
29	1202.0	19.20	10.03
30	1203.0	17.88	8.71
31	1204.0	16.77	7.60
32	1205.0	16.28	7.11
33	1206.0	15.75	6.58
34	1207.0	15.37	6.20
35	1208.0	15.05	5.88
36	1209.0	14.75	5.58
37	1210.0	14.49	5.32
38	1215.0	13.58	4.41
39	1220.0	13.02	3.85
40	1230.0	12.24	3.07
41	1240.0	11.81	2.64
42	1250.0	11.47	2.30
43	1260.0	11.27	2.10
44	1280.0	11.10	1.93
45	1300.0	11.02	1.85
46	1320.0	10.97	1.80

TESTE DE BOMBEAMENTO

- METODO DE JACOB -

- REBAIXAMENTO -

POCO : G 498 EN 07 LOCALIZACAO : ENCANTADO

DS A

XXXXXXXXA

XX

* * * * *

* *

* *

*

*

*

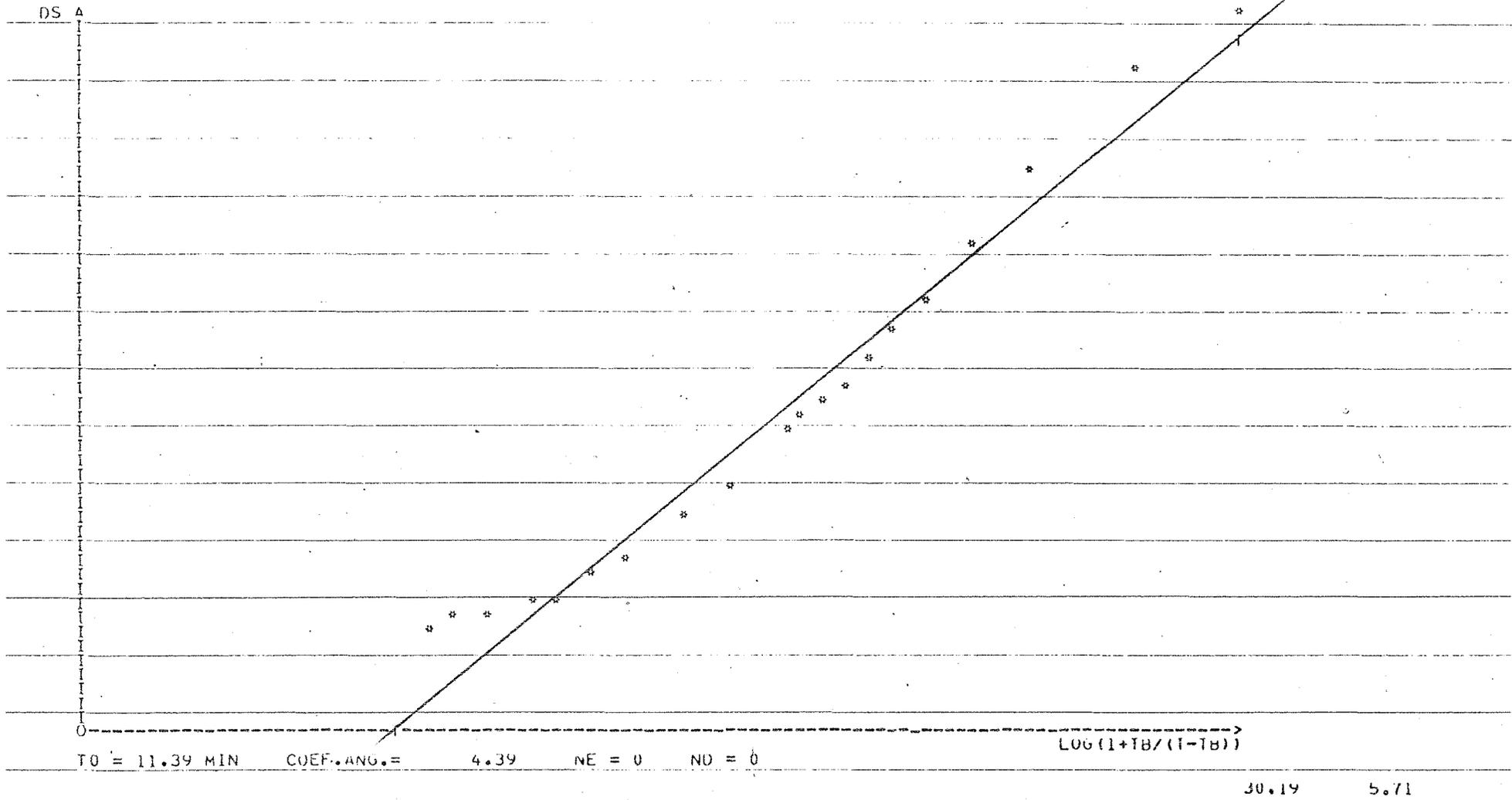
X

LOG (I)

VAZAO ESPECIFICA (VE) = 1.20 M²/H

TESTE DE BOMBEAMENTO
 - METODO DE JACOB -
 - RECUPERACAO -

POCO : 6 498 EN 07 LOCALIZACAO : ENCANTADO



TRANSMISSIBILIDADE (T2) = 1.25 M2/H

T1 - T2 = -1.25 M2/H

TESTE DE BOMBAMENTO

FOLHA 35

CODIGO DO POCO: G 498 EN 07 LOCALIZACAO: ENCANTADO LITOLOGIA DO AQUIFERO: BASALTO DATA: 13/11/73
 VAZAO(Q)= 27.33 M3/H DIST.AO PIEZ.(RPI)= 0.00 M NIVEL ESTATICO(HS)= 9.17 M TEMPO DE BOMB.(TB)= 1017.0 MIN

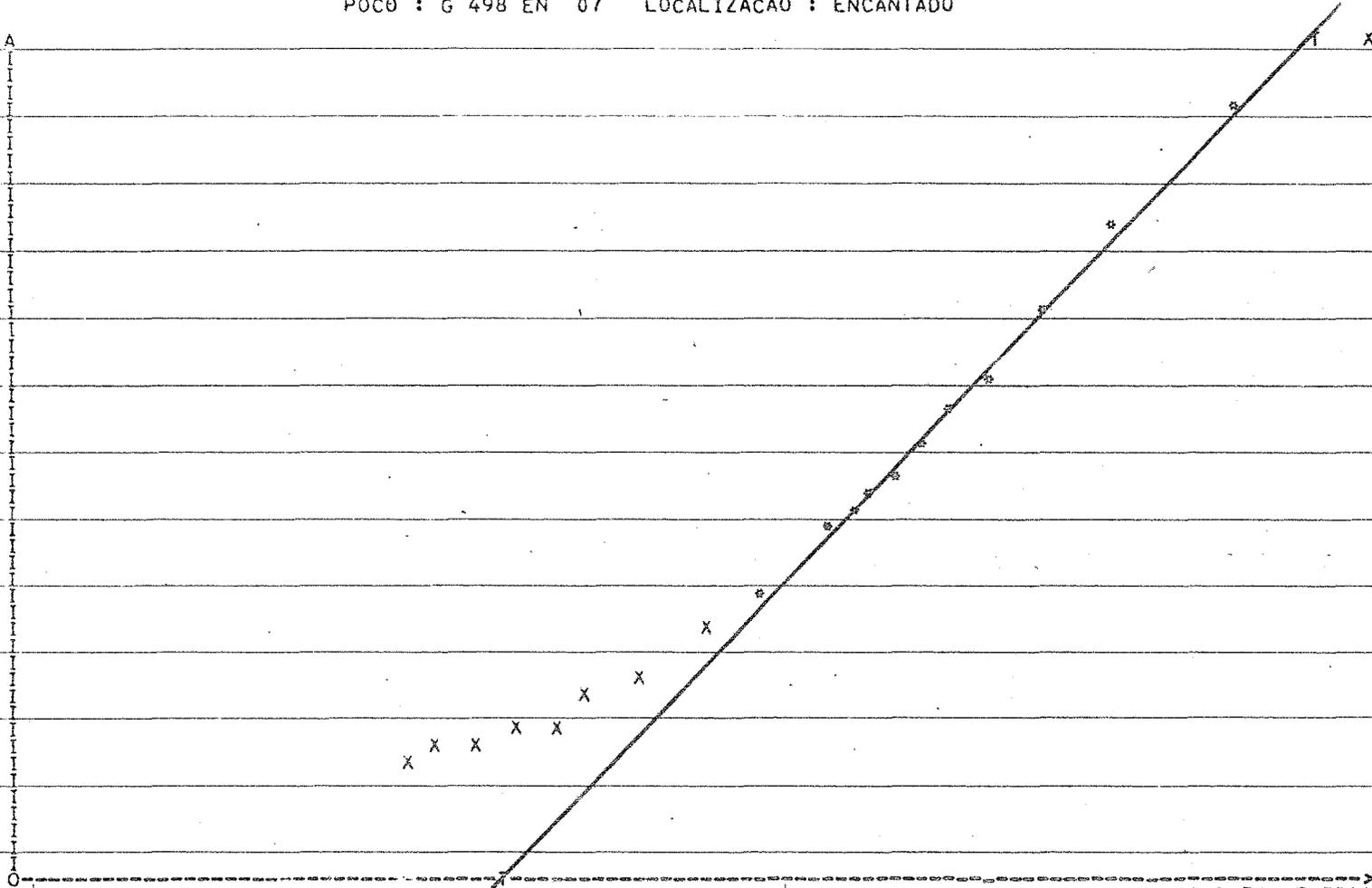
MEDICAO	TEMPO(MIN)	NIVEL DINAMICO DO POCO PIEZ.(M)	VARIACAO DO NIVEL DINAMICO(M)
1	1017.5	22.16	12.99
2	1018.0	21.07	11.90
3	1019.0	19.20	10.03
4	1020.0	17.88	8.71
5	1021.0	16.77	7.60
6	1022.0	16.28	7.11
7	1023.0	15.78	6.61
8	1024.0	15.37	6.20
9	1025.0	15.05	5.88
10	1026.0	14.75	5.58
11	1027.0	14.49	5.32
12	1032.0	13.58	4.41
13	1037.0	13.02	3.85
14	1047.0	12.24	3.07
15	1057.0	11.81	2.64
16	1067.0	11.47	2.30
17	1077.0	11.27	2.10
18	1097.0	11.10	1.93
19	1117.0	11.02	1.85
20	1137.0	10.99	1.80

TESTE DE BOMBEAMENTO
- METODO DE STERNBERG -

- RECUPERACAO -

POCO : G 498 EN 07 LOCALIZACAO : ENCANTADO

DS A



T0 = 24.52 MIN COEF. ANG. = 5.70 NE = 1 ND = 8

LOG(1+TB/(T-TB))

25.04 5.71

TRANSMISSIBILIDADE (T2) = 0.88 M2/H

T1 - T2 = -0.88 M2/H

T E S T E D E B O M B E A M E N T O

FOLHA 10

CODIGO DO POCO: G 464 SEB 03 LOCALIZACAO: SEBERI

LITOLOGIA DO AQUIFERO: BASALTO

DATA: 1/ 2/73

VAZAO(Q)= 13.20 M3/H DIST.AO PIEZ.(RPI)= 0.00 M

NIVEL ESTATICO(HS)= 87.73 M

TEMPO DE BOMB.(TB)= 600.0 MIN

MEDICAO	TEMPO(MIN)	NIVEL DINAMICO DO POCO PIEZ.(M)	VARIACAO DO NIVEL DINAMICO(M)
1	0.0	87.73	0.00
2	1.0	88.42	0.69
3	5.0	88.98	1.25
4	10.0	89.45	1.72
5	20.0	89.95	2.22
6	40.0	90.22	2.49
7	60.0	90.28	2.55
8	120.0	90.39	2.66
9	180.0	90.46	2.73
10	240.0	90.46	2.73
11	300.0	90.46	2.73
12	360.0	91.38	3.65
13	420.0	91.38	3.65
14	480.0	91.38	3.65
15	540.0	91.38	3.65
16	600.0	91.38	3.65
17	600.5	90.83	3.10
18	601.0	90.47	2.74
19	602.0	89.78	2.05
20	603.0	89.48	1.75
21	604.0	89.29	1.56
22	605.0	89.19	1.46
23	606.0	89.09	1.36
24	607.0	89.00	1.27
25	608.0	88.85	1.12
26	609.0	88.75	1.02
27	610.0	88.67	0.94
28	615.0	88.39	0.66
29	620.0	88.25	0.52
30	630.0	87.99	0.26
31	640.0	87.82	0.09
32	650.0	87.71	0.02
33	660.0	87.63	0.10

- METODO DE JACOB -

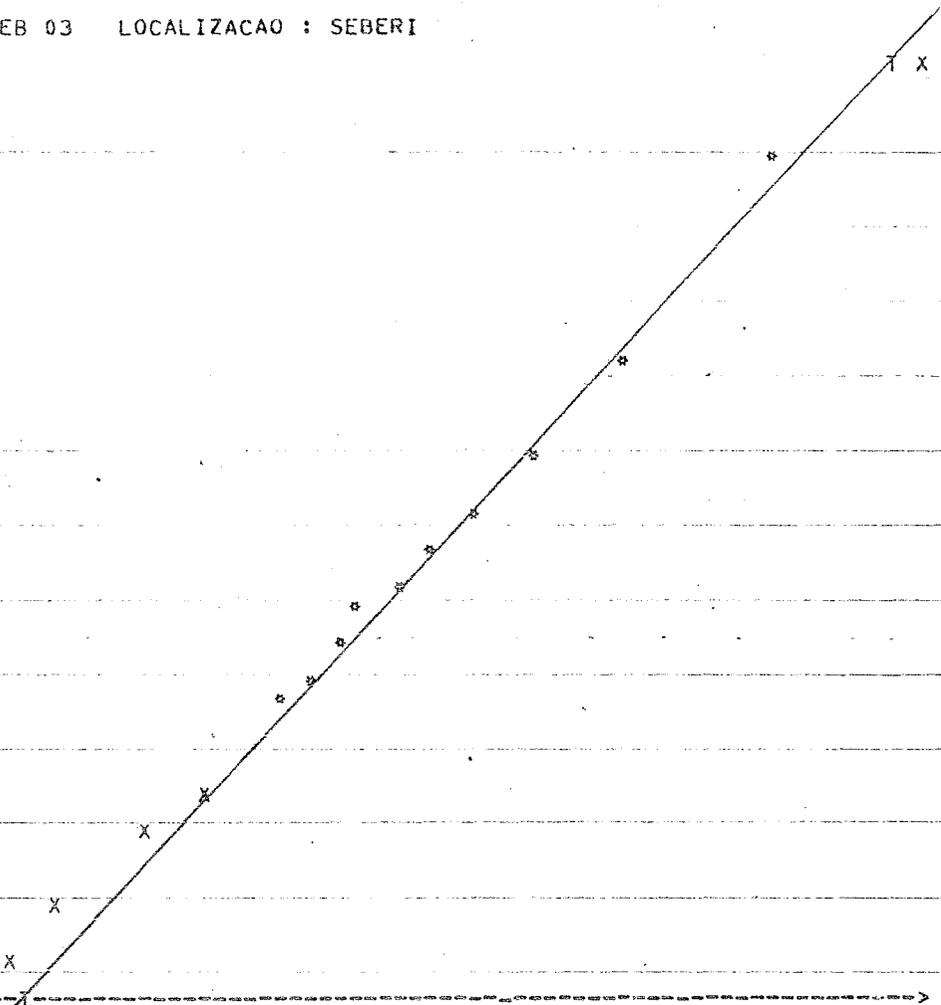
- RECUPERACAO -

POCO : G 464 SEB 03 LOCALIZACAO : SEBERI

DS A

X

X



T0 = 26.25 MIN COEF. ANG. = 1.48 NE = 1 ND = 6

LOG(1+TB/(T-TB))

27.26 1.49

TRANSMISSIBILIDADE(T2) = 1.63 M2/H

T1 - T2 = -1.63 M2/H

TESTE DE BOMBAMENTO

FOLHA 80

CODIGO DO POCO: G 464 SEB 03 LOCALIZACAO: SEBERI LITOLOGIA DO AQUIFERO: BASALTO DATA: 17/2/73
 VAZAO(Q)= 12.69 M3/H DIST.AO PIEZ.(RPI)= 0.00 M NIVEL ESTATICO(HS)= 87.63 M TEMPO DE BOMB.(TB)= 684.0 MIN

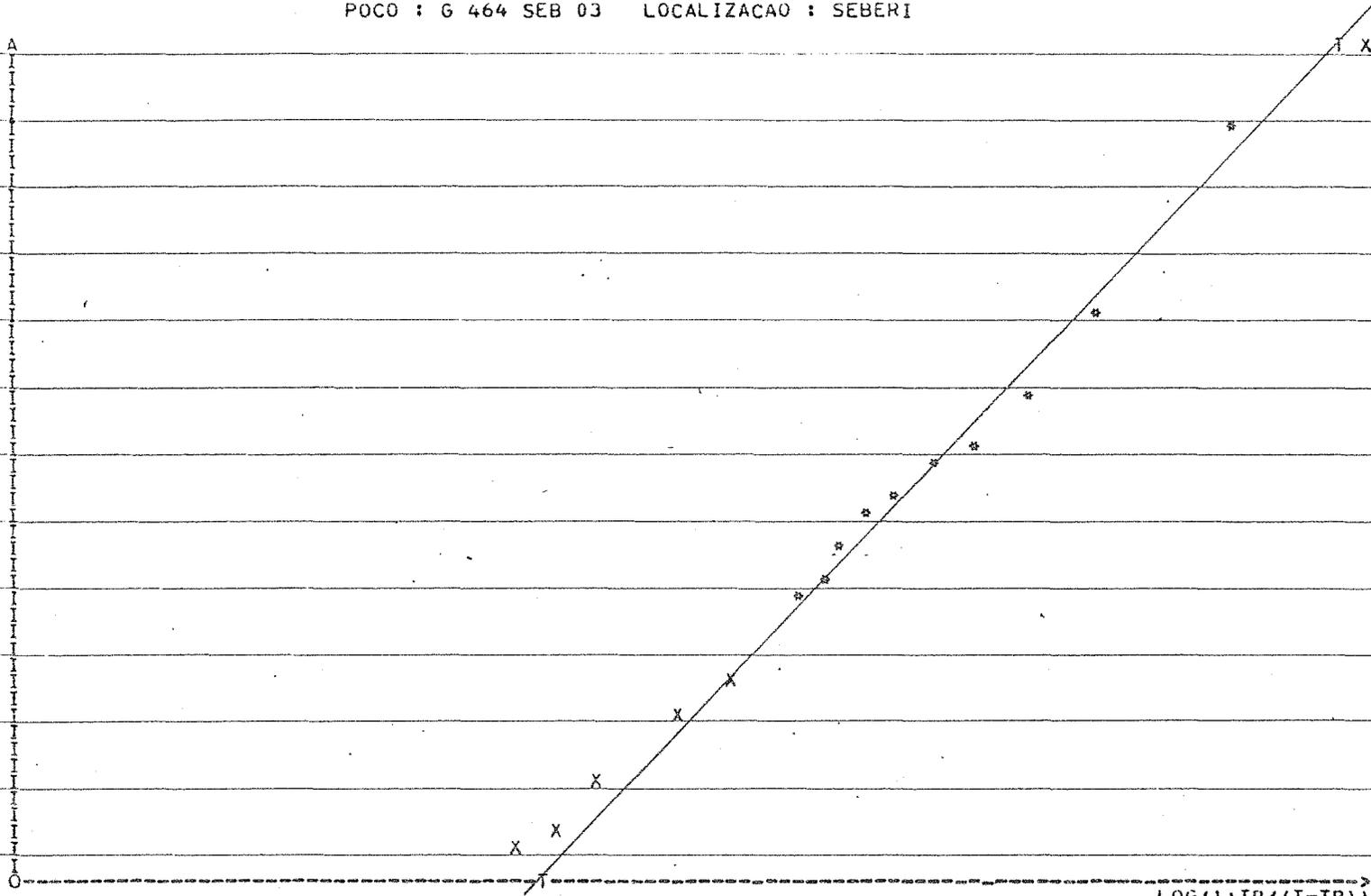
MEDICAO	TEMPO(MIN)	NIVEL DINAMICO DO POCO PIEZ.(M)	VARIACAO DO NIVEL DINAMICO(M)
1	684.5	90.83	3.20
2	685.0	90.47	2.84
3	686.0	89.78	2.15
4	687.0	89.48	1.85
5	688.0	89.29	1.66
6	689.0	89.19	1.56
7	690.0	89.09	1.46
8	691.0	89.00	1.37
9	692.0	88.85	1.22
10	693.0	88.75	1.12
11	694.0	88.67	1.04
12	699.0	88.39	0.76
13	704.0	88.25	0.62
14	714.0	87.99	0.36
15	724.0	87.82	0.19
16	734.0	87.71	0.08

TESTE DE BOMBEAMENTO
 - METODO DE STERNBERG -

- RECUPERACAO -

POCO : G 464 SEB 03 LOCALIZACAO : SEBERI

DS A



$T_0 = 26.06 \text{ MIN}$ $\text{COEF. ANG.} = 1.48$ $NE = 1$ $ND = 5$

$\text{LOG}(1+TB/(T-TB))$

27.13

1.49

TRANSMISSIBILIDADE (T2) = 1.57 M2/H

T1 - T2 = 1.57 M2/H

G 404 SEB 03 SEBERI

600.0

T	DS
0	00.00
1	00.00
2	00.00
3	00.00
4	00.00
5	00.00
6	00.00
7	00.00
8	00.00
9	00.00
10	00.00
11	00.00
12	00.00
13	00.00
14	00.00
15	00.00
16	00.00
17	00.00
18	00.00
19	00.00
20	00.00
21	00.00
22	00.00
23	00.00
24	00.00
25	00.00
26	00.00
27	00.00
28	00.00
29	00.00
30	00.00
31	00.00
32	00.00
33	00.00
34	00.00
35	00.00
36	00.00
37	00.00
38	00.00
39	00.00
40	00.00
41	00.00
42	00.00
43	00.00
44	00.00
45	00.00
46	00.00
47	00.00
48	00.00
49	00.00
50	00.00
51	00.00
52	00.00
53	00.00
54	00.00
55	00.00
56	00.00
57	00.00
58	00.00
59	00.00
60	00.00

3.65 DS

G 404 SEB 03 SEBERI

60.0

T	DS
0	00.00
1	00.00
2	00.00
3	00.00
4	00.00
5	00.00
6	00.00
7	00.00
8	00.00
9	00.00
10	00.00
11	00.00
12	00.00
13	00.00
14	00.00
15	00.00
16	00.00
17	00.00
18	00.00
19	00.00
20	00.00
21	00.00
22	00.00
23	00.00
24	00.00
25	00.00
26	00.00
27	00.00
28	00.00
29	00.00
30	00.00
31	00.00
32	00.00
33	00.00
34	00.00
35	00.00
36	00.00
37	00.00
38	00.00
39	00.00
40	00.00
41	00.00
42	00.00
43	00.00
44	00.00
45	00.00
46	00.00
47	00.00
48	00.00
49	00.00
50	00.00
51	00.00
52	00.00
53	00.00
54	00.00
55	00.00
56	00.00
57	00.00
58	00.00
59	00.00
60	00.00

TABELA A

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
ALEGRETE	G 151 AG 2	8,58	23,65	3,5	1,53	52,80	1,36	48,49	52,80	39,6
ALEGRETE	G 241 AG 4	0,03	13,9	1,33	0,51	18,4	-	-	-	-
ALEGRETE	G 317 AG 6	11,88	49,88	0,1	0,04	3,8	0,06	3,56	10,8	3,3
ALEGRETE	G 747 AG 11	28,68	105,55	0,48	0,19	37,5	-	-	-	-
ALPESTRE	G 658 ALP 6	26,60	29,98	2,01	3,6	6,80	-	8,2	10,77	3,8
ALVORADA	18 SM 1	2,65	18,31	0,55	0,33	8,6	-	-	-	-
ANTONIO PRADO	G 428 AP 7	0,39	17,6	2,69	0,04	45,7	0,04	46,93	60,92	46,60
ARROIO DO TIGRE	G 743 AT 3	21,99	64,77	0,37	0,27	16,0	0,25	14,84	16,36	4,5
ARVOREZINHA	G 689 AR 5	5,88	61,45	0,09	0,07	5,5	0,06	6,22	7,93	3,89
BARRAÇÃO	G 739 BAR 2	1,64	18,01	0,67	0,78/0,30	11,00	0,29	10,65	11,5	3,3
BARROS CASSAL	G 631 BCA 5	6,9	42,16	0,11	0,06	4,0	-	-	-	-
BOA VISTA BURICA	G 611 BVB 4	1,43	73,93	0,3	0,2/0,1	2,25	-	-	-	-

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
BOA VISTA BURICA	G 653 BVB 6	29,89	60,36	0,33	-	10,0	-	7,69	10,0	5,48
BOM JESUS	G 543 BJ 1	0,41	28,78	0,81	0,5	24,0	0,34	23,60	54,55	23,07
BOSSOROCA	G 730 BOS 2	5,05	51,84	0,40	0,14	18,56	0,13	16,88	-	-
CACEQUI	G 603 CQ 7	13,4	34,2	1,20	1,22	25,00	1,24	25,0	38,30	24,63
CAMBARÁ DO SUL	G 607 CAS 3	12,05	43,42	0,92	0,45/0,58	29,0	0,58	28,78	32,73	27,70
CAMPINA DO SUL	G 666 CS 3	15,93	56,80	0,17	0,06	7,0	-	-	-	-
CANDIDO DE GODÓI	G 590 CG 2	35,0	43,52	5,14	8,8/3,7	43,81	3,41	40,60	43,0	13,74
CARLOS BARBOSA	G 348 CB 3	4,14	16,35	0,78	0,49	9,54	-	-	-	-
CARLOS BARBOSA	G 716 CB 8	1,86	86,81	0,06	0,07/0,03	4,76	0,03	5,23	9,47	3,94
CATUÍPE	G 702 CE 3	7,13	83,78	0,20	0,08	15,0	0,07	14,02	15,25	5,81
CORONEL BICACO	G 606 CBI 2	4,71	34,99	0,63	0,47	18,95	-	-	-	-
CRUZ ALTA	G 531 CZ 5	3,36	43,96	1,47	1,45	20,0	1,97	27,3	32,0	21,0

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
ENCANTADO	G 498 EN 7	9,17	34,49	1,20	1,25	30,0	0,88	27,33	30,0	15,65
ERVAL GRANDE	EM 1 EG	2,70	9,72	5,13	3,08	36,0	-	-	-	-
ESPUMOSO	G 479 E 4	13,05	52,21	0,31	0,09	12,0	0,08	11,04	12,18	8,80
ESTRELA	G 406 EST 4	24,22	39,09	1,32	0,56	19,56	-	-	-	-
ESTRELA	G 448 EST 5	8,04	27,87	2,52	1,16	50,0	-	-	-	-
FLORES DA CUNHA	G 403 FC 6	0,47	20,32	0,83	0,50	16,50	-	-	-	-
GIRUÁ	G 475 GI 6	29,96	36,50	4,84	5,15	31,68	-	-	-	-
IBIRUBÁ	G 387 I 3	2,17	21,05	1,82	1,37	34,43	-	-	-	-
IBIRUBÁ	G 701 I 5	15,09	28,21	6,53	1,43	85,71	-	85,4	85,71	12,0
IJUÍ	G 581 IJ 3	51,48	86,22	1,52	0,54	52,94	-	53,13	66,66	52,94
INDEPENDÊNCIA	G 575 IN 2	15,95	22,71	2,53	1,31/1,44	17,11	-	-	-	-
IVOTTI	G 499 IV 2	67,58	76,59	1,42	0,60	16,16	-	-	-	-

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
JULIO DE CASTILHOS	G 344 JC 11	6,06	34,36	0,58	0,32	16,50	-	-	-	-
JULIO DE CASTILHOS	G 349 JC 12	8,94	30,75	0,4	0,28	8,80	-	-	-	-
MARAU	G 243 M 5	33,89	40,72	4,0	3,94	27,31	-	-	-	-
MARCELINO RAMOS	G 449 MR 6	9,35	32,49	1,17	0,40	27,18	-	-	-	-
MOSTARDAS	G 427 MO 2	1,41	12,27	0,23	0,09	2,49	-	-	-	-
NÃO-ME-TOQUE	G 358 NT 3	4,50	30,82	0,84	0,32	22,0	1,55	43,71	-	-
NÃO-ME-TOQUE	G 667 NT 6	0,76	22,20	0,80	-	17,14	0,26	17,39	39,13	17,14
NONOAI	G 749 N 5	18,54	31,0	0,53	-	6,64	-	6,84	31,03	6,64
NOVA PALMA	G 505 NPA 1	1,33	39,14	0,15	0,04	5,81	-	-	-	-
NOVA PALMA	G 750 NPA 3	1,89	29,63	1,27	5,35	32,29	4,62	34,20	36,73	10,00
PAIM FILHO	G 744 PO 2	11,46	44,95	1,14	-	38,29	-	37,88	43,90	10,84
PALMARES DO SUL	G 623 PDS 3	0,98	29,00	0,71	-	20,0	0,31	19,83	32,14	19,35

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
PALMEIRA DAS MISSÕES	G 405 PAL 2	0,36	38,14	0,30	0,07	11,48	-	-	-	-
PARAI	G 467 PR 1	10,02	24,52	0,42	0,17	6,19	0,13	4,50	29,48	4,25
PORTO LUCENA	G 417 PL 3	11,03	26,04	0,87	0,46	13,0	0,50	12,85	14,14	8,34
PUTINGA	G 473 FU 1	1,40	25,39	0,92	0,77	22,0	0,81	21,44	42,86	21,17
ROCA SALES	G 481 RS 2	19,11	21,15	16,87	5,07	34,43	4,71	31,86	34,43	7,69
RODEIO BONITO	G 525 RB 2	25,0	58,38	0,19	0,06	6,50	-	-	-	-
RONDINHA	G 252 RD 1	1,26	27,69	1,66	-	44,0	-	41,53	60,92	39,60
STA-MARIA-CAMOBI	G 648 CAM 7	36,0	52,99	0,59	0,95	10,0	1,0	10,58	10,97	9,60
SANTA MARIA	G 421 SM 4	2,16	22,22	0,66	0,37	13,20	0,40	13,64	15,23	12,00
SANTA VITÓRIA	G 368 SV 7	9,72	19,63	1,02	0,30	10,15	-	-	-	-
SANTA VITÓRIA	G 377 SV 9	8,86	15,61	2,50	0,79/0,88	16,85	-	-	-	-
SANTA VITÓRIA	G 664 SV 9A	9,09	15,03	4,21	14,83	25,0	-	-	-	-

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
SANTA VITÓRIA	G 566 SV 11	0,81	13,93	1,85	6,08	24,32	-	-	-	-
S. ANTONIO PATRULHA	G 384 SA 11	0,44	17,87	1,38	-	24,0	-	23,86	29,33	22,63
SANTO CRISTO	G 763 SC 7	38,43	74,58	0,11	0,06	4,04	0,07	4,27	10,42	4,10
SÃO FICO ASSIS	G 419 SF 4	10,71	42,25	0,30	0,10	9	-	-	-	-
SÃO FICO ASSIS	G 422 SF 5	2,12	12,67	0,41	0,12	4,30	-	-	-	-
SÃO FICO ASSIS	G 452 SF 7	13,31	33,15	0,32	0,11	6,50	0,09	5,34	23,29	4,66
SÃO FICO ASSIS	G 571 SF 8	15,17	42,80	0,21	0,14	6,0	0,26	5,95	23,08	5,88
SÃO PEDRO DO SUL	G 259 SPS 1	41,33	54,43	0,97	1,67	12,77	-	-	-	-
SÃO VICENTE	G 437 SVS 2	12,36	42,46	0,36	0,33	10,85	-	-	-	-
SÃO VICENTE	G 396 SVS 1	14,30	40,53	0,19	0,11	5,0	-	-	-	-
SEBERI	G 464 SEB 3	87,73	91,38	3,62	1,63	13,20	1,57	12,69	13,20	9,9
SELBACH	G 353 SEL 1	6,68	24,15	0,78	0,26	13,67	-	-	-	-

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
SOLEDADE	G 370 SO 6	4,45	40,75	0,57	0,17	20,84	0,18	21,78	37,71	20,84
SOLEDADE	G 439 SO 8	6,96	37,60	0,76	0,38	23,29	0,93	23,31	39,6	23,29
TAPES	G 582 TE 11	7,27	25,97	1,78	1,12	33,33	-	-	-	-
TAPES	G 453 TE 10	6,0	29,74	1,39	0,62	33,0	-	-	-	-
TAPES	G 391 TE 7	5,95	17,46	1,22	0,37	14,06	-	-	-	-
TENENTE PORTELA	G 373 TP 5	30,70	41,48	2,13	2,42	23,0	-	24,0	30,46	22,0
TENENTE PORTELA	G 379 TP 6	6,77	19,39	1,18	0,36	14,94	-	-	-	-
TUCUNDUVA	G 773 TC 3	24,06	86,72	2,57	0,12	21,18	0,11	19,78	21,18	4,71
TUPANCIRETÃ	G 535 T 8	5,51	38,98	0,57	0,23	19,15	0,23	19,37	33,96	19,15
TUPANCIRETÃ	G 620 T 9	18,23	64,46	0,51	0,23	24,0	0,27	28,47	31,58	8,0
TAPERA	G 593 TAP 2	4,98	19,89	2,37	0,86	35,30	-	-	-	-
VENÂNCIO AIRES	G 719 VA 1A	14,30	33,76	1,14	3,14	22,22	3,20	22,66	36,0	22,22

MUNICÍPIO	Nº DO POÇO	N E (m)	N D (m)	Q/s (m ² /h)	T JACOB (m ² /h)	Q JACOB (m ³ /h)	T STERNBERG (m ² /h)	Q STERNBERG (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q mín (m ³ /h)
VENÂNCIO AIRES	G 026 VA 2	2,80	7,12	3,82	2,81	16,50	-	-	-	-
VENÂNCIO AIRES	G 401 VA 3	2,12	14,27	1,34	2,35	16,85	2,25	16,2	14,85	13,42
VERANÓPOLIS	G 423 V 9	2,97	41,87	0,21	0,07	8,0	-	-	-	-
VERANÓPOLIS	G 434 V 10	15,31	28,18	0,65	0,25	8,34	-	-	-	-
VIADUTOS	G 532 VI 1	18,33	64,64	0,05	0,02	2,50	0,02	2,45	30,51	2,2
VICENTE DUTRA	G 494 VD 1	17,26	44,74	0,48	0,67	13,33	0,69	12,97	13,33	4,97
VICTOR GRAEFF	G 471 VG 1	5,25	19,61	2,51	3,82	36,00	-	-	-	-

VIII - BIBLIOGRAFIA

- 1 - BULLETIN DU B.R.G.M. Section 3: Hydrogéologie. 1970.
Pompages d'essais. Paris (1)
- 2 - CASTANY, G. 1971. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona, Omega. 672p.
- 3 - COOPER, H. H. & JACOB, C.E. 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Transactions American Geophysical Union, Washington, 27: 526-34.
- 4 - CUSTODIO, Emilio & LLAMAS, Manoel Ramón, ed. 1976. Hidrología Subterránea. Barcelona, Omega. V.1.
- 5 - DARCY, H. 1856. Les fontaines publiques de la ville de Dyon. Paris, V. Dalmont. 647p. apud KRUSEMAN, G.P. & RIDDER, N.A. 1974. Analisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. Wageningen, ILRI. p.189.
- 6 - DAVIS, Stanley N. & DE WIEST, Roger J.M. 1967. Hydrogeology. New York, John Wiley. 463p.

- 7 - DE WIEST, Roger J. M. 1965. Geohydrology. New York, John Wiley. 366p.
- 8 - DUPUIT, J. 1863. Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables. 2^{ème} édition. Paris, Dunod. 304p. apud KRUSEMAN, G.P. & RIDDER, N.A. 1974. Analisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo Wageningen, ILRI. p.190.
- 9 - FUGANTI, Andrea & BURDON, David J. 1973. Some general characteristics of groundwater movement in plutonic, metamorphic and volcanic rock formation. s.l., s.ed. 15f. Separata de CONVEGNO INTERNAZIONALE SULLE ACQUE SOTTERRANCE, 2., Palermo, 1973.
- 10 - GRINGARTEN, A.C. & WITHERSPOON, P.A. 1972. A method of analyzing pump test data from fractured aquifers. In: SYMPOSIUM OF STUTTGART.
- 11 - HAAR, M.E. 1962. Groundwater and seepage. New York, McGraw-Hill. 315p.
- 12 - HANTUSH, Mahdi S. 1964. Hydraulics of wells. Advances in Hydroscience, New York, 1: 281-442.

- 13 - HANTUSH, Mahdi S. 1966. Analysis of data from pumping tests in anisotropic aquifers. Journal of Geophysical Research, Washington, 71(2): 421-6.
- 14 - HAUSMAN, Abrão. 1965. Esboço hidrogeológico do Rio Grande do Sul. In: SEDEGEO, l., Porto Alegre, 1965. /Porto Alegre/ Centro Acadêmico dos Estudantes de Geologia da UFRGS. p.33-71.
- 15 - HAUSMAN, Abrão. 1966. Comportamento do freático nas áreas basálticas do Rio Grande do Sul. Boletim Paranaense de Geografia (18/20): 177-213.
- 16 - HONYK, W. J. 1979. Proposta para uma nova unidade de produção de poço nas rochas fraturadas. Recife, Centro de Tecnologia da UFPe. 25f.
- 17 - KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. 1974. Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. Wageningen, ILRI. 212p.
- 18 - LOHMAN, S. W. 1977. Hidráulica subterránea. Barcelona, Ariel. 191p.

- 19 - MCWHORTER, David B. & SUNADA, Daniel K. 1977. Ground-water hydrology and hydraulics. Fort Collins, Water Resources Publications. 290p.
- 20 - MARTINS, José Carlos Saraiva. 1979. Pesquisa sobre o aquífero basáltico da região sudoeste do Rio Grande do Sul. /Porto Alegre/ Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 75f. Diss. (mestr. hidrol. apl.) UFRGS-Curso Pós-Grad. Hidrol. Apl., Porto Alegre, BR-RS, 1979.
- 21 - NEULAND, H. 1980. Qual a importância da transmissividade em rochas fraturadas? Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 18f. /Trabalho aceito para o 9º Congresso Latinoamericano de Hidráulica - Mérida, Venezuela/.
- 22 - NEULAND, H. & DEWES, R. 1979. Análise e interpretação dos testes de bombeamento nos poços G 646 SO 9, G 659 SO 10 e G 665 SO 11 do aquífero basáltico da área de Soledade (RS). Porto Alegre, UFRGS-UNESCO. 20f. (Projeto PNUD /UNESCO/BRA/75/007. Publicação n.7).
- 23 - PRESSOTTO, C. A.; DIAS, A.; KIRCHNER, C. A.; GARCIA, P.F. 1973. Projeto hidrogeologia da fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul; relatório final. Porto Alegre, CPRM. 263p.

- 24 - RICHTER, W. & LILLICH, W. 1975. Abriss der hydrogeologie. Stuttgart, E. Schweizerbert'sche. 281p.
- 25 - ROFAIL, Nabil. 1967. Analysis of pumping test in fractured rocks. In: COLLOQUE DE DUBROVNIK, 1965. Hydrologie des roches fissurées. Paris, UNESCO-IASH. V.1, p.81-8.
- 26 - SCHNEEBELI, G. 1966. Hydraulique souterraine. Paris, Eyrolles. 362p.
- 27 - STERNBERG, Y. M. 1967. Transmissibility determination from variable discharge pumping tests. Ground Water, Urbana, Ill., 5(4): 27-9.
- 28 - THEIS, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Am. Geophys. Union Trans. 16: 519-24 apud KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. 1974. Analisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. Wageningen, ILRI. p192.
- 29 - THIEM, G. 1906. Hydrologische methoden. Leipzig, Gebhardt. 56p. apud KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. 1974. Analisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. Wageningen, ILRI. p.192.

30 - WALTON, William C. 1970. Groundwater resource evaluation. New York, McGraw-Hill. 664p.

