

PRODUTIVIDADE DE DRENOS HORIZONTAIS E POTENCIALIDADE DE AQUÍFEROS ALUVIAIS

João Manoel Filho *

*PLANAT — Consultoria em Recursos Naturais

ABSTRACT

Equations for the drawdown in the central caisson and for the yield of steadily discharging collector wells constructed in the states of Ceará and Rio Grande do Norte are presented.

The collector wells are a combination of a great diameter vertical well and a horizontal drain of a small diameter, installed at the base of an open excavation. The collector pipes are slotted steel well screens. Adequate gravel filter protection were provided for all constructed horizontal drains, using for filter desing the Terzaghi criteria (in Cedergreen, 1967).

Three different cases were considered: collector well under a stream; collector well near a recharge boundary and collector well in an infinite water-table aquifer. The approximated solutions presented in this article, developed respectively by HANTUSH, 1964, SCHNEEBELY, 1966 and HUISMAN, 1971, have proved successful in the present practical applications.

As a result of the observations carried on the last two years, a simple statistical method, using annual precipitation data, was developed to estimate probable annual period of water table natural replenishment.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho resulta da experiência obtida nos últimos 3 (tres) anos, com a construção de captações de água subterrânea através de drenos horizontais nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

Tratam-se de captações constituídas de um poço coletor, de grande diâmetro, acoplado a um tubo dreno horizontal, assentado no fundo de uma vala escavada a seu aberto. Os tubos drenos são de aço galvanizado, do tipo espiralado, com ranhuras contínuas e abertura igual a 2,00 mm. Possuem envoltório simples (eventualmente duplo), de casca lisa, selecionado de acordo com os critérios de Terzaghi, ocupando área útil de contato, por metro linear, com o aquífero, não inferior a 1 m²/m.

De um total de 17 captações, apenas uma foi construída em aquífero de dunas costeiras. As demais foram implantadas em aquíferos aluviais.

Conforme esquemas da fig.1 essas captações estão situadas

sob leitos de rios perenizados (curva 1); nas proximidades de barragens (curva 2), ou em leitos de rios intermitentes (curva 3).

Os resultados obtidos, no tocante ao desempenho hidráulico dessas captações, foram plenamente satisfatórios e estão efetivamente comprovados em 7 (sete) unidades que se encontram em operação.

Os estudos realizados e as experiências vividas demonstraram que esse tipo de captação é altamente eficiente e tem condições de apresentar longa vida útil de serviço para baixas velocidades de entrada. Todavia as estimativas de vazão explorável somente devem ser feitas a partir de um estudo acurado do manancial, envolvendo potencialidade e possibilidades de renovação anual.

2. ESTUDO DO REBAIXAMENTO NO POÇO COLETOR

A metodologia utilizada para interpretação dos testes de produção, nas captações construídas, permitiu a caracterização de 3 (três) casos a saber:

2.1 - Dreno com Recarga Vertical

Corresponde ao caso de captações construídas sob leitos de rios perenizados, em condições tais que a porcentagem da vazão do dreno, oriunda do armazenamento do aquífero é muito pequena em relação à quantidade de água fornecida por recarga induzida do rio. O rebaixamento no poço coletor de um único dreno, transversal a um rio de largura a , assentado sob o leito, é dado em regime estacionário pela equação T (HANTUSH, 1964- ver apêndice).

$$s_c = \frac{Q}{4\pi K a} \ln A \quad (1)$$

$$\ln A = \frac{[1+(2b+r_w)/2h_0][1+(r_w/2h_0)]}{[1-(2b+r_w)/2h_0][1+(r_w/2h_0)]} \quad (2)$$

2.2 - Dreno com Recarga Lateral

Corresponde a dreno construído nas proximidades de rios perenizados, ou de açudes, capazes de proporcionar uma recarga lateral permanente.

Tidas em conta as condições limites e os efeitos de imagem, nos casos específicos, a análise do problema de fluxo no dreno real é conduzida de modo a obter-se um dreno equivalente, de comprimento $2c$ (paralelo a uma fronteira de recarga, a potencial constante), cujo poço central fica a uma distância L da linha de recarga.

Na prática, os drenos são normalmente transversais ou formam um ângulo qualquer com a fronteira de recarga e por isso o dreno equivalente deve ser obtido mediante projeção sobre a linha (paralela à fronteira), que passa pelo poço central de sucção. Em tais condições o rebaixamento teórico no poço coletor é dado pela equação a seguir (SCHNEEBELY, 1966).

$$s_0 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{4L}{c} \quad (3)$$

A esse rebaixamento somam-se as perdas de entrada no poço de sucção (Δ_2) e as perdas por fricção (Δ_4), e ainda, quando for o caso, as perdas devidas à penetração parcial (Δ_{s_0}). Tais perdas são dadas pelas equações 4, 5 e 6 a seguir (ver apêndice):

$$\Delta_2 = \left[\frac{1}{\pi \sqrt{2g}} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_p^2} \right) \right]^2 \cdot q_0^2 \cdot a_m^2 \quad (4)$$

$$\Delta_4 = \left[\frac{1}{60 \left(\frac{r^2}{d} \right)^{2/3} \pi r^2} \right]^2 \cdot (0,8 \sqrt[3]{0,25 \cdot q_0^2 \cdot a_m^3}) \quad (5)$$

$$\Delta_{s_0} = \left[\frac{1}{2\pi K} \left(\ln \frac{h_0}{d} - \ln \sin \frac{\pi b}{h_0} \right) \right] \cdot q_0 \quad (6)$$

As perdas de carga, representadas por Δ , somam pois:

$$\Delta = (\Delta_2 + \Delta_4 + \Delta_{s_0}) \quad (7)$$

O rebaixamento total no poço coletor é dado por:

$$s_c = (s_0 + \Delta) \quad (8)$$

2.3 - Drenos sem Recarga

Para drenos sem recarga a evolução do nível piezométrico é função do tempo e o regime estacionário não pode ser alcançado.

O tratamento matemático do problema, segundo HUISMAN 1972, é complexo e não existe solução geral para a equação diferencial do fluxo.

Para condições limites específicas, esse autor considera possível obter soluções aproximadas considerando os coeficientes T e S como constantes. Com efeito, embora tais parâmetros apresentem variação com o tempo, tendem para um valor constante no caso de drenos sem recarga, conforme se pode observar na curva 3 de variação do parâmetro \sqrt{TS} mostrada na fig. 2.

Admitida a hipótese de constância desse parâmetro e restringindo o estudo do fluxo ao poço central de sucção ($x = 0$), tem-se: (ver apêndice-notação):

$$\text{- Para } q_0 = \text{constante } s_0(t) = \frac{q_0}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{t}}{TS} \quad (9)$$

$$\text{- Para } s_0 = \text{constante } q_0(t) = \frac{2s_0}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{TS}}{\sqrt{t}} \quad (10)$$

Essas fórmulas se aplicam a aquíferos livres quando o rebaixamento é muito pequeno em relação à espessura saturada. Caso contrário é preciso substituir o rebaixamento s por $\left[\frac{s-s^2}{2h_0} \right]$ (correção de JACOB).

O rebaixamento no poço coletor, semelhantemente ao caso anterior, é dado pela equação 8.

3. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

A capacidade de produção de captações através de drenos não pode ser definida com precisão em função das características da obra e do aquífero em virtude do grande número de parâmetros que entram em jogo (ver apêndice-notação).

Não obstante, para fins práticos, as fórmulas de rebaixamento anteriormente apresentadas permitem deduzir os valores da vazão possível, com precisão aceitável, na dependência dos rebaixamentos disponíveis.

Quando a vazão permissível é determinada em função da velocidade máxima de entrada no pré-filtro ($v_c = \sqrt{K/60}$); da área unitária útil de contato do pré-filtro com o aquífero (Ω); e da extensão efetiva do dreno (a_m').

Relativamente a esse último parâmetro, sabe-se que na realidade o fluxo para o dreno não é uniforme ao longo de toda a sua extensão, já que as maiores vazões, por metro linear, ocorrem na extremidade do dreno conforme é demonstrado por SCHNEEBELY, 1966. No estudo realizado em 15 captações verificou-se que a extensão efetiva (a_m') corresponde a cerca de 84% da extensão real ou seja:

$$a_m' = 0,84 a_m \quad (11)$$

A vazão máxima permissível foi dimensionada de acordo com a equação:

$$Q_{max} = \Omega \cdot a_m' \cdot \frac{\sqrt{K}}{60} \quad (12)$$

4. VOLUMES ANUAIS EXPLORÁVEIS

Embora a capacidade de produção dos drenos dependa basicamente da permeabilidade e transmissividade do aquífero, bem como da área de contato do pré-filtro do dreno com o aquífero, os volumes anuais exploráveis dependem inteiramente da potencialidade e condições naturais de recarga dos respectivos mananciais.

No caso do Nordeste Brasileiro, onde o acervo de observações hidrométricas e lisimétricas é relativamente escasso, notadamente nos períodos de recessão dos cursos d'água, praticamente não se pode contar com a informação hidrológica necessária a uma avaliação quantitativa satisfatória da recarga nos vales aluviais da faixa semi-árida.

Na falta portanto de tais observações, foram estabelecidas previsões sobre a recarga a partir do acervo de dados pluviométricos que é relativamente abundante. Com efeito, procedeu-se a um estudo estatístico do índice anual de concentração das chuvas mensais (equação 13), cujo gráfico de distribuição de probabilidade é mostrado na fig. 3.

Esse índice, definido por ROCHE 1963, é dado por:

$$C_c = \frac{1}{\bar{p}} \sqrt{\frac{1}{12} \sum (p_i - \bar{p})^2} \quad (13)$$

onde:

- P_i = precipitação média na bacia hidrográfica no mês i (mm)
- \bar{p} = precipitação média mensal = $\frac{P}{12}$ (mm)
- p = precipitação anual (mm)
- C_c = coeficiente que varia entre 0 e 1
- $C_c = 0$ corresponde a chuvas anuais distribuídas uniformemente durante 12 meses (cada $P_i = \bar{p}$)
- $C_c = 1$ corresponde a chuvas anuais concentradas em um único mês ($1p_i = P$)

O estudo de distribuição estatística do índice C_c , indicou com 95% de probabilidade, que as chuvas na região semi-árida do Ceará se concentram num período de aproximadamente 6 (seis) meses por ano, ficando portanto os 6 (seis) meses restantes sem chuvas. Considerando que a realimentação dos mananciais leva pelo menos 2 (dois) meses, tem-se com relativa segurança, um período de 4 (quatro) meses em que ocorre transbordamento dos reservatórios subterrâneos aluviais, con

tra 8 (oito) meses em que as reservas hídricas do manancial decrescem continuamente com o tempo até o próximo período de renovação dos recursos hídricos.

Definido o período $\Delta t = t_2 - t_1$ em que os mananciais subterâneos terão alta probabilidade de permanecerem sem recarga, o volume anual explorável pode ser estimado através da equação:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad (14)$$

5. CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida para a definição da capacidade de produção de captações através de drenos horizontais e para estimativa dos volumes anuais exploráveis dos aquíferos aluviais em que se encontram tais drenos, embora tenha fornecido resultados satisfatórios, na prática, conforme atestam observações efetuadas em captações que se encontram em operação há mais de dois anos ainda requer muitos aperfeiçoamentos.

Na bibliografia conhecida não se encontram métodos adequados para interpretação dos resultados de testes de produção em poços coletores de drenos, em regime não permanente. Os métodos conhecidos se aplicam a piezômetros localizados a distâncias suficientemente grandes dos eixos dos drenos para que não sofram influências dos efeitos de penetração parcial. De fato, as tentativas de emprego de método baseado na conhecida função $D(u)$, do dreno, não forneceram resultados confiáveis, nos casos estudados, provavelmente porque os piezômetros sofreram influências de penetração parcial. As principais dificuldades no entanto correm por conta da variação da espessura saturada com o tempo.

As experiências vividas também mostraram que os drenos sem recarga somente apresentam condições de explorar as vazões de projeto em regime contínuo de bombeamento, durante aproximadamente 4 (quatro) meses por ano. Durante os 8 (oito) meses restantes na ausência de realimentação, a potencialidade dos mananciais decresce continuamente com o tempo por conta da permanente redução da espessura saturada dos mesmos. Consequentemente, mantendo-se constante a vazão do dreno, há que reduzir-se progressivamente o número de horas diárias de funcionamento.

Em todos os casos porém há evidências de que esse problema poderá ser superado através de sistemas de recarga artificial por espalhamento de água na superfície ou seja construindo-se pequenas represas nos vales aluviais em que se encontram os drenos de modo a inundar as áreas onde se acham eles implantados. Exemplos desse tipo já existem em cidades do Ceará constituindo soluções plenamente adequadas para o abastecimento urbano de água sem necessidade de tratamento convencional completo.

BIBLIOGRAFIA

- CEDERGRÉN, H.R.; 1967, Seepage, drainage and flow nets. John Wiley & Sons, Inc, New York, 489 pp.
CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R., 1976, Hidrologia Subterrânea, Ediciones Omega Barcelona, V.1, 1157 pp.
HANTUSH, M. S., & PAPADOPULOS, I. S., 1962, Flow of Ground Water to Collector Wells. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. HY5 pp. 221-244
HANTUSH, M. S., 1964, Hydraulics of Wells, in Advances in Hydroscience, V. T. Chow, pp. 397-407.
HUISMAN, L., 1971, Ground Water Recovery, University of Technology, Delf.
ROCHE, M., 1963, Hydrologie de Surface. Gauthier Villars Editeur, Paris.
SCHNEEBELY, G., 1966, Hydraulique Souterraine, Eyrolles, Paris, 361 pp.

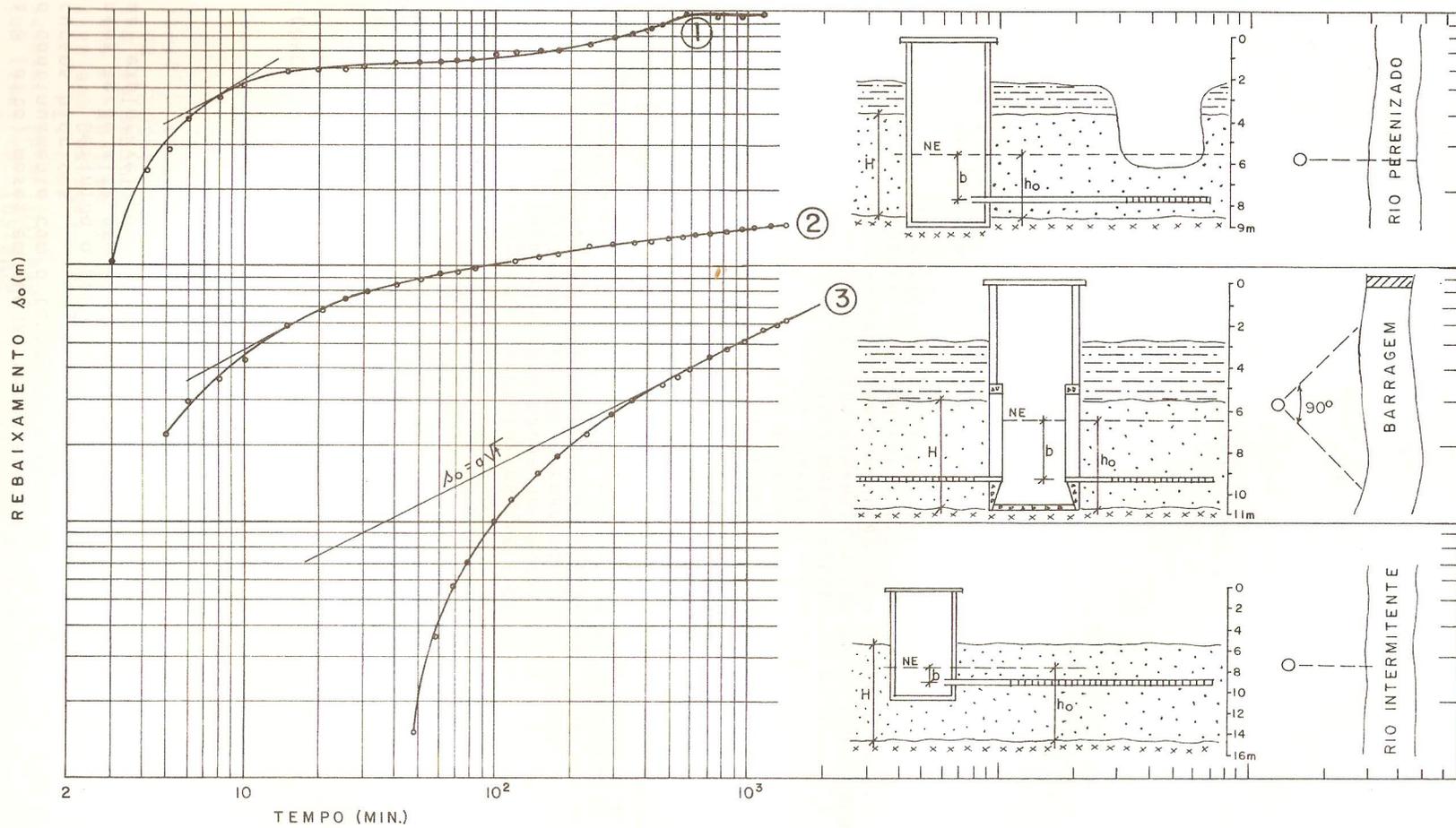


Fig. 1 - Gráficos de variação do rebaixamento teórico com o tempo: 1) Dreno com recarga vertical; 2) Dreno com recarga lateral; 3) Dreno sem recarga.

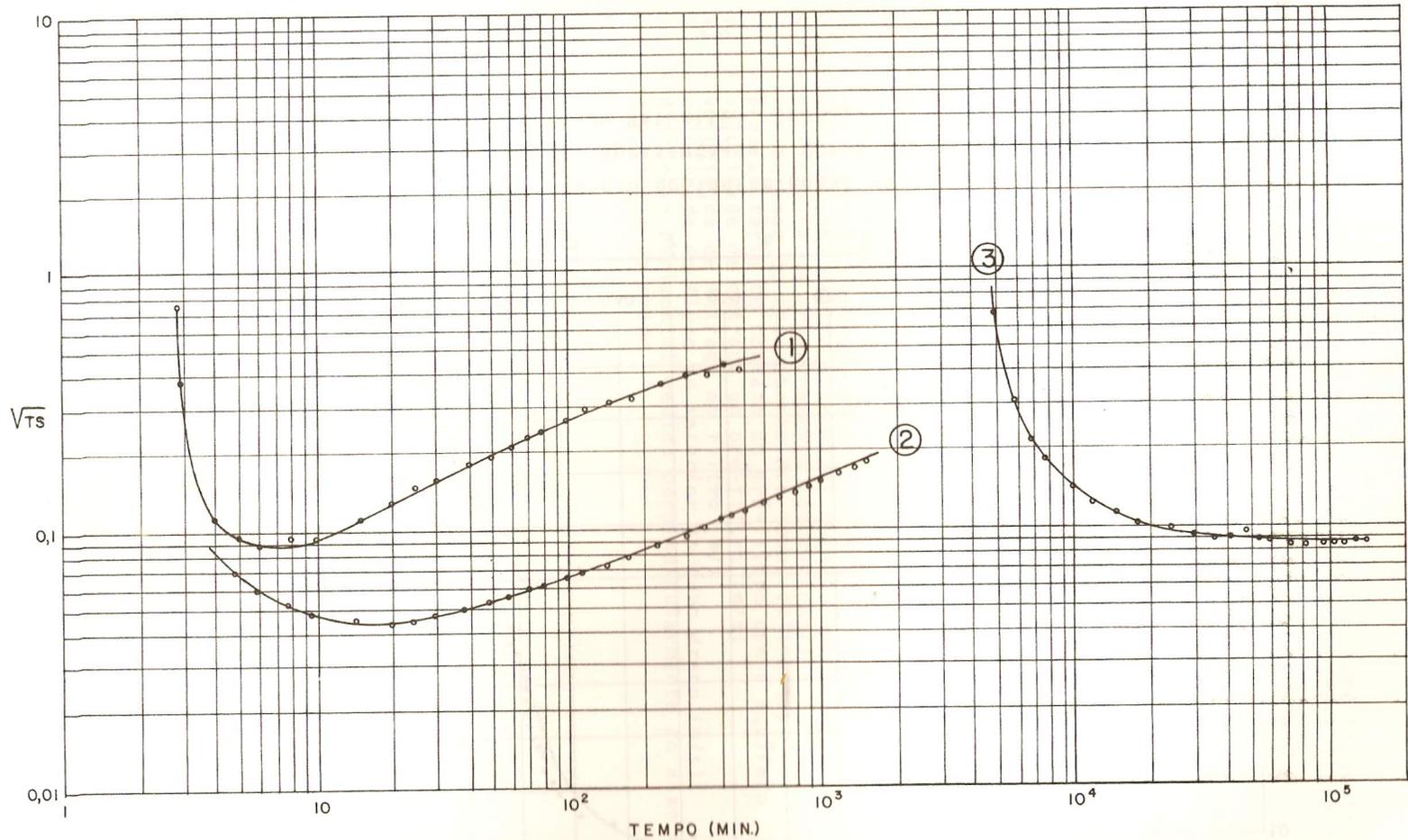


Fig.2 - Gráficos de variação do parâmetro Ts : 1) Dreno com recarga vertical; 2) Dreno com recarga lateral; 3) Dreno sem recarga.

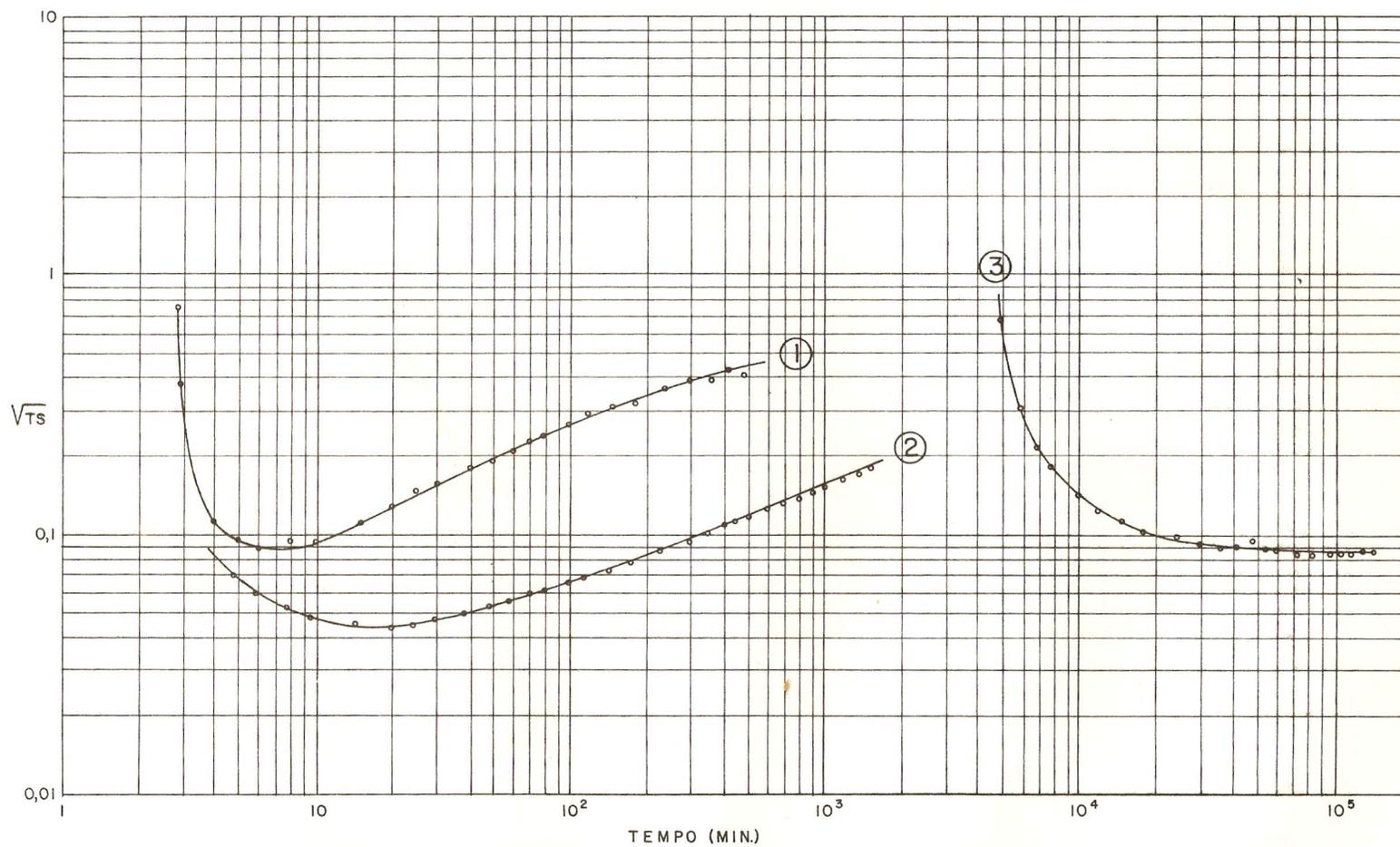


Fig.2 - Gráficos de variação do parâmetro TS: 1) Dreno com recarga vertical; 2) Dreno com recarga lateral; 3) Dreno sem recarga.

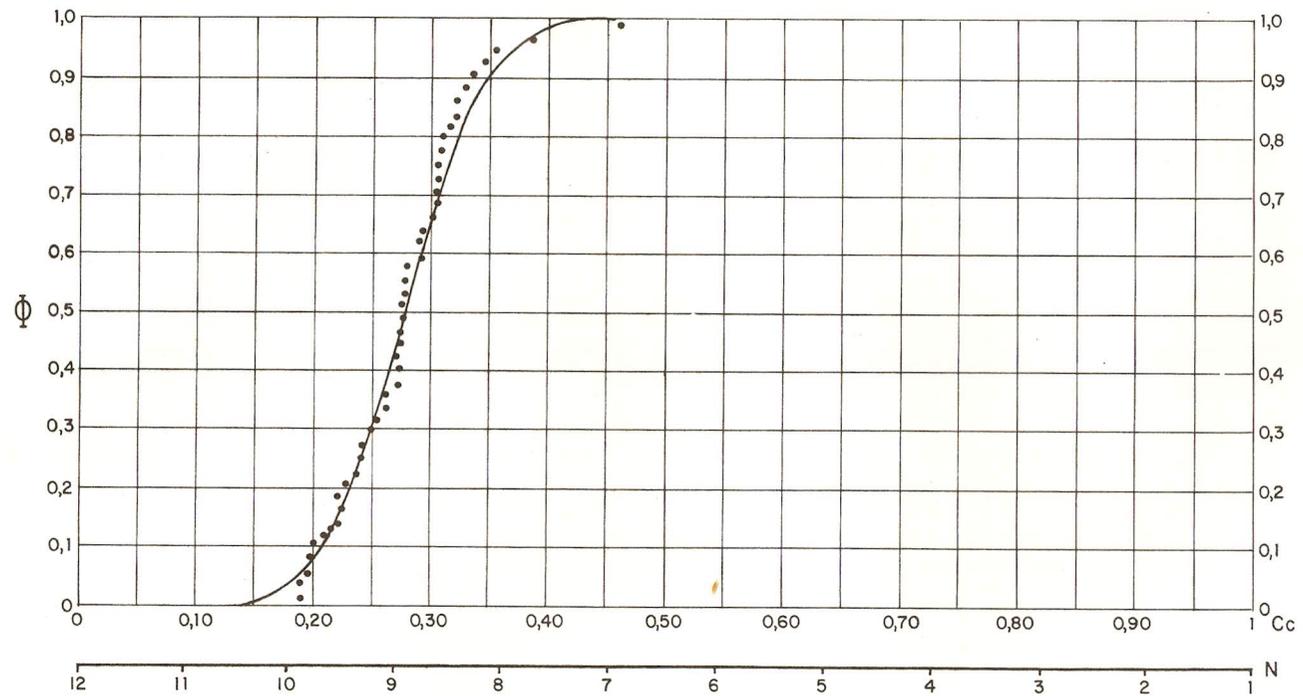


Fig. 3 - Gráficos de distribuição do índice anual de concentração das chuvas mensais. No exemplo, apresenta-se a curva normal ajustada para o posto de PACOTI (Serra de Baturitê), Ceará.

APÊNDICE
(SÍMBOLOS MATEMÁTICOS EMPREGADOS)

- a = largura do rio no caso de drenos com recarga vertical (m)
 a_m = extensão média dos drenos (m)
 a_m' = extensão efetiva dos drenos (m)
 b = profundidade do eixo do dreno a partir do t \hat{o} po do aquífero con-
finado ou a partir do nível freático do aquífero livre (m)
 $2c$ = extensão total do dreno (m)
 d = diâmetro do dreno (m)
 Δ = $(\Delta_2 + \Delta_4 + \Delta_{s_0})$ = perda de carga total no dreno (m)
 Δ_2 = perda de entrada (f \hat{o} rmla de Borda-Carnot)
 Δ_4 = perda por fricção (f \hat{o} rmla de Manning-Strickler)
 Δ_{s_0} = perda por penetração parcial (f \hat{o} rmla de Ernst)
 g = aceleração da gravidade (m/seg²)
 h_0 = espessura saturada do aquífero livre antes do início de bombea-
 mento (m)
 K = coeficiente de permeabilidade do aquífero (m/s)
 L = distância do poço central de sucção à fronteira de recarga (m)
 n = número de drenos radiais
 Q = vazão total do dreno (m³/s)
 q_0 = vazão por metro linear procedente dos dois lados da vala m³/s/
 m)
 r = raio do tubo filtrante (m)
 r_p = raio do poço de sucção (m)
 s = perda da formação ou rebaixamento à distancia x
 s_0 = perda da formação ou rebaixamento teórico no dreno ($x = 0$), ex-
cludidas as perdas de carga.
 s_c = rebaixamento no poço coletor ($s_d = s_0 + \Delta$) (m)
 s_{max} = rebaixamento máximo disponível (quando $h_0 = H$) (m)
 S = coeficiente de armazenamento (adimensional)
 = porcentagem de área aberta dos tubos filtrantes
 = área unitária de contato do pré-filtro com o aquífero
 v_c = velocidade de entrada no pré-filtro (m/s)
 v_e = velocidade de entrada no filtro (m/s)
 v_o = velocidade do fluxo no interior do tubo dreno (m/s)
 x = distância horizontal medida perpendicularmente ao eixo do dreno
 e a partir do mesmo